

esetben a kémiát hívták segítségül, mégpedig egy formiát- hidrogén karbonát reverzibilis átalakuláson alapuló ciklust, amely segítségével a hidrogén biztonságos szállítása és tárolása megoldható. A tudományos előadások között sor került egy történelmi áttekintésre is, melynek során végig követhettük a természettudomány fejlődését az ókortól egészen napjainkig, melyben meghatározó szerep jutott a kémia mellett a fizikának is. Kijelenthető, hogy a két tudományág között szoros kapcsolat alakult ki a történelem során, különösen a környezeti kémia és környezetfizika tekintetében. A környezettel kapcsolatosan meg kell említeni azt az előadást, mely szerint az emberi tevékenységből származó légköri vízgőz a felelős a globális felmelegedésért. Ezen is érdemes elgondolkodni, hiszen egy aktuális problémáról van szó.

Összességében elmondhatom, hogy rendkívül érdekes és hasznos találkozó volt a XVIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia. Az új kutatási eredmények bemutatása során számos új ismeretet szereztünk, jó szakmai továbbképzésnek bizonyult. A kutatók, mérnökök, tanárok, egyetemi hallgatók közti kapcsolatfelvételre, a meglévő kapcsolataink ápolására a konferencia helyszíne és résztvevői ideális körülményt teremtettek.

Nagy Botond mesterképzős hallgató

A Tejútrendszer mentén

II. rész

A Tejútrendszer felépítése

Hogy megértsük a Tejútrendszer felépítését, célravezetőnek látszik gyermekkorunk sokszor végigjátszott játékát: a szétszedés-összerakást követni. A Tejutat is szétszedjük alkotó részre, és ezeket csoportosítjuk összetételük és egyéb fizikai tulajdonságaik hasonlósága alapján a legkevesebb számú típusba – persze megtisztítva szinte minden egyedi vonásuktól, és csak a lehető legáltalánosabb közös jellemzőiket ismertetve.

Kiderül, hogy több olyan, bonyolultabb struktúrát is találunk a Tejútrendszerben, amely tovább bontható az előzőeknek megfelelően szétválogatott alapvető elemekre. Ezek a sokkal nagyobb és bonyolultabb rendszerünk „alrendszerei”. A távcsövekkel felvértezett megfigyelő csillagászat évszázadai során lépésről lépésre derült ki, hogy léteznek ilyen „alrendszerek”, amelyek többé-kevésbé szembeötlőek, láthatóan is elkülönülnek tágabb környezetüktől, és saját belső szerkezetük, mozgásuk, fejlődéstörténetük van. Noha a magasabb szintű rendszertől elkülönítve vizsgáljuk majd őket, ezek nem teljesen függetlenek egymástól sem és a nagy összességtől sem.

Miután elemeire szedtünk, és csoportosítottunk mindent, ami a térben szétszóródva a Tejútrendszert alkotja, elkezdjük újra összerakni – először egy „statikus” képet. Ez azt jelenti, hogy a mozgástulajdonságokat nem, csak egy pillanatfelvételnél megfelelő térbeli eloszlásukat vizsgáljuk. Majd megállapítjuk, hogy az eloszlásaikban rendszer van, mindegyiket speciális, különös struktúra jellemzi. Ezután definiáljuk az alrendszereket is (*főbb tulajdonságaik áttekintésével*), majd végül „mozgásba hozzuk” az egészet – azaz dinamikát adunk a rendszernek. Így fog felépülni az idealizált, a valóságosnál jobban áttekinthető modell-Tejútrendszer.

A Tejútrendszer elemi építőkövei – anyagleltár

Imént megfogalmazott elvünk szerint Tejútrendszerünk négy alapvető összetevőre bontható szét: a csillagokra, gázra, porra, és a nevezetes sötét anyagra. Mind a négy jellegzetes tulajdonságokkal bír, és erősen eltérő módszerekkel tanulmányozható.

