

CSILLAGÁSZATI ANKÉT

A Magyar Tudományos Akadémia III. Osztálya 1954. március hó 29-én csillagászati ankétet rendezett „A csillagok keletkezése, különös tekintettel Ambarcumjan vizsgálataira“ címmel. Az ankéten Egerváry Jenő r. tag elnökölt, a bevezető előadást dr. Detre László tartotta. Az alábbiakban közöljük az ankét anyagát.

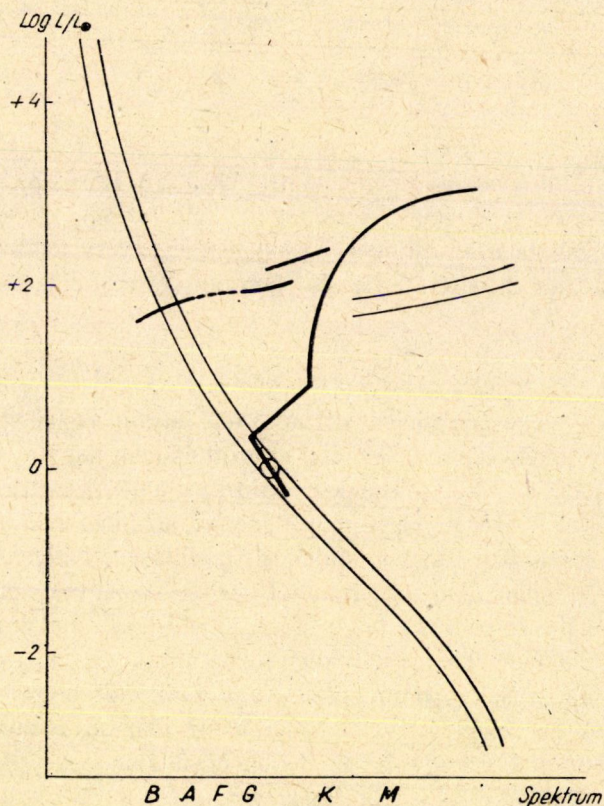
DETRE LÁSZLÓ, a matematikai tudományok doktora:

A kozmogónia egészen a jelen század 30-as éveiiig tisztán spekulatív tudomány volt, amely önkényes modellekkel dolgozott és nem nagyon törődött azzal, hogy ezek a modellek meg vannak-e valósítva a természetben. Így a mult században és a jelen század első negyedében a kozmogóniai kutatások túlnyomó részt a különböző forgási modellek stabilitásával, illetve instabilitásával foglalkoztak. Matematikai szempontból szép eredmények születtek, de közben igen kérdéses volt például, hogy előfordulnak-e egyáltalán a természetben olyan gyorsforgású égitestek, amelyekben instabilitás lép fel. Mikor pedig a 30-as években spektroszkópiai megfigyelésekből kiderült, hogy vannak ilyenek, akkor a csillagok szerkezetéről való ismereteink már arra mutattak, hogy a csillagokra az eddigi kozmogóniai modellek egyáltalán nem alkalmazhatók.

Ugyanígy nem sikerült ezeknek az elméleteknek alkalmazása a csillagrendszerek fejlődésére. *Jeans*nek ilyen irányú vizsgálatai szerint a csillagrendszerek fejlődésének útja a gömbalakú csillagrendszerekkel kezdődik és a nyitott spirálisokkal végződik. Az utóbbi évek megfigyelési eredményei azonban megmutatták, hogy a gömbalakú csillagrendszerekből nem fejlődhetnek ki spirális csillagrendszerek.

Amikor a csillagok állapothatározóiról már megfelelő számú adat áll rendelkezésre, igen sok kozmogóniai spekuláció alapját képezte az ú. n. Russell-diagramm. Ez a csillagok eloszlását adja az aránylag legkönnyebben meghatározható két állapothatározó, a valódi fényesség és a spektráltípus szerint (lásd ábrát). Ebben a diagrammban a Nap körüli csillagok túlnyomó része egy vonal, az ú. n. főág mentén helyezkedik el, mely a nagy hőmérsékletű és nagy fényességű szuperóriás csillagoknál kezdődik és a csillagok növekvő gyakoriságával halad a kis hőmérsékletű és kis fényességű vörös törpékig. A két véglet között a fényesség aránya 10^{10} . Ennek az ágnak felső részébe nyúlik be az óriás csillagok ága, amely mentén a Napnál kb. százszor fényese-

sebb vörös és sárga csillagok helyezkednek el. Külön csoportot képeznek a diagrammban az ú. n. fehér törpék. Ezek nagy hőmérsékletű és kis fényességű csillagok (az ábrán nincsenek feltüntetve).



A csillagok Russell-diagrammja. Vastag fekete vonal jelzi a II. populációjú, két vékony vonal közötti rész pedig az I. populációjú csillagok eloszlását. Az ordináta $\log L/L_{\odot}$, ahol L a csillag által másodpercenként kisugárzott energia-mennyiség, L_{\odot} ugyanez a Napra. Az abszcissa a spektráltípus; ez egyúttal kifejezi a csillag felületi hőmérsékletét, amely az O csillagoknál kb. 20000° , az M típusnál 3000° . A II. populációjú csillagoknál szaggatott vonal jelzi a rövidperiódusú Delta Cephei csillagok helyét. A Nap helyét karika jelzi.

