



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Plan B for particle physics: finding long lived particles at CERN

Bondarenko, K.

Citation

Bondarenko, K. (2018, November 15). *Plan B for particle physics: finding long lived particles at CERN*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/67089>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/67089>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/67089> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Bondarenko, K.

Title: Plan B for particle physics: finding long lived particles at CERN

Issue Date: 2018-11-15

Samenvatting

Het succes van het Standaardmodel heeft een hoogtepunt bereikt met de bevestiging van een van zijn belangrijkste voorspellingen - de ontdekking van het Higgsboson. De zoektocht naar nieuwe deeltjes is echter niet gestopt. De waargenomen en onverklaarde fenomenen in de deeltjesfysica en kosmologie (zoals de neutrino massa's en oscillaties, donkere materie en baryon asymmetrie in het Universum) geven een indicatie dat er nieuwe deeltjes kunnen bestaan buiten het Standaardmodel. Desondanks zijn deze deeltjes tot nu toe niet waargenomen. Een mogelijke reden is dat deze deeltjes te zwaar zijn om gecreëerd te worden in deeltjesversnellers. Hierdoor is de bouw van grotere deeltjesversnellers die het *Energiefront* overschrijden het voornaamste aandachtspunt in de deeltjesfysica geworden.

Een andere mogelijkheid is dat de hypothetische deeltjes licht genoeg zijn (lichter dan het Higgsboson en het W-boson) om een interactie aan te gaan met deeltjes van het Standaardmodel op een wijze die vergelijkbaar, maar veel zwakker, is dan die van neutrino's. Om het mogelijke bestaan van hele lichte deeltjes te verkennen, besteedt de wetenschappelijke gemeenschap ook aandacht aan experimenten aan het *Intensiteitsfront*. Zulke experimenten richten zich op het opwekken van deeltjesbundels met hoge intensiteit en maken gebruik van grote detectoren in de zoektocht naar zeldzame interacties van hypothetische deeltjes die een zwakke interactie vertonen. Naast het uitvoeren van experimenten, zijn er in de afgelopen jaren ook een aantal nieuwe projecten voorgesteld die zoeken naar lichte deeltjes met een zwakke interactie in deeltjesversnellers over de hele wereld. Het CERN Management erkent het belang van de verkenning van het Intensiteitsfront en heeft in 2016 een studiegroep gecreëerd die zich toelegt op het analyseren van de potentie van zoektochten naar nieuwe deeltjes bij CERN buiten de LHC.

In dit proefschrift hebben wij de vooruitzichten van twee voorgestelde experimenten in CERN verkend, die beide voornamelijk gewijd zijn aan de zoektocht naar deeltjes buiten het Standaardmodel. Het eerste experiment is *SHiP* (Search for Hidden Particles), dat gebruik maakt van een stationair doel en de protonenbundel van het Super Proton Synchrotron (SPS). Het tweede experiment is *MATHUSLA* (MAssive Timing Hodoscope for Ultra Stable neutral pArticles), een oppervlakte detector naast het ATLAS of CMS experiment. Beide experimenten zijn gevoelig voor vergelijkbare delen van de parameter ruimte. Daarom is het van belang om hun wetenschappelijke waarde af te wegen op een consistente en objectieve manier.

In dit proefschrift hebben wij ons geconcentreerd op enkele, goed-gemotiveerde uitbreidingen van het Standaardmodel, inclusief de ‘heavy neutral leptons’ (neutrino-achtige Majorana fermionen met een zwakke interactie en een massa van de orde van 1 GeV) en Higgs-achtige singulet scalars. Deze deeltjes kunnen direct verantwoordelijk zijn voor een aantal fenomenen buiten het Standaardmodel, of als poorten dienen die het Standaardmodel verbinden met oplossingen van de waargenomen fenomenen. Voor beide uitbreidingen hebben wij de fenomenologie van hun productie en detectie herzien, waarbij rekening is gehouden met de vereisten van de twee genoemde experimenten. Dit laatste aspect is niet gedaan in eerdere studies. Onze resultaten zijn geschikt voor gevoeligheidsanalyses van deeltjesfysica experimenten (van proton beam-dump tot de LHC) die gericht zijn op het zoeken naar deeltjes die als poorten dienen. Ze worden met name gebruikt door de SHiP samenwerking voor de officiële gevoeligheidsanalyses.

Wij hebben gebruik gemaakt van gedetailleerde Monte-Carlo simulaties van de productie en het verval van de genoemde deeltjes en dit aangevuld met onderzoek naar achtergrond deeltjes om het wetenschappelijke werkingsgebied in te schatten. We hebben de officiële software van het SHiP experiment - FairSHiP - uitgebreid. Hier hebben we onze bevindingen voor de productie en detectie van ‘heavy neutral leptons’ in SHiP geïmplementeerd. De resulterende gevoeligheidscurves zijn gebruikt in twee officiële artikelen van de SHiP samenwerking.

In de nieuwe aanpak zijn, o.a., het aantal productie en verval kanalen uitgebreid, wat ons in staat heeft gesteld het gevoeligheidsbereik van SHiP te verbeteren om zo een consistente vergelijking te maken met het bereik van MATHUSLA, waarbij indentieke benaderingen zijn gebruikt. We hebben bovendien een nieuwe en effectieve manier voorgesteld om de 4-dimensionale parameter ruimte van ‘heavy neutral leptons’ te scannen om zo gevoeligheidsgebieden te indentificeren voor arbitraire koppelingen. Dit op aandringen van meerdere onderzoeksgroepen; het is cruciaal om de vraag *Welke modellen van leptogenesis kunnen direct onderzocht worden in deeltjesfysica experimenten?* te kunnen beantwoorden.

Ten slotte hebben wij de extensie van SHiP - iSHiP - onderzocht. iSHiP is oorspronkelijk ontworpen om de eigenschappen van τ -neutrinos te onderzoeken, maar is ook geschikt voor het detecteren van lichte donkere-materie deeltjes (leden van de ‘donkere sector’ die geproduceerd zijn via de scalar poort).

De volgende European Strategy for Particle Physics wordt in mei 2020 geformuleerd. De volgende generatie van Intensiteitsfront-experimenten is een van de agendapunten. Ongeacht welk Intensiteitsfront-experiment wordt goedgekeurd, zullen de resultaten van dit proefschrift gebruikt worden door veel theoriegroepen, experimentele samenwerkingen, de experts van de European Strategy for Particle Physics enzovoort. De SHiP samenwerking is bovendien bezig met het samenstellen van het *Comprehensive Design Report* - een officieel document dat het ontwerp van het experiment compleet vastlegt. De resultaten van dit proefschrift maken daar onderdeel van uit.