

# VU Research Portal

## Measurement of CP Violation in Mixing and Decay of Strange Beauty Mesons

van Leerdam, J.

2016

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

van Leerdam, J. (2016). *Measurement of CP Violation in Mixing and Decay of Strange Beauty Mesons*.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

# Samenvatting

## Meting van CP-schending in het vermengen en vervallen van vreemde schoonheidmesonen

Ondanks dat het Standaardmodel van de deeltjesfysica een juiste en nauwkeurige beschrijving geeft van de interacties tussen elementaire deeltjes, heeft het meerdere tekortkomingen. Om een completere beschrijving van de natuur te vinden, worden deeltjesinteracties getest op afwijkingen van voorspellingen door het Standaardmodel, welke een indicatie zouden geven van de manier waarop het model moet worden uitgebreid. Het LHCb experiment bij de “Large Hadron Collider” van CERN zoekt naar dit soort afwijkingen in de beschrijving van het verval van deeltjes.

In het bijzonder wordt in het LHCb experiment het verval bestudeerd van gebonden toestanden van schoonheid- en vreemdquarks, of “vreemde schoonheidmesonen”. De combinatie van antischoonheid en vreemd is een  $B_s^0$  meson, terwijl schoonheid en antivreemd het bijbehorende antideeltje vormen, aangeduid met  $\bar{B}_s^0$ .

Een belangrijke eigenschap van deze deeltjes is dat ze in elkaar kunnen overgaan. Dit geeft een gemengd systeem van een deeltje en zijn antideeltje. Een  $B_s^0$  meson evolueert in de tijd en kan of een  $B_s^0$  of een  $\bar{B}_s^0$  meson zijn op het moment dat het vervalt in andere deeltjes. Op dezelfde manier kan een deeltje dat is geproduceerd als  $\bar{B}_s^0$  meson vervallen als een  $B_s^0$  meson.

Met name de modus van verval in een  $J/\psi$  meson en een  $\phi(1020)$  meson is interessant. Deze modus is mogelijk voor zowel  $B_s^0$  als  $\bar{B}_s^0$ . Er zijn daardoor twee mogelijke vervalpaden voor ieder van de twee aanvankelijke deeltjes. In een van de paden gaat het vervallende deeltje eerst over in zijn antideeltje en vervalt vervolgens naar de  $J/\psi \phi$  eindtoestand. In het andere pad vervalt het aanvankelijke deeltje direct naar deze toestand.

Het Standaardmodel voorspelt dat dit proces van vermengen en vervallen bijna gelijk verloopt voor  $B_s^0$  en  $\bar{B}_s^0$ . Metingen laten zien dat het verschil in de snelheden van de overgangen van  $B_s^0$  naar  $\bar{B}_s^0$  en vice versa erg klein is. Ook de snelheden van de vervallen naar de  $J/\psi \phi$  toestand zijn naar verwachting bijna gelijk. Deze overeenkomst tussen materie en antimaterie staat bekend als *CP-symmetrie*.

Bijdragen van deeltjesinteracties die niet worden beschreven door het Standaardmodel zouden de mate waarin CP-symmetrie wordt geschonden in het  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$  proces kunnen vergroten. Met name zou er een verschil kunnen ontstaan tussen de complexe fases van de waarschijnlijkheidsamplitudes van de  $B_s^0$ - $\bar{B}_s^0$  mengovergangen. In het algemeen leidt dit niet tot CP-schending, omdat de waarschijnlijkheid van een proces alleen afhangt van de absolute waarde van de bijbehorende waarschijnlijkheidsamplitude. In dit geval is de amplitude echter een som van de interfererende bijdragen van de twee vervalpaden. De relatieve fases van deze bijdragen hebben wel invloed op de absolute waarde van de som en dit leidt tot een waarneembaar verschil tussen de  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$  en  $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$  processen.

Deze vorm van CP-schending in de interferentie tussen vervalpaden met en zonder vermenging wordt gemeten door de verdeling van de tijd tussen de productie en het verval van  $B_s^0$  en/of  $\bar{B}_s^0$  mesonen te bestuderen. Zonder CP-schending is deze verdeling gegeven door de som van twee exponentiële bijdragen met een klein verschil in gemiddelde levensduur. CP-schending introduceert een oscillatie op deze exponentiële vorm met een amplitude die een tegengesteld teken heeft voor aanvankelijke  $B_s^0$  en  $\bar{B}_s^0$  mesonen.