A Russell-diagramm ágait sokáig tekintették a csillagok fejlődési útjának. Ez az interpretáció addig, amíg a csillagsugárzás forrásának a gravitációs energiát tekintették, sikeresnek látszott. Amikor kiderült, hogy a csillagok tömege a főág mentén lefelé csökken, azt tételezték fel, hogy az anyag a csillagok belsejében teljesen át tud alakulni sugárzássá és így a csillag fejlődése folyamán, bár igen hosszú idő alatt, változtatja tömegét. Ma már biztosra vehetjük, hogy magreakciók (elsősorban hidrogénnek héliummá alakulása) szolgáltatják a csillagok sugárzási energiáját. Ez nem jár lényeges tömegvesztéssel. Tehát a csillagok túlnyomó részének tömege fejlődése közben

csak jelentéktelenül csökken. Ez alól kivételt csak azok a csillagok képeznek, melyeknek korpuszkuális sugárzása jelentékeny. A korpuszkuális sugárzás kozmogóniai jelentőségére *Feszenkov* hívta fel a figyelmet. [1].

Ten *Bruggencate* kísérte meg először [2], hogy különböző csillaghalmazok Russell-diagrammjának összehasonlításából empirikusan határozza meg a csillagfejlődés útjait. Úgy gondolta, hogy mivel a csillaghalmazok idővel a Tejútrendszer árapály-erői következtében feloszlanak, a halmazok korát, legalább is statisztikailag, feloldottságuk mértéke árulja el. Eszerint a nyílthalmazok sokkal korosabbak lennének, mint a gömbhalmazok. Ma már tudjuk, hogy ennek éppen az ellenkezője igaz.

A Russell-diagrammok helyes interpretációjára akkor kaptunk először útmutatást, amikor *Baade* [3] különböző csillagrendszerek diagrammjait hasonlította össze. Kiderült, hogy lényegében csak két egészen különböző Russell-diagramm fordul elő. A gömbalakú csillagrendszerekben, a gömbhalmazokban, a spirális csillagrendszerek magjában, továbbá az ezeket szintén gömbalakban körülvevő csillagok esetében a Russell-diagramm legfényesebb csillagai a vörös óriások, míg a fehér szuperóriások hiányoznak. A spirális karokban, a nyílthalmazokban, ezzel szemben a legfényesebb csillagok a fehér szuperóriások. Utóbbi csillagfajtákat *Baade* I. populációjú, az előbbieket pedig II. populációjú rendszereknek nevezte el (lásd ábrát).

A két populációt megfigyelésileg legkönnyebben a változócsillagok segítségével lehet megkülönböztetni. Rövidperiódusú δ Cephei csillagok, RV Tauri-változók a II. populációhoz, a klasszikus δ Cephei csillagok az I. populációhoz tartoznak.

Kozmogóniai szempontból a leglényegesebb különbség a kétfajta csillagtípus között az, hogy az I. populáció mindig intersztelláris gáz- és porfelhőkkel együtt jelentkezik, míg a II. populációjú rendszereket ilyen anyagok teljes hiánya jellemzi. Minthogy a Világegyetem jelenlegi állapotában csillagok képződése csak ilyen anyagok kondenzációjaként képzelhető el, ebből az is következik, hogy a II. populációjú csillagrendszerekben új csillagok képződése ma már lehetetlen.

De képződnek-e még csillagok az I. populációjú rendszerekben, ahol ehhez az alapfeltétel, az intersztelláris anyagok jelenléte megvan? Már az, hogy az I. populációt igen nagy hőmérsékletű *O* és *B* színekű szuperóriások jellemzik, ezt igen valószínűvé teszi. Mert ilyen csillagok, legalább is jelenlegi fényességükben, nem sugározhatnak nagyon régóta, hiszen így már kb. 10 millió év alatt elhasználnák összes hidrogénjüket. Ez az idő igen kicsi a Föld korához (2—3 milliárd év) képest.

Azonban elképzelhető, hogy ezek a csillagok régebben is megvoltak, kisebb fényességgel vagy sötéten, és csupán jelenlegi állapotuk nem régi. *Ambarcumjan* kutatásai [4] azonban bebizonyították ennek ellenkezőjét. Ezeknek a vizsgálatoknak lényege, hogy az *O* és *B* csillagok csoportokban, ú. n.

társulásokban található. *Ambarcumjan* kimutatta, hogy e társulások dinamikailag erősen instabilisak és így gyorsan feloszlanak. Az tehát, hogy ennek ellenére még mindig sok társulás létezik, e társulások és egyúttal az őket alkotó csillagok fiatal korát bizonyítja.

Ambarcumjan és munkatársai kimutatták, hogy a társulások legtöbbször *O*- és *B*-típusú csillagokat tartalmazó csillaghalmazok körül található. Mivel a legtöbb társulás gömbalakú, holott a Tejútrendszer differenciális rotációja a társulásokat a forgás irányába szétnyújtani igyekszik, *Ambarcumjan* feltételezte, hogy a társulásoknak van valami eredeti expanziós sebessége és a társulások alakját hosszú időn át ez határozza meg, már 1 km/sec nagyságrendű expanziós sebesség esetén is.

