

II. félévi beszámoló

Hegedűs Viola (vhegedus@gothard.hu)

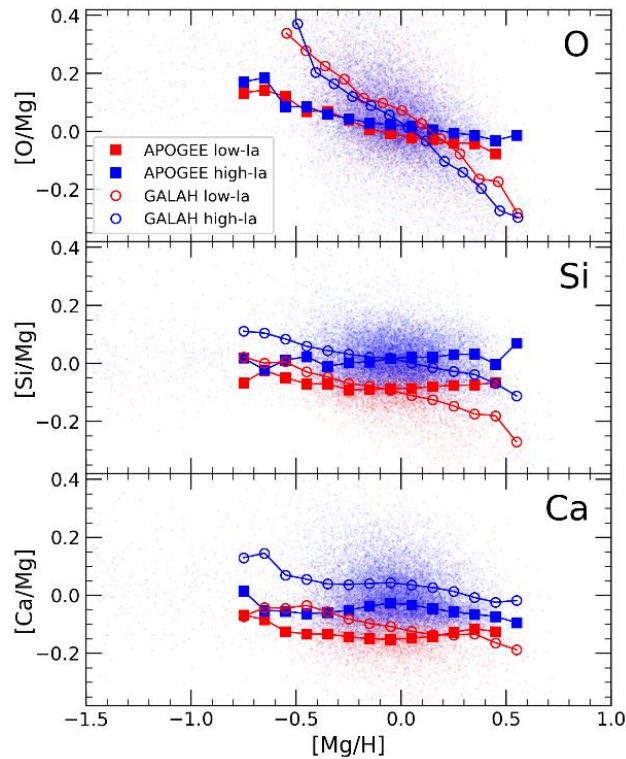
Csillagászat és Űrfizika PhD program

Témavezető: Dr. Mészáros Szabolcs

A dolgozat címe: A Tejútrendszer kémiai feltérképezése

1. Bevezetés

A Tejútrendszer jelenlegi struktúráját részleteiben bár ismerjük, a múltbeli eseményekre és ezáltal kialakulásának folyamatára számos módon következtethetünk. Ezért döntő jelentőségű Galaxisunk minél pontosabb és precízebb kemodinamikai feltérképezése, amihez fotometriai mérések és spektroszkópia szolgáltatja a szükséges információt. Az APOGEE (Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment; Majewski *et al.* 2017, AJ, 154, 94) közel 700 ezer csillagról készített nagyfelbontású, közeli infravörösben spektrumot, a GALAH (Galactic Archeology with HERMES; De Silva *et al.* 2015, MNRAS, 449, 2604) ezzel szemben 600 ezer csillagról rögzített szintén nagyfelbontású optikai színeképet, a GES-nek (Gaia-ESO Survey; Gilmore *et al.* 2012, The Messenger, 147, 25) pedig szintén 100 ezernél több célobjektuma volt, az észlelés pedig a látható színekép tartományában történt.



1. ábra. A két csillagpopuláció APOGEE és GALAH felmérésekből származó medián α -elemgyakoriság trendjei $[Mg/H]$ függvényében. A háttérben felpöttyözött egyedi csillagok binelése 0.1 dex-enként történt. (Forrás: Hegedűs *et al.* 2023)

A Tejútrendszer jelentős tömegét szolgáltató csillagok jó közelítéssel azt a gázösszetételt őrzik, amelyből születtek, ezáltal azok spektruma ujjlenyomatoként hordozza a Tejútrendszer korai anyagának alkotórészeit és azok egymáshoz viszonyított arányát. Ezáltal a csillagokban található kémiai elemek mennyiségének vizsgálatával betekintést nyerhetünk galaxisunk összetételének időbeli fejlődésébe. A spektroszkópiai észlelésekben a nagytömegű csillagok életének végén keletkezett ún. α -elemek ($Z=3$ -as rendszámtól kezdődően) eloszlásából az látszódik, hogy a Galaxis korongjának két komponense, az ún. vékony és vastag korong eltérő kémiai összetételt mutat. Ezen kémiai kettősség (bimodalitás) lekövetésével és magyarázatával valósítható meg a kémiai evolúció modellezése.

