

4. félévi beszámoló
(2023/2024-es tanév II. félév)

Kompakt csillagok modellezése modern tudományos módszerekkel

Horváth Anna (horvath.anna@wigner.hun-ren.hu)

Csillagászat és Űrfizika PhD program

Témavezetők: Barnaföldi Gergely Gábor
Forgács-Dajka Emese

Bevezető

Korábbi kutatásaim folytatásaként továbbfejlesztettem a neutroncsillagok szimulálására írt programot; új funkciókkal egészítettem ki. Ezen vizsgálódás fókuszában a csillagok szerkezeti modellezése állt egy extra dimenziós térióban [1-3]. Emellett elkezdtem egy új kutatási irányt, melyben a kompakt csillag belsejét leíró állapotegyenlet viselkedését vizsgálom erős gravitációs környezetben [7].

Félévben elvégzett kutatások

A kompakt csillag szimulációim elsődleges célja a maximálisan lehetséges objektumtömeg meghatározása, mely megszorításokat ad az állapotegyenletet leíró elmélet paramétereire asztrofizikai mérésekkel összehasonlítva [4-6]. A korábban vizsgált paraméterek mellett (a részecskék közötti taszító kölcsönhatás erősségét jellemző ξ paraméter [3], valamint az extra kompaktifikált dimenzió mérete, r_c [2]) vizsgáltam az extra dimenziók számának növelését is, illetve annak hatását a kapott eredményekre. A használt elméleti modell többféle módon is kibővíthető extra dimenziókkal, így nem csak egy, hanem több különböző lehetséges módot is figyelembe vettem a numerikus számítások során.

Foglalkoztam az állapotegyenlet elméleti leírásának részleteivel, illetve a térelméleti modell különböző interpretációival, azok egymásnak való megfeleltetésével. Az ötödik extra kompaktifikált dimenzió bevezetése értelmezhető a einsteini gravitációelmélet módosításaként, vagy egy új szabadsági fok bevezetéséeként. A Kaluza–Klein metrika a következő alakban írható fel

$$(\hat{g}_{AB}) = \begin{pmatrix} g_{\alpha\beta} + \kappa^2 \phi^2 A_\alpha A_\beta & \kappa \phi^2 A_\alpha \\ \kappa \phi^2 A_\beta & \phi^2 \end{pmatrix},$$

ahol g_{AB} az 5D, $g_{\alpha\beta}$ pedig a szokásos 4D metrika, melyhez az ötödik dimenzió hatásaként hozzáadódik még egy ϕ skalármezőnek megfeleltethető tag, valamint az A_α négyesvektor, melynek komponensei az elektrodinamikai skalár- és vektorpotenciáloknak feleltethetőek meg [8].

További érdekes kérdés, hogy az erős gravitációs tér módosítja-e, illetve, ha igen, hogyan módosítja a fázisteret, azon keresztül pedig a termodinamikai potenciált, valamint az állapotváltozókat [7-8]. Vizsgáltam a Schwarzschild-megoldást az extra térdimenzió

bevezetése mellett, valamint a geodetikus egyenlet viselkedését. A félév során az HUN-REN Kutatói Mobilitási Program keretein belül egy hónapos külföldi kollaborációt végeztem dr. Aneta Wojnarral a spanyolországi *Complutense University of Madrid* intézmény elméleti fizika osztályán. Az intézményben a kutatási témámról szemináriumi előadást is tartottam. A kiutazás során az 1+3+1 dimenziós téridő ADM formalizmusával foglalkoztunk, illetve az extra dimenzió kvantumtérelméleti leírásának klasszikus közelítésével. A kutatás alatt megkezdtük egy kézirat összeállítását, a munka jelenleg is folytatódik, valamint további kollaboráció várható.

A doktori tanulmányaim, kutatásaim mellett a félév során részt vettem a Wigner Tudományos Számítási Laboratórium (WSCLAB) egy projektjében, ahol kutatás-fejlesztéssel foglalkoztunk. A cél egy mérési műszer kidolgozása, tesztelése, fejlesztése volt. Emellett szintén a WSCLAB keretein belül hamarosan beküldésre kerül egy cikkünk, melyben nemlineáris optikai közegben való hullámterjedést modelleztünk és vizsgáltunk gépi tanulás segítségével.

Publikációk

Nemlineáris optika témában hamarosan beküldésre kerül egy kéziratunk, ami gépi tanulás segítségével ad predikciókat fizikai paraméterekre.

Szintén hamarosan beküldésre kerül egy cikk a mérési eredmények alapján kompaktifikált extra dimenziók méretére adható megszorításokkal kapcsolatban. Emellett a kollaboráció keretében elkezdtük egy elméleti kézirat összeállítását, amely az állapotegyenletet elméleti leírását vizsgálja.

Előadás

A félévben a külföldi kollaborációm során szemináriumi előadást tartottam a *Complutense University of Madrid* intézményben *Studying 5D spacetime with compact stars* címmel.

Tanulmányi tevékenység

Az ELTÉ-n a félév során a *Gravitációshullám-asztrófizika* tárgyat hallgattam, melyet jeles eredménnyel végeztem el. Ezzel teljesítettem a doktori képzés során elvárt tantárgyi követelményeket.

Pályázatok

Jelenleg az ELTE DKÖP pályázat támogatója vagyok, valamint elnyertem az HUN-REN Kutatói Mobilitási Program pályázatát, mely utóbbi keretében a spanyolországi *Complutense University of Madrid* egyetemen végeztem a kompakt csillagok belsejének leírásával kapcsolatos elméleti kutatást egy hónapos kiutazás során.

Hivatkozások

[1] Norman K. Glendenning, „Compact Stars: Nuclear Physics, Particle Physics and General Relativity” (1997) <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0491-3>

- [2] G.G. Barnafoldi, P. Levai, B. Lukacs, „Searching Extra Dimensions in Compact Stars" (2007) <https://doi.org/10.48550/arXiv.0706.0378>
- [3] J. Zimányi, B. Lukács, P. Lévai, J.P. Bondorf, N.L. Balazs, „An interpretable family of equations of state for dense hadronic matter", Nuclear Physics A, Volume 484, Issues 3–4, 1988, Pages 647-660, ISSN 0375-9474 [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(88\)90314-4](https://doi.org/10.1016/0375-9474(88)90314-4)
- [4] F. Özel, P. Freire: “Masses, Radii, and Equation of State of Neutron Stars”, arXiv:1603.02698 (2016)
- [5] H.T. Cromartie et al., Nat. Astron. 4, 72 (2019)
- [6] J. Antoniadis et al., Science 340, 1233232 (2013)
- [7] A. Wojnar, „Fermi gas and modified gravity”, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.04023> (2023)
- [8] J.M. Overduin, P.S. Wesson, „Kaluza–Klein Gravity”, <https://doi.org/10.48550/arXiv.gr-qc/9805018> (1998)
- [9] A. Horváth, B. Bámer, G. G. Barnaföldi, „Numerical simulation of mirages above water bodies”, *American Journal of Physics*, <https://doi.org/10.1119/5.0111635> (2023)