

A Tejútrendszer kémiai összetételének vizualizációja

Lendvai Vanda

(Szombathelyi Nagy Lajos Gimnázium, 10. évfolyam)

Témavezető:

Dr. Mészáros Szabolcs

(tudományos főmunkatárs, Eötvös Loránd Tudományegyetem
Gothard Asztrofizikai Observatórium és Multidiszciplináris
Kutatóközpont)



2024, Szombathely

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
1. Tejútrendszer	4
2. APOGEE.....	5
2.1. Az APOGEE tudományos céljai.....	6
2.2. Az elemgyakoriság definíciója	7
3. Blender	8
3.1. Geometry Notes	9
3.1.1. Csillagok, csillaghalmazok és porfelhők megjelenítése	9
3.2. Árnyékolás (Shading).....	10
3.2.1. AZ APOGEE által észlelt csillagok megjelenítése	10
3.2.2. APOGEE által észlelt csillagok ábrázolása	11
3.2.3. A Tejútrendszer összképe	12
3.2.4. A Tejútrendszer összfénye.....	13
3.2.5. Csillagok, csillaghalmazok és porfelhők színének beállítása	14
4. A videó elkészítése	16
Összefoglalás.....	16
Köszönetnyilvánítás	17
Hivatkozások	18

Bevezetés

Ha egy tiszta estén felnézünk az égboltra csillagok százainak múltbeli állapotát látjuk. Szinte jelentéktelennek érezhetjük magunkat, látva azt a sok parányinak tűnő, ámde hatalmas méreteket öltő égi plazmagömböket. Ez a látvány olyan gondolatokat ébreszthet bennünk, mint hogy miért pont a Földön jött létre az élet? Hogy keletkezett mindez? Mi a múltunk, honnan jöttünk és hova tartunk? Ezek, és hasonló kérdések megválaszolásán dolgozik és dolgozott sok ezer ember már évszázadok óta.

Számtalan kísérlet, siker és kudarc vezetett el odáig, hogy ma már tudjuk milyen kémiai elemekből áll a Föld és központi csillagunk, a Nap. A csillagok színeképeinek elemzésével jöttek rá, hogy az elemeket a csillagok hozták létre úgy, hogy hidrogénből magfúzióval héliumot hoztak létre, amik utána nagyobb rendszámú atomokká egyesültek, melyeket aztán a szupernóva-robbanások szórtak szét a világűrben (Kobayashi et al., 2020). Ezért általánosságban kijelenthetjük, hogy a fiatalabb csillagok több fémeket tartalmaznak, mint őseik, hiszen azok az idősebb csillagok maradványaiból jöttek létre. Ehhez viszont sok százezer csillagot kell megfigyelni, ami komoly technikai eszközöket igényel. Számos kutatóintézet, teleszkóp és tudományos projekt jött létre erre a célra.

Az APOGEE (Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment, Majewski et al., 2017) célkitűzése az volt, hogy a Tejútrendszer szerkezetét és kialakulását vizsgálja, ennek megvalósításához közel 650 000 csillag színeképeiben megfigyelhető 25 elem kémiai összetételét határozta meg (Garcia-Pérez et al., 2016). Az APOGEE által publikált adatok hatalmas mennyisége rendkívül bonyolulttá teszi ennek az információhalmaznak az egyszerű és látványos megjelenítését. Joggal merül fel az a kérdés, hogy hogyan lehet a Tejútrendszer kémiai összetételét mutatósan, közérthetően megjeleníteni? E kérdés megválaszolása érdekében az APOGEE adatait alkalmaztam és a Blender nevű, szabadon felhasználható, nyílt forráskódú, háromdimenziós grafikus megjelenítést lehetővé tevő program segítségével készítettem el egy olyan vizualizációt, amely betekintést ad a Galaxisunkban található különböző fémek Tejútrendszerbeli eloszlásába. A dolgozatomban röviden bemutatom az APOGEE programot és a vizualizáció elkészítésének részletes folyamatát.

1. Tejútrendszer

A Tejút egy küllős spirálgalaxis, melynek átmérője körülbelül 100 000 fényév, de a csillagok többsége 80 000 fényév átmérőn belül helyezkedik el. A Naprendszer nagyjából 27 000 fényév távolságra található a központtól, az Orion kar belső peremén. A galaktikus központban helyezkedik el a dudor, ami egy közel gömb alakú, idős csillagok sűrű egymásra épülő formációja, melynek belsejében egy szupernagy tömegű fekete lyuk található. A Tejútrendszer dodorját 10 000 fényév távolságon belül gömbhalmazok és idős csillagok sokasága öleli körbe.

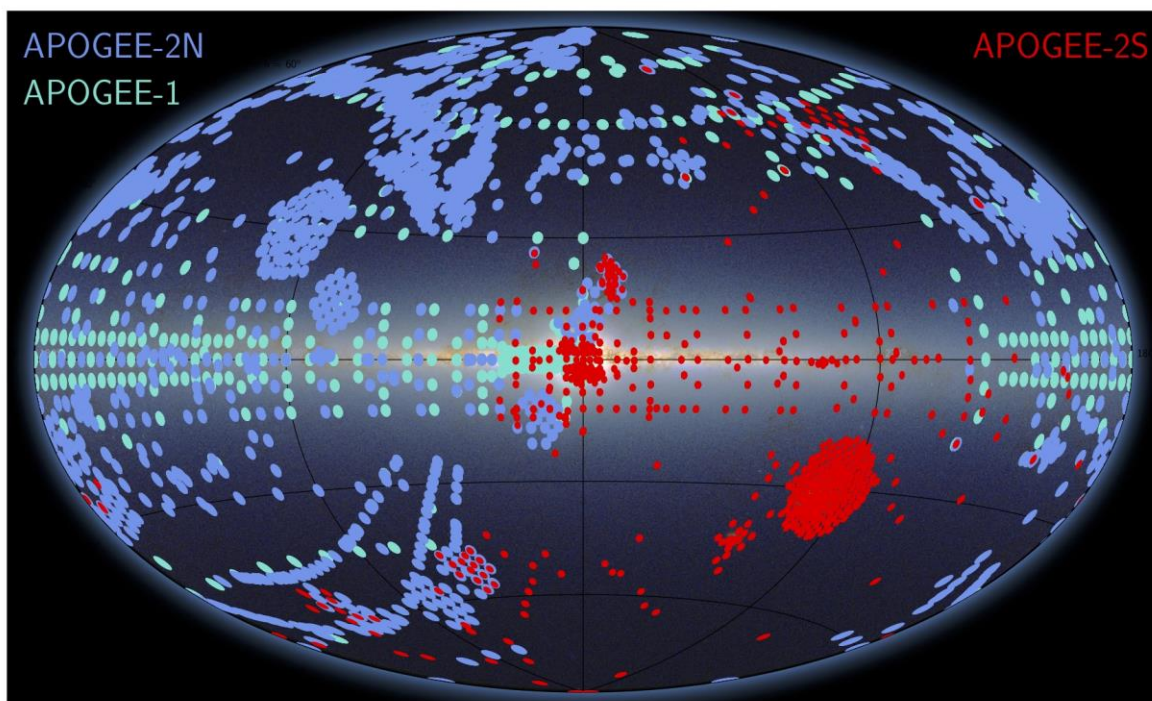
Jelenleg úgy gondoljuk, hogy valószínűleg 200 milliárd csillagot, és legkevesebb ugyanennyi bolygót, ezenkívül becslések szerint tízmilliárd fehér törpét, egymilliárd neutroncsillagot és százmillió fekete lyukat találhatunk a Tejútrendszerben. A köztük lévő gáz- és porkorongot csillagközi felhőknek nevezzük, melyek vastagsága a gáz hőmérsékletének függvényében változik. A galaxisban található csillagok és csillagközi közeg szerkezete négy spirálkarba csoportosul. Ezek rendszerint nagyobb sűrűségű csillagközi gázt és port tartalmaznak a galaktikus átlagnál, illetve itt nagyobb a csillagkeletkezési koncentráció, mint a spirálkarok között.