A Tejútrendszer feltérképezésénél alapvető probléma, hogy a különböző égboltfelmérő programok más-más adatokkal szolgálnak. A spektroszkópiai eredmények szisztematikus eltéréseinek oka pedig abban keresendő, hogy ezen programok (APOGEE, GALAH és GES) különböző elméleti modelleket alkalmaznak a csillagok kémiai összetételének meghatározásakor, emiatt a fizikai paramétereik modellfüggők. A mérési eredmények összehasonlításával, majd az eltérések közötti korrelációk ismeretében célozom a galaxisunk kémiai fejlődésének modellezése.

Egyik legfontosabb kérdés tehát az, hogy a Tejútrendszer kémiai térképe hogyan változik a mérések közötti szisztematikus különbségek figyelembevételével. Amint az az 1. ábrán megfigyelhető, a kémiai térkép mintázata függhet attól, hogy melyik adatsort használjuk (Hegedűs *et al.* 2023, A&A, 670, A107). Ezen ábra az APOGEE DR17 és GALAH DR3 adatai által felvázolt elemgyakoriság-trendeket mutatja a magnéziumhoz viszonyítva. Az oxigén esetén tudjuk, hogy azt kizárólagosan kollapszár szupernóvák szolgáltatják, így feldúsulásuk időben azonos módon történik, függetlenül a fémtartalomtól. A GALAH adatai alapján mégis látunk $[Mg/Fe]$ -függést, ezért körültekintést igényel az O használata. Ismert tény, hogy mind optikai, mind infravörös tartományban vannak nehézségek az elemgyakoriságának meghatározásakor. Szilícium és kalcium szerint a populációk élesebb szeparációt mutatnak a kémiai térképen, ugyanis mindkét elem nem-elhanyagolható mértékben származik termonukleáris szupernóva-robbanásokból is. Ennek ellenére figyeljük meg az 1. ábra középső és alsó paneljein, hogy az APOGEE és GALAH felmérőprogramok eredményei kissé eltérő helyen – bár azonos meredekséggel – futnak a kémiai térképen.

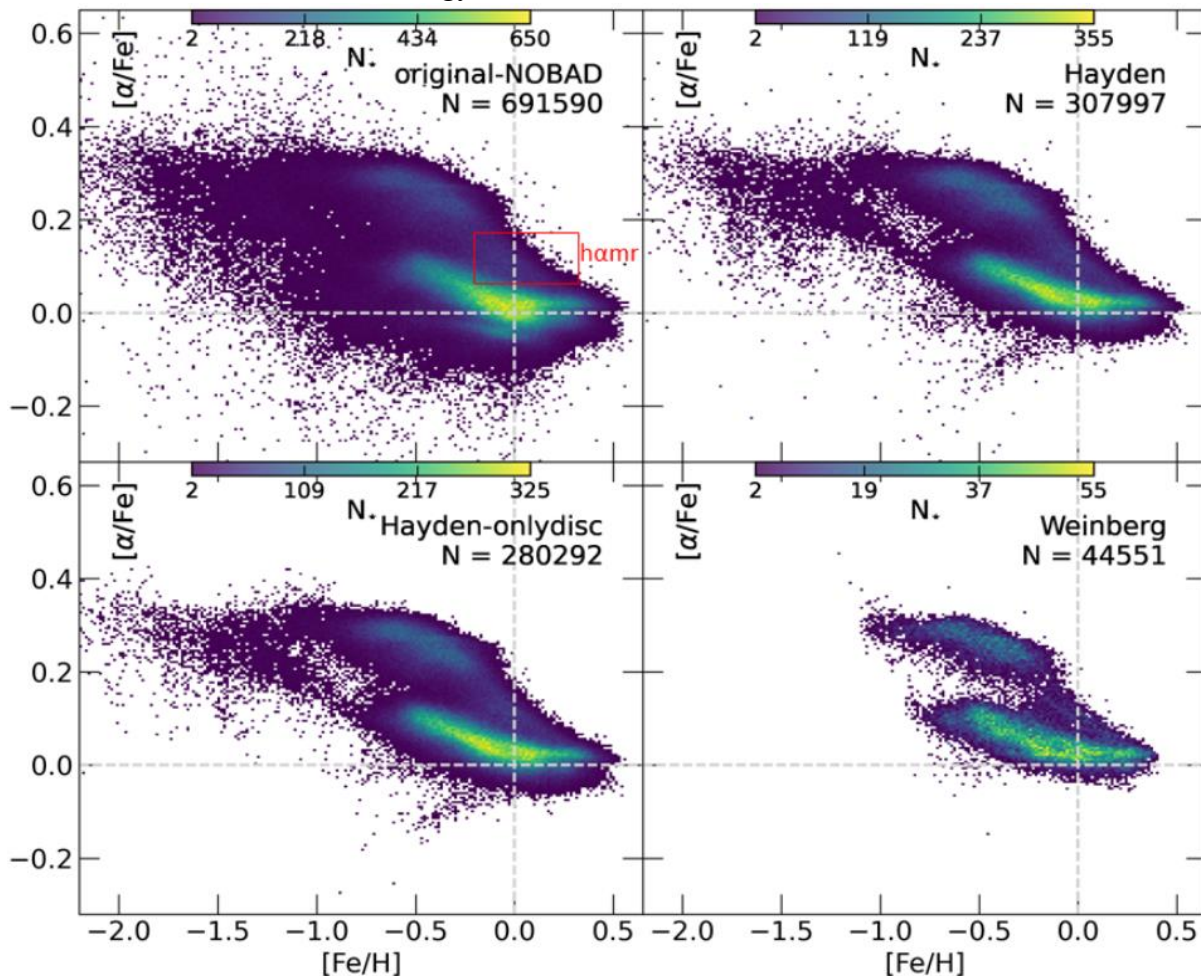
2021 szeptemberétől kezdődően a Dr. Mészáros Szabolcs által vezetett MTA-ELTE Lendület Tejútrendszer Kutatócsoport tagja vagyok, és ennek keretein belül végeztem el az APOGEE, GALAH és GES nagyszabású spektroszkópiai programok adatainak összehasonlító analízisét, amelyből megjelent az elsőszerzős referált publikációm. Jelenleg pedig modellezem a Tejútrendszer kialakulását és kémiai fejlődését.