1. csillagok

A *csillagok* önálló fénykibocsátásra képes, kozmikus „nehézelem-gyarak”, hidrogénből héliumot és nehezebb elemeket fuzionáló, majd ezeket életük végén több-kevesebb mértékben szétszóró tömeg-koncentrátumok. A kb. 60 oktávnyi elektromágneses színkép valamennyi tartományában bocsátanak ki sugárzást, de legtöbbször a szétsugárzott energia döntő része a látható fény 0,36-0,72 μm közti hullámhosszúságú tartományába esik. Ezért akár szabad szemmel, vagy optikai távcsövek segítségével könnyedén vizsgálhatjuk őket¹. Fotolemezekre, vagy CCD képrögzítőkre vetítve ezt a sugárzást: forrásuk irányát, a sugárzás intenzitását és spektrumon belüli megoszlását, valamint polarizációs állapotát – továbbá mindezek időbeli változásait tudjuk rögzíteni. Első pillantásra a csillagok bármilyen félek lehetnek. A Harvard Observatórium Pickering-vezette kutatócsoportjának tagjai vették észre először, hogy a színképek jellemző sajátosságai szerint viszonylag kevés, jól elkülönülő osztályba sorolhatók a csillagok. A mára kialakult osztályozás szerint O, B, A, F, G, K, M és néhány további, viszonylag kevés tagot számláló, később megformált csoportba (pl. N, R, S) sorolhatóak. Ez a betűzési rend – ma már jól ismert – elsősorban a csillagok felszíni hőmérsékletének, de többé-kevésbé a tömegük, átmérőjük és szétsugárzott fényteljesítményük² csökkenő sorrendjének is megfelel³. Ábrázolva a csillagok kisugárzott fényteljesítményét (*luminositását*) a felszíni hőmérséklet (*avagy a színképtípus*) függvényében, a jól ismert ábrát kapjuk: a Hertzsprung-Russell Diagramot (*röviden HRD*). Nem túlzás azt állítani: ez az asztrofizika kulcsábrája, a csillagok egész élete ezen a grafikonon bonyolódik, az elméletnek ezt az eloszlást kell megmagyaráznia, értelmeznie.

A csillagok tömege és mérete csak viszonylag szűk tartományon belül mozoghat⁴. Ma már közismert, hogy a csillagok időbeli fejlődéstörténete pedig elsősorban csak a tömegtől függ, annak kezdeti értéke által egyértelműen meghatározott⁵.

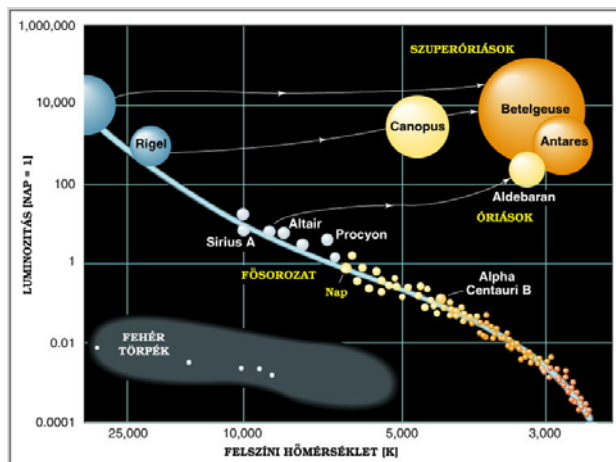
¹ Természetesen kialakulásukkor és életük során időszakonként előfordulhat, hogy aktívvá válva a látható fényben kibocsátott energiámmennyiséggel összehasonlítható – netán azt meg is haladó – mértékben más tartományba eső sugárzást is kibocsátanak időlegesen (ami persze jelenthet akár ezer évet is): IR, UV, röntgen.

² A teljes 4π térszögbe időegység alatt kisugárzott összenergia megnevezése szakszóval: luminositás

³ A kép pontosítása itt nem lényeges, de természetesen megemlíteném, hogy vannak nagyon kis méretű, mégis forró csillagok – ezek a fehér törpék, valamint hatalmas méretű, mégis hideg felszíni csillagok – ezek a vörös óriások. Ezek a csillagfejlődés különféle jellegzetes állapotainak felelnek meg, így a fenti megállapítás annak a plusz információnak a hozzátevésével igaz, hogy az egyes csillagok élettartamának leghosszabb szakaszát kitöltő „normál állapot”-ban.

⁴ A csillagok tömegének felső határa valahol 150 Naptömeg környékén lehet. Az alsó határát kb. 0,08 Naptömeg körülre teszik – ez az a tömeg, amelynél még működhet a hidrogénfúzió a magban. Méret szerint a legnagyobbak mai ismereteinknek megfelelően a vörös szuperóriások, ezek akár 1500-szor is nagyobbak lehetnek Napunknál, a legkisebbek pedig a fehér törpék, 0,01 Napátmérő körüli értékekkel.

⁵ A képet kissé árnyalja még a kezdeti kémiai összetétel (az ún. fémtartalom) is.



