

4. félévi beszámoló

Seller Károly, karoly.seller@ttk.elte.hu
Részecskefizika és csillagászat program
Témavezető: Trócsányi Zoltán

Dolgozat címe: Cosmological constraints on a $U(1)$ extension of the standard model

1. Bevezetés

Doktori tanulmányaim kezdetével témát váltottam, és a Trócsányi Zoltán által vezetett, újonnan alakult részecskefizikai fenomenológia csoporthoz (<http://pppheno.elte.hu/>) csatlakoztam egyetlen doktori hallgatóként, 3 poszt-doktori kutató mellett. A feladatomban a Trócsányi Zoltán által javasolt $U(1)$ kiterjesztett standard model (*superweak model*) kozmológiai vizsgálata, főként a sötét anyag szemszögéből. Ehhez szükségem volt a részecskefizikai kozmológiában használatos módszerek elsajátítására és a modell részletes megismerésére, hogy a sötét anyag sűrűségére felírható dinamikai egyenleteket a modell keretein belül meg tudjam oldani, és következtetéseket tudjak tenni a megengedett paraméterterre.

2. Kutatási eredmények ismertetése

Első három félév

Mesterszak után témát váltottam, ezért az első félévben teljesen a részecskefizikai kozmológiában használt ismeretek elsajátítására fókuszáltam. Ennek részeként heti rendszerességgel a csoportgyűlésünkön beszámoltam az előrehaladásomról előadások keretében, amikor is megbeszéltük, és közösen próbáltuk megismerni az irodalmat a csoport többi tagjával együtt. A félév végére az alapokat elsajátítva már tudtam reprodukálni a témában közölt cikkeket és eredményeket.

A második félévben a kutatásom két irányba fókuszált. Először is tovább mélyítettem az ismereteimet a témakörben, részben az első félévben talált finom kérdésekre való válaszok megkeresésével, részben pedig a megjelenő egyenletek mélyebb megértésével, és alapelvekből való levezetésével. Ennek részeként sok cikket dolgoztam fel, amelyekből a jellemzően használt közelítéseket is megismertem, és saját programok segítségével hasonlítottam össze eredményeket a publikációkban szereplőkkel. Mindezek következtében egy megbízható keretrendszerrel dolgoztam ki magamban egy kozmológiai modell felépítésével, és tárgyalásával kapcsolatban. Másrésztől elkezdtem foglalkozni a kutatási témámban szereplő $U(1)$ kiterjesztett standard modell vizsgálatával. A modell részletes megismerése után a sötét anyag jelölt neutrínó kölcsönhatásaira fókuszáltam, és kiszámoltam több

bomlási rátát és hatáskeresztmetszetet, amelyek centrális elemei a kozmológiában használt Boltzmann egyenletnek. A második félév végére az építőkövek megvoltak a sötét anyag sűrűségének szimulációjára a modell keretein belül.

A harmadik félévben már csak az U(1) modellre koncentráltam, és próbáltam letapogatni a paraméterteret azon megkötéssel, hogy a jobbkezes neutrínó visszaadja a kísérletileg elérhető sötét anyag sűrűségeket. Előzetes elméleti számolások alapján megmutattam, hogy nem csak a általánosan használatos *freeze-in* mechanizmus, hanem a kísérletileg jobban elérhető *freeze-out* sincs teljesen kizárva a modellben. Az első mechanizmus feltétele, hogy a sötét anyag soha ne érje el az egyensúlyi állapotát, és sűrűsége az Univerzum történelme alatt nagyon alacsony maradjon. Ennek hátránya, hogy rendkívül kis csatolásokat igényel a látható és a sötét szektor között, tipikusan $g_x \lesssim 10^{-10}$, ami kísérletileg jelenleg nem elérhető. Az utóbbi mechanizmus ennek az ellenkezőjét teszi fel: a sötét anyag egyensúlyban volt a kozmikus plazmával és csak későn, $T \sim m_{\text{DM}}$ hőmérsékleten csatolódik le véges sűrűséggel, ami azután konstans marad („kifagy”). Ennek a mechanizmusnak az előnye, hogy viszonylag nagy csatolásokat igényel, ami akár kísérletileg is vizsgálható, kimutatható vagy kizárható. Azonban jellemzően a várt csatolások olyan nagynak adódnak, hogy már ismert kísérleti adatok kizárják ezt a lehetőséget. A rezonáns keltés kihasználásával, tehát amikor kihasználjuk a rezonancia feltételt a hatáskeresztmetszetekben, a mértécsatolás értéke lecsökken, és a kísérleti felső korlátok alá esik. A harmadik félévben ezen két mechanizmust vizsgáltam, és mutattam meg, hogy a modellben mindkét sötét anyag keletkezési mechanizmus lehetséges, bár nagyon különböző paraméterek (csatolás és jobbkezes neutrínó tömeg) mellett.

