



AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

Praca magisterska

Adam Dendek

kierunek studiów: fizyka techniczna

Statystyczna analiza jakości dopasowania śladów cząstek naładowanych w eksperymencie LHCb

Opiekun: dr inż. Tomasz Szumalk

Kraków, czerwiec 2014

Oświadczam, świadomy(-a) odpowiedzialności karnej za poświadczenie nieprawdy, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście i samodzielnie i nie korzystałem(-am) ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

.....

(czytelny podpis)

Kraków, ?? czerwca 20??

**Tematyka pracy magisterskiej i praktyki dyplomowej Adama Dendka, studenta V
roku studiów kierunku fizyka techniczna**

Temat pracy magisterskiej: Statystyczna analiza jakości dopasowania śladów cząstek naładowanych w eksperymencie LHCb

Opiekun pracy: prof. dr inż. Tomasz Szumlak

Recenzenci pracy: dr hab. inż. Owaki Śmaki

Miejsce praktyki dyplomowej: CERN, Genewa

Program pracy magisterskiej i praktyki dyplomowej

1. Omówienie realizacji pracy magisterskiej z opiekunem.
2. Zebranie i opracowanie literatury dotyczącej tematu pracy.
3. Praktyka dyplomowa:
 - zapoznanie się z ideą...
 - uczestnictwo w eksperymentach/przygotowanie oprogramowania...
 - dyskusja i analiza wyników...
 - sporządzenie sprawozdania z praktyki.
4. Kontynuacja obliczeń związanych z tematem pracy magisterskiej.
5. Zebranie i opracowanie wyników obliczeń.
6. Analiza wyników obliczeń numerycznych, ich omówienie i zatwierdzenie przez opiekuna.
7. Opracowanie redakcyjne pracy.

Termin oddania w dziekanacie: ?? czerwca 20??

.....
(podpis kierownika katedry)

.....
(podpis opiekuna)

Na kolejnych dwóch stronach proszę dołączyć kolejno recenzje pracy popołnione przez Opiekuna oraz Recenzenta (wydrukowane z systemu MISIO i podpisane przez odpowiednio Opiekuna i Recenzenta pracy). Papierową wersję pracy (zawierającą podpisane recenzje) proszę złożyć w dziekanacie celem rejestracji co najmniej na tydzień przed planowaną obroną.

Ocena pracy promotora

Ocena pracy recenzenta

Chciałbym w tym miejscu podziękować:

dr inż. Tomaszowi Szumlakowi mojemu promotorowi, za nieustające wsparcie jakie od Niego otrzymałem w trakcie tworzenia pracy oraz umożliwienie mi pracy w kolaboracji wielkiego eksperymentu Fizyki Wysokich Energii jakim jest LHCb,

prof. dr hab. Bogdanowi Murynowi za opiekę naukową w trakcie studiów,
wszystkim pozostałym członkom **krakowskiej grupy LHCb** którzy pomagali mi w jakikolwiek sposób,

mgr Pawłowi Kwiatkowskiemu najlepszemu nauczycielowi jakiego spotkałem w swojej edukacji szkolnej.

Spis treści

Wstęp	10
1. Motywacje teoretyczne powstania eksperymentu LHCb	11
1.1. Symetrie w fizyce	11
1.2. Symetrie a początek Wszechświata	12
1.3. Symetria kombinowana CP	12
1.3.1. Teoretyczny opis łamania symetrii CP	13
1.3.2. Trójkąty unitarności	14
Podsumowanie	15
Literatura	16

Spis rysunków

Wstęp

Rozdział 1

Motywacje teoretyczne powstania eksperymentu LHCb

Ten rozdział pokrótce opisuje teoretyczne podstawy stojące za Fizyką Wysokich Energii (ang. **H**igh **E**nergy **P**hysics). Na samym początku omówiona zostaje fundamentalna zasada fizyki mówiąca

