Eötvös Loránd Tudományegyetem
Fizika Doktori Iskola
Részecskefizika és Csillagászat Program

1. félévi beszámoló

Zsóka Szilárd
e-mail:szilard.zs@gmail.com
Témavezető: Dr. Cynolter Gábor

A dolgozat címe: "A Standard Model kiterjesztéseinek vizsgálata"

1. Bevezetés

A Standard Model(SM), mely egyesíti az erős és az elektrogyenge kölcsönhatást meglepően nagy pontossággal írja le a világ számos pontján működő részecskegyorsítókban lezajló részecskefizikai folyamatokat. Maga a model egy renormálható spontán sértett mértékelmélet ellátva egy $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ csoport struktúrával.

A Brout-Englert-Higgs (továbbiakban Higgs) mechanizmus segítségével sikeresen magyarázza, hogyan nyernek tömeget a fundamentális részecskék. Ugyanakkor számos megfigyelés (sötét anyag és energia kérdése, infláció, anyag-antianyag aszimmetria) arra enged következtetni, hogy a model kiterjesztésre szorul. A mesterszakos szakdolgozatomban melynek angol címe "*Extension of the Standard Model and the Higgs Sector*" volt, a Standard Model egyszerű kiterjesztéseit vizsgáltam, melyet a sötét anyag mibenléte motivált. Ezen vizsgálatokat folytattam a doktori iskola első félévében.

2. A elvégzett kutatás ismertetése

Modellek, melyek leírhatják a Standard Model-en túli fizikát általában nagy számú új részecskét és paramétert eredményeznek. Ugyanakkor a gyorsítókban elvégzett kísérletekben nem látunk új részecskéket. Ez megnehezíti, hogy korlátokat adjuk az elméletek paraméter terére.

Effektív elméletek célravezetők lehetnek, ugyanis jól használhatók egy bizonyos energia skála alatt, független utat kínálva arra, hogy vizsgálhassuk és összehasonlíthassuk a különböző elméletekből származó jóslatokat.

Vannak olyan folyamatok azonban, melyek hatáskeresztmetszete növekszik a tömegközépponti energia növekedésével, ezzel sértve az unitaritást valamilyen energiaskála felett. Így az effektív leírás értelmét veszti.

Ilyen folyamatok vizsgálata segíthet meghatározni az effektív modellek érvényességi skáláját és megszoríthatják a paraméterek értékeit. Ehhez a vizsgálathoz egy erős eszköz a pertubatív unitaritás. A vizsgálatokhoz az S-mátrixok unitaritását használtam fel, ami lefordítható szórási amplitúdókra minden rendben.

A félév során két-részecskék szórási folyamatokat vizsgáltam, ahol a szórási amplitúdók függnek a szórási szögtől és az energiától. A szórási amplitúdók ismeretével meghatároztam a nulladik parciális hullám együtthatókat, melynek definíciója

$$a_0 = \frac{1}{32\pi} \int_{-1}^{1} d\left(\cos\theta\right) \mathcal{M} \tag{1}$$

ahol $\mathcal{M}$ a szórási amplitúdó. Az unitaritás megköveteléséből felső korlátot igyekeztem adni a mezők közötti csatolási állandókra.

$$\mathrm{Re}\left(a_0\right) \leq \frac{1}{2}$$

2.1. Szinglet skalár sötét anyag

A vizsgálataim legegyszerűbb modelljében azt feltételeztem, hogy az ismeretlen sötét anyag egy tömeges valós skalármező, amely kölcsönhat a Standard Model-beli Higgs-mezővel. A modellt leíró Lagrange sűrűség:

$$\begin{aligned}\mathcal{L} = {} & \partial_\mu H^\dagger \partial^\mu H - \mu^2 H^\dagger H - \frac{\lambda_H}{4!}\left(H^\dagger H\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\partial_\mu S\right)^2 \\ & - \frac{1}{2} m_S^2 S^2 - \frac{\lambda_S}{4!} S^4 - \lambda_{SH} H^\dagger H S^2\end{aligned}$$

A szimmetriasértést követően a modellben az alábbi vegyes kölcsönhatási tagok találhatók:

$$\mathcal{L}_{\mathrm{int}} = -\lambda_{SH} v h S^2 - \frac{\lambda_{SH}}{2} h^2 S^2 \tag{2}$$