1. képmelléklet

A Hertzsprung-Russel Diagram, és néhány ismert csillag helye a diagramon
(forrás: GAO honlapja, Szombathely)

A Tejútrendszer felépítése szempontjából még azt is fontos tudnunk (*később ennek szerepe lesz*), hogy általános „szabály” szerint: a nagyobb tömegű csillagok végállapotig számított „élettartama” a tömeggel fordítottan arányos. A magban hidrogén-égető állapot még ennél is rövidebb¹. A „normál állapotú” – azaz a magbéli hidrogén-égető fázisban tartózkodó csillagok összességének másik elnevezése (*a HRD-n elfoglalt helyük alapján*) „fősorozati csillagok”². Míg a Napunkéval azonos tömegű csillagok 10 milliárd évig találhatóak ebben az állapotban (*a kisebbek még ennél is sokkal tovább*), addig egy 10 Naptömegű alig 30 millió évig. A magbéli hidrogén koncentrációjának kritikus érték alá csökkenésével „elfejlődik” a fősorozatról a csillag, pozíciója a fényesség-színképtípus grafikonon elvándorol a főágról. Innentől az egymástól lényegesen különböző tömegű csillagok életpályája eléggé eltérő lesz. A legkisebb ($M < 0,4$ Naptömegű vörös törpe) csillagok mindvégig ilyenek maradnak, majd életük végén lassan kihűlnek. A kistömegű csillagokból a vörös óriás állapot után (*a légkör egy részének leválásával, ami később planetáris ködként figyelhető meg*) fehér törpe lesz, ami nagyon lassan kihűl. A közepesen nagy tömegű csillagokból ($M > 8$ Naptömeg) szupernóva-robbanás után gyorsan forgó neutroncsillag (*pulzár*), ill. a legnagyobb tömegű csillagok esetében fekete lyuk lesz.

A csillagok száma Tejútrendszerünkben kb. 100-200 milliárdra tehető, de ez a szám igen bizonytalan, még a mai, a korábbiaknál sokkal kifinomultabb statisztikai becslések ellenére is. Az elsőként Herschel által alkalmazott (*ld. bevezetőben*), a csillagok egyforma szögterületűbe eső számának számlálására alapuló „stellárstatisztika” a mai napig fontos módszer maradt a Tejútrendszerben található csillagok eloszlásának tanulmányozá-

¹ Egy jó becslés a fősorozati lét időtartamára (kb. 0,1 – 50 Naptömeg közötti csillagokra):

$$\tau_{\text{MS}} \approx 10^{10} \cdot \frac{M}{L} [\text{év}] \approx 10^{10} \cdot M^{-2,5} [\text{év}] \text{ ahol a tömeget (M) Naptömegben, a luminozitást (L) Napluminozitás egységben kell megadni.}$$

² A csillagok luminozitásának a színképtípus (vagy hőmérséklet) szerinti ábrázolásával előálló HRD-n – ld. fentebb – jellegzetes, elnyújtott S alakú, átlósan futó sávot rajzol a „fősorozat”.

sában. Természetesen a mostani alkalmazások már jóval finomabbak a korábbiaknál. Már pl. J. C. Kapteyn (1851-1922) által vezetett, 1906-ban elkezdett csillagszámlálás során is különbséget tettek a csillagok látszó fényessége, színképtípusa, és más mérhető tulajdonságai között¹. A legalapvetőbb megállapítást már a legegyszerűbb felmérésekből is leszűrhetjük: az egyre halványabb csillagokból egyre több van:

1. táblázat

Az égbolt adott fényrendnél fényesebb csillagainak összesített száma

Magnitúdó	0	1	2	3	4	5	6	7
Darab:	4	15	48	171	513	1.602	4.800	14.000

További fontos megállapítás, hogy a Tejút sávjának derengését elsősorban a nagyszámú, viszonylag halvány csillagok összemosódó fénye adja (főleg a 13 magnitúdó körülüké – az ennél halványabbak jöllehet többen vannak, de összesített sugárzásuk sem számottevő, a fényesebbek meg bár nagyobb mennyiségű sugárzást bocsátanak ki, de jóval kevesebben vannak). A pontos számlálásokból világosan kirajzolódik a csillagok eloszlásában egy igen erős, nagyfokú szimmetria: egy sík mentén igen elnyúlt tartomány – és egy jól definiálható „központ”. Persze a mai, pontosabb tanulmányozás során a matematikai statisztika és a valószínűség-számítás kifinomult módszereit is alkalmazzák.

