

# VU Research Portal

## Asymmetries in mixed beauty decays

de Vries, J.A.

2018

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

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

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

de Vries, J. A. (2018). *Asymmetries in mixed beauty decays*.

### **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)

### **Onbalans in het universum**

Alles om ons heen bestaat uit kleine deeltjes. Deze deeltjes vormen de atomen en moleculen waar alles in het universum uit is opgebouwd. Deeltjesfysica draait om het bestuderen van deze deeltjes en hun wisselwerkingen. De deeltjes die we om ons heen vinden, zijn opgebouwd uit de lichte  $u$  en  $d$  quarks, en begrijpen we inmiddels redelijk goed. Er zijn echter ook nog andere deeltjes, die vooral een rol speelden in het vroege universum. Een voorbeeld zijn de zware beauty quarks ( $b$ ), die tijdens de afkoeling van het universum na de oerknal vervallen zijn in lichtere deeltjes. Al deze bekende deeltjes en hun wisselwerkingen worden beschreven met het succesvolle standaardmodel (SM) van de deeltjesfysica. Sinds het begin van de 20ste eeuw weten we dat van alle deeltjes in het SM ook een soort spiegelbeeldversies bestaan, die antideeltjes worden genoemd. Deze werden aanvankelijk als zeer zeldzaam ervaren, maar uit onderzoek blijkt dat bij processen die materie voortbrengen uit energie — zoals bij de oerknal — de hoeveelheden deeltjes en antideeltjes altijd in balans zijn. Vandaag de dag is antimaterie niet zo bijzonder meer, en heeft bijvoorbeeld toepassingen in het ziekenhuis. De vraag is dan ook waarom alles in het universum opgebouwd lijkt te zijn uit materie, en waarom antimaterie zo zelden gezien wordt. Het begrijpen waar deze onbalans vandaan komt zal inzicht bieden in de natuurwetten die een rol spelen bij de geboorte van het universum.

### ***CP* schending**

In de zwakke interactie van het SM is een klein verschil tussen materie en antimaterie. Dit effect heet *CP* schending, maar is te klein om het geobserveerde verschil tussen de hoeveelheden materie en antimaterie in het universum te verklaren. De bijdrage van nieuwe deeltjes en/of krachten, die nog niet beschreven worden door het SM, kan de hoeveelheid *CP* schending vergroten en biedt een mogelijke verklaring. Het feit dat deze deeltjes nog niet gezien zijn, betekent waarschijnlijk dat ze erg zwaar zijn, en dat het veel energie vergt om deze te produceren. De zoektocht naar directe productie van nieuwe deeltjes in hoog-energetische botsingen is een manier om nieuwe fysica te vinden. Ook wordt verwacht dat nieuwe deeltjes een invloed uitoefenen op reeds bekende processen in het SM, via interferentie van zogeheten “kwantumlussen”. Bijdragen van nieuwe deeltjes aan deze processen kunnen worden gevonden door precies gemeten waarden te vergelijken met de voorspellingen. Het voordeel van kwantumlussen is dat de nieuwe deeltjes niet direct geproduceerd hoeven te worden, en zodanig een gevoeligheid voor nieuwe deeltjes

met zeer hoge massa's — tot ordes van grootte hoger dan de beschikbare energie in de botsingen — bereikt wordt.

In deze dissertatie is gekeken naar het proces waarin zware deeltjes, neutrale  $B$  mesonen, via kwantumlussen veranderen in anti- $B$  mesonen,  $B \rightarrow \bar{B}$ . Dit proces heet mixing. Volgens het SM gaat mixing de ene kant op bijna even snel als andersom,  $\bar{B} \rightarrow B$ , en dus is de asymmetrie in dit proces,

$$a_{\text{sl}} = \frac{P(\bar{B} \rightarrow B) - P(B \rightarrow \bar{B})}{P(\bar{B} \rightarrow B) + P(B \rightarrow \bar{B})},$$

bij de huidige experimentele gevoeligheid bij goede benadering gelijk aan nul. Er zijn twee soorten  $B$  mesonen, de  $B^0$  (bevat een  $\bar{b}$  en  $d$  quark) en  $B_s^0$  (bevat een  $\bar{b}$  en een  $s$  quark). Indien de bijbehorende asymmetry, genaamd  $a_{\text{sl}}^d$  resp.  $a_{\text{sl}}^s$ , niet nul is spreekt men van  $CP$  schending in mixing in dat systeem.

