

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Fizika Doktori Iskola

Részecskefizika és Csillagászat Program

3. félévi beszámoló

Zsóka Szilárd

e-mail: szilard.zs1992@gmail.com

Témavezető: Dr. Szabados László Benő (MTA Wigner Fizikai
Kutatóközpont)

A dolgozat címe: "Megoldások az Einstein konformisan csatolt Higgs
kozmológiai modellekben"

1. Elmélet ismertetése

Roger Penrose [1] konform ciklikus kozmológia modellje (CCC) szerint az Univerzumunk Friedmann-Robertson-Walker (FLW) téridők sorozata, azaz az egyik téridő múltbeli konformis határa hozzáilleszhető egy másik jövőbeli konformis határához egy megfelelő konformis átskálázás után.

Az egyes FLW téridők metrikus tenzorát megszorozza egy konformis faktor Ω négyzete, ami nullához közelít az időszerű végtelenben, ezzel "összepréselve" a jövőbeli konformis határt egy reguláris térszerű hiperfelületté (pozitív kozmológiai állandó esetén). Penrose az FLW téridők sorozatának egyes tagjait aenoknak hívja.

Jelenlegi tudásunk szerint a Standard Modell (SM) leptonjai, valamint a gyenge mérték bozonok (W^\pm , Z) a Brout-Englert-Higgs mechanizmus (röviden Higgs-mechanizmus) által nyernek tömeget, ha a Higgs-mező szimmetria sértő vákuum állapotokkal rendelkezik. Azért, hogy ilyen állapotok kialakuljanak a Higgs-mezőnek nem zérus tömeg paraméterrel és önkölcsönhatással kell rendelkeznie. A Higgs-mező tömeg paramétere az egyetlen dimenziós paramétere a modellnek. Maga a Higgs-mechanizmus egy tisztán kinematikai jelenség, hiszen levezetéséhez semmilyen evolúciós egyenletre nincs szükség.

Ha alkalmazzuk a CCC modellt a SM-re akkor minden fizikai mezőnek az aenok közötti átmeneti térszerű hiperfelületen zérus tömegűnek kellett lennie. Tehát valamilyen dinamikai folyamat során el kellett veszíteniük a tömegüket az előző aenban, majd újra tömeget nyertek a Big Bang után a mi aenunkban. Témavezetőm Dr. Szabados László az Einstein-konformisan

csatolt Standard Modell (EccSM) klasszikus t erelm elet et vizsgálta, melyben a gravitációhoz konformisan csatolva jelenik meg a Higgs-mező [2].

Jelenlegi kutatási feladatomban a Einstein-konformisan csatolt Higgs (EccH) rendszer vizsgálata FLW szimmetria jelenlétében. Ha megköveteljük, hogy az EccSM rendszerben szereplő mezők legyenek invariánsak a téridő izometriáira, akkor minden spinor vagy vektor indexel ellátott mezőnek el kell tűnnie, valamint a Higgs-mező és annak kanonikus momentuma állandó kell, hogy legyen a Σ_t hiperfelületen. Az EccH modell dinamikájáért felelős Lagrange-sűrűség:

$$\mathcal{L}_{EccH} = \frac{1}{2}g^{ab}(\nabla_a\Phi)(\nabla_b\Phi) - \frac{1}{2}\mu^2\Phi^2 - \frac{1}{4}\lambda\Phi^4 - \frac{1}{12}R\Phi^2. \quad (1)$$

A rendszerhez tartozó hatás variálásával kapjuk a Higgs-mező mozgás egyenletét FLW szimmetria jelentében,

$$\ddot{\Phi} + 3\frac{\dot{S}}{S}\dot{\Phi} = -\left(\mu^2 + \frac{2}{3}\Lambda\right)\Phi - \left(\lambda + \frac{1}{6}\kappa\mu^2\right)\Phi^3. \quad (2)$$

Témavezetőm és munkatársam Wolf György megoldották az egyenletek hatványsor segítségével aszimptotikusan negyed rendig a kezdeti szingularitáshoz közel [3]. A numerikus vizsgálatoknak köszönhetően úgy tűnik létezhetnek olyan szinguláris megoldások is, melyek nem közelíthetők hatványsorral.