A legújabb kutatások *Ambarcumjannak* ezt a feltevését fényesen igazolták. *Blaauw* holland csillagász a hozzánk legközelebb lévő társulás, a ζ Persei körüli társulás csillagainak mozgását vizsgálta [5], mert esetleges kitágulást közelsége miatt ennél a társulásnál lehet a legkönnyebben kimutatni. A társulás tágulása esetén csillagainak sajátmozgása az égen egy ponttól elirányított és annál nagyobb, minél távolabb van a csillag ettől a ponttól. Ez a jelenség a *Blaauw* által meghatározott sajátmozgásokon jól látszik és pedig a tágulás mértéke az égre vetítve

$0''.00236 \pm .00025$ (valószínű hiba) évenként 1° -ra a divergencia ponttól; a térben ennek megfelel 11 km/sec tágulási sebesség. Ha a tágulás mértéke az idővel nem változott, ebből az következik, hogy a társulás másfél millió évvel ezelőtt kezdett expandálni. Ez az idő egyben a társulás csillagainak valószínű kora, ha azt attól az időtől számítjuk, amikor a csillagok mozgásukat mint független egységek megkezdték.

Hasonló expandáló társulást talált *Blaauw* és *Morgan* a *Lacerta* csillagképben. A kiterjedési koefficiens itt $0''.0086/\text{év}$, illetve 8 km/sec. A társulás kora ebből 4.2 millió év [6].

A *Cepheus II* asszociációra *Markarjan* $0''.008/\text{év}$, illetve 8 km/sec expanziót kapott, amiből a társulás csillagainak korára 4.5 millió év adódik [4]. Hasonló eredményt kapott ettől függetlenül *Herczeg Tibor*.

Ez a három társulás még olyan fiatal, hogy kiterjedésüket a keletkezés-kor kapott expanziós sebesség határozza meg. De ilyen expandáló csillagcsoportosulásra, ha idősebb lesz 10 millió évnél, már számottevően kezd hatni a Tejútrendszer perturbációja. A differenciális rotáció következtében alakja a Tejút síkjában mind elnyúltabb ellipszis lesz és ennek legnagyobb átmérője fokozatosan közeledik a Tejútrendszer forgási irányához. Az ellipszis méretei függenek a kezdeti expanziós sebességtől, de a nagytengety iránya ettől független és csupán a csillagok korától függ.

Ilyen idősebb, elnyúlt társulásokat is találtak. A *B*-típusú csillagoknak *Scorpio—Centaurus* csoportja *Blaauw* részletes vizsgálatai szerint [7] a Tejút

síkjában 290×100 parsec kiterjedésű, a nagytengely 45° -ot zár be a forgási iránnyal, amiből a társulás korára 72 millió év adódik, az expanzió sebességére pedig 0.7 km/sec . Hasonlóképpen ilyen elnyúlt társulás az Ursa Maior halmaz. Ennek korára 45 millió év adódik.

A további hasonló vizsgálatoknak határt szab a többi társulás nagyobb távolsága, aminek következtében a sajátmozgások igen kicsinyek. Így csak a sajátmozgásokra vonatkozó megfigyelési anyag lényeges bővítése után lehet ezeket az empirikus kormeghatározásokat további társulásokra kiterjeszteni.

Ambarcumjan az expanziós sebességet egy nagytömegű ú. n. protocsillag szétrobbanásával magyarázta. *Blaauwnak* és *Morgannak* egy érdekes észrevétele [8] azonban sokkal kielégítőbb magyarázatra vezetett, amely egyúttal *Ambarcumjan* azon eredményére is felvilágosítást ad, hogy miért van a legtöbb *O*- és *B*-társulás közepében *O*- és *B*-csillagokat tartalmazó, nem expandáló, stabilis csillaghalmaz.

A HD 34078 a Napnál többezerszer erősebben sugározó *O*-típusú csillag, amelynek térsebessége feltűnően nagy: 128 km/sec , holott az *O*-típusú csillagok térsebessége különben mind igen kicsi. Már most a sebesség iránya pontosan olyan, mintha a csillag az Orion csillagképben levő *O*—*B*-típusú nagy csillagcsoportosulásból eredne. A csillaggal együtt mozog egy általa világitásra gerjesztett, őt körülvevő, diffúz köd is. A megfigyelt sebességgel számítva a csillag 2.7 millió évvel ezelőtt került volna ki az Orion társulásból. De valószínű, hogy ez a csillag ennél későbbben keletkezett az Oriontársulás *O*- és *B*-típusú csillagainak nagy sugárnyomása következtében kidobott ködben, mert ha a csillag a köd kidobásakor már meglelt volna, azóta a köd az interstelláris felhőkkel való találkozások következtében elmaradt volna a csillagtól.

