

2. félévi beszámoló

Hallgató neve: **Szalkai Dóra** (szalkai.dora@ttk.elte.hu)

Csillagászat és Űrfizika Program

Témavezetők: Dr. Kovács András (HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont

Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet)

Dr. Csabai István (Eötvös Loránd Tudományegyetem, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék)

A dolgozat címe: **A táguló univerzum anizotrópiáinak vizsgálata**

Bevezetés

A doktori program keretében a táguló univerzum anizotrópiáinak elméleti és kísérleti hátterét vizsgálom, különös tekintettel a relativisztikus folyadékdinamika és a téridő-torzulások szerepére. A cél egy új elméleti modell kidolgozása, amely alternatív perspektívák, például a téridő-deformációk, a relativisztikus folyadékdinamikai modellek és a kozmológiai állandó potenciális kozmikus léptékű változásának figyelembevételével igyekszik összeegyeztetni az Λ CDM modell és a kozmológiai megfigyelések közötti ellentmondásokat. A téridőt egy kiterjesztett folyadékdinamikai elmélettel modellezem, a relativisztikus Navier-Stokes-egyenleteket alkalmazva az Einstein-egyenletek megoldására. Vizsgálom a lokális téridő-torzulások hatását, valamint ezek nagy léptékű kiterjesztésének lehetőségét és hasznosságát.

A kifejlesztett alternatív gravitációs modellt szimulációkkal és mérési adatokra való illesztéssel validálok.

Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése:

Ebben a félévben tovább fejlesztettem az elméleti keretrendszert, melynek az alapja, hogy potenciál-áramlás reprezentációban, a gyenge-mező közelítés Poisson-egyenlet összefüggését használva:

$$\nabla^2 h_{00} = -\frac{2}{c^2} \nabla^2 \Phi = -\frac{8\pi G}{c^2} \rho \text{ [m}^{-2}\text{]},$$

felállíthatunk egy effektív skalár-válasz szótárat:

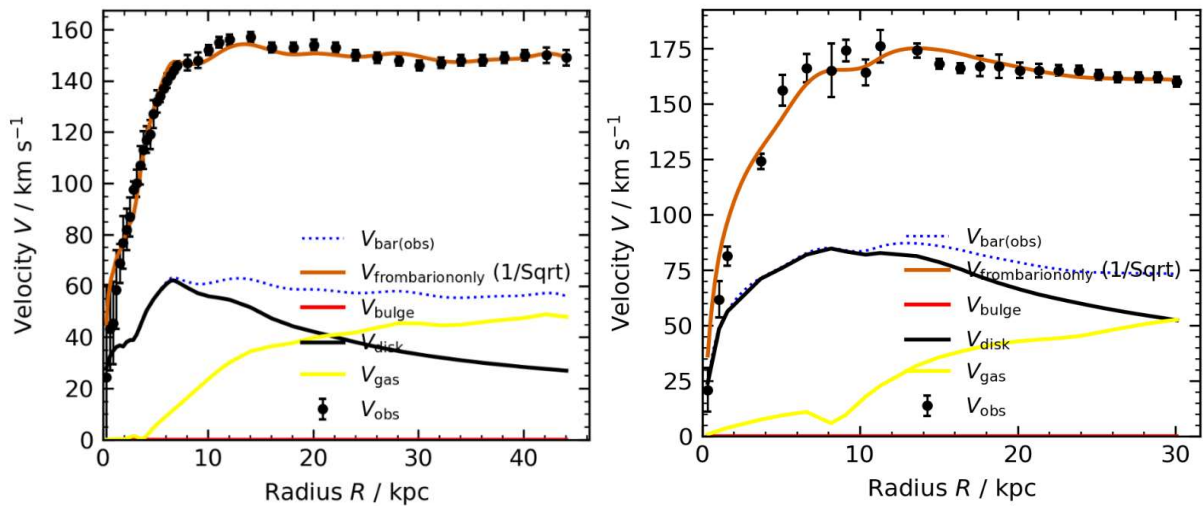
$$\square g_{ij} \Rightarrow H^2, \frac{\ddot{a}}{a} \Rightarrow \rho, p \leftrightarrow \frac{1}{c^2} \nabla^2 \Phi \leftrightarrow -\frac{1}{2} \nabla^2 h_{00} \leftrightarrow (\nabla^2 \phi_v)^2 = (\nabla \cdot \vec{v})^2.$$

Ez a sor nem algebrai identitás, hanem egy skalár-válasz leképezés, amely a lokális görbületet, kozmikus tágulást és a sebességpotenciál reprezentációt köti össze. Ekkor a η^*/ζ^* [kg · m · s⁻²] geometriai csatolási állandó bevezetésével egy metrika-csatolt tagot fejezhetünk ki stressz/nyomás dimenzióval: $\eta^* \nabla^2 h_{00}$ [kg · m⁻¹ · s⁻²]. Az effektív dinamikus viszkozitáshoz

($\eta_{\text{geom}}/\zeta_{\text{geom}}$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]) egy karakterisztikus válaszidővel (t_{resp}) szorozzuk a kifejezést, ezzel:

$$\begin{aligned} \mathcal{T}_\eta &\equiv \eta^* \nabla^2 h_{00}, & \mathcal{T}_\zeta &\equiv \zeta^* \nabla^2 h_{00}, \\ \eta_{\text{geom}} &= \mathcal{T}_\eta t_{\text{resp}}, & \zeta_{\text{geom}} &= \mathcal{T}_\zeta t_{\text{resp}}. \end{aligned}$$

Ezen lépéseket alkalmazva, kidolgoztam a galaktikus sötét anyag modellezéshez szükséges első lépéseket, melyek magukban foglalják a részletezett levezetések a virializált és kozmikus régiók átmenetét, az ezekhez tartozó python-kódokat, és az első alkalmazási tesztet, ahol a SPARC-galaxis adatbázis (spirális és irreguláris galaxisok) forgási görbéinek illesztését végeztem el, továbbá megkezdtem a MaNGA galaxis adatbázis nyomásvezérelt galaxisaira történő tesztet. Az illesztésekből és elméleti számolásokból kapott eredmények részletes analízise és statisztikai eloszlásainak vizsgálata folyamatban van.