2. Elvégzett kutatások

Ebben a félévben galaxisunk kémiai térképével és annak szimulációkkal történő reprodukálásával foglalkoztam. A Tejútrendszer kémiai fejlődésének modellezését numerikus kódokkal végezhetjük, ezért az OMEGA (One-zone Model for the Evolution of Galaxies, Cote *et al.* 2017, ApJ, 835, 128) nevű, python alapú programcsomagot használom. Ez a legfejlettebb nyílt forráskódú szoftver, amellyel a galaxisok kémiai fejlődését modellezhetjük. Legújabb fejlesztésében a galaxis körül megjelenik egy forró gázhaló („hot gas reservoir”), avagy cirkumgalaktikus gáz, amelyben nincsenek csillagok. A modell így kétzónássá vált, ezáltal a gáz behullása és kifűvése kétféleképp.

A Matteucci *et al.* (1989, MNRAS, 239, 885) által publikált összefoglaló cikk részletes tanulmányozása megalapozta tudásom a galaktikus kémiai evolúció területén. Ahhoz, hogy az

észlelésekhez illeszem az aktuális modellt, alapos megfontolásokkal kellett kiválogatnom az APOGEE adatbázisából a Tejútrendszer csillagait. A 2. ábra különböző lehetséges vágások alkalmazása esetén mutatja a kémiai térképeket, azaz az $[\alpha/\text{Fe}]$ - $[\text{Fe}/\text{H}]$ elemgyakoriság grafikonokat. A bal felső panel az eredeti adatsort mutatja, míg a jobb felső panelen azon csillagok szerepelnek, amelyek megfigyelésekor a jel/zaj arány 80-nál nagyobb volt, effektív hőmérsékletük 3500 K és 5500 K közé esik, felszíni gravitációs gyorsulásuk pedig 1,0 dex és 3,8 dex között van. A bal alsó panelen a korábbiakon túl a koronghoz tartozás alábbi, kinematikai feltételeit alkalmaztam: ω Cen gömbhalmaz és Magellán-felhők csillagainak, valamint befogott halo-csillagokként megjelölt csillagok eliminációja, illetve a galaktikus koordinátákban értendő Z-irányú sebességkomponens 100 km/s-nál kisebb, a korong síkjától mért maximális Z_{max} távolság 5 kpc-nél kisebb, a pálya excentricitása 0,5-nél kisebb, a fémtartalom -0,8 dexnél nagyobb és $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ elemgyakoriság nagyobb, mint 0,2 dex. A 2. ábra jobb alsó paneljén pedig egy olyan szelekció eredményét szemlélteti, amely szintén a Tejútrendszer síkjára koncentrál ($R=3\text{-}13$ kpc, $|Z|<2$ kpc), illetve a $[\text{Mg}/\text{H}]$ arány a (-0,75; 0,45) dex intervallumba esik, a jel/zaj arány értéke 100 feletti, a felszíni nehézségi gyorsulás logaritmus 1,0 dex és 2,5 dex között mozoghat, valamint az effektív hőmérséklet 4000 K-nél nagyobb, de 4600 K-nél kisebb.