A Tejútrendszer tömege becslések szerint 1500 milliárd Napéval egyenlő, melyben kis szerepet játszanak a csillagok és bolygók, illetve ez az adat függ a méréshez használt módszertől is. Tömegének legnagyobb részét a sötét anyag teszi ki, mely egyenletesen oszlik el több százezer fényévre galaxisunk központjától. Ezeken kívül még a csillagközi gáznak is szerepe van, mely 90 tömegszázalékban hidrogénből (H) és 10 tömegszázalékban héliumból (He) tevődik össze. Az egész Tejút anyagának több, mint fele feltehetőleg más távoli galaxisokból származik. A Tejútrendszer halójában közel 150 gömbhalmaz található, melyek gravitációsan kötött, gömb alakú csillaghalmazok. Galaxisunk síkjában található a csillagok és gázfelhők jelentős része, valamint több, mint 1000 nyílthalmaz, de a pontos számot nem ismerjük.

2. APOGEE

Egy csillag legfontosabb tulajdonságai közé tartozik, hogy milyen kémiai anyagokból állnak, hiszen ebből következtetve képesek vagyunk megállapítani kialakulásának körülményeit. Az APOGEE (Majewski et al., 2017) égboltfelmérő program célja a Tejútrendszer szerkezetének és fejlődésének vizsgálata a csillagok fizikai tulajdonságain keresztül. Többek között ide tartozik az effektív hőmérséklet, felszíni nehézségi gyorsulás, fémtartalom és 25 elem koncentrációjának nagy pontosságú meghatározása. Ennek megvalósításához az Apache Point Observatory (APO) és a Las Campanas Observatory (LCO) 2,5 méteres teleszkópjára szerelt, egymással megegyező multiobjektum-spektrográfokat vettek használatba, amelyek munkájukat az infravörös H-sávban végzik (Wilson et al., 2019). Ez a hullámhossztartomány teszi lehetővé, hogy minél pontosabban tudjuk a csillagok színekét, és ezzel együtt tulajdonságaikat is vizsgálni a Tejútrendszer porfelhői által az optikai tartományban eltakart csillagok esetében is (Cardelli et al., 1989). A program technikájának másik előnye, hogy a nehezebben megfigyelhető csillagok tulajdonságait is képesek vagyunk észlelni, így az APOGEE legutolsó adatpublikálásában közel 700 000 csillag adatait tették mindenki számára felhasználhatóvá (Abdurro'uf et al., 2022).

A csillagok színekéből következtethetünk a benne található elemekre úgy, hogy minden elem az elektromágneses sugárzás különböző hullámhossztartományban nyel el fényt, amiket abszorpciós vonalaknak hívunk. Ez azért fontos, mert a csillagok az őseik kémiai tulajdonságait örökítik tovább, így kialakulásuk körülményeit is jobban meg tudjuk érteni. Miután egy csillag „meghalt”, a benne található nehezebb elemeket szétszórja a világűrbe, majd ezekből az anyagokból születnek a következő generációs csillagok. A csillagászatban minden héliumnál nehezebb elemet fémnek hívunk, mert ezek szinte csak kizárólag a csillagok belsejében jönnek létre (a kis lítiumon kívül). Logikusan következik, hogy míg a fiatalabb csillagokban több, az idősekben kevesebb fém található.



1. ábra: Az APOGEE észlelési kampányai során lefedett égboltterületek galaktikus koordinátarendszerben. Háttérben a Tejútrendszer infravörös térképe (C. Hayes, 2MASS). Forrás: Az APOGEE weboldala

2.1. Az APOGEE tudományos céljai

1. 500 000 csillag fizikai tulajdonságainak és 25 elem összetételének vizsgálata a Tejútrendszer fejlődésének megértésének érdekében. Legfontosabb elemek a szén, nitrogén és az oxigén, ugyanis ezek az elemek fontos szerepet töltenek be a csillag fejlődésre nézve.
2. A Tejútrendszer porral eltakart részeinek is ugyanolyan precíz megfigyelése, mint a jól megfigyelhető tartományainak.
3. Galaxisunk első kétmilliárd évében történő fejlődéséről minél több új információ szerzése. Ennek egyik útja a hálóban található fémszegény csillagok kémiai alkotóelemeinek azonosítása, illetve olyan elemek felkutatása, melyek a különösen fémszegény csillagok nukleoszintézise során jönnek létre.
4. A program csaknem megtízszerezte azoknak a csillagoknak a számát, melyekről nagy felbontású és jó minőségű spektromok érhetők el.

