

A Tejútrendszer mentén

IV. rész

3. por

A *csillagközi por* az előzőektől lényegesen eltérő fizikai tulajdonságú anyag. Összetétele három elkülönülő komponensre bontható:

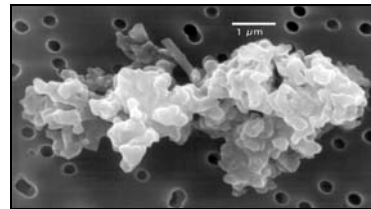
a) nagy méretű porszemcsék: $\sim 1 \mu\text{m}$ (*mikronos*) mérettartományú szilikátszemcsék ($[Si/H]=3 \times 10^{-5}$), ill. szénmódosulatok (*többnyire amorf széntartalmú vegyületek*, $[C/H]=2,5 \times 10^{-4}$, *gyakran tűszerű kristályok formájában*), alkalmasint jeges bevonattal (*főleg a hideg, sűrű molekulafelhőkben található por szemcséire fagyhat ki H_2O , CO , CO_2 , NH_3*). Átlagos sűrűsége e porkomponens anyagának (*tehát nem a térbeli eloszlás sűrűsége!*) kb. $2,5 \text{ g/cm}^3$.

b) nagyon kis méretű ($< 10 \text{ nm}$) por, amely a grafit tulajdonságait mutatja. Ez elsősorban a csillagközi por közepes infravörös tartománybeli viselkedéséért (*emisszió*) felelős, amit a nagy méretű szemcsékkel nem lehet magyarázni.

c) policiklikus aromás szénhidrogének. Ezek a porfelhőkben a közeli és közepes infravörös hullámhosszon megfigyelhető emissziós molekula-sávokért, és az erős UV-beli extinkcióért felelősek.

A csillagközi térben nem keletkezik por, legfeljebb csak módosulhat, ill. megsemmisülhet. Származására nézve a legfőbb forrásaiként a vörös óriáscsillagok és AGB (*aszimptotikus óriás ág csillagai*) légköre és csillagszele jelölhető meg. A Tejútrendszerben a por nagyjából ugyanúgy oszlik el, mint a semleges hidrogén gáz: a fősík mentén, a „vékony korong”-ban, egy keskeny, alig párszáz fényév vastagságú térrészben. Ettől távolabb rohamosan csökken a sűrűsége.

A portömeg legkönnyebben közvetetten, a csillagok sugárzási terével való kölcsönhatásban észlelhető, de a csillagspektrumok jellegzetes vonalainak a helyét nem tolja el. A kölcsönhatás neve „szórás” – ami kifejezi azt, hogy a fényben rezgő elektromos térrel kölcsönhat az útja közvetlen közelébe került részecske, és ez a fény eredeti irányának megváltozását eredményezi. Ennek ellenére gyakran egyszerűen úgy szerepel az ismeretterjesztő irodalomban, hogy a por „elnyeli” a fényt. Persze a szórás következménye ugyanaz, mint az elnyelésé: adott észlelési irányba kevesebb fény jut tovább – de míg az elnyelés (*fizikai abszorpció*) során semmilyen irányba nem halad tovább az elnyelt foton, a szórás esetén valamilyen irányba mégiscsak továbbmegy¹. Ezt nevezzük a „csillagközi



9. ábra

A szemléltetés kedvéért: Naprendszerünk bolygóközi terét kitöltő por egy szemcséje (kondrit). Hasonlóak lehetnek az interisztelláris amorf, szilikátos szemcsék is

¹ Továbbá fontos velejárója a szórási jelenségnek, hogy a szórás során jelentős mértékben polarizálódik a fény, ami lineáris polárszűrők alkalmazásával ki is mutatható.

extinkció”-nak ¹. A fény csökkenésének mértéke nyilvánvalóan a közeg porkoncentrációjával is arányos. Kiszámítható, hogy a sokezer fényévnyi távolságokon, még a mikros méretű szemcsék is képesek szinte tökéletes mechanikai „takarást” okozni, azaz a fénysugár útját teljesen elzárni ²! A fényesség magnitúdóban mért csökkenésének egyszerű leíró egyenlete jól ismert: $m = m_0 + A \cdot d$

Ahol m_0 a por jelenléte nélkül mérhető látszólagos fényesség, A az extinkciós együttható, d a tekintetbe vett csillag távolsága (általában parsec-ben mérve, így akkor az extinkciós együttható mértékegysége magnitúdó/parsec). Mithogy m_0 nem ismert, az abszolút fényesség és a látszó fényesség összefüggésének képletébe beírva m iménti kifejezését:

$$M = m + 5 - 5 \cdot \log d + A \cdot d$$

A Tejútrendszer centruma irányában $A \cdot d$ eléri, helyenként meg is haladja a 25 magnitúdót, azaz gyakorlatilag látható fényben a Tejút centruma, és annak iránya körüli kúp alakú térszögben az egész Univerzum észlelhetetlen ³.