2. ábra. Az α -fémesség ábrák különböző vágások esetén. Bal felső panel: *STARBAD_FLAG*-ek nélkül; jobb felső panel: Hayden-féle vágás; bal alsó panel: Hayden-féle vágás és csak a korong csillagai; jobb alsó panel: Weinberg-féle vágás. A színezés minden panelen az ott érvényes csillagszám-sűrűség szerint történik, és a szaggatott vonalak a (0, 0) pillanatnyi szoláris értéket jelölik.

A kémiai térképen elkülöníthető egy ún. *hamr* csillagcsoportosulás is (ld. 2. ábra bal felső panelje), amely az α -elemekben és fémekben egyaránt gazdag légkörrel rendelkező csillagokat foglalja magába. Azt tudjuk ezekről, hogy kinematikai szempontból a vékony korong részei (kis excentricitású pályán keringenek, közel a galaktikus síkhoz), valamint a „klasszikus” α -elemekben gazdag csillagokkal közel azonos korúak, míg az α -szegény csillagok életkora ezeknél 3 milliárd évvel alacsonyabb. A modellezéshez használt mintában megtartjuk ezen csillagokat is, ugyanis a keletkezések idejének függvényében modellezünk, és ezen szempontból viszont a vastag koronghoz tartoznak. (További fejlesztés része lehet a jövőben ennek a csoportnak az elemzése, például a csillagok radiális migrációjának figyelembevételével.)

Az SDSS-V Milky Way Mapper elemgyakoriságokkal foglalkozó munkacsoportjának megbeszélésein rendszeresen részt veszek, illetve a belső adatközlésekben lévő spektroszkópai mérések – jelenleg privát – eredményeit is használom a céllal, hogy a modelljeimet ezen adatokra illesszem. A fő csillaglégköri paraméterek és az elemgyakoriságok közötti esetleges korrelációkat gyakran ellenőrzöm, ugyanis ezen privát adatbázis jelenleg a kalibráció és validáció stádiumában van, többek között témavezetőm vezetésével.

3. Publikációk

- **V. Hegedűs**, Sz. Mészáros, P. Jofré, G. S. Stringfellow, D. Feuillet, D. Aníbal García-Hernández, C. Nitschelm, *et al.*: Comparative analysis of atmospheric parameters from high-resolution spectroscopic sky surveys: APOGEE, GALAH, Gaia-ESO, 2023, A&A, 670, A107
- Sz. Kálmán, A. Derekas, Sz. Csizmadia, Gy. Szabó M, **V. Hegedűs**, *et al.*: Discovery of a substellar companion in the TESS light curve of the δ Scuti/ γ Doradus hybrid pulsator HD 31221, 2023, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202245654>

4. Tanulmányi tevékenység

- Az aktuális félév során elvégzett tárgyak listája:
 - Rádiócsillagászat II. (FIZ/5/010);
 - Bolygók és bolygórendszerek keletkezése (FIZ/5/045)
 - Fejezetek a többes csillag- és bolygórendszerek elméleti és megfigyelési kérdéseiből II. (FIZ/5/042)
- 18th Russbach School on Nuclear Astrophysics:
Nukleáris asztrofizika téli iskola (2023. március 12-18.)
Előadás: *Modelling the chemical evolution of the Milky Way with OMEGA+*

5. Konferenciák

- SDSS-V/IReNA Science Festival, Leuven, 2023. április 3-7.
konferencia előadás: *Modelling the chemical evolution of the Milky Way with OMEGA+*