2. Kutatás

A félév során az EccH rendszer egyenleteinek vizsgálatával töltöttem, melyek egy másodrendű nemlineáris differenciálegyenlet-rendszert alkotnak. A probléma nemlineáris jellege igen megnehezíti a vizsgálatokat. Szakirodalomban nem különösebben elemzi ezen rendszerek általánosabb vizsgálatát. Tehát a másodrendű egyenletek visszaírtuk egy elsőrendű differenciálegyenletekből álló rendszerre a következő változók bevezetésével,

$$\begin{aligned} \Pi &= \dot{\Phi} - \frac{1}{3}\chi\Phi \\ \chi &= 3\frac{\dot{S}}{S} \end{aligned}$$

ahol Π a Φ Higgs-mezőhöz kanonikusan konjugált impulzus, χ pedig a Σ_t hiperfelületek külső görbületének nyoma. Az új változókkal felírva model

egyenlet-rendszerre a következő:

$$\dot{\Phi} = \Pi - \frac{1}{3}\chi\Phi \quad (3)$$

$$\dot{\Pi} = -\frac{2}{3}\Pi\chi - \left(\mu^2 + \frac{\Lambda}{3} - \frac{1}{9}\chi^2\right)\Phi - \lambda\Phi^3 - \frac{1}{3}\kappa\varepsilon\Phi \quad (4)$$

$$\dot{S} = \frac{1}{3}\chi S \quad (5)$$

$$\dot{\chi} = 3\frac{k}{S^2} + \frac{1}{2}\kappa\mu^2\Phi^2 - 2\kappa\varepsilon \quad (6)$$

$$0 = \mathcal{C} = \frac{1}{3}\chi^2 + 3\frac{k}{S^2} - \Lambda - \kappa\varepsilon \quad (7)$$

A korábbi vizsgálatok [arXiv: 1603.06997v3] feltárták, hogy az elméletben két jelentős fizikai szingularitás lép fel: $\Phi^2 \rightarrow \infty, S \rightarrow 0$ Big Bang szingularitás, valamint mikor $\Phi^2 \rightarrow \sqrt{\frac{6}{\kappa}}, S \rightarrow 0$, Small Bang szingularitás. Feladatom ezen egyenlet-rendszer megoldása ezen szingularitások közelében.

Ehhez a kritikus pont analízist használtam, mely nemlineáris dinamikai rendszerek vizsgálatánál alkalmazható. Azonban az elméletben szereplő szingularitásokra nem alkalmazható a differenciálegyenletek elméletében definiált kritikus pont fogalma. Így jelenleg használható matematikai módszerek felkutatása a feladatom.

3. Oktatási tevékenység

Az őszi félévben az *Elméleti mechanika B* gyakorlatot tartottam heti kétszer 45 percben. Az egyetemi oktatás mellett TDK felkészítést tartok Dila Csongor 10. osztályos gimnáziumi tanulónak az *Általános Relativitáselmélet* témakörében "*Bolygó pályák vizsgálata a Newtoni- és az Einsteini gravitációelméletben*" címmel.

4. Konferenciák

Október 3 és 6 között Skopje,Észak Macedóniában tartott "1st Physics for Physics" konferenciáján adtam elő *Solutions in the Einstein-conformally coupled Higgs cosmological models* témában.

5. Referenciák

1. R. Penrose, *Cycles of Time*, The Bodley Head, London 2010, ISBN 9780224080361
2. L. B. Szabados, Gravity, as a classical regulator for the Higgs field, and the genesis of rest masses and electric charge, arXiv: 1603.06997v3
3. L. B. Szabados, Gy. Wolf, Singularities in Einstein-conformally coupled Higgs cosmological models, arXiv: 1802.00774