A modellben csak a fagráf szintű összefüggő gráfokat vettem figyelembe, melyekre meghatároztam a parciális hullám együtthatókat:

$$a_0 = -\frac{\lambda_{SH}^2 v^2}{4\pi s} \log\left(1 + \frac{s}{m_S^2}\right)$$

$$a_0 = -\frac{\lambda_{SH}}{8\pi}$$

Az unitaritás segítségével kaptam egy felső korlátot a csatolási állandóra.

$$\lambda_{SH} \leq 4\pi \tag{3}$$

2.2. U(1) sötét anyag

A vizsgálatok további részében azt feltételeztem, hogy az ismeretlen sötét anyag egy tömegtelen U(1) vektormező, amely kölcsönhatva a Standard Model-beli Higgs-mezővel tömeget kap. A modellt leíró Lagrange sűrűség:

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + |D_\mu H|^2 - \mu^2 H^\dagger H - \frac{\lambda_H}{4!}\left(H^\dagger H\right)^2 \tag{4}$$

ahol D_μ a

$$D_\mu = \partial_\mu + ig_A A_\mu$$

kovariáns deriválás, melyben g_A a Higgs-U(1) mező közötti csatolási állandó. Az U(1) mező a kölcsönhatás során tömeget nyer. Szimmetriasértés után a mezők kölcsönhatásai:

$$\mathcal{L}_{\text{int}} = \frac{g_A^2}{2}A_\mu g^{\mu\nu}A_\nu A_\nu h^2 + g_A^2 v A_\mu g^{\mu\nu} A_\nu h \tag{5}$$

A kölcsönhatási folyamatoknál két-két részecskés szórási folyamatokat vizsgáltam nagy energián fagráf szinten. A szórási amplitúdók meghatározásához a következő Feynman-gráfokat kellett figyelembe venni.

Az [1] ábrán látható fagráf szintű Feynman-gráfokat analitikusan számoltam ki, melyek eredményei a következők.

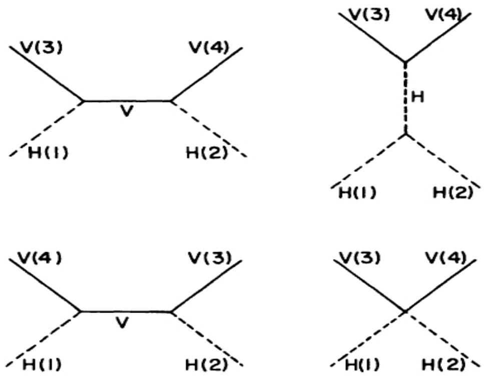
$$M\left(hh \to AA\right) = \frac{g_A^2}{M_A^2}s \tag{6}$$

$$M\left(hh \to h \to AA\right) = \frac{3}{2}\frac{g_A^2}{M_A^2}\frac{M_H^2 v}{M_W}\frac{s}{s - M_H^2} \tag{7}$$

$$M\left(hh \to A \to AA\right) = -\frac{g_A^4 v^2}{M_A^2}\left(\frac{2s}{t - M_A^2} + \frac{1}{M_A^2}\frac{t^2}{t - M_A^2}\right) \tag{8}$$

$$M\left(hh \to A \to AA\right) = -\frac{g_A^4 v^2}{M_A^2}\left(\frac{2s}{u - M_A^2} + \frac{1}{M_A^2}\frac{u^2}{u - M_A^2}\right) \tag{9}$$

Itt szintén meghatározhatók a nulladik parciális hullám együtthatók, melyek meghatározása később várható.



1. ábra. Két részecskés fagráf szintű szórási folyamatok az U(1) sötét anyag modellben. A szaggatott vonalak a Higgs-bozont, míg a folytonos vonalak az U(1) mérték bozont reprezentálják.

3. Oktatási tevékenység

A félév során témavezetőm dr. Cynolter Gábor által tartott fizika alapszakos "*Elméleti mechanika*" másodéves előadás gyakorlatát oktattam heti kétszer 45 percben.

4. Tanulmányi tevékenység

A félév során a következő előadásokat végeztem el:

1. Integrálható módszerek a mérték/gravitáció dualitásban I., oktató: Dr. Bajnok Zoltán
2. Szolitonok és Instantonok II. oktató: Dr. Palla László