

3. félévi beszámoló  
(2023/2024-es tanév I. félév)

## Kompakt csillagok modellezése modern tudományos módszerekkel

**Horváth Anna** ([horvath.anna@wigner.hun-ren.hu](mailto:horvath.anna@wigner.hun-ren.hu))

Csillagászat és Űrfizika PhD program

Témavezetők: Barnaföldi Gergely Gábor  
Forgács-Dajka Emese

### **Bevezető**

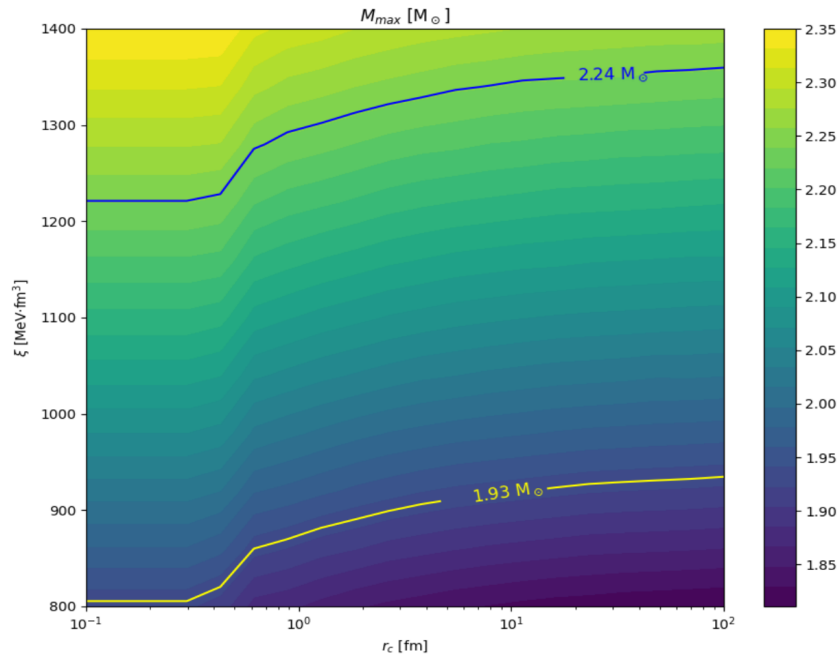
A korábbi félévekben megkezdett kutatásom folytatásaként további fejlesztéseket implementáltam a kompakt csillagok (pulzárak, magnetárok) numerikus szimulációjára szolgáló programomon. A cél továbbra is a nukleáris anyag viselkedésének és tulajdonságainak meghatározása ezen extrém körülmények között. Az állapot- és téregyenleteket egy extra kompaktifikált térdimenzió bevezetése mellett vizsgálom [1-3].

### **Félévben elvégzett kutatások**

Elemzéseket végeztem a kompakt csillagokat szimuláló programom segítségével. Az egyik főbb eredmény a paraméterter feltérképezése volt, melynek során a lehetséges maximális csillagtömeget [4] vizsgáltam az elmélet különböző konstansainak a változtatásával. Az kontúrbrán a két paraméter, melyeknek függvényében a maximális tömeget ábrázoltam, a részecskék közötti taszító kölcsönhatás erősségét jellemző  $\xi$  paraméter [3], valamint az extra kompaktifikált dimenzió mérete,  $r_c$  [2]. A két kiemelt kontúr a legnagyobb tömeggel rendelkező csillagokra vonatkozó észlelési eredmények [5,6] bizonytalanságát mutatja. Mérések alapján tehát ebben a tartományban várjuk a maximális tömeg értékét, ez hasonlítható össze numerikus szimulációkkal.

Ezen felül további fejlesztéseket kiviteleztem a program állapotegyenletet leíró, számoló részével kapcsolatban, különös tekintettel a hangsebesség vizsgálatára és meghatározására, melynek nem triviális függése van az elméletben használt, módosított kémiai potenciáltól. Foglalkoztam ezen túlmenően az állapotegyenlet, illetve a gravitációs tér elméleti leírásának finomításával. Az ötödik extra kompaktifikált dimenzió bevezetése értelmezhető a einsteini gravitációelmélet módosításaként, vagy egy új szabadsági fok bevezetéseként. 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].

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

Nemlineáris optika témában címlapra került egy kéziratunk az *American Journal of Physics*-ben „Numerical simulation of mirages above water bodies” címmel [9]. Emellett hamarosan beküldésre kerül egy második cikk, ami gépi tanulás segítségével ad predikciókat fizikai paraméterekre.

Készülőben van egy cikk a mérési eredmények alapján kompaktifikált extra dimenziók méretére adható megszorításokkal kapcsolatban, illetve tervezünk egy cikket a modell elméleti hátterének vizsgálatával kapcsolatban.

## Konferenciák

Nyáron, illetve a félév során négy konferencián/iskolán vettem részt, melyek a következők:

- *Carpathian Summer School of Physics*, 2023. július 2-15.  
Helyszín: Románia, Sinaia  
Előadás: *Constraints on the Size of Extra Compactified Dimensions from Compact Star Observations*
- *Theory and Experiment in High Energy Physics*, 2023. július 26-28.  
Helyszín: Szlovákia, Pozsony  
Előadás: *Constraints on the Size of Extra Compactified Dimensions from Compact Star Observations*
- Zimányi Winter School, 2023. december 4-8.  
Helyszín: Budapest  
Poszter: *Studying Extra Dimensions in Compact Stars*
- *AAPT Winter Meeting*, 2024. január 6-9.  
Helyszín: USA, Louisiana, New Orleans  
Előadás: *Machine Learning Based Study of Mirages*

Ezekon felül a Kutatók Éjszakáján a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpontban „Mit tud az AI a délibábokról?” címmel ismeretterjesztő előadást tartottam.

## Tanulmányi tevékenység

Az ELTÉ-n a félév során a következő tárgyakat vettem fel:

- Fejezetek a modern égi mechanikából (FIZ/5/053)
- Klasszikus és kvantumoptimalizáció EA (FIZ/3/097)

Illetve bejártam az alábbi kurzusokra (PhD kódon nem vehetőek fel):

- Kozmológia
- Részecske- és nukleáris asztrofizika

## Pályázatok

Elnyertem az ELTE DKÖP, illetve az ELKH Kutatói Mobilitási Program pályázatát, mely utóbbi keretében a spanyolországi Complutense University of Madrid egyetemen tervezek a kompakt csillagok belsejének leírásával kapcsolatos elméleti kutatásokat folytatni.

## 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] 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)