Ez a példa arra mutat, hogy nagy *O*- és *B*-típusú csillaghalmazok közelében lévő ködökben bizonyos körülmények között egyes csillagok képződhetnek. Ez általánosságban nem lehetséges. Csillagtömegnyi gázfelhők nem tudnak csillaggá kontrahálódni, mert a Tejút gáztömegeinek hőmérséklete általában 100°K körül van. Gázrészecskéinek ebből eredő kinetikus energiája csak többezer naptömegnyi felhő gravitációs kontrakcióját engedi meg. Ilyenek összesűrűsödéséből csillaghalmazok keletkezhetnek. Ha ebben néhány igen nagy hőmérsékletű és nagy tömegű *O*-csillag is keletkezik, akkor ezek megjelenésével a környező maradék interstelláris anyagban gyökeres változások állnak be. A csillagok óriási sugárzása ionizálja a környező gázfelhőket és azok hőmérséklete 10 — 20 ezer fokra nő. A távolabbi, már nem ionizált gázfelhőrészlet a belső ionizált részekből eredő nagy nyomástól komprimálódik. Ez a nagy kompresszió elősegítheti új csillagok keletkezését. Minthogy az összenyomott felhők nagy sebességgel kifelé lökődnek, a bennük keletkező csillagok expandáló csoportot (társulást) fognak képezni. A felhőnek az a része, amelyből nem képződött csillag, részekre szakadva távolodik el. Ez a gondolat *Spitzer*-től és *Oort*-tól származik [9].

O- és *B*-típusú csillagokat tartalmazó nyílt halmazok környezetében található gázködökről készített felvételek megerősíteni látszanak ezt az elgondolást. Ilyen ködökben sok helyen találhatóak kicsi köralakú sötét helyek ú. n. globulák, amelyek teljesen átlátszatlanok. Ez az átlátszatlanság nagy sűrűségükre vall és nem lehetetlen, hogy ezek a globulák a csillagok kezdeti állapotát jelentik.

Természetesen egyáltalán nem valószínű, hogy az *O*- és *B*-típusú csillaghalmazok körüli ködben keletkező csillagok között minden esetben lesz nagytömegű *O*- és *B*-csillag is. Lehet, hogy csak kisebb tömegű csillagok fejlődnek ki. Ezzel kapcsolatban érdemes megemlíteni, hogy ismerünk ú. n. *T*-társulásokat is. Ezeket *G*, *K*, *M*-típusú törpecsillagok alkotják, amelyeket azonban a hasonló, nem társulásokhoz tartozó és így idősebb hasonló színképtípusú csillagoktól könnyen meg lehet különböztetni, mert fényességük szabálytalanul változik (a *T* Tauri-változócsillag is ilyen és innén van a *T*-társulás elnevezés is), és színképükben emissziós vonalak is fellépnek. Ezek a *T*-társulások is, akárcsak az *O*- és *B*-társulások, többnyire interstelláris felhőkben találhatóak.

Befejezésül röviden szeretném megemlíteni az Akadémia Csillagvizsgáló Intézetében végzett kozmogóniai vizsgálatokat. Az Intézet Pozícióasztrolómiai és Sztellárisztatikai Osztályán *Herczeg* kutató feldolgozta a Cepheus II. aszociációt. Eredményéről itt fog majd beszámolni. Azt hiszem, ez annyiból is hasznos lesz, hogy betekintést enged az ilyenfajta kutatások módszereibe és felvilágosítást ad az eredmények megbízhatóságáról.

Az Intézet általános Asztrofizikai Osztályán a II. populáció legfontosabb csillagfajtájáról, a rövidperiódusú δ Cephei változócsillagokról (RR Lyrae-csillagok) folyó kutatásoknak van kozmogóniai jelentősége. Ezen csillagok fényváltozásának periódusa igen rövid, 1,3—20 óra. Így a periódus már rövid idő alatt olyan pontosan határozható meg, mely pontosság 5—6 nagyságrenddel felülmúl minden más csillagadat meghatározásánál elérhető pontosságot. Ennek következtében e csillagok állapothatározóiban a fejlődésük következtében beálló változásokat először periódusuk megváltozásában kell észrevennünk. Azonkívül ezek a csillagok instabilis alakzatok, a pulzációjuk következtében a légkörükben kifejlődő lökéshullámok erős anyagveszteséget okoznak és így fejlődésük menete nyilván gyorsabb, mint a stabilis csillagoké. Így van remény arra, hogy periódusuk progresszív változását pontos fotometriai megfigyelésekből már rövid idő alatt ki tudjuk mutatni. Erre mutatott az az észrevételünk is, hogy a gömbhalmazokban nagy számban előforduló RR Lyrae csillagok perióduseloszlása halmazról-halmazra igen különböző. Az volt a feltevésünk, hogy ezek a különbségek a fejlődés különböző szakaszait mutatják. Ennek bizonyítására kezdtük meg kb. 20 évvel ezelőtt nagyobb számú olyan izolált RR Lyrae csillag periódusváltozásának vizsgálatát, amelyekre már régebbi észlelési anyagot is fel lehetett használni. Ezt a vizsgálatot később

