

3. félévi beszámoló

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

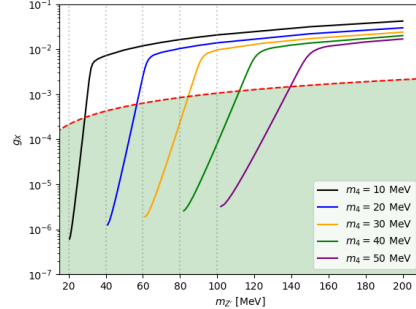
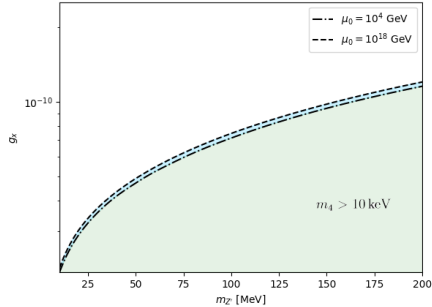
Dolgozat címe: Cosmological constraints on a $U(1)$ extension of the standard model

1. Kutatás

A 3. félévben folytattam a $\mathbf{G}_{\text{SM}} \otimes U(1)'$ kiterjesztett részecskefizikai modell vizsgálatát kozmológiai szempontból, fókuszálva a sötét anyag mibenlétére. A modellben szereplő jobbkezes neutrínók közül a legkönnyebb (jelölje őt N_4) lehetséges jelölt erre a feladatra, hiszen stabil (élettartama hosszabb lehet, mint az Univerzum életkora) részecskeként tekinthetünk rá.

A modell vizsgálatához a kozmológiai Boltzmann egyenletet kell megoldanunk, mely leírja az adott részecskék számának a változását az Univerzum fejlődése során, feltéve hogy ismerjük a lehetséges részecskefizikai folyamatokat, melyek megváltoztathatták azt. Az egyenlet paraméterei némiképp függenek a sötét anyag keletkezésének folyamatától, de általánosságban a következők: a jobbkezes neutrínó tömege (m_4), az új mérték bozon Z' tömege ($m_{Z'}$), az új csatolási állandó (g_x) és az $U(1)_Y \otimes U(1)'$ szimmetriák közötti keveredés paramétere k (a keveredés mértéke $\sim kg_x$, ezért k nem feltétlenül kicsi, $k \lesssim \mathcal{O}(10^{-1})$ paraméter).

A sötét anyag megmagyarázásához két fő nem-egyensúlyi képződési folyamatot különítünk el: ezek a ki- illetve befagyás (freeze-out, freeze-in). Az első opció esetén N_4 nagy hőmérsékleten ($T > m_4$) egyensúlyban van a kozmikus plazmával (azaz a standard model részecskéivel), majd $T \simeq 0.1m_4$ környékén lecsatolódik, amint azok a folyamatok, melyek a standard modell részecskéihez csatolták őket, legyengülnek a Hubble táguláshoz képest (a lecsatolódási hőmérséklet T_{dec} közelíthető a $\Gamma(T_{\text{dec}})/H(T_{\text{dec}}) = 1$ szerint).



(a) Befagyási paramétertartomány (b) Kifagyási paramétertartomány

1. ábra. A megfelelő sötét anyag sűrűséget – $\Omega_{\text{DM}} = 0.265$ – reprodukáló paramétertartományok a $\mathbf{G}_{\text{SM}} \otimes \text{U}(1)'$ modellben.

Kifagyási folyamat esetén a mérvadó részecskefizikai kölcsönhatás a sötét anyag részecskéinek annihilációja standard model részecskékre. A második opciónál a kifagyással ellentétben a sötét anyag nincs kémiai egyensúlyban a standard model részecskéivel. Ez akkor lehetséges, ha kezdetben (infláció lezártaival, $T = T_{\text{rh}}$) a részecskesűrűség 0, vagy nagyon kicsi volt az egyensúlyi eloszláshoz képest. Ilyenkor a meghatározó folyamatok azok a bomlások, melyek a sötét anyag részecskéit képzik, míg a lecsatolódnási hőmérséklet a legkönnyebb jobbkezes neutrínókra bomló részecske tömegével arányos.