2.2. Az elemgyakoriság definíciója

Egy csillag kémiai összetételét sokféleképpen kifejezhetjük. Az X elem atomjainak számát (A_X) a hidrogén atomjainak számához viszonyítva az alábbiakban adjuk meg:

$$A_x = N_x/N_H$$

ahol N_X a kérdéses X elem, N_H pedig az egységnyi térfogatelemben megadott hidrogénatomok száma. A Napban definíció szerint $\log_{10}N_H = 12,0$. Az X elem abszolút elemgyakoriságát a következő képlettel számoljuk ki:

$$[X/H] = \log_{10} \left(\frac{N_X}{N_H} \right)_{csillag} - \log_{10} \left(\frac{N_X}{N_H} \right)_{Nap}$$

Ebből következik, hogy azoknak a csillagoknak, melyeknek kémiai összetétele megegyezik a Napéval, az abszolút elemgyakorisága egyenlő lesz 0-val. A csillagok fémtartalmát a következő képlettel lehet leírni:

$$[X/M] = [X/H] - [M/H]$$

Ezzel a képlettel a csillag légkörében előforduló összes fém elemgyakoriságát skálázzuk (Mészáros et al., 2013). Fémeknek a csillagászatban minden héliumnál nehezebb elemet nevezünk. Ezt a csillagok teljes színképének illesztéséből tudhatjuk meg, mivel információt mutat a csillag minden egyes olyan eleméről, amelyeknek van észlelhető abszorpciós vonaluk az adott hullámhossztartományban.

Az $[M/H]$ egy olyan tényező, mellyel a Nap kémiai összetételét skálázzuk, és sajátos elemek vonatkozásában ettől a skálázott összetételtől való különbséget határozzuk meg az $[X/M]$ relatív elemgyakorisággal. Fontos megjegyezni, hogy a csillagászatban gyakran használt $[Fe/H]$ értéket a vas vonalainak illesztésével határozzák meg, de az hibahatáron belül megegyezik az $[M/H]$ értékével és számos helyzetben egymás alternatívájaként használják. Ebben a dolgozatban bemutatott vizualizációhoz az $[M/H]$ értéket használom, mivel az APOGEE a fémességet a teljes spektrum illesztéséből kapja.

A Tejútrendszer kémiai összetételének vizualizációjához először ki kell választani azokat a csillagokat, melyeknek a meghatározott paraméterei kiválóak. Ezeket az APOGEE egy BAD flagnek nevezett paraméterrel azonosította. A BAD flaggel jelölt csillagok kivágása után csak azokat a csillagokat hagytam a listában, amelyeknek a távolságát legalább 20%-os pontossággal ismerjük a Gaia űrtávcső (Gaia Collaboration et al., 2016) 3. adatpublikálásában (Gaia Collaboration et al., 2023) szereplő adatok alapján. A csillagok térbeli pozícióját az APOGEE utolsó adatpublikálása szolgáltatta (Abdurro'uf et al., 2022). A vizualizációhoz használt csillagok száma végül 396 234 lett.

3. Blender

A Blender¹ egy szabadon felhasználható, grafikai program. Számos funkciót tartalmaz, melyek modellek, animációk, vizuális effektek készítésére alkalmasak. Használják 3D nyomtatások, videójátékok és alkalmazások készítéséhez is. Felhasználói felülete eltér a többi hasonló programtól, hiszen szinte az összes funkciónak van külön billentyűkombinációja. Mióta bárki számára elérhetővé tették a szoftvert, a fejlesztők nagyobb gondot fektetnek a felület egyszerűsítésére és logikussá tételére. Ma már a legtöbb operációs rendszerre elérhető és általánosságban nem sok helyet foglal el. A filmiparban is gyakran használják, népszerűségének köszönhető, hogy a legkorszerűbb 3D animációs programok számos tulajdonságával rendelkezik. Egy külön fájlrendszert alkalmaz, mely egy “.blend” fájlba tudja csomagolni a különböző jeleneteket, ez gyakorlatilag az alkalmazás memóriájának közvetlen lementése.

A felhasználó előtt számos mód áll rendelkezésre, én ezekből kettőt: a szerkesztői és az objektum módokat vettem használatba. Szerkesztő módban magát a modelleket lehet egyesével szerkeszteni, míg az objektum módban azokat egy egységként kezeli a felület. A ctrl és shift billentyűk lenyomásával az értékeket lépésenként tudjuk megadni, illetve lehetőség van matematikai képletekkel elhelyezni az objektumokat. A program teljesen testreszabható munkafelületet biztosít a fogyasztó számára. A képernyőt akár több részre is fel lehet osztani, amikben külön is lehetőség van az objektum szerkesztésére, ezzel segítve az átláthatóságot. A

¹ <https://www.blender.org/>

vizualizációhoz az Árnyékolás (Shading) és a Geometry Notes falat használtam. Ezekről a következőkben részletesebben beszámolok. A Blender program nem minden komponense érhető el magyarul jelenleg, ezért a dolgozatban az eredeti angol nevüket használom.

3.1. Geometry Notes

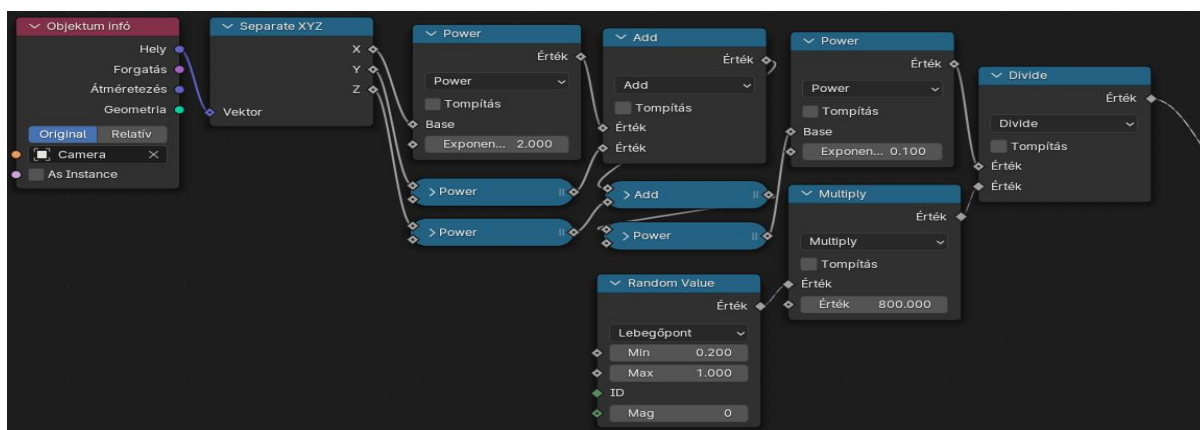
Geometry Node Modifiert node csoportok készítésére használjuk, melyeket a Geometry Node segítségével szerkeszthetjük. Egy ilyen node csoport számos műveletet képes elvégezni, mellyel egy objektum geometriáját határozhatjuk és/vagy változtathatjuk meg.