kiterjesztettük a gömbhalmazok RR Lyrae csillagaira is. Bár a progresszív periódusváltozások megállapítását igen megnehezítette periódikus periódusváltozások (3—20 évi periódussal) fellépése, ma már 12 csillagra kimutattuk a periódusnak szekuláris változását, mely *minden esetben* a periódus hosszának növekedésében mutatkozott. (Éppen ez bizonyítja, hogy ezek a változások nem lehetnek egy igen hosszú periódusú periódusváltozás növekvő szakaszai.) A periódus növekedésére 1—2 mp/100 év adódott. Ezzel az eredménnyel tényleg könnyen interpretálni lehetett a halmazok között a periódusgyakoriság szempontjából fennálló különbségeket, mint fejlődési fokozatokat. Különösen érdekes lesz majd ezeknek az eredményeknek az összehasonlítása a halmazok Russell-diagrammjával, melyek vizsgálata a Mt Palomar 5 m-es tükörteleszkópjával jelenleg folyik. Így a közeljövőben már meglehetősen sok empirikus adatunk lesz a II. populáció csillagainak fejlődésére is. E csillagok keletkezésére természetesen, minthogy az a régmúltban befejeződött, nem lehet olyan empirikus adatokat gyűjteni, mint az I. populáció csillagaira.

IRODALOM:

- [1] V. G. FESZENKOY: La radiation corpusculaire comme facteur de l'évolution du Soleil et des étoiles. *Moszkva* 1952.
- [2] P. TEN BRUGGENCATE: Die Sternhaufen. 1927.
- [3] W. A. BAADE: Galaxies — present day problems. *Publ. Obs. Univ. Michigan*. X. 7. 1951. és
Basic facts of stellar evolution. *Symposia, Roma*, 1952.
- [4] AMBARCUMJAN: Discours introductif on Symposium sur l'évolution des étoiles. *Moszkva* 1952. (Itt összefoglalás található az összes eddigi szovjet vizsgálatokról, amelyek a csillagtársulásokról megjelentek).
- [5] A. BLAAUW: The age and evolution of the ζ Persei group of O- and B-type stars. *B. A. N.* XI. 405. 1952. és XII. 42. 1953.
- [6] J. H. OORT: Expanding motions in groups of early-type stars. *Symposia, Roma*, 1952.
- [7] A. BLAAUW: The evolution of expanding stellar associations; the age and origin of the Scorpio-Centaurus group. *B. A. N.* XI. 414. 1952.
- [8] A. BLAAUW and W. W. MORGAN: Note on the motion and possible origin of the O-type star BD 34078 = AE Aurigae. *B. A. N.* XII. 76. 1953.
- [9] J. H. OORT: Moderne Untersuchungen über die Struktur der Milchstrasse. *Die Naturw.* 41. 73. 1954.
- [10] J. L. GREENSTEIN and M. SCHWARZSCHILD: The chemical composition of the stars and its relation to stellar evolution. *Symposia, Roma*, 1952.
- [11] P. JORDAN: Fortschritte im Problem der Sternentstehung. *Die Naturw.* 40. 541. 1953.
- [12] C. F. v. WEIZSÄCKER: Zur Kosmogonie. *Z. f. Ap.* 24. 181. 1948.
- [13] O. STRUVE: Stellar evolution. *Princeton University Press*. 1950.

HOZZÁSZÓLÁSOK

CSADA IMRE:

A csillagok fejlődésének elméletében igen fontos szerepet játszanak az intersztelláris anyagok. Hozzászólásomban az intersztelláris gázok mozgási törvényeire és néhány más fontos sajátására szándékozom rámutatni.

Az intersztelláris gázfelhők mozgását a hidrodinamika egyenleteivel írhatjuk le. A hidrodinamikai folyamatoknak két alapvető típusa van: a lamináris és a turbulens. Legelső feladatunk tehát annak eldöntése, hogy az intersztelláris gázfelhők, melyik mozgási állapotban vannak. A kérdés eldöntéséhez ismernünk kell mind a lamináris, mind a turbulens mozgások jellegzetesebb sajátosságait. A következőkben összefoglalom a két mozgástípus legfontosabb tulajdonságait.

A lamináris mozgási állapotot a rendezettség jellemzi. A sebesség trajektóriái jól definiált áramvonalas rendszert alkotnak, melyek a klasszikus hidrodinamika egyenleteivel leírhatók. A lamináris mozgási állapotnak azonban igen szűk érvényességi területe van, érvényességi határát az u . n. Reynolds-féle számmal adhatjuk meg. Ennek egy kritikus értékénél megszűnik a mozgás rendezettsége, eltűnnek az áramvonalak és helyüket örvények kaotikus tömege foglalja el. Elméletileg kimutatható, hogy e változás oka a lamináris mozgási állapot stabilitásának megszűnése. Megszűnik a sebesség kötöttsége és a folyadék áramlása a tér bármely pontjában minden irányú lehet. Értékét így nem adhatjuk meg, csak azt, hogy egy térfogatelemben bizonyos sebességnek mekkora valószínűsége van. E kaotikus, stabilitását veszített mozgásban a viszonylag stabil örvénymozgás hamarosan fellep, s így az egész teret hamarosan nagyszámú, különböző méretű és élettartamú örvények töltik be.