In 2011 kwam het D0 experiment met een gecombineerde meting van  $a_{\text{sl}}^d$  en  $a_{\text{sl}}^s$ , die afweek van nul met een significantie van bijna 4 standaard deviaties. Dit is een serieuze hint dat er nieuwe deeltjes zijn die een rol spelen in dit proces. De manier waarop deze meting gedaan is, staat echter toe dat andere bijdragen naast die van  $a_{\text{sl}}^d$  en  $a_{\text{sl}}^s$  kunnen zorgen voor deze afwijking. Er is een individuele meting van  $a_{\text{sl}}^d$  en  $a_{\text{sl}}^s$  nodig met hoge precisie — met een onzekerheid van een paar promille — om duidelijkheid te scheppen waar deze afwijking vandaan komt.

### Het LHCb experiment

De Large Hadron Collider (LHC) is een deeltjesversneller die in staat is om zowel de energie als de intensiteit te leveren die nodig is om deze metingen te doen. Protonen worden versneld in een 27 kilometer lange ring tot een paar gigaelectronvolt (GeV) aan energie, voordat ze op elkaar botsen. Hierbij ontstaan onder andere  $B^0$  en  $B_s^0$  mesonen. Na een korte levensduur van  $1.5 \times 10^{-12} s$  vervallen deze  $B$  mesonen. Dit verval gaat hoofdzakelijk naar een  $D$  meson, muon en een neutrino:  $D_{(s)}^- \mu^+ \nu_\mu$ . De anti- $B$  mesonen vervallen naar  $D_{(s)}^+ \mu^- \bar{\nu}_\mu$ . Het neutrino ontsnapt in beide vervallen aan de waarneming, maar het  $D$  meson en het muon worden gedetecteerd door de LHCb detector, die gespecialiseerd is in het reconstrueren van de vervallen van  $B$  mesonen. In totaal zijn er een paar miljoen  $B^0$  en  $B_s^0$  mesonen gemeten tijdens de jaren 2011 en 2012, welke zijn gebruikt in deze analyses.

### Het meten van asymmetrieën

Er zijn verschillende achtergronden die een bijdrage geven tijdens de reconstructie van de  $B^0$  en  $B_s^0$  deeltjes. De meest belangrijke hiervan vinden hun oorsprong niet in misreconstructies, maar in daadwerkelijke fysische vervallen van andere deeltjes. Deze verminderen de gevoeligheid van de analyses voor  $a_{\text{sl}}^d$  en  $a_{\text{sl}}^s$ , en kunnen bovendien de waarde van de gemeten asymmetrie verschuiven, in het geval dat er een inherente asymmetrie in de achtergrondvervallen aanwezig is. Dit kan bijvoorbeeld komen door  $CP$  schending in deze achtergrondvervallen, of door een asymmetrie in de productie van deze deeltjes en

---

hun antideeltjes in de proton-proton botsingen. De grootte van deze bijdragen en hun asymmetrieën zijn reeds gemeten in andere analyses, en de efficiëntie van de reconstructie van deze vervallen in de huidige analyses is bestudeerd met simulaties.

Daarnaast is het bij het meten van de asymmetrie tussen  $B$  en  $\bar{B}$  vervallen van belang dat de efficiëntie om beide vervallen waar te nemen, hetzelfde is. Dit is niet direct het geval, vanwege onder meer een verschil in de interactie van deeltjes en antideeltjes met het materiaal van de LHCb detector. Mogelijke oorzaken van zogeheten detectieasymmetrieën zijn geïdentificeerd, en vervolgens nauwkeurig gekwantificeerd met kalibratiekanalen.

## Resultaten

De gemeten  $CP$  asymmetrieën, na inachtneming van het bovenstaande, zijn

$$\begin{aligned} a_{\text{sl}}^d &= (-0.02 \pm 0.19 \pm 0.30)\%, \\ a_{\text{sl}}^s &= (0.39 \pm 0.26 \pm 0.20)\%, \end{aligned}$$

waarbij de eerste fout statistisch is, en de tweede komt door systematische onzekerheden in de meting. Dit zijn tot nu toe de meest nauwkeurig gemeten waarden van  $a_{\text{sl}}^d$  en  $a_{\text{sl}}^s$  ter wereld. Deze getallen zijn compatibel met de waarden van het SM, en slecht te vergelijken met de afwijkende waarde van D0, zoals te zien is in Figuur [D.1](#). Dit betekent dat  $CP$  schending in mixing alleen deze afwijking niet kan verklaren. Mogelijk zijn andere bronnen van asymmetrieën die een bijdrage leveren hier over het hoofd gezien, zowel binnen het SM als mogelijke nieuwe fysica.