A csillagok számának eloszlása egy szűk központi térségtől kifelé minden irányban (radiálisan) gyorsan (exponenciálisan) csökken, ezen belül is egy igen keskeny, lapos tartományra koncentrálódik – ez kijelöl egy közelítőleges síkot, amit a Tejút „fő síkjá”-nak nevezünk. A síkban a központtól radiálisan kifelé lassabban csökken a csillagok térbeli sűrűsége, mint arra merőlegesen bárhol is, – azaz más az exponenciális eloszlásfüggvény kitevője. E ponton vezessük be az exponenciális eloszlás egy szemléletes paraméterét, a H -val jelölt „skálamagasság”-ot, amely a kitevőbeli hányados osztója:

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{h}{H}}$$

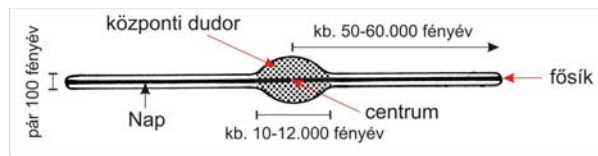
A skálamagasság azt adja meg, hogy a viszonyítási ponttól (a síkra merőlegesen, vagy a középponttól kifelé) mekkora távolságban csökken le valamely tekintetbe vett objektum-típus térbeli sűrűsége a viszonyítási pontnál érvényes N_0 értéknek kb. 36%-ára. H ismeretében tetszőleges h távolságban megbecsülhetjük az objektum-típus közelítőleges N sűrűségét.

2. táblázat

Néhány főbb fősorozati csillagtípus átlagos skálamagasság faktora a fősíkra merőlegesen (parsec-ben)

¹ Sajnos a Kapteyn-vezette statisztikai felmérés egy lényeges ismeret – a csillagközi fényelnyelés – híján téves következtetésekre vezetett mind a Tejútrendszer, mind az Univerzum méretei felbecslése tekintetében!

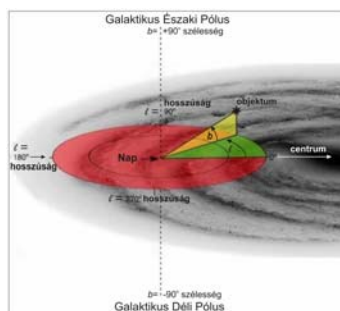
Spektráltípus	Skálamagasság (pc)
O	50
B	60
A	115
F	190
G	340
K	350
M	350



5. ábra

A Tejútrendszer fősíkjára merőleges metszete („oldalnézete”) – a csillagok eloszlása

A Naprendszer elhelyezkedése szempontjából e ponton egyelőre annyival elégedjünk meg, hogy Napunk, és így mi is – a fősík közelében vagyunk, a Tejútrendszer centrumaként aposztrofálható ponttól kb. 25.000 ± 1.000 fényév távolságban (*az ábrán nyíl mutatja*). Ezzel egyidejűleg immáron ki is tűzhetjük a tejútrendszer szerkezetének tárgyalásakor legcélszerűbb koordináta-rendszert: ennek kezdőiránya a Naptól a centrumhoz húzott egyenes, kezdősíkjá a fősík. Ebben a centrum irányától az É-i galaktikus pólus felől nézve az óramutató járásával ellentétesen mérjük a „galaktikus hosszúság” koordinátát (*0-tól 360 fokig, jele: l*), míg a síktól a galaktikus É-i pólus felé 0-tól +90 fokig, és a D-i pólus felé -90 fokig a „galaktikus szélesség” koordinátát (*ennek jele: b*)¹. A továbbiakban többször fogunk erre hivatkozni.



6. ábra

A galaktikus koordináta-rendszer értelmezése

Hegedüs Tibor

¹ A galaktikus koordináta-rendszert 1958-ban rögzítette az IAU (Nemzetközi Csillagászati Unió). Kicsit eltér a Tejútrendszer fizikai középpontjának gondolt Sgr A pontszerű rádióforrás irányától. Annak koordinátái a galaktikus koordináta-rendszerben: $l=359^\circ 56' 39.5''$, $b=-0^\circ 2' 46.3''$. A galaktikus koordináta-rendszer $l=0$ $b=0$ kezdőirányának ekvatoriális koordinátái: $17^h 45^m 37.224^s -28^\circ 56' 10.23''$ (J2000), északi pólusáé ($b=90^\circ$) $12^h 51^m 26.282^s +27^\circ 07' 42.01''$ (J2000).