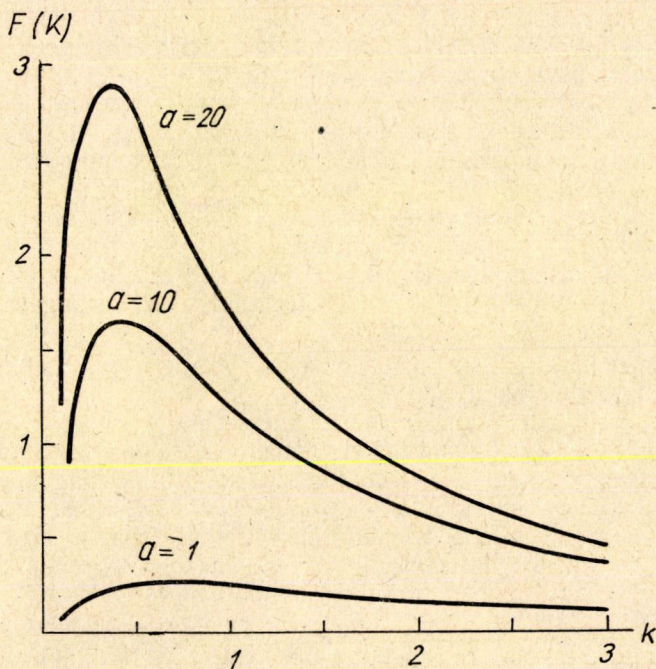
A turbulencia matematikai tárgyalásánál a sebességnek, nyomásnak, sűrűségnek, stb. az átlagértéket képezzük, olyan nagyméretű térfogatelemekből, amelyekben nagyszámú örvény van. A térfogatelemek mérete tehát nagy a legnagyobb örvényekhez képest. Célunk az, hogy az átlagértékekre vezessünk le a klasszikus mozgásegyenletekhez hasonló egyenleteket. Az ilyen dinamikai egyenlet azonban nemcsak pusztán az átlagértéket tartalmazza, hanem a sebességnek az átlagtól való eltéréseinek másodrendű szorzatait is. Jelöljük a sebességet U -val, az átlagértéket \bar{U} -val, úgy az átlagtól való eltérés, a sebességfluktuáció: $U' = U - \bar{U}$. A fellepő másodrendű szorzatok a sebességkorrelációk:

$$U_i U_k$$

(ahol U_i, U_k a sebességfluktuáció két komponense). Maga a korreláció tehát másodrendű tenzor. A turbulencia-elmélet egyik legfontosabb problémája az, hogy a korreláció-tenzor elemeit kifejezi a középértékekkel. Ez elvileg úgy érhető el, hogy a korreláció-tenzor elemeire differenciálegyenletet vezetünk le, melyek együtthatói csak az átlagértékeket tartalmazzák. Az ilyen módon kapott differenciálegyenlet azonban annyira bonyodalmas, hogy azt közvetlenül diszkutálnunk majdnem teljesen lehetetlen. *Taylor* mutatott rá legelőször arra, hogy a fluktuációk helyett célszerűbb azoknak Fourier-transzformáltját vizsgálni, mert erre egyszerűbb egyenletek vezethetők le. A Fourier-transzformáltak, vagy a Fourier-spektrumnak fontos jelentése is van: megadja a különböző méretű fluktuációk, vagy, ami ezzel egyértelmű, a különböző méretű örvények viszonylagos számát. A spektrál-függvény hullámszám paramétere

pedig az örvények méreteinek reciprokok értékét adja. A spektrál-függvényt legelőször bizonyos elfogadható egyszerűsítések mellett (homogén izotrop turbulencia) *Kolmogorov* szovjet akadémikus határozta meg. Ha a sebesség ingadozásai túlságosan nagyok a közepes sebességhez képest, továbbá a korreláció-tenzor elemeinek csak diagonális elemei nem zérusok, a diagonális elemek viszont egyenlők (izotrópia), úgy a spektrál-függvény:

$$F(k) = c \cdot k^{-5/3}.$$



1. ábra

Kolmogorovtól függetlenül, néhány évvel később *Weizsäcker* és *Heisenberg* is levezette a turbulencia spektrál-függvényét, más egyszerűsítések mellett. Szerintük a spektrál-függvény:

$$F(k) = c \cdot k.$$

A két különböző levezetés összekapcsolása révén új spektrál-függvényt lehetett felírni:

$$F(k) = \frac{ak}{[1 + b \cdot k^{4/3}]^2},$$

melynek érvényességi határa lényegesen nagyobb, mint a Kolmogorov, vagy mint a Heisenberg-féle spektrál-függvény (1. ábra).

A természetben a turbulens mozgás igen gyakori. A folyók áramlása, levegő mozgása, stb., majdnem mindig turbulens. Régi eredetű az a gondolat, hogy a csillagok légkörének és az intersztelláris gázoknak a mozgása is turbulens. Az intersztelláris gázok turbulenciájának kimutatásánál a következő problémák merülnek fel:

1. Mi okozhatja azt, hogy az intersztelláris gázok turbulens állapotban vannak?

A Tejútrendszer erős differenciális rotációja azt eredményezi, hogy a Reynolds-szám igen nagy lesz. Hozzávetőleges számítások azt mutatják, hogy a kritikus értéknél több nagyságrenddel nagyobb, így a turbulencia fellépése az elmélet szerint szükségszerű.