3.1.1. Csillagok, csillaghalmazok és porfelhők megjelenítése

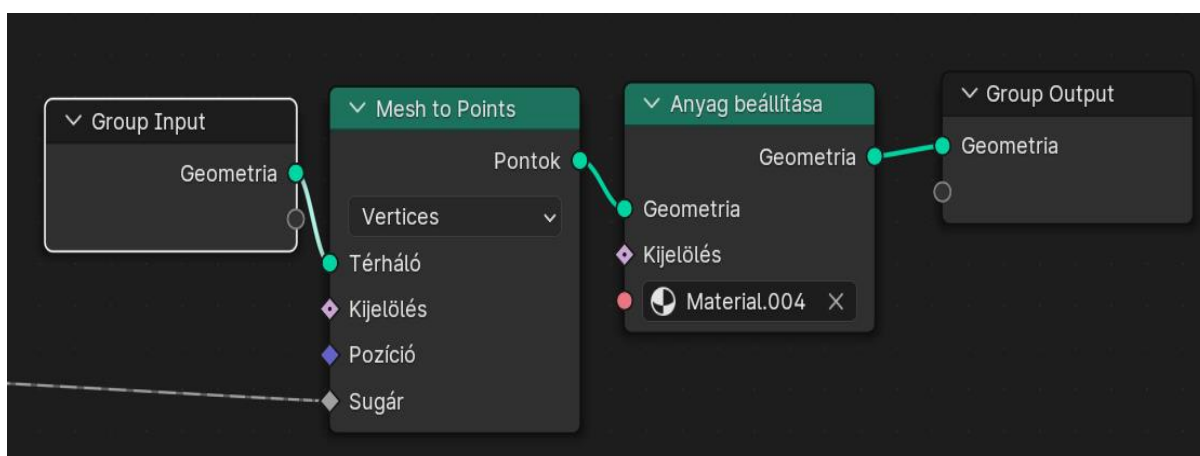
Ahhoz, hogy a Tejútrendszert vizuálni tudjuk, meg kell jeleníteni a Galaxisban található porfelhőket, csillagokat, csillaghalmazokat és a Tejút központi régióját. Ezeket az objektumokat a Gaia Sky² programból alkalmaztam és mindegyikhez ugyanazt a geometry nodes tree-t készítettem el, csak a pontok méretén és színén végeztem el a módosításokat (2-3. ábra).

Hasonlóan az megfigyelésekhez, itt is először szétválasztottam az X, Y és Z koordináta tengelyeket, azokat második hatványra emeltem és összeadtam őket. Itt 0,1 kitevőjére emeltem, az eredményt, amit megszoroztam 800-zal, amit összekötöttem egy random value node-al. Ez a csillagközi egyéb objektum méreteit randomizálja, amit 0.2 és 1 közé helyeztem. Ebből a halmazból is egy porfelhőt hoztam létre egy Mesh to Points node-al. A csillagokhoz 80, csillaghalmazokhoz 18 500, porfelhőkhöz 425 681, a csillagok megjelenítéséhez pedig összesen 57 331 pontot alkalmaztam és szerkesztettem meg.

² <https://zah.uni-heidelberg.de/gaia/outreach/gaiasky>



2. ábra: A Galaxis alkotóelemeinek Geometry node-ja.



3. ábra: A Galaxis alkotóelemeinek Geometry node-ja.

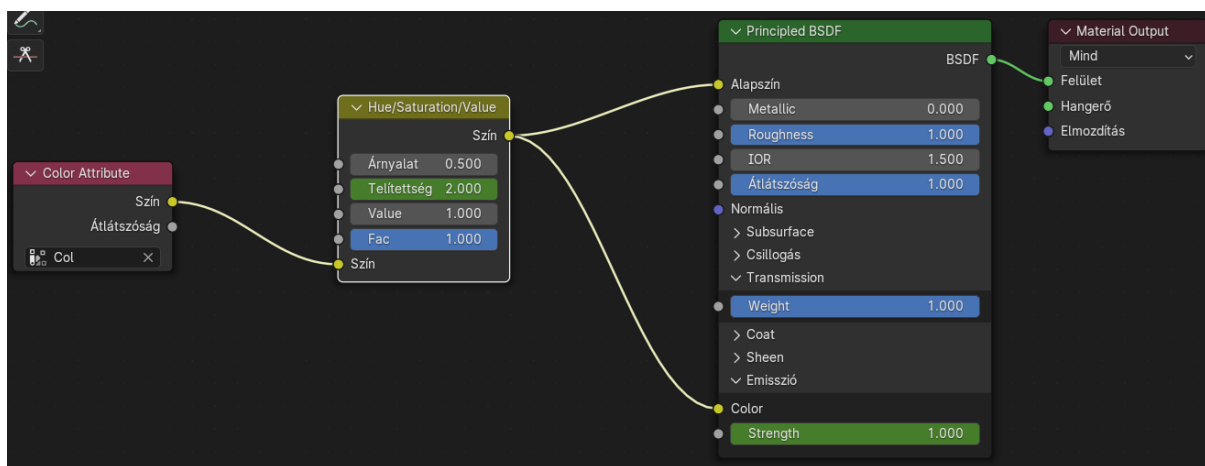
3.2. Árnyékolás (Shading)

A Shading szerkesztőt anyagok formázására lehet használni. A Cycles úgy jelenít meg képet, hogy a kamerából elméletben egy fotont bocsát ki, és megnézi, hogy milyen utat jár be, hogyan verődik vissza az anyagról. Ezeket a Cycles által használt és készített anyagokat egy node tree segítségével lehet beállítani. A Shade szerkesztő fő ablaka egy node szerkesztő. Egy objektumot úgy jelenítünk meg, hogy anyagot adunk hozzá.

3.2.1. AZ APOGEE által észlelt csillagok megjelenítése

Az észlelt csillagok fémtartalmának megjelenítéséhez az kell, hogy minden csillag pozíciójába elhelyezett ikozaédert (ico sphere), azaz 21 egyenlő hosszúságú háromszögből álló térbeli objektumot, a csillagok fémtartalma szerint színezzem meg. A Blenderben jelenleg nincs könnyen elérhető opció arra, hogy egy objektum színét az adatfájl egy oszlopa szerint

színezzünk, ezért az APOGEE által észlelt csillagok esetében a -0.3-nál kisebb fémtartalmú csillagok vonatkozásában kék színt, a +0.3-nál nagyobb fémtartalmú csillagokat illetően pedig vörös színt állítottam be a Paraview³ nevű program segítségével. A két szín között pedig interpolációval határoztam meg a szín értékét. A Paraview-ban a színinformációt egy .ply fájlban elmentettem, amit a Blenderben már meg lehetett nyitni és a Color Attribute node-al a színinformációt egy Hue/Saturation/Value node-hoz kapcsoltam, amit az árnyalat és telítettség változtatásához alkalmaztam. Ez a node tree látható a 4. ábrán. Ennek a node-dal a kimenetét a Principled BSDF node két bemenetéhez csatoltam. Az egyik objektum által kibocsátott színt vezérelte (emisszió), a másik pedig az ikozaéder felszínének színét (alapszín).