Sajnos a látható fénybeli vizsgálatokból a por látóirány menti eloszlását nem tudjuk megmondani, erre érzéketlen a módszer. Azonban, ha a vizsgálati irány környékén (feltételezve, hogy nem túl erős a szögfüggés az irány közelében, a por adott távolságban ekkora tartományokon homogén eloszlású) több különböző távolságban lévő csillag is látható, amelynek távolsága és abszolút fényessége is ismert, akkor legalább durván, nagy intervallumokon megmondható (nyilván ez csak nagy távolságokon működhet, ill. közelebbi térrészeknél minél halványabb látszó fényességű csillagok detektálásával).

A Tejútrendszerünk korábbi pontos felmérését épp ez az anyagfajta akadályozta meg! Ugyanis ezt a csillagközi extinkciót még nem ismerték, a csillagok számlálásakor nem vették figyelembe a távolsággal arányos, és irányonként eltérő mértékű fényességcsökkenést. Elsők között a neves, több generációs csillagász-család első tagja, F. G. Wilhelm von Struve (1793-1864) vette észre a csillagközi fénycsökkenést, és bár mechanizmusát még nem tudta leírni, de pl. mértékét egészen jól becsülte meg: 1000 parsec-enként 1 magnitúdó (1847).



3. képmelléklet

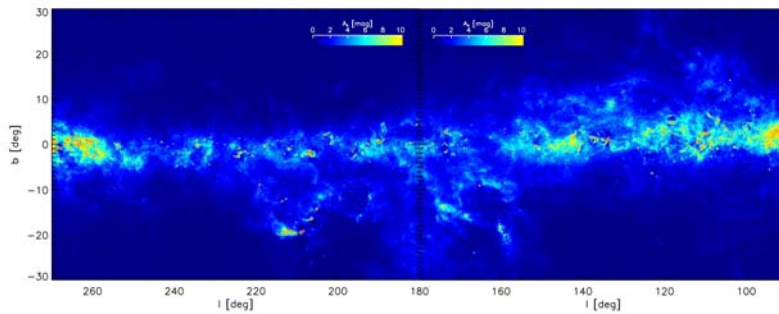
A porfelhők egyes irányokban csillagok térbeli (pontosabban „térszög szerinti”) eloszlásában jelentkező ritkulások nyomán mutatkoznak meg

¹ Az extinkció pontos értelmezésében minden fénycsökkentő hatás együtteseként létrejövő intenzitás-csökkenésről van szó, azaz az abszorpció és a szórás összege.

² Pl. a látóirányunk körüli keskeny hengeres térrészben már kb. 3×10^{-21} g/cm³ sűrűségű, egyenletes, véletlenszerű szemcseeloszlású por esetén is, 1000 parsec távolságon belül valahol bizonyosan részecskébe ütközik a látóirányunkkal párhuzamosan, a hengeren belül véletlenszerű helyen induló fénysugár.

³ Érdekeség, hogy a centrum irányában, kissé alatta, ekvatoriális koordináta-rendszerben 18^h03^m20,9^s, -30°02'06" ill. galaktikusban $l = 1,001$, $b = -3.885$ körüli nagyjából 1 fokos kúpban szinte alig van elnyelődés, ez az ún. „Baade-ablak” (felfedezőjének, W. Baade-nak a neve után). Ezen keresztül egy ekkora tartományban szinte akadálytalanul tanulmányozható a Tejút centruma a látható fényben is. Az extinkció itt 1,26-2,79 magn. között változik V fotometriai sávban (550 nm környékén).

A különböző irányokban más-más mértékű az extinkciós együtttható értéke. Ennek feltérképezése gondos, a legkorszerűbb stellárstatisztikai vizsgálatok révén történhet, ill. a mára már nagy mennyiségben rendelkezésre álló, legkülönbözőbb infravörös hullámhosszon elvégzett égbolt-felmérések alapján. Így napjainkra már igen részletes extinkciós térképek állnak rendelkezésünkre (ld. pl. 4. képmelléklet).