2. Megközelíthető-e az intersztelláris anyagok turbulenciája az inkompresszibilis folyadékok homogén izotrop turbulencia elméletével?

A Tejútrendszer differenciális rotációja miatt, az elmélet szerint a turbulencia nem lehet izotróp, valószínű azonban, hogy a nagy kiterjedésű felhők kisebb centrális területének turbulenciája homogén és izotróp.

Az intersztelláris gázok sűrűsége igen kicsi [10^{-24} gr/cm³] és nem tekinthető inkompresszibilisnek. A sebességfluktuációkkal együtt sűrűség, nyomás és hőmérsékleti fluktuációk is fellépnek. Nem elegendő tehát pusztán a mechanikai folyamatokra korlátozódni, hanem figyelembe kell venni azt is, hogy az egyidejűleg fellépő termodinamikai folyamatok, hogyan és milyen mértékben módosítják a mechanikai jelenségeket.

3. Milyen elméleti és statisztikai eljárást kell alkalmaznunk a korreláció-tenzor és a spektrál-függvény meghatározására a csillagászati észlelési anyagból?

Az intersztelláris gázok turbulenciájára jelenleg két észlelési módszer alapján következtethetünk:

a) egyes csillagok színekében az intersztelláris anyagok, mint elnyelési vonalak jelentkeznek. A Wilson-hegyi csillagvizsgálóban készített spektroszkópikus felvételekből *Adams* összeállította azoknak a csillagoknak a listáját, amelyek színekében intersztelláris eredetű elnyelési vonal van. Az egyes csillagok színekében fellépő vonalak Doppler-effektusából arra következtethetünk, hogy az intersztelláris gázok sebességének erős, rendezetlen ingadozása van, vagyis valószínűleg turbulens állapotban vannak.

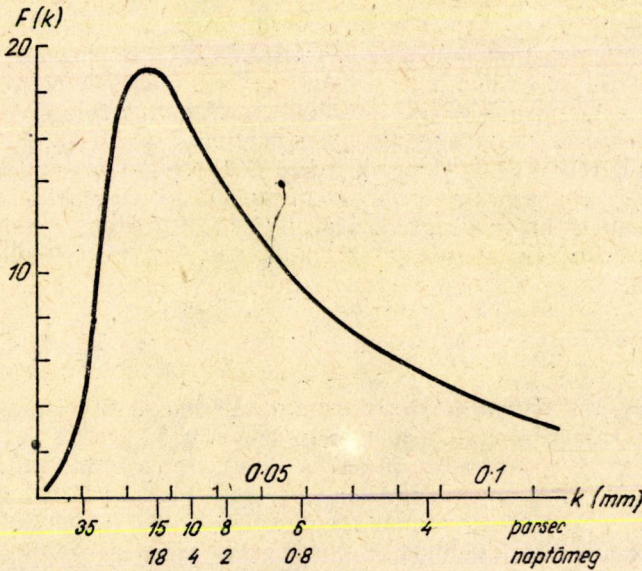
Kaplan és *Pronyik* szovjet csillagászok a Lvov-i csillagvizsgálóban rámutattak arra, hogy ezekből az effektusokból csak jól kidolgozott statisztikai vizsgálatok alapján lehet a turbulenciára következtetnünk. Helytelenül alkalmazott statisztikai eljárás a különböző nagyságú örvények önkényes szelekciójára vezethet. *Kaplan* és *Pronyik* csillagpárokat választottak ki, amelyek látszó távolságából és az intersztelláris gázok Doppler-effektusából (sebességéből) meghatározták a korreláció-tenzor elemeit és ebből a spektrál-függvényt. Kimutatták, hogy a spektrál-függvény az észlelési hibákon belül független a helytől és a csillagpár irányától, e mellett jó egyezést mutatott a Kolmogorov-féle spektrál-függvénnyel.

Kaplan és *Pronyik* vizsgálatait tehát a spektroszkópikus észlelések alapján azt mutatják, hogy az intersztelláris gázok turbulens állapotban vannak és ez az inkompresszibilis folyadékokra kidolgozott izotrop turbulencia-elmélettel jól közelíthető.

b) Az intersztelláris gázfelhőket a Palomar-hegyi csillagvizsgáló 120 cm-es Schmidt-kamarájával (vörös szűrővel) sikerült közvetlenül is lefényképezni. A környező csillagok ugyanis megvilágítják az intersztelláris anyagokat. A felvételeken a köd képe igen hasonlít a földi légkör felhőjéhez. A fényességfluktuációk a sűrűségfluktuációktól származnak, melyek inkompresszibilis gázokban mindig fellépnek. A sűrűségfluktuációk viszont a turbulenciaelmélet szerint a sebességfluktuációktól függenek. A Palomar-hegyi felvéte-

lekről fotometrikus úton *Aller* határozta meg a felhők fényességfluktuációjából a korreláció-függvényt és a spektrál-függvényt, mely jó egyezést mutat a Kolmogorov—Heisenberg-féle spektrál-függvénnyel.