4. Ábra: Az APOGEE által észlelt csillagok árnyékolása.

3.2.2. APOGEE által észlelt csillagok ábrázolása

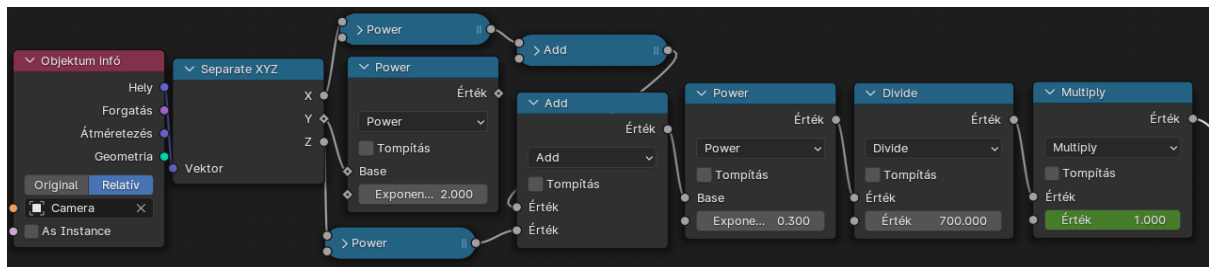
Az APOGEE által észlelt minden csillagot egy ikozaéder, azaz 21 egyenlő hosszúságú háromszögből álló térbeli objektum segítségével jelenítettem meg. Ezeket az objektumokat a csillagok Tejútrendszerbeli⁴ koordinátáira helyeztem, melyeket méretarányosan lekicsinyítettem. Blenderben 44.5 méternek állítottam be azt, ami a Tejútrendszerben kb. 44 500 parszek átmérőjének felel meg.

Azért, hogy a csillagokat jelképező gömböket közelről és távolról is jól meg tudjam jeleníteni, azok méretét a kamerától való távolságtól tettem függővé. Ehhez, először elkülönítettem a kamera X, Y és Z koordinátáit, hogy annak a koordinátarendszer közepétől mért távolságát ki tudjam számolni. Mindhárom értéket egyenként megszoroztam önmagával, majd az X és Z

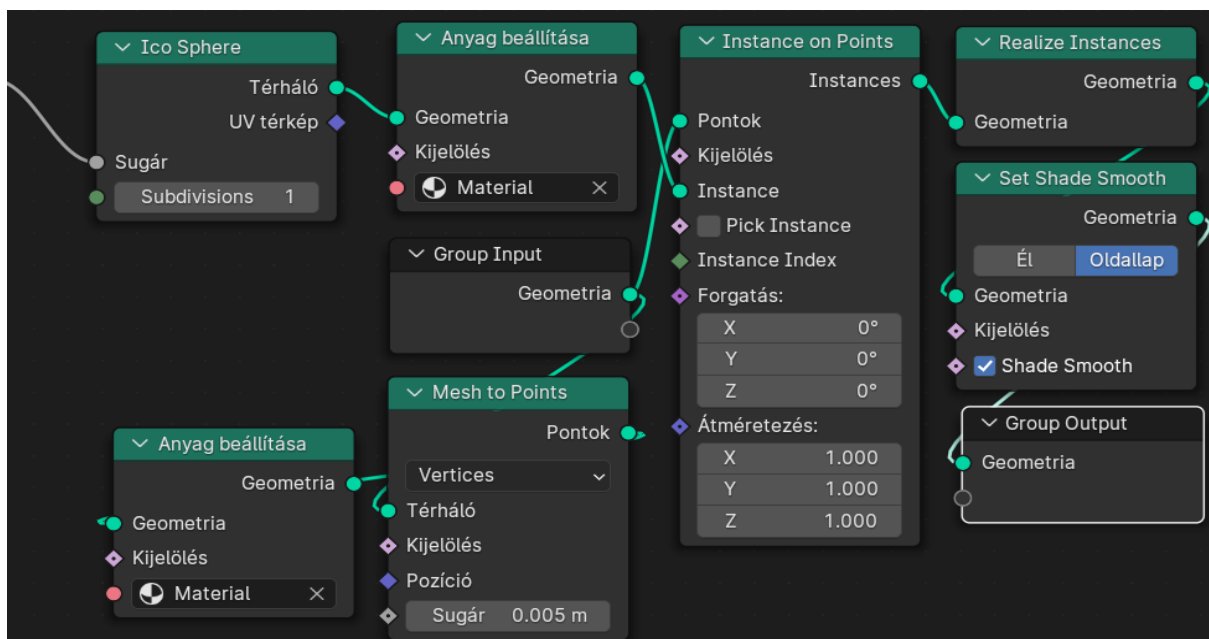
³ <https://www.paraview.org/>

⁴ <https://www.eso.org/public/images/eso1339g/>

eredményét összeadtam. (Ha az Y értéket is hozzáadom, akkor a síkban nem fog megfelelően megjelenni a vizualizáció). A kapott számot 0,5 helyett 0,3 kitevőjére emeltem, ugyanis 0,5 függvénnyel túl nagyok lennének a csillagok a videó elején, mikor a kamera eltávolodik a Tejútrendszer-től. Ezt az értéket elosztottam 700-zal, amit módosítva lehet a csillagok méretét meghatározni (5-6. ábra).



5. ábra: Az APOGEE által észlelt csillagok Geometry node-ja.