Negyedik félév

A negyedik félévre kezdtek körvonalazódni a sötét anyag számolások következtetései, és a születendő cikk is kezdett formát öltetni. A félév kezdetére már egy kezdetleges változatban a fő eredményeket meg is fogalmaztam. A negyedik félév elején a cikk megírásával foglalkoztam, valamint a kísérleti korlátok megismerésével, és alkalmazásával a modellünkre. Természetesen ezek a korlátok csak a freeze-out mechanizmusra vonatkoznak. Egyrészt az elektron anomális mágneses momentumára vonatkozó eredményeket használtam fel, ami egy korlátot ad a mértékbozon tömeg – csatolás $\{M_{Z'}, g_z\}$ síkon. Ehhez ki kellett számolnom a Z' bozon járulékát az anomális mágneses momentumhoz, és összevetnem a kísérleti eredményekkel. Mint kiderült, ennél súlyosabb megkötést adnak az NA64 kísérlet eredményei. Ez a kísérlet sötét fotonok keltését keresi a bremsstrahlung folyamat segítségével. Mivel a kísérlet folyamán kevés olyan folyamatot láttak, amely láthatatlan részecskékre utalna, ezért egy erős megkötést tudtak adni a sötét foton modellekre, egy kísérleti korlátot a sötét foton tömegére és az úgynevezett kinetikus keveredési szögére. Mivel utóbbi nem egy természetes paramétere a modellünknek, ezt a korlátot transzformálnom kellett az eddig is használt tömeg – csatolás síkra. Bár ez egy erősebb korlátot adott, a rezonáns freeze-out mechanizmus még így sem teljesen kizárható. A témában írt cikk eredményeinek számolásait márciusra fejeztem be, és a cikk április közepén jelent meg az arXiv-on.

3. Publikáció, konferencia

Az U(1) modellben végzett számolásaim alapján a legkönnyebb jobbkezes neutrínó egy lehetséges sötét anyag részecske. Az eredményeimről cikk született Trócsányi Zoltán és

Sho Iwamoto társszerzőkkel. A cikk április 22-én jelent meg az arXiv-on (arXiv:2104.1124, vagy cím lent) és április végén küldtük be publikálásra a *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* újságba. Utóbbtól egyelőre nem érkezett válasz.

<https://arxiv.org/abs/2104.11248>

A negyedik félév során egy online konferencián (Physics Days, 2021, University of Jyväskylä) vettem részt, ahol posztert mutattam be az eredményeimről. A készített poszterem elérhető a konferencia honlapján az 1. poszter szekcióban a *Particle Physics and Cosmology* témakör alatt. Link elérhető itt, vagy az alábbi címen.

<https://www.jyu.fi/en/congress/physicsdays2021>

A negyedik félév elején, február első hetében részt vettem az Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT) iskoláján, aminek témája a standard modellen túli fizika volt. Az iskolán nem csak diákként vettem részt, hanem két előadást is tartottam, egyet általános sötét anyag kozmológiáról, és a másodikat ennek az alkalmazásáról az U(1) modellben. Az előadásom videófelvevétele és diasora megtalálható az iskola honlapján itt, vagy az alábbi címen.

<http://hector.elte.hu/iskola20/>

4. Tanulmányok

A negyedik félévben két egyetemi órán vettem részt. Egyrésze a *Standard modellen túl* órát végeztem el, ami az említett februári ELFT iskolán alapult. Másrésze a *Rácstérelmélet I.* órát vettem fel, és végeztem el.