



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Probing new physics in the laboratory and in space

Ovchynnikov, M.

Citation

Ovchynnikov, M. (2021, December 14). *Probing new physics in the laboratory and in space. Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3247187>

Version: Publisher's Version

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3247187>

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

Samenvatting

In de 20e eeuw hebben pogingen om een aantal verschijnselen in de deeltjesfysica te verklaren, samen met twee wetenschappelijke revoluties (de speciale relativiteitstheorie en de kwantummechanica), geresulteerd in de ontwikkeling van het Standaardmodel van de deeltjesfysica (SM). De huidige status van het SM is dubbel. Aan de ene kant is het SM extreem succesvol in het zeer nauwkeurig beschrijven van talloze deeltjesfysica-experimenten bij versnellers. Aan de andere kant slaagt het SM er niet in om verschillende bevestigde fenomenen te verklaren die bekend staan als Buiten het Standaardmodel (BSM) verschijnselen: donkere materie in het heelal, neutrino-oscillaties en de oorsprong van de materie-antimaterie asymmetrie in het heelal. Al deze fenomenen suggereren dat het SM moet worden uitgebreid.

Helaas zeggen deze BSM-fenomenen niets over de precieze manier waarop het SM moet worden uitgebreid: veel verschillende extensies kunnen de BSM-fenomenen evengoed verklaren. Om aanwijzingen te vinden waar te gaan zoeken, moeten wij observationele tekens bestuderen die kunnen worden veroorzaakt door verschillende uitbreidingen van het SM. Dit proefschrift is toegewijd aan het bestuderen van twee zulke zoekopdrachten: in deeltjes experimenten en in kosmologische waarnemingen. De twee benaderingen zijn complementair: deeltjes versnellers onderzoeken deeltjes met een korte levensduur en kosmologische waarnemingen kunnen ons iets vertellen over langlevende deeltjes.

Bij deeltjesversnellers kunnen de nieuwe deeltjes worden geproduceerd en vervolgens worden onderzocht, met name door hun verval of verstrooiing. Om het bereik in de parameter-ruimte voor toekomstige experimenten te kunnen definiëren, is het belangrijk om resultaten te bestuderen die voortkwamen uit eerdere experimenten. Voor dit doeleinde, hebben wij de resultaten van het oude experiment CHARM opnieuw geanalyseerd, in de context van een model met zware neutrale leptonen (HNL's). Dit is een uitbreiding waar nieuwe zware fermionen worden toegevoegd aan het SM die mogelijk direct verantwoordelijk zijn voor alle BSM-verschijnselen. Wij hebben geconstateerd dat eerdere gepubliceerde resultaten voor HNL's met CHARM met twee ordes van grootte werden onderschat (afhankelijk van de eigenschappen van HNL's). Vervolgens hebben wij gekeken naar zogenaamde 'displaced vertices' in de Large Hadron Collider (LHC), waar wij hun potentieel hebben bestudeerd om verval van verschillende deeltjes met een zwakke interactie (FIP's) te onderzoeken. Vanwege de korte afstand tussen het FIP-productiepunt en het vervalvolume, van de orde $l_{\min} = \mathcal{O}(\text{mm})$, kan zo een zoekactie de kloof in de parameterruimte van FIP's die zijn uitgesloten door eerdere experimenten dichten en het

domein dat kan worden onderzocht met toekomstige experimenten, die grotere $l_{\min} \gtrsim 1$ m hebben. In het bijzonder, hebben wij voor het eerst het potentieel van de muon-tracker bij de CMS bestudeerd om naar FIP's te zoeken, met als voorbeelden HNL's, Higgs-achtige scalars en Chern-Simons-portalen. Vervolgens hebben wij FIP-verstrooiing overwogen en onderzocht hoe verstrooiing van FIP's met hadronen kan worden onderscheiden van SM-neutrinoverstrooiing, afhankelijk van de massa van een deeltje dat de verstrooiing bemiddelt. Met deze signalen hebben wij het bereik geschat van SND@LHC (een recent goedgekeurd experiment bij de LHC) voor het model van lichte donkere materie dat via het leptofobe portaal een interactie ondergaat met SM-deeltjes.

Kosmologie bepaalt doorgaans de ondergrens voor de koppelingen van FIP's. De belangrijkste waarnemingen voor FIP's met een korte levensduur zijn BBN en CMB, die mogelijk gevoelig zijn voor FIP's met een levensduur van slechts aantal $\times 10^{-2}$ s. Wij hebben ontdekt dat lichte, langlevende mesonen zoals $\pi^\pm$ en $K^{\pm/0}$ protonen efficiënt omzetten in neutronen. Dit kan leiden tot een significante toename van de hoeveelheid ^4He als dergelijke mesonen aanwezig zijn in het primordiaal plasma met temperaturen onder 1.5 MeV. Met behulp van analytische technieken hebben wij met dit effect een modelonafhankelijke limiet aan FIP-levensduren afgeleid. Een belangrijke parameter die verandert door FIP's met een korte levensduur en die de CMB kan beïnvloeden, is het effectieve aantal aan vrijheidsgraden N_{eff} . Bij het bestuderen van de impact van zware FIP's met $m_{\text{FIP}} \gg T$ op N_{eff} , hebben wij ontdekt dat FIP's met een levensduur van $\tau_{\text{FIP}} \lesssim 0.1$ s een afname van N_{eff} kunnen veroorzaken, zelfs als ze grotendeels vervallen in neutrino's. Dit is te wijten aan het feit dat neutrino's, die gecreëerd zijn door het verval van FIP's, het grootste deel van hun energie opslaan in de EM-plasma tijdens hun thermalisatie.

Ten slotte hebben wij deze modelonafhankelijke resultaten toegepast in het geval van HNL's. Wij hebben hun kosmologische productie bestudeerd en rekening gehouden met de parameterruimte van HNL's die ofwel nooit in thermisch evenwicht zijn gekomen, of erin zijn gekomen en vervolgens zijn ontkoppeld. Vervolgens hebben wij limieten afgeleid van BBN van ongeveer $\tau_N \lesssim 0.02$ s. Dit is een factor vijf sterker dan wat eerder in de literatuur is vermeld en wat verkregen is met de CMB. Ten slotte, hebben wij geconcludeerd dat HNL's met massa's $m_N \gtrsim 70$ MeV N_{eff} kunnen verminderen.