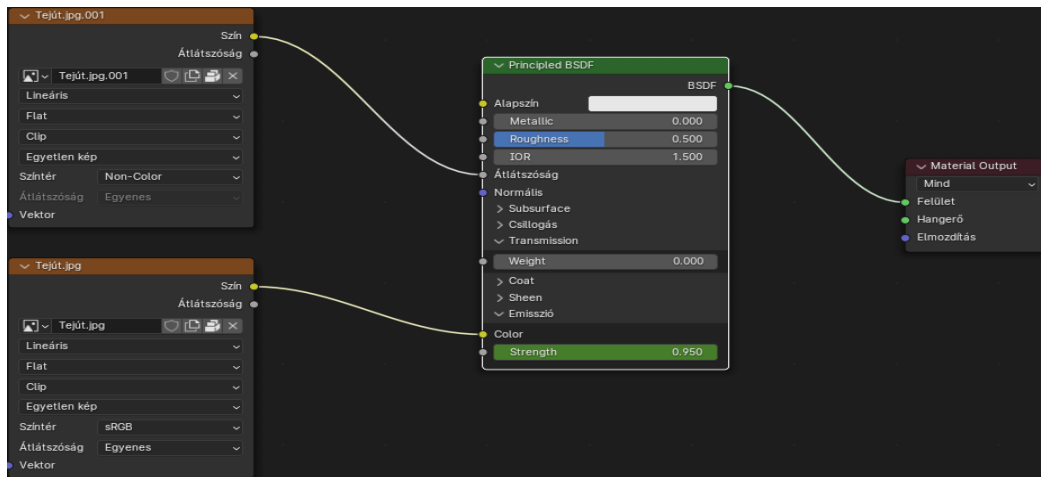
6. ábra: Az APOGEE által észlelt csillagok Geometry node-ja.

3.2.3. A Tejútrendszer összképe

A Tejútrendszer összképének megjelenítéséhez az ESO⁵ által elkészített Tejútrendszer térképet használtam. Ez az illusztráció adja vissza a jelenlegi tudásunk alapján a legpontosabban a Galaxisunk szerkezetét. A Tejútrendszer képét egyrészt a Principled BSDF node átlátszóság bemenetében irányítottam (7. ábra), ami azt eredményezte, hogy a fémesebb területek kevésbé

⁵ <https://www.eso.org/public/images/eso1339g/>

lettek átlátszóbbak, mint a halványabb részek, például spirálkarok közötti területek. Ugyanezt a képet a szín emissziós bemenetbe irányítva állítottam be a Tejútrendszer megjelenített képét.

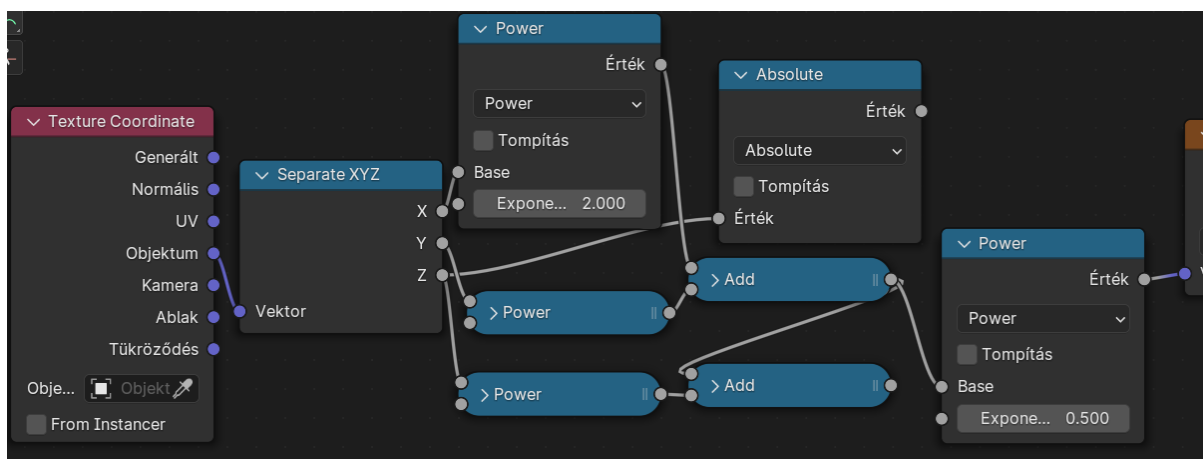


7. ábra: A Tejútrendszer képének árnyékolása.

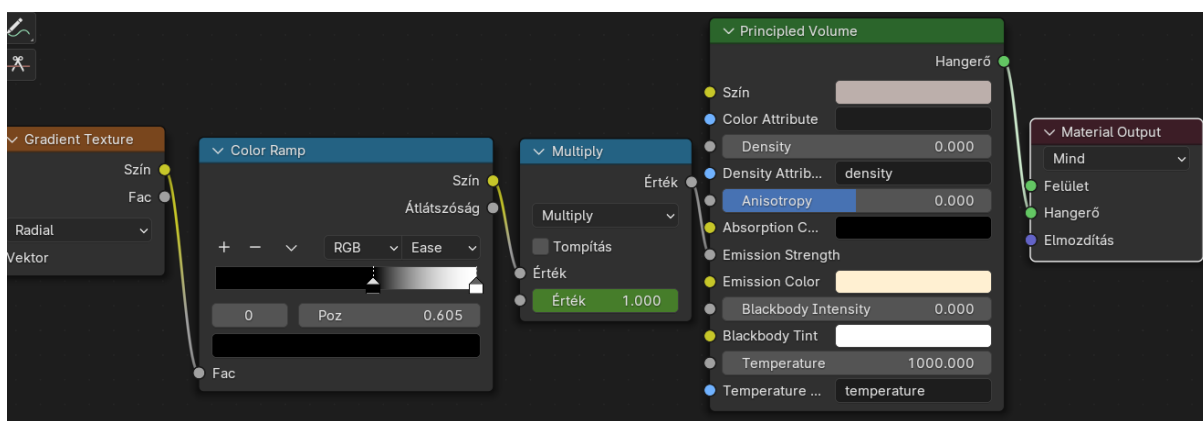
3.2.4. A Tejútrendszer összfénye

A Tejútrendszer csillagainak összeolvadt fényét két lapos koronggal szimuláltam. Az egyiknek a méretét a Tejútrendszer egészéhez igazítottam, a másikat pedig a központi dudorhoz.

A Texture Coordinate node segítségével különítettem el a két objektum X, Y és Z koordinátáit, négyzetre emeltem az értékeket, összeadtam őket és megszoroztam 0,5-tel. Ez a folyamat a 8. ábrán található. A Gradient Texture és Color Ramp node-dal szín- és intenzitás értékeket finomítottam. Erre azért volt szükség, hogy a csillagok összeolvadt fényének erősségét a központtól mért távolság függvényében tudjam állítani, ezzel szimulálva azt, hogy a központtól, illetve a Tejútrendszer síkjára merőlegesen kifelé egyre kevesebb csillag található, azaz ennek összeolvadt fénye is csökken. A Principled Volume egy node-ban összesíti az összes térfogat-árnyékoló összetevőt, ennek segítségével pontosítottam a színbeállításokat. Ezeket a beállításokat a 9. ábrán láthatjuk.