4. képmelléklet

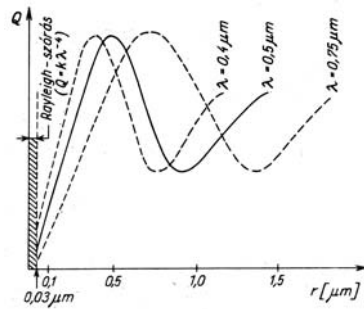
Az égbolt egy részének extinkciós térképe (galaktikus koordinátarendszerben ábrázolva, az anticentrum van középen, a centrumtól K-re és Ny-ra 90 fok irányok a jobb és bal széleken). A színkép színeinek megfelelően kódolt a térkép: sötétkéktől a zöldön át minél inkább közeledünk a vörös felé, annál nagyobb az extinkció értéke. (2MASS eredmény)

A szórás lényeges tulajdonságaihoz tartozik annak hullámhosszfüggése (ez elsősorban a szóró centrumok fizikai méretével függ össze), és hatásosságának irányfüggése. A hullámhosszfüggés széles mérettartományban igen bonyolult (ld. a 9. ábrát).

A tekintetbe vett hullámhossz nagyságrendjébe eső méreteknél igaz a Rayleigh-féle közelítés, ami szerint a szórt fény intenzitása a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos:

$$I \cong \frac{I_0}{\lambda^4}$$

Azaz: a kék erősebben (hatékonyabban) szóródik, mint a vörös, így bár a porról szóló rész elején azt említettük, hogy a csillag spektrumvonalait nem befolyásolja – de a csillagok fényének spektrumán belüli energiaeloszlási trendet a kék felé erősen megvágja, hatványfüggvény szerinti lefutásban.



10. ábra

A szórás hatékonyságának (Q) függése a szóró közeg részecskéinek méretétől, különféle hullámhosszúságú fényre ($\lambda=0,4 \mu\text{m}$ ibolya, $\lambda=0,5 \mu\text{m}$ zöld, és $\lambda=0,75 \mu\text{m}$ mélyvörös)

A végeredmény értelemszerűen a korábbi (alapvetően a fekete test-szerűbőz közelítő) eloszlás eltolódása a hosszabb hullámhossz felé: valamilyen mértékű „vörösödés”. Nagy távolságból tehát egy kék csillag akár egészen vörösnek látszana ¹, a jelenség hasonló a földi légkörben a felkelő és lenyugvó Nap szabad szemmel is jól láthatóan vöröses elszíneződéséhez. Emiatt az egyes csillagok távolságának és az abban az irányban ismert extinkciós koefficiensnek az ismeretében a csillagok ún. színindexét is korrigálni kell. A fényesség-színképtípus grafikonon a csillagközi extinkció miatt összességében felfelé is, és kismértékben oldalra is tolódnak a csillagok – tehát egy ferde eltolással kalibrálható be az eredeti helyük.

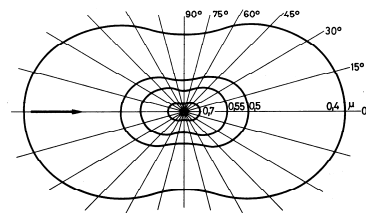


5. képmelléklet

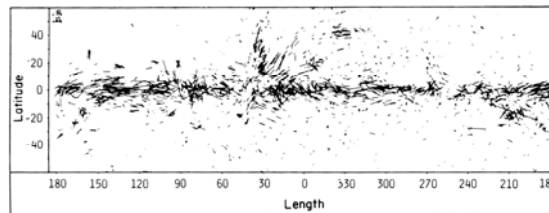
A közeli fényes csillag, a Rigel kékben gazdag sugárzásának szórásával megmutatkozó, szeszélyes körvonalú „Boszorkányarc”-köd (IC2118) – a hatékonyabban szóródó rövidebb hullámhosszúságú fény miatt ez is kékben játszik.

A szórt fény intenzitás-eloszlását szemlélteti a jól ismert „piskóta-diagram”:

A szórt fény jellegzetesen polarizált is egyben – a legerősebb lineáris polarizáció a szóródó fény eredeti forrásának irányára merőlegesen figyelhető meg (az ábrán $\phi=90^\circ$ irányban, fel-, és lefelé). Ez némiképp több lehetőséget ad a csillagközi por tulajdonságainak kicsit mélyebbre ható vizsgálatára.



