

2. félévi beszámoló
(2022/2023-as tanév II. félév)

Kompakt csillagok modellezése modern tudományos módszerekkel

Horváth Anna (horvath.anna@wigner.hu)

Csillagászat és Űrfizika PhD program

Témavezetők: Barnaföldi Gergely Gábor
Forgács-Dajka Emese

Bevezető

A félév során folytattam előző félévben megkezdett kutatásomat, mely a kompakt csillagok (pulzárok, magnetárok) szimulációja numerikus módszerekkel. A cél a nukleáris anyag viselkedésének és tulajdonságainak meghatározása az ezen objektumokban jelen lévő, extrém körülmények között. Jelenleg az állapotegyenletet egy extra kompaktifikált térdimenzió bevezetése mellett vizsgálom. (Ld.: 1. féléves beszámoló.)

Félévben elvégzett kutatások

Továbbfejlesztettem az előző félévben megírt programot, mely alkalmas kompakt csillagok felépítésének szimulálására: a központi energiasűrűség függvényében, egy állapotegyenlet megadásával felintegrálja a Tolmann–Oppenheimer–Volkov-egyenletet, így M-R-diagramot, azaz tömeg-sugár görbéket hozva létre [1]. Jelen kutatásom fókuszában az állt, vajon adhatóak-e megszorítások esetleges extra dimenziók [2,3] méretére kompakt csillag megfigyelések alapján.

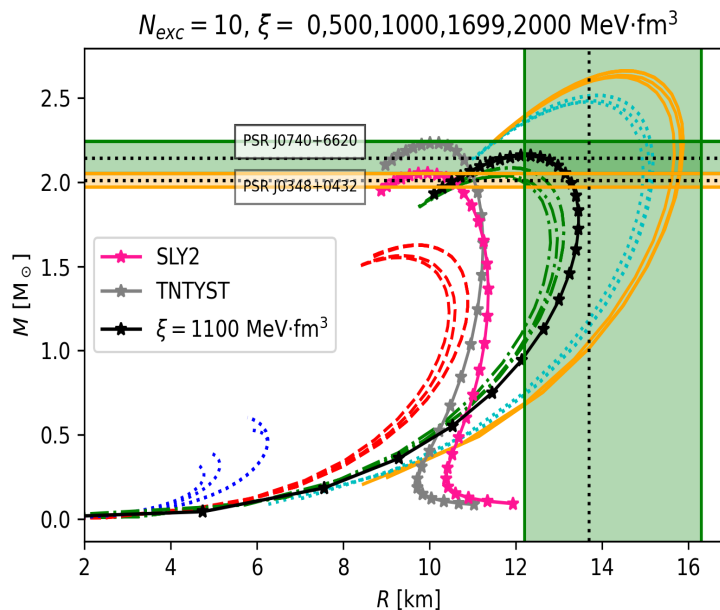
A félév során implementált főbb fejlesztések:

- Adott állapotegyenletből kapható *maximális csillagtömeg* meghatározása:
Ennek a mennyiségnek nagy jelentősége van, hiszen a neutroncsillagok tömegére precíz mérések állnak rendelkezésünkre. Ha egy állapotegyenlettel nem lehet elérni a jelenleg legnagyobb mért tömeget ($\gtrsim 2M_{\odot}$ [4]), akkor az azonnal kizárásra kerül.
- *Hangsebesség* meghatározása az energia függvényében:
A nukleáris anyag, illetve a hozzá tartozó állapotegyenlet tulajdonságainak egyik fő jellemzője a közegben kialakuló hangsebesség adott energiasűrűségen. Segítségével következtetéseket vonhatunk le az anyag kvarkos/hadronikus jellegéről, illetve az állapotegyenlet keménységéről.

Az ábrán különböző állapotegyenletekből [5-8] kapott M-R-görbék összehasonlítása látható mérési eredményekkel [9-11]. A rózsaszín és szürke görbéket kivéve (melyek a <https://compose.obspm.fr/> oldalról származnak) más-más erősségű kölcsönhatásokkal (ξ) és más-más méretű extra kompaktifikált dimenzióval ($r_c = 0.01, 0.1, 0.33, 0.66, 1$ fm) létrehozott állapotegyenletekből kapható M-R-görbéket láthatunk.