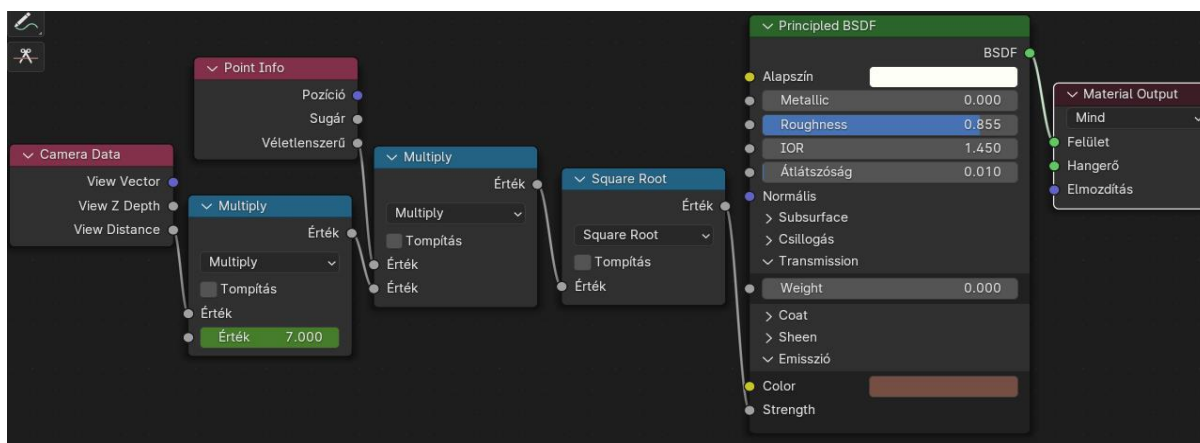
8.ábra: A galaxis központi részeinek árnyékolása.



9. Ábra: A galaxis központi részeinek árnyékolása.

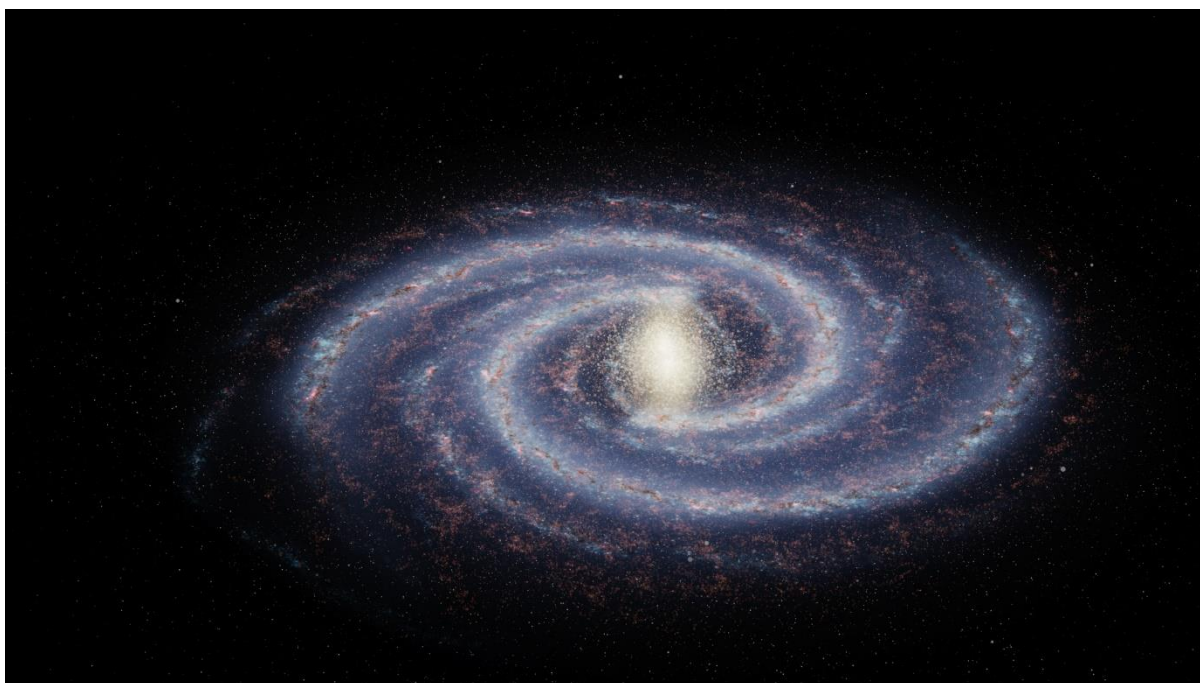
3.2.5. Csillagok, csillaghalmazok és porfelhők színének beállítása

Ahhoz, hogy a Tejútrendszer alkotóelemei közlelről és távolról is jól látszódnak, arra volt szükség, hogy a kamera távolságának függvényében változtassam azok fényességét. Ezt a Camera Data node segítségével lehet megtenni, ami információkat ad vissza arról, hogy a kamera és az objektum közötti távolság mekkora. Ezt az értéket megszoroztam attól függően, milyen színerősséget szeretnék elérni, majd Principled BSDF-node-al beállítottam a megfelelő színárnyalatot (10. ábra). A Tejútrendszer porfelhőinek megjelenítéséhez 425 681 objektumot, a csillagok megjelenítéséhez pedig 57 331 objektumot használtam.