De verwachting is dat het LHCb experiment in de komende jaren zeker een factor tien meer data gaat verzamelen dan gebruikt is in deze analyses. De upgrade van de LHCb detector speelt hierin een belangrijke rol. Dit zal de fout op  $a_{\text{sl}}^d$  en  $a_{\text{sl}}^s$  dusdanig verkleinen, dat een ontdekking van nieuwe deeltjes nog steeds tot de mogelijkheden behoort. Hierbij is het van belang om ook andere, complementaire metingen van  $CP$  schending in  $B$  systemen te bestuderen.

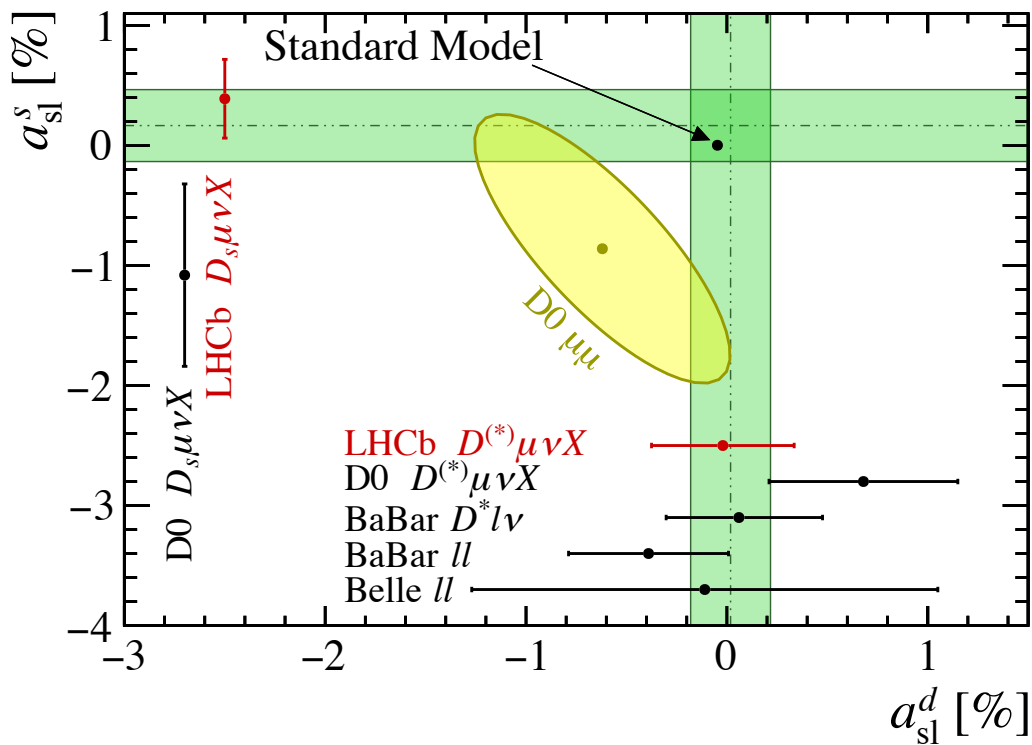


Figure D.1: Overzicht van de  $a_{sl}^d$  en  $a_{sl}^s$  metingen na de LHCb resultaten die gepresenteerd zijn in dit proefschrift, die aangegeven zijn met rode punten. De zwarte punten representeren de metingen van  $a_{sl}^d$  of  $a_{sl}^s$  van andere experimenten. De groene banden geven de gemiddelden van deze metingen van  $a_{sl}^d$  of  $a_{sl}^s$  aan. De SM voorspelling is aangegeven met een stip en een pijl. De afwijkende meting van D0, geïnterpreteerd in termen van  $a_{sl}^d$  en  $a_{sl}^s$ , is aangegeven met de gele ellips.