A doktori kutatás mellett a félév során részt vettem a Wigner Tudományos Számítási Laboratórium (WSCLAB) egy projektjében, ahol helyfüggő törésmutatójú, nemlineáris optikai közegben terjedő fényutak numerikus szimulációjával foglalkoztam. Ez az általános relativitáselméletben előforduló modell a számítógépes grafikából ismert sugárkövetés módszerével oldható meg. A modell tesztelését egy klasszikus, természetben is előforduló

jelenség, a délibábok szimulációján keresztül elemeztem. Ezek után gépi tanulás segítségével, a szimulációkat felhasználva a délibábok létrejöttékor releváns fizikai paraméterekre becslés adható.



Publikációk

Délibáb témában elfogadásra került egy kéziratunk az American Journal of Physics-ben: *Numerical simulation of mirages above water bodies*, mely jelenleg szerkesztés alatt áll [12]. Emellett készülöben van egy második cikk, ami gépi tanulás segítségével ad predikciókat fizikai paraméterekre.

Egy a kompakt csillagok szimulálásával, illetve a szimulációk mérési eredményekkel való összehasonlításával kapcsolatos cikk megírása is folyamatban van. Emellett tervben van még egy, ami az extra dimenziók méretére adható megszorításokkal fog foglalkozni. Ezen eredményeket az alábbi konferenciákon már ismertettem.

Konferenciák

A félév során két konferencián vettem részt, illetve egy szemináriumi előadást tartottam az ELTE-n. Ezen felül jelentkeztem még egy konferenciára, ahol szintén kaptam előadást. Az események a következők:

- *AstroPizza*, 2023. április 25.
Helyszín: ELTE
Előadás: *Neutron stars in 1+4D with interacting Fermi gas*
- *Dark Matter and Stars – Multi-Messenger Probes of Dark Matter and Modified Gravity*, 2023. május 3-5.
Helyszín: Portugália, Lisszabon
Előadás: *Constraints on the Size of Extra Compactified Dimensions from Compact Star Observations*
- *Margaret Island Symposium on Particles and Plasmas*, 2023. június 6-9.
Helyszín: Budapest, Margitsziget
Előadás: *Constraints on the Size of Extra Compactified Dimensions from Compact Star Observations*
- *Geometric Foundations of Gravity*, 2023. június 19-23. – jövőbeni

Helyszín: Észtország, Tartu

Előadás: *Constraints on the Size of Extra Compactified Dimensions from Compact Star Observations*

Tanulmányi tevékenység

Az ELTÉ-n a félév során a következő tárgyakat hallgattam:

- Rádiócsillagászat II. (FIZ/5/010)
- A sztandard modellen túl EA (FIZ/2/003E)
- Kompakt csillagok szerkezete (FIZ/5/025)
- Mélytanulás és gépi tanulás a tudományokban (FIZ/3/089)

Részt tervezek venni a július 2. és 15. között megrendezésre kerülő *Carpathian Summer School of Physics 2023* elnevezésű eseményen, melynek helyszíne Románia, Sinaia. Az iskolán a kutatási területemről, illetve ahhoz szorosan kapcsolódó témákról lesz szó.

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. Barnaföldi, 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] A. Sorensen et al., „Dense Nuclear Matter Equation of State from Heavy-Ion Collisions” (2023) <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.13253>

[5] H. Togashi, K. Nakazato, Y. Takehara, S. Yamamuro, H. Suzuki and M. Takano, Nucl. Phys. A 961 (2017) 78

[6] F. Gulminelli and Ad. R. Raduta, arXiv:1504.04493

[7] E. Chabanat, Ph.D. thesis, University Claude Bernard Lyon-1, Lyon, France, 1995

[8] P. Danielewicz et J. Lee, Nucl. Phys. A818, 36 (2009)

[9] M. C. Miller et al 2021 ApJL 918 L28

[10] H.T. Cromartie et al., Nat. Astron. 4, 72 (2019)

[11] J. Antoniadis et al., Science 340, 1233232 (2013)

[12] A. Horváth, B. Bámer, G. G. Barnaföldi, „Numerical simulation of mirages above water bodies” (belüldés: 2022) Elfogadva (2023) az *American Journal of Physics* lap által.