In het LHCb experiment worden  $B_s^0$  en  $\bar{B}_s^0$  mesonen in overvloed en in gelijke hoeveelheden geproduceerd in de proton–proton botsingen van de “Large Hadron Collider”. Vervallen naar  $J/\psi \phi$  gevolgd door de vervallen van het  $J/\psi$  meson naar twee muonen en het  $\phi$  meson naar twee kaonen worden geselecteerd door te eisen dat het patroon van deze muonen en kaonen in de detector overeenkomt met deze vervalketen.

De geproduceerde  $B_s^0$  en  $\bar{B}_s^0$  mesonen hebben een gemiddelde levensduur van ongeveer 1,5 ps, waardoor ze typische afstanden van enkele millimeters afleggen voor hun verval. Deze afstanden worden gemeten door de posities te bepalen van de proton–proton botsing en het gezamenlijke punt van oorsprong van de muonen en kaonen. Door ook de meting van de gecombineerde impuls van de vervaldeeltjes mee te nemen, kan de tijd tussen productie en verval van het oorspronkelijke meson worden afgeleid.

De vorm van de verdeling van vervaltijden wordt gemodelleerd en het resulterende model wordt gefit aan de gemeten verdeling om de waarden van parameters in het model te bepalen. Parameters die CP-schending beschrijven, bepalen de amplitude van de oscillatie in de vervaltijd. De frequentie van de oscillatie en de levensduren van de twee exponentiële vervallen worden bepaald door parameters die het gekoppelde  $B_s^0 - \bar{B}_s^0$  systeem beschrijven.

Het vervalmodel beschrijft verschillende vormen van CP-schending, die in deze meting voor het eerst individueel worden gemeten voor de drie verschillende impulsmomenttoestanden van het  $J/\psi \phi$  systeem. Naar verwachting bestaan er kleine verschillen tussen de bijdragen van deze toestanden, die belangrijk worden in een precisiemeting van CP-schending. De bijdragen worden gescheiden door de meting van de hoeken tussen de impulsrichtingen van de vier deeltjes in de eindtoestand mee te nemen in het model. Dit geeft een vierdimensionale verdeling van de vervaltijd en drie vervalhoeken.

Om de gemeten verdeling van deze variabelen te kunnen beschrijven, worden experimentele effecten als detectie- en selectie-efficiënties en resoluties van metingen meegenomen in het model. Ook wordt rekening gehouden met het feit dat de waargenomen verdeling een som is van  $B_s^0$  en  $\bar{B}_s^0$  vervallen. Onzekerheden in de inschattingen van deze experimentele effecten leiden tot systematische onzekerheden in de parameterschattingen, naast de statistische onzekerheden die worden geassocieerd met de grootte van de verzameling vervallen.

De gemeten verdeling van tijd en hoeken is opgebouwd uit ongeveer negentigduizend vervallen, die verzameld zijn in de jaren 2011 en 2012. Schattingen van de parameterwaarden met deze data komen overeen met de voorspellingen van het Standaardmodel, gegeven de experimentele onzekerheden. Deze resultaten laten zien dat potentiële bijdragen van buiten het Standaardmodel aan het vermengen en vervallen in het  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$  proces kleiner zijn dan de huidige experimentele nauwkeurigheid.

Een verbetering in nauwkeurigheid met een orde van grootte wordt verwacht met toekomstige data van het LHCb experiment. Dit biedt nieuwe mogelijkheden voor het meten van afwijkingen van voorspellingen van het Standaardmodel met  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$  vervallen. De meting met deze grotere verzameling vervallen vereist enige verbetering in de experimentele procedure om systematische onzekerheden kleiner te houden dan statistische onzekerheden.

Het overnemen van de nieuwe strategie van het individueel meten van

CP-schending voor de verschillende impulsmomenttoestanden van het  $J/\psi \phi$  systeem, zou het mogelijk maken om toekomstige precisie-metingen te interpreteren in een raamwerk van metingen en theoretische berekeningen van verschillende meson vervallen. Een dergelijke gecombineerde analyse wordt waarschijnlijk nodig om te kunnen omgaan met beperkingen in theoretische voorspellingen van CP-schendingparameters. Door het combineren van deze experimentele en theoretische analyses kan de meting van CP-schending in het vermengen en vervallen van vreemde schoonheidmesonen potentieel een belangrijke rol blijven spelen in de zoektocht naar een completere beschrijving van de natuur.