A Tejútrendszerben nagy területeken eléggé magas százalékban egységes a polarizáció iránya, amiből az következik, hogy elég jó százalékban egymással párhuzamosan rendeződnek el a túszerű kristályok. Ebből következtetnek a gyenge csillagközi mágneses terekre.

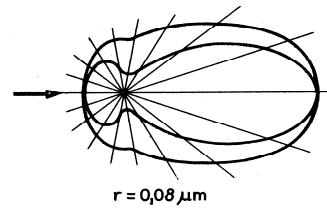


11. ábra

Az interstelláris poron szóródó fény lineáris polarizációja irányának eloszlása a Tejútrendszerben

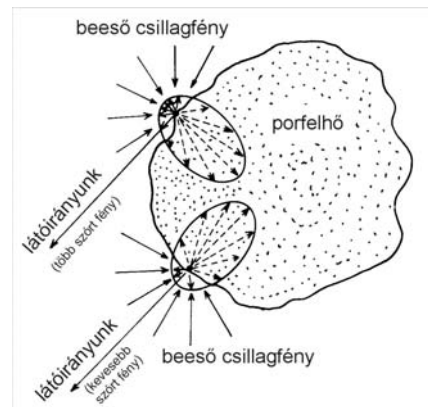
¹ persze, ezzel együtt a sugárzás össz-mennyisége is nagyon lecsökken, tehát halványul is, és vörösödik is.

A sugárzás jellemző hullámhosszánál nagyobb karakterisztikus méretű szemcsék esetén a Rayleigh-közelítés elégtelen eredményt ad, ilyen esetekben a szórást pontos matematikai leírása a Mie-elmélettel történik. Ennek jellemző szórási diagramja a torzított piskóta:



Érdekes megfigyelési tény, hogy a túlnyomó mértékben port tartalmazó „reflexiós ködök” fényes pereműek – ennek magyarázata a mellékelt ábráról nyilvánvaló (a többféle irányból érkező megvilágító fénysugarak mindegyike szóródik a piskóta-diagram szerint, és a felösszegezett végeredmény a porfelhő pereme felől több szórt fényt eredményez):

Általános szabályszerűségnek tekinthető, hogy a gáz szinte mindig valamennyi porral együtt fordul elő – a por részaránya kb. a gáz mennyiségének tizede. A pornak nagyon fontos szerepe van a csillagközi anyagfelhők termodinamikája szempontjából – mintegy „hűti” azokat – rövid úton szétszórva az esetleges közelebbi forró fiatal csillagok UV fényét, stb. miközben maga pedig „melegszik”. A porhőmérsékletnek megfelelő termikus sugárzás az alacsony hőmérsékletek miatt a távoli infravörösbe esik. Ezért a csillagközi por eloszlását és egyéb tulajdonságait igazán az IRAS űrtávcső, és társai (ISO, Spitzer) működése óta ismerjük részleteiben. Relatívén legnagyobbat tartalmaz a leghidegebb tartományoknak, a molekulafelhőknek, és azon belül is azok legdenserűbb tartományainak, a „felhőmagok”-nak van.



12. ábra

A reflexiós porködök érdekes megfigyelt sajátosságának, a peremfényesedés szemléletes magyarázata

Ezek csillagok keletkezési helyei is, ezért az ilyenek nagy része egyúttal infravörös pontforrás is, ugyanis mélyükön az összehúzódó felhőanyagban már születőfélben van egy-egy csillagkezdemény (protocsillag). Genetikailag ma már egyértelmű és nem vitatott a kapcsolat a csillagközi gáz-por felhők sűrűsödései és a csillagok születése között.

Az eddig elmondottakból következően, míg a $0,55 \mu\text{m}$ körüli vizuális tartományban a centrum irányában 25 magnitúdónál is nagyobb az intenzitás csökkenése, addig a közepes infravörös tartományban, $25 \mu\text{m}$ környékén már közel nulla! Tehát nem csupán azért „hasznos” infravörös tartományban csillagászokdni, mert ebben látjuk emisszióban a port, és a sűrű felhőmagok mélyén születőfélben lévő csillagokat, hanem pl. mert sokkal nagyobb távolságokra ellátunk, mint a látható fényben – ez később, a Tejút centrumának feltárásánál döntő szempont lesz.

Hegedüs Tibor