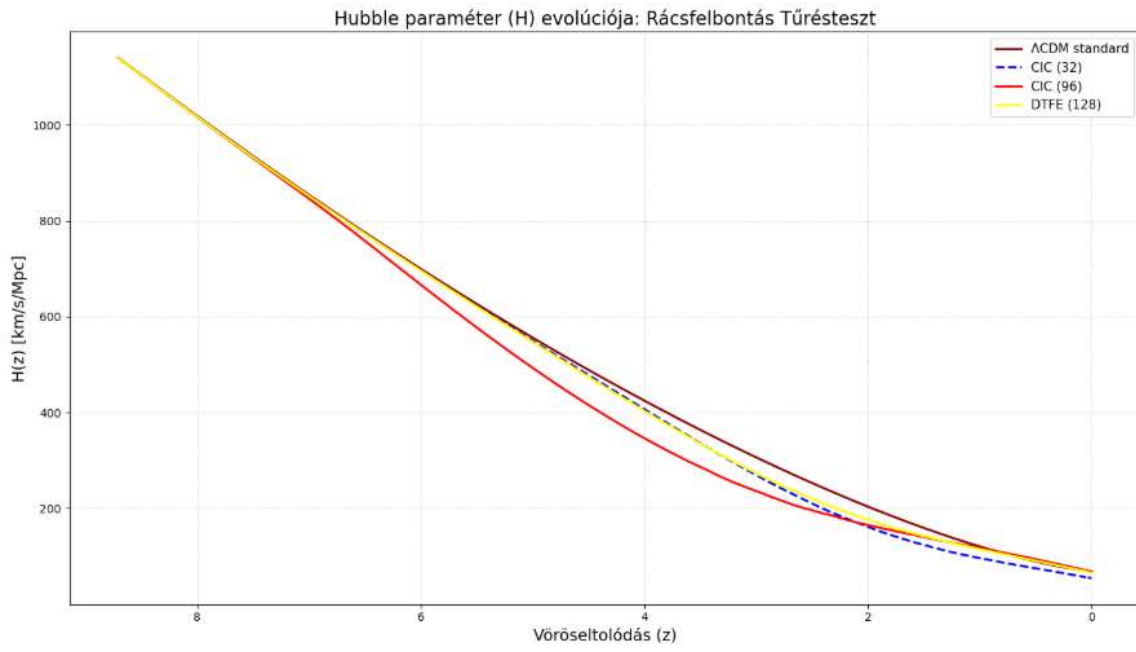


1. ábra – Példák a mérésillesztéseiből kapott rotációs sebességgörbékre. Bal oldal: NGC3198, jobb oldal: NGC1090 galaxis.

Az illesztések mellett toy-modelleket is készítettem az idealizált elméleti modell vizsgálatához és a galaxisok csillagkorongján kívül eső forró gáz régió modellezéshez. Az alkalmazásfejlesztésen túl, az elmélet Raychaudhuri-egyenlettel való kompatibilitását vizsgálom az egységes relativisztikus kezelésmód érdekében, ahol a disszipatív csatornákat a téridő geometriai stresszválaszaként kezelem.

A tervezett N-test szimulációkhoz az AvERA kód (Rácz, Dobos, Beck, Szapudi, Csabai – “Concordance cosmology without dark energy”, MNRAS: Letters, 2017) módosított verzióját tervezem használni, ezért ebben a félévben megismerkedtem az alapkód struktúrával. Első feladatombként a kóddal korábban kimutatott inverz ISW-effektust (Beck, Csabai, Rácz, Szapudi – “The integrated Sachs–Wolfe effect in the AvERA cosmology”, MNRAS, 2018) kellett összevetnem DTFE (Delaunay Tessellation Field Estimation), Voronoi és az új, optimalizált CIC (Count in

cells)/JAX eljárások alkalmazásával, továbbá a kód külső nagy teljesítményű GPU-t használó klaszterekhez (WSCLAB, Kooplex) való aktualizását kellett elvégezni. Az első eredmények alapján a CIC eljárás is mutatott inverz ISW-re utaló effektust, de a DTFE/Voronoi-tól különböző szemléletmód miatt számítási mellékeffektusok is megjelennek. A következőkben a JAX/CIC módszer további vizsgálata és optimalizálása lesz a feladatom.



2. ábra – Az AvERA-kód rácsfelbontás tűrési tesztje a standard DTFE és a Count-in-Cells módszer összevetéséhez.

Publikációk:

“A Relativistic Navier–Stokes Interpretation of Dissipative Geometric Stress in the Dark Sector” – folyóirati beadás alatt (working paper változat: A Unified Dissipative Model for the Dark Sector – Zenodo repository)

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben:

Napfizika (FIZ/5/057, Petrovay Kristóf)

Fraktálnövekedés (FIZ/3/004E, Nagy Máté)

Konferenciák az aktuális félévben:

Logic, Relativity and Beyond (LRB26), 2026 július 13 - Július 15, Rényi Institute, Budapest

Talk: The Meanings of Dissipation: From Fluid Dynamics to Spacetime Geometry

Ösztöndíj:

A következő félévre meghívást kaptam a kínai Hefei Institute of Technologies (HFIT)-től az elmélet gyenge gravitációs lencsézési méréseken való tesztelésére.