

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

Kutatási témám keretein belül a kompakt csillagok (pulzárak, magnetárok) szimulációját végzem numerikus módszerekkel. Ez a kérdéskör azért rendkívül érdekes, mert ezekben az objektumokban ún. hideg maganyag található nagy nyomáson, ami földi körülmények között nem állítható elő. A részecskegyorsítóknál a QCD fázisdiagramm alacsony sűrűségű, magas hőmérsékletű tartományát tesztelik, ezzel szemben a neutron csillagok az alacsony hőmérsékletű, nagy sűrűségű területen helyezkednek el, így olyan fizikába nyújthatnak betekintést, amit az ütköztetési kísérletek segítségével nem tudunk tanulmányozni.

Egy kompakt csillagban a gravitációnak ellentartó erőt a neutronok degenerációja biztosítja. A valóság azonban nem ilyen egyszerű, hiszen nagy nyomáson a csillag belsejében más barionok is megjelenhetnek például ritkaság tartalommal, de létrejöhetnek különböző szuperfolyadék kondenzátumok, vagy akár kvark-gluon plazma, esetleg sötétanyag-tartalom is. Az anyag emellett struktúrákba rendeződhet, továbbá fontos figyelembe venni a csillag erős mágneses terét, ami nagy mértékben befolyásolja az objektumot alkotó töltött részecskék (pl. protonok, elektronok) viselkedését.

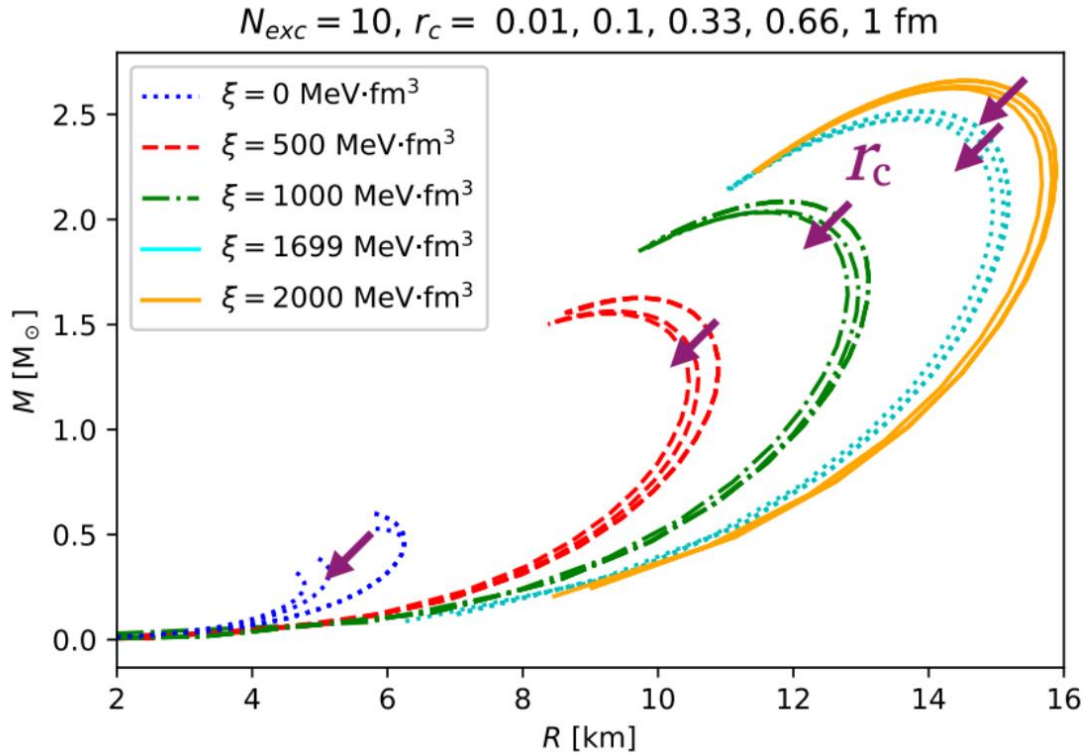
Doktori munkám célja kompakt csillagok szimulálása minél realiztikusabb fizikai leírasmódban, melyből megkapható ezen objektumok két legfontosabb jellemzője: a sugaruk és a tömegük. A numerikus eredmények összehasonlítása az egyre pontosabb mérési adatokkal megszorítást adhat a csillag belsejét jellemző mikroszkopikus tulajdonságokra, ezáltal az azt leíró fizikai modellekre.