A két kozmológiai folyamat különböző paramétertéren érdekes, főként a csatolási állandót tekintve. Kifagyás esetén a részecskéket egyensúlyban kell tartani alacsony hőmérsékletekig, ezért általában $g_x \lesssim \mathcal{O}(10^{-2})$ szükséges. Befagyás esetén azonban pont az ellenkező a cél, azt akarjuk, hogy a sötét anyag részecskéi sose érhék el a kémiai egyensúlyt, ehhez nagyon kis csatolás szükséges, $g_x \lesssim \mathcal{O}(10^{-10})$.

Jelen kutatás során az új mérték bozont könnyűnek választottuk, $m_{Z'} = \mathcal{O}(10)$ MeV. A jobbkezes neutrínónak kifagyás esetén $m_4 = \mathcal{O}(1)$ MeV tartományban kell lennie, míg befagyáshoz $m_4 = \mathcal{O}(1 - 10)$ keV tömeget használtuk. Az utolsó paraméter, a keveredés k értéke nem nagyon befolyásolja az eredményeket, ezért rögzíthetjük, például $k = 0.1$.

A Boltzmann egyenletek megoldását összehasonlítva a sötét anyag sűrűségének ismert kísérletileg meghatározott értékével ($\Omega_{\text{DM}} = 0.265$), ábrázolhatjuk a megfelelő paramétertartományokat mindkét lehetséges folyamat esetén, ezt láthatjuk az 1. ábrán. Látható, hogy a lehetséges csatolások több

nagyságrendben különböznek.

A befagyási paramétertartomány 1a. ábrája egyszerűen értelmezhető, a görbe alatti zöld tartomány megengedett $m_4 > 10$ keV jobbkezes neutrínó tömegek esetén. A behúzott vonalak $m_4 = 10$ keV mellett készültek, két szélsőséges k értékre (k összefüggésben van a μ_0 egyesítési skálával, aminek értékeit feltüntettük az ábrán a két esetre).

A kifagyás 1b. ábráján két különböző viselkedés látható az $m_{Z'}/m_4$ arány értékének függvényében: amikor az arány közel 2, akkor a rezonancia miatt az annihiláció termikus hatáskeresztmetszete nagy, és kisebb csatolás kell a megfelelő sűrűségek eléréséhez. Amikor viszont ez az arány kisebb, akkor a rezonancia eltűnik, és a szükséges csatolások fel nőnek (ez a tartomány látható az ábrán a görbék lapos felén). Mivel a rezonancia nagyon keskeny, $\Gamma \propto g_x^2 \sim 10^{-8}$, ezért a rezonáns annihiláció gyorsan eltűnik az $m_{Z'}/m_4$ arány növelésével (a görbék meredek része). Itt a piros szaggatott vonal az elektron mágneses momentumának méréséből származó korlátot adja meg, azaz a zöld tartomány az ezen kísérlet által nem kizárható paraméterter.

A kutatási eredményekből cikk írása folyamatban van, várhatóan egy hónapon belül beküldésre kész állapotban lesz.

2. Tanulmányok

Ebben a félévben két doktori órán vettem részt: részecskefizikai detektor-rendszerek és asztro-részecskefizika. Előbbit Pásztor Gabriella és Veres Gábor tartották, vizsga még nem volt. Utóbbi egy új óra volt, amit Trócsányi Zoltánnal közösen terveztünk. Célja a kutatási témám és a részecskefizikai kozmológia haladóbb szintű ismertetése volt a hallgatósággal. Az előadásokat javarészt én tartottam, kozmológiai inflációval kapcsolatban Debrecenből Péli Zoltán volt meghívva két előadás erejéig. Az előadásból terjedelmes angol nyelvű jegyzet született.

Oktatás tekintetében az előbb említett előadáson kívül a kvantummechanika A gyakorlatot Vona Istvánnal együtt tartottuk a BSc harmadéves hallgatóinak. A különleges félévre hivatkozva idén közös megegyezés alapján nem volt zárthelyi dolgozat, hanem házi feladatokon múlt a jegyszerzés. A személyes megnyilvánulás érdekében minden hallgatónak ezen kívül egy projekt-feladatot is meg kellett oldania, amiről szóban beszélgettünk mindenkivel egyesével. A projekteket az előre megadott 4 téma közül választhatták, melyekhez a kiírásban megoldási segítséget és útmutatást adtunk. Vissza-

jelzések alapján a hallgatók pozitívan értékelték ezt a jegyszerzési utat a zárthelyi dolgozatokkal szemben.

A múlt félévben a vírus miatt elmaradt ELFT nyári iskolája megrendezésre kerül idén február 1-5 között, ahol továbbra is két előadást fogok tartani a kozmológia témakörében.