1.1. Symetrie w fizyce

Jeżeli chce się rozmawiać na temat fizyki zawsze powinno zacząć się od tematu symetrii. Jedną z najbardziej fundamentalnych zasad w fizyce jest ta, łącząca prawa zachowania z symetriami natury. Twierdzenie Noether pokazuje, że jeśli układ fizyczny jest niezmienniczy ¹ względem ciągłej transformacji, oznacza istnienie zachowanie pewnej wielkości. Niezmienniczość praw fizycznych względem translacji czasowej jest odpowiedzialne za istnienie zasady zachowania energii. Zasada zachowania pędu, natomiast pochodzi od niezmienniczości względem przesunięć w przestrzeni. Natomiast zasada zachowania pędu jest zachowana gdy prawa fizyki są identyczne zastosowaniu obrotów w przestrzeni.

Poza, wyżej wymienionymi symetriami ciągłymi istnieją jeszcze symetrie dyskretne. Które, w przeciwieństwie do tych wcześniej opisanych mogą być łamane w pewnych fizycznych oddziaływaniach. Dla fizyki cząstek elementarnych istotnymi symetriami są:

- **C**- sprzężenie ładunkowe (ang. charge conjugation) zmienia znak wszystkich addytywnych numerów kwantowych. W specyficznym odniesieniu do rozpadów sub-atomowych cząstek, sprzężenie ładunkowe oznacza zamianę każdej cząstki na sprzężoną z nią antycząstkę.

¹w znaczeniu Lagranżjan opisujący ten układ

- **P**- parzystość (ang. parity) jest to operacja odwrócenia jednej z trzech przestrzennych osi.
- **T** odwrócenie czasu (ang. time reversal) zmienia kierunek ruchu przez odbicie w czasie osi.

Według obecnej wiedzy, każda z tych symetrii jest zachowana w oddziaływaniach silnych i elektromagnetycznych. Natomiast, co bardziej interesujące, słabe siły łamią symetrie **C** oraz **P**. Jednakże, kombinacja tych symetrii **CPT** jest dokładną symetrią w każdej lokalnej Lorentz'owskiej teorii pola.

1.2. Symetrie a początek Wszechświata

W przybliżeniu po okresie $10^{-6}s$ do Wielkiego Wybuchu została uformowana plazma gluonowo-kwarkowa w której to wolne kwarki oraz gluony podróżowały z reletywistycznymi prędkościami. Pary cząstka-antycząstka były stale tworzone oraz anihilowane, tworząc fotony, równomiernie poruszające się przez kosmos. Po tym procesie, do dzisiaj pozostają widzialne pamiątki nazywane Mikrofalowym promieniowaniem tła (ang. **Cosmic Microwave Background**). Na podstawie badań tego promieniowania oszacowano wiek wszechświata na 13.75 ± 0.11 miliarda lat.

Niedługo, po tym jak CMB zostało wytworzone jedna liczb kwantowych *liczba barionowa* została złamana, powodując, że więcej cząstek było produkowanych niż antycząstek. Ten proces nazywany *bariogenezą* oznacza, że dzisiejszy wszechświat jest zbudowany z materii.

W 1967 Sacharow wyjaśnił, że powodem dla którego we Wszechświecie brak jest antymaterii wymaga spełnienia trzech warunków:

1. Niezachowania liczby barionowej.
2. Ochładzanie Wszechświata zachodziło w warunkach niebędących w równowadze termodynamicznej.
3. Zachodzenie procesu łamania symetrii kombinowanej **CP**

1.3. Symetria kombinowana CP

Symetria kombinowana **CP**, będąca jak wcześniej wspomniano jednym z warunków Sacharowa do tego, aby istniał wszechświat, była poddana obserwacji już wcześniej. Powodem tego było odkryciem istnienia tylko lewoskrętnych² neutrin i prawoskrętnych antyneutrin. Wynikiem