Félévben elvégzett kutatások

A félév során szimulációs programot írtam, ami alkalmas csillagok belső szerkezetének modellezésére, a központi energiasűrűség, valamint a felszínen vett minimális nyomás (mint határfeltétel) megadása mellett. Így kiszámítható a kompakt objektum sugara és tömege, így a megvalósuló csillag-konfigurációk M - R -diagramja. A számolás a Tolman–Oppenheimer–Volkov-egyenlet numerikus integrálásával történik, melyhez szükség van az extrém állapotú maganyag állapotegyenletének megadására is, ami megteremti a kapcsolatot az adott sugáron uralkodó nyomás és energiasűrűség értékek között [1]. A szimuláció statikus, gömbszimmetrikus, nem forgó csillagokra alkalmazható.

Az általam készített program fő célja egy olyan elmélet tesztelése, ami feltételezi a szokásos $1+3$ (idő+tér) dimenzió mellett egy $5.$ kompaktifikált térdimenzió létezését: $1+3+1_c$ [2]. Ebben a modellben a részecskék akkor léphetnek be az extra dimenzióba, ha energiájuk elér egy bizonyos értéket, amelyet a dimenzió r_c mérete határoz meg. A részecske impulzusmomentuma az $5.$ dimenzió kompakt voltából kifolyólag kvantált lesz. Ezek a diszkrét értékek megfeleltethetőek a hadronok tömegspektrumának a hagyományos $1+3D$ tárgyalásban.

Kutatásomban többek között azt vizsgáltam, hogyan hat a kompakt csillagok M - R -görbéire az extra dimenzió bevezetése. Ehhez a nulla hőmérsékletű degenerált Fermi-gáz állapotegyenleteit használtam, valamint bevezetésre került egy lineáris taszító jellegű potenciál, ami a részecskék közötti kölcsönhatást modellezi [3]. Az alábbi ábrán néhány kompakt csillag sorozat M - R -görbéje látható különböző nagyságú ξ csatolás esetén, valamint más-más r_c értékekre. A nyilak az extra dimenzió méretnövekedésének irányát mutatják. Az N_{exc} pedig a megengedett gerjesztések száma az 5. dimenzióban.



A doktori kutatás mellett a félev során részt vettem a Wigner Tudományos Számítási Laboratórium (WSCLAB) egy projektjében, ahol helyfüggő törésmutatójú, nemlineáris optikai közegben terjedő fényutak numerikus szimulációjával foglalkoztam. Ezt az általános relativitáselméletben előforduló modellt a számítógépes grafikából ismert sugárkövetés módszerével oldottam meg. A modell tesztelését egy klasszikus, természetben is előforduló jelenség, a délibábok szimulációján keresztül elemeztem. Ezen munkámból egy elfogadott ismeretterjesztő és egy beküldött tudományos publikáció született.

Publikációk

Délibáb témában jelent meg egy cikkünk a Fizikai Szemlében *Kövessük a fényeket – délibábok numerikus szimulációja* címmel [4]. Emellett beküldésre került szintén ebben a témában egy másik kézirat az American Journal of Physics-be: *Numerical simulation of mirages above water bodies*, mely jelenleg bírálat alatt áll [5].

Tervben van két cikk a kölcsönható, extra dimenziós kompakt csillagok leírásáról.

Tanulmányi tevékenység

Részt vettem a Wigner FK-ban megrendezett Zimányi Winter School 2022 rendezvényen, ahol *Compact Stars in 1+4-dimensional Space-time with Interacting Nuclear Matter* címmel előadást is tartottam.

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

- Rádiócsillagászat I. (FIZ/5/009)
- Asztro-részecskefizika (FIZ/2/132)
- Haladó informatika a csillagászatban I. (FIZ/5/007)
- A gépi tanulás új eredményei szeminárium (FIZ/3/092)

Szakmai közéleti tevékenység

Részt vettem az ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet nyílt napján a csillagász specializáció népszerűsítésének keretében.

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] Horváth A., Bámer B., Barnaföldi G. G., „Kövessük a fényeket – délibábok numerikus szimulációja”, Fizikai Szemle 2022. szeptemberi szám, HU ISSN 1588-0540 <http://fizikaiszemle.hu/szemle/108>

[5] A. Horváth, B. Bámer, G. G. Barnaföldi, „Numerical simulation of mirages above water bodies” (2022) Beküldve az American Journal of Physics lapba.