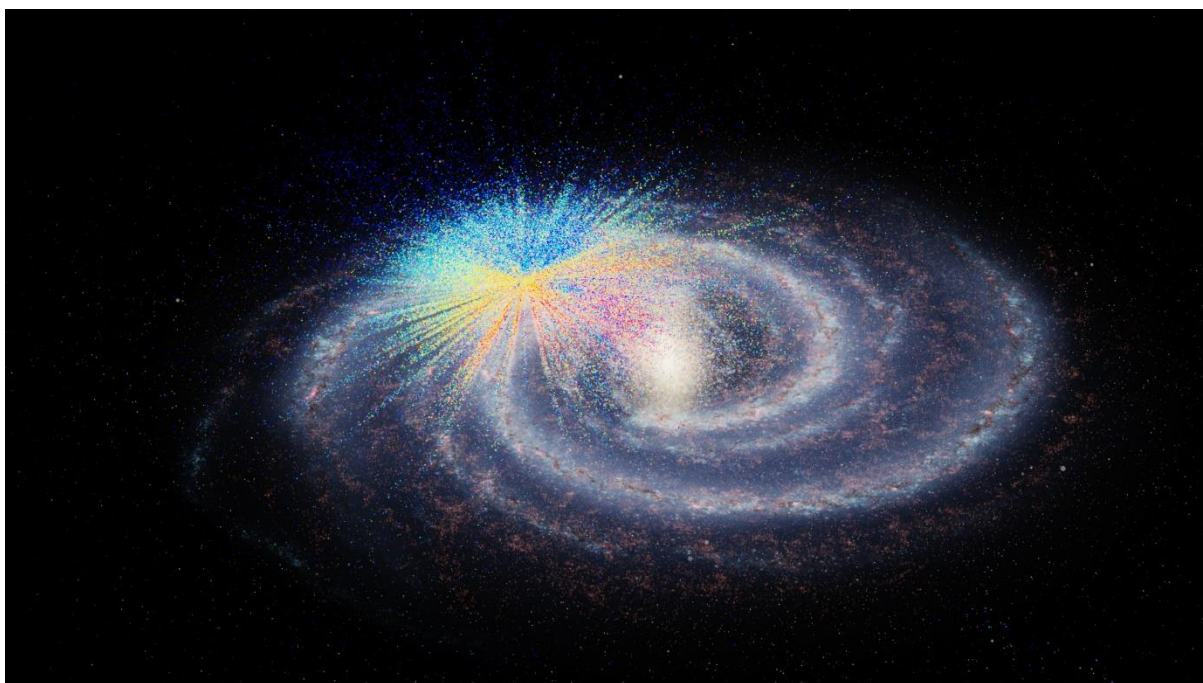


10. ábra: A csillaghalmazok megjelenítése.

A Tejútrendszer Gaia űrtávcső által meghatározott képének, a galaxis korongja és dudor diffúz fényének (több milliárd csillag összeolvadt fényének), valamint a csillagok, csillaghalmazok és a dudor csillagainak megjelenítése a 11. ábrán látható. Az így létrehozott vizualizációhoz tettem hozzá az APOGEE megfigyeléseit, ami a 12. ábrán található.



11. ábra: A Tejútrendszer képe az APOGEE megfigyelései nélkül.



12. ábra: Az APOGEE megfigyelések színtartalom szerinti színezése.

4. A videó elkészítése

Blenderben a kamera térbeli elhelyezkedését külön lehet szerkeszteni, az éppen aktuális képkocka szerint. Ezt használtam fel a videó elkészítésekor. A vizualizáció legelején látható kép a Tejútrendszer központi régióját szemlélteti a Gaia misszió adatait felhasználásával. Ezt követően bemutatom az APOGEE által észlelt csillagok pozícióját, majd ahogy a kamera eltávolodik a galaxistól, megjelenik a körülbelül 400 000 csillag anyagösszetételének szín szerinti bemutatása. A kézzel jelölt csillagokban a Napnál kevesebb, míg a vörössel jelölt csillagokban a Napnál magasabb fémtartalom (héliumnál nehezebb elem) található. A vizualizációban igyekeztem minél több szögből bemutatni az eredményeket, illetve feliratokat adtam hozzá a könnyebb érthetőség érdekében. A videó elejénél, végénél, valamint a feliratok megjelenítésénél be- és kihalványodást állítottam be.

Összefoglalás

Számos égboltfelmérő programot hoztak létre az utóbbi években, amelyek csillagok millióinak fizikai paramétereit határozták meg. Ezek közül kiemelkedik az APOGEE, hiszen ez a projekt nagyszámú csillag kémiai összetételének információit tette publikussá. Eredeti célkitűzésem a Tejútrendszer kémiai összetételének látványos megjelenítése volt. Ehhez a

Blender nevű 3D modellező alkalmazást és az APOGEE fémtartalmait vettem igénybe. Egy Blender fájlban építettem fel a Tejútrendszer képét, majd a publikus adatok elemzését követően, beillesztettem a csillagok kémiai összetételét tartalmazó több százezer objektumot. A galaxisunk minél élethűbb vizualizációja érdekében az egész modellt galaxisunk jelenleg ismert képére készítettem, illetve külön szerkesztettem meg a Tejútrendszer alkotóelemeit. A fő látványelemeket, a csillagokat, csillaghalmazokat és porfelhőket külön node csoportokban színeztem meg és állítottam be méretüket, hogy a videóban élethűen és méretarányosan jelenjenek meg. A vizualizáció elkészítéséhez a kameramozgásokat manuálisan szerkesztettem, hogy minden szögből látható legyen a végeredmény, valamint feliratokat illesztettem be a videó könnyebb megértése érdekében. A vizualizációban kék színnel láthatjuk, hogy a legfémszegényebb csillagok 300-szor kevesebb, míg a legfémgazdagabb csillagok 3,5-ször több fémet hordoznak magukban, mint amennyi a Napban található, ezeket pedig vörössel jelöltem.

Köszönetnyilvánítás

Legfőképpen témavezetőmnek, Mészáros Szabolcsnak szeretnék köszönetet mondani, aki nélkül ez a projekt nem jöhetett volna létre. Rengeteget tanulhattam tőle és mindenben segített a videó, valamint a dolgozat elkészítése során. Hálás vagyok, hogy életkorom ellenére és különösebb tudományos tapasztalatom nélkül elvállalta felkészítésemet, és végig türelmes volt velem. Köszönettel tartozom Kovacsics Bernadett Rita és Sinkó Andrea tanárnőnek, akik munkája nélkül talán sose jutottam el volna idáig. Köszönöttem tartozok szüleimnek, Lendvai Veronikának és Róbertnek, akik egész életemben biztosították a támogatói háttérrel, valamint barátaimnak Csabai Nórinak, Gál Karolinának és Kiss Reginának, akik egész idő alatt lelkiileg segítettek a munkámat.

Hivatkozások

- Abdurro'uf, A. K., et al. 2022, 259, 35
- Cardelli J. A., et al. 1989, ApJ, 345, 245
- García-Pérez, A. E. et al. 2016, AJ, 151, 144
- Kobayashi, C., Karakas, A. I., & Lugaro, M. 2020, ApJ, 900, 179
- Majewski, S. R., et al. 2017, AJ, 154, 94
- Mészáros, S., et al. 2013, AJ, 146, 133
- Gaia Collaboration et al. 2016, A&A, 595, 1
- Gaia Collaboration et al. 2023, A&A, 674, 1
- Wilson J. C., et al. 2019, PASP, 131, 055001