²Skrętność oznacza rzut wektora spinu na kierunek ruchu cząstki

zastosowania operatora **CP**³ na neutrino lewoskrętne jest antyneutrino prawoskrętne. Stąd sądzono, że ta symetria jest zachowana przez oddziaływania słabe. Tak było do roku 1964, kiedy to w rozpad neutralnych kaonów pokazał, że ta symetria jednak jest łamana (więcej informacji ref.). Pierwszym dowodem na łamanie **CP** poza układem kaonów, był zaopserwowany w 2001 roku przez kolaborację eksperymentu Belle. Badali oni układ neutralnych mezonów B⁴. Odkrycie zapoczątkowało nową erę badań procesów łamiących symetrię **CP**. Lekkie mezony B (neutralne B_u oraz naładowane B_d były poddawane precyzyjnym pomiarom przez fabryki-B: Belle(ref) oraz BaBar(ref). LHCb jest eksperymentem drugiej generacji. Właściwości eksperymentu, które będą omówione w następnym rozdziale, pozwalają na poszukiwania łamania ?? w sektorze mezonów B_s oraz zjawisk Nowej Fizyki.

1.3.1. Teoretyczny opis łamania symetrii **CP**

Stanami własnymi oddziaływań słabych nie są tożsame ze stanami własnymi oddziaływań silnych⁵. Przejście z jednej bazy do drugiej możliwe jest dzięki macierzy Cabbibo-Kobayashiego-Maskawy (CKM).

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = V_{CKM} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix} \quad (1.3.1)$$

Macierz CKM jest 3x3 macierzą unitarną. Elementy macierzy określają sprzężenie pomiędzy odpowiednimi kwarkami. Warto zwrócić uwagę, że Model Standardowy w żaden sposób nie przewiduje wartości wyrazów z macierzy CKM. Wiele parametryzacji było zaproponowanych w literaturze. Do najbardziej popularnych należy parametryzacja Keung-Chau, zwana również standardowa parametryzacją.

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta_{13}} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta_{13}} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix} \quad (1.3.2)$$

gdzie:

$c_{ij} = \cos\theta_{ij}$ oraz $s_{ij} = \sin\theta_{ij}$. Warte wyjaśnienie jest znaczenie kąta θ_{ij} oraz δ . θ_{ij} są to kąty

³Operatory **C** oraz **P** komutują ze sobą nawzajem

⁴Mezon B to hadron składający się z kwarka b oraz lżejszy antykwark

⁵zwane również stanami własnymi masy

Eulera⁶ mówiące o stopniu mieszania pomiędzy trzema zapachami kwarków ($i,j=1,2,3$) oraz δ jest fazą odpowiedzialną za łamanie symetrii **CP**.

Ważną, z punktu widzenia hierarchizacji wielkości mieszanie pomiędzy rodzinami kwarkowymi jest tak zwana parametryzacja Wolfensteina (tu ref). Każdy z elementów macierzy CKM jest wyrażany przez szereg potęgowy parametru $\lambda = \sin\theta_{12} \approx 0.22$.

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(\rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + \mathcal{O}(\lambda^4) \quad (1.3.3)$$

Pozostałe parametry występujące w równaniu 1.3.3 określone są zależnościami:

$$A \equiv \frac{s_{23}}{s_{12}^2}, \quad \rho \equiv \frac{s_{13}\cos\delta}{s_{12}s_{23}}, \quad \eta \equiv \frac{s_{13}\sin\delta}{s_{12}s_{23}}$$

Ponieważ parametr $\lambda < 1$ to można, analizując wykładnik napisać względne relacje między poszczególnymi elementami macierzy CKM. Łatwo zauważyć, iż najbardziej prawdopodobne są przejścia między kwarkami tej samej rodziny.

1.3.2. Trójkąty unitarności

⁶Układ trzech kątów, za pomocą których można jednoznacznie określić wzajemną orientację dwóch układów współrzędnych.

Podsumowanie

Bibliografia

- [1] <http://public.web.cern.ch>.
- [2] <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/Collaboration/LHCbEvDis.html>.