Aller dolgozatában a spektrál-függvényt csupán tabellárisan közli, adatai alapján készült a 2. ábra.



2. ábra

A Szimeisz-i csillagvizsgáló 64 cm-es nagy fényerejű távcsövével *Pikelner* és *Sájn* szovjet csillagászok ugyanarról a Cygnus-felhőről készítettek felvételt, amelyet *Aller* dolgozott fel. Főképpen azt vizsgálták meg, hogy a turbulencia izotrop sajátsága mennyiben teljesül, mert *Aller* vizsgálataiban erre nem tért ki. Az egymásra merőleges fotometriai keresztmetszetekből meghatározott spektrál-függvények azonban nem voltak egyformák, ami világosan mutatja azt, hogy a turbulencia nem izotrop. Fejtegetésükben rámutattak arra, hogy a kiválasztott terület két különböző sebességű felhő találkozási frontjára emlékeztet, ami önmagában is kizárja azt, hogy ott izotrop turbulencia legyen.

Aller, *Pikelner* és *Sájn* eredményei azonban lényegében azonosak. Kozmogóniai szempontból igen fontos az az eredmény, hogy a 10 parszek átmérőjű felhők gyakorisága a legnagyobb. E felhők tömege nagyságrendben egyezik a Nap tömegével. Ez az eredmény igen figyelemreméltó perspektívában tünteti fel azt a körülményt, hogy a csillagok tömege közel egyenlő. Ha elfogadjuk azt a kozmogóniai elméletet, mely szerint a csillagok intersztelláris felhőkből alakulnak ki, ebből az következik, hogy azoknak a csillagoknak a száma lesz a legnagyobb, melyeknek tömege egyezik a Napéval.

J Jeans számításai szerint gravitációs erők következtében csak kb. 100 parszek átmérőjű gáztömeg tud annyira kondenzálódni, hogy belőle csillagok alakulhassanak ki, s ha ez így van, akkor a 10 parszek átmérőjű felhőknek egy nagyobb méretű gázfelhőhöz kell tartozniuk. Ha egy ilyen felhőben a

kondenzációs folyamat egyáltalában megindul, úgy nyilvánvaló, hogy egyszerre több csillagnak kell keletkeznie.

Végezetül rá szeretnék mutatni az Orion-köd turbulencia vizsgálataira. Ez a köd, mely a csillagok fejlődése szempontjából igen fontos, szintén turbulens állapotban van. Spektroszkópikus észlelések alapján a turbulenciát legelőször *Hoerner* mutatta ki Göttingában, fényességfluktuációk alapján pedig *Pikelner* és *Sájn*. Mind a két vizsgálat arra vezetett, hogy a turbulencia jól közelíthető az inkompresszibilis folyadékok homogén izotrop turbulenciaelméletével. *Pikelner* és *Sájn* vizsgálataiban rámutattak arra, hogy nemcsak a gázok, de az intersztelláris porfelhők is turbulens sűrűségfluktuációkat mutatnak. Ez arra mutat, hogy a gázok a gázfelhőket magukkal sodorják.

Az elmondottakból következik, hogy a kozmogóniai elméletek fejlesztésében fontos szerephez jut a turbulenciaelmélet. A megfigyelési anyagok egyrészt azt mutatják, hogy az intersztelláris gázok turbulens állapotban vannak, másrészt, ez a mozgási állapot jól diszkutálható egy kidolgozott hidrodinamikai elmélettel.

MARX GYÖRGY:

A Föld egyes kőzeteinek kora legpontosabban a radioaktív anyagok bomlástörvényének felhasználásával határozható meg. Mivel a csillagok korára vonatkozó becslések közvetett jellegűek, felmerül a kérdés, „nem volna-e itt is alkalmazható a pontosabb radioaktív kormeghatározási módszer. Sajnos, kvantitatív koncentrációmeghatározásra és izotópok szétválasztására az egyedül rendelkezésre álló spektroszkópiai megfigyelések nem elegendők. Ezért csak olyan elemek jöhetnek számításba, melyeknek nincsen stabil izotópjuk. Ha ilyen spontán elbomló elem vonalai a csillag színekében előfordulnak, akkor pusztán az elem számottevő koncentrációban való jelenléte a csillag korára vonatkozólag útbaigazítással szolgálhat. A természetes radioaktív elemek azonban a periódusos rendszer végén fordulnak elő. Az ilyen nagy atomsúlyú elemek viszont a csillagok légkörében igen ritkák. Ezért ilyen irányú megfigyelésekre kevés lehetőség van.

Az elmondottak után érthető, hogy nagy feltűnést keltett a technecium nevű elem színekvonalainak egyes csillagok spektrumában való felfedezése. A 43 rendszámú technecium a periódusos rendszer első felébe esik, de atommagszerkezeti okok miatt nem stabilis. (A technecium volt az első mesterségesen előállított elem, 1937-ben molibdénből neutronbombázással hozták létre.) A