Praktikumsversuch im SS2020

Hier Titel einfügen

Fabian Koch
fabian3.koch@tu-dortmund.de
Nils Breer
nils.breer@tu-dortmund.de
Nicole Schulte
nicole.schulte@tu-dortmund.de

Abgabe: xx.xx.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	CP-Verletzung	3
3	Der B-Meson Zerfall und Zwischenresonanzen	4
4	Auswertung	5
	4.1 invariante Masse der B-Mesonen in simulierten Daten	5
	4.2 invariante Masse der B-Mesonen in echten Daten	5

1 Einleitung

Im folgenden wird eine Analysekette mit LHCb Daten durchgeführt um die Materie-Antimaterie Asymmetrie zu sichtbar zu machen.

Wir werden dies in den folgenden Schritten bewältigen.

- 1. Rekonstruktion der invarianten Masse (Simulation) -> Fertig nur noch Plots fehlen
- 2. Für echte Daten:
 - a) Preselection -> Fertig, hier auch noch plots einbinden
 - b) globale CP Asymmetrie
 - c) statistische Unsicherheiten
 - d) Dalitz Plots
 - e) Zweikörper Resonanzen
 - f) lokale Materie-Antimaterie Asymmetrie
 - i. charm Resonanzen
 - ii. Dalitz Plot für B+ und B- vergleichen
 - iii. Invariante Masse für B+ und B- vergleichen

2 CP-Verletzung

Der Begriff CP-Verletzung beschreibt die Verletzung der Symmetrie unter Ladungsumkehr C und unter Raumspiegelung oder auch Parität P. Operationen der Ladungsumkehr wandeln Teilchen in ihr Antiteilchen um, da alle inneren Quantanzahlen konjugiert werden. Wird die Ladungkonjugation somit zweimal angewandt, ergibt sich erneut das Ausgangsteilchen. Operationen unter Raumspiegelung ändern die Händigkeit der Raumkomponenten. Die starke und die elektromagnetische Wechselwirkungen bewahren die Symmetrie unter C-, P- und CP-Operationen. In der schwachen Wechselwirkung wird die Ladungsumkehr als auch Parität stark verletzt, die CP-Symmetrie ist allerdings in den meisten schwachen Wechselwirkungen erhalten. In selten Zerfällen allerdings, wie beispielsweise Kaon oder B-Meson Zerfällen, kann eine Verletzung der CP-Symmetrie nachgewiesen werden.

Im Standard Model wird die *CP*-Verletzung durch eine komplexe Phase in der CKM-Matrix ausgedrückt. Bei der Erweiterung des Standard Models mit den Majorana Massentermen für die Neutrinos finden sich drei komplexe Phasen in der Mischungsmatrix für Leptonen.

Eine Erhaltung der CP-Symmetrie würde bedeuten, dass es keine Bevorzugung zwischen Materie und Antimaterie gibt. In unserem heutigen Universum lässt sich jedoch eine deutliche Asymmetrie untersuchen, die einen größeren Materieanteil aufweist. Die CP-Verletzung, die in den selten Zerfälle gemessen wird, spiegelt lediglich einen Bruchteil

der beobachteten Materie-Antimaterie-Asymmetrie wieder. Daher muss es weitere *CP*-Verletzende Mechanismen geben, die noch unentdeckt sind. Die Messungen der *CP*-Verletzungen sind eng Verknüpft mit Neuer Physik, da viele Modelle zur Neuen Physik neue Quellen dieser Verletzung diskutieren.

Zwei wichtige Experimente zur *CP*-Verletzung sind untere Anderem Belle und LHCb. In diesem Versuch werden Daten verwendet, welche am LHCb Experiment aufgenommen wurden, weswegen ausschließlich dieses Experiment diskutiert wird. Das Experiment ist so konzipiert, dass *B*-Mesonen äußerst präzise gemessen werden können.

3 Der B-Meson Zerfall und Zwischenresonanzen

Betrachtet werden die Zerfälle von B-Mesonen oder genauer:

$$B^{\pm} \to h^{\pm}h^{\pm}h^{\mp} \,. \tag{1}$$

Die Hadronen können dabei sowohl Pionen als auch Kaonen sein. Wie bereits diskutiert, kann die CP-Verletzung in der schwachen Wechselwirkung nachgewiesen werden. Die untersuchten Zerfälle werden somit über diese vermittelt. Die Verletzung äußert sich in der Anzahl der gemessenen B^+ und B^- -Zerfällen und die Asymmetrie zwischen den beiden Variablen. Dabei muss beachtet werden, dass die am Large Hadron Collider (LHC) produzierten Teilchen aus Proton-Proton Kollisionen stammen. Somit ist kein Materie-Antimaterie gleicher Anfangszustand gegeben und Nebeneffekte, die eine scheinbare Asymmetrie verursachen, müssen berücksichtigt werden.

Wichtig ist zudem die Betrachtung von Zwischenresonanzen. Die B-Mesonen selber können nicht gemessen werden, sondern müssen über ihre Zerfallsprodukte identifiziert werden. Dabei muss beachtet werden, dass Zerfälle mit Zwischenresonanzen gleiche Endzustandsteilchen bilden können. Zwischenresonanzen mit einem charm-Quark sind die am häufigsten vorkommenden Resonanzen in B-Zerfällen. Die dabei relevanten Teilchen sind unter anderem das D-Meson, das J/ψ -Meson oder auch das X-Meson. Für die spätere Darstellung der Dreikörper-Zerfälle werden die Massen aller möglichen Teilchen benötigt. Die Massen sind in Tabellle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Aus dem PDG [**PDG**] entnommenen Massen für die involvierten Teilchen im Dreikörper-B-Meson Zerfall mit ihrem zugehörigen Quarkinhalt. Verwendet werden natürliche Einheiten mit c=1.

Teilchen	Quarkinhalt	Masse MeV
B -Meson B^{\pm}	B^+ : $u\bar{b},B^-$: $\bar{u}b$	5279.32
Kaon K^{\pm}	K^+ : $u\bar{s},K^-$: $\bar{u}s$	493.68
D^0 -Meson	$car{u}$	1864.83
J/ψ -Meson	$c\bar{c}$	3096.90
χ_{c0} (1 <i>P</i>)- Meson	$car{c}$	3414.71

4 Auswertung

4.1 invariante Masse der B-Mesonen in simulierten Daten

Zu Beginn werden die root-Dateien der simulierten Daten eingelesen die Features betrachtet. Das Ziel im ersten Teil ist, die invariante Masse der B-Mesonen zu bestimmen. Da dies nicht direkt funktioniert, muss dies über die Tochterteilchen getan werden. Betrachten wird ausschießlich der Zerfall

$$B^{\pm} \to K^{\pm}K^{+}K^{-}. \tag{2}$$

Um die invariante Masse zu bestimmen wird die Beziehung aus der speziellen Relativitätstheorie

$$E^2 = p^2 + m^2, (3)$$

verwendet, welche Energie, Masse und Impuls verknüpft.

Aus den Daten werden die Dreierimpulse der Tochterteilchen entnommen. Diese werden zunächst in einem Diagramm dargestellt um diese zu überprüfen.

Es ist zu erkennen, dass die Teilchen stark in z-Richtung geboostet sind, was auch zu erwarten ist bei B-Mesonen.

Um die invariante Masse zu berechnen, wird zunächst die Energie der B-Mesonen bestimmt.

$$E(B^{\pm}) = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{3} \vec{p}_{i}\right)^{2} + \left(\sum_{i=1}^{3} m_{i}\right)^{2}}$$
 (4)

Für die Massen wird die Massenhypothese der Kaonen eingesetzt, da dies der interessante Endzustand ist.

Mit der berechneten Energie kann durch umstellen von Gleichung (3) auf den Impuls und damit auch auf das Betragsquadrat der B-Mesonen geschlossen werden.

In Abbildung ?? liegt der Massenpeak bei etwa 5280 MeV, was sehr eng an dem Wert des PDG liegt. Dieser Peak ist so scharf, da es sich hier im simulierte Daten handelt. In Wirklichkeit sollte der Peak breiter gefächert sein.

4.2 invariante Masse der B-Mesonen in echten Daten

Als nächstes wird die invariante Masse der echten B-Mesonen rekonstruiert. Hierzu wird zunächst eine Vorselektion durchgeführt um den oben genannten Endzustand zu verwenden. Dazu verwenden die folgenden Schnitte.

- 1. $\mathtt{H1_isMuon} = \mathrm{False}$
- $2.~{\tt H1_ProbPi} < 0.5$
- 3. H1 ProbK > 0.5

Diese Schnitte werden analog auch für Tochterteilchen 2 und 3 angewandt. Die Verteilungen der Wahrscheinlichkeiten ob ein Endzustandsteilchen ein Kaon oder Pion ist werden geplottet um die Schnitte auf H1_ProbK und H1_ProbPi schärfer zu machen falls nötig.

Dies hat zur Folge, dass sehr viel Statistik Im Signal verloren geht und noch ziemlich viel Hintergrund vorhanden ist. Deswegen werden die Schnitte wie oben belassen. Anschließend wird, wie schon bei den simulierten Daten, die invariante Masse der B-Mesonen berechnet. Diese ist in Abbildung $\ref{Mesonen}$ dargestellt. Um den Massenplot für die \ref{B}^- von den \ref{B}^+ -Mesonen zu separieren werden die Ladung der Tochterteilchen multipliziert. Ist das Produkt +1,wird das Ereignis zu den \ref{B}^- gezählt, andernfalls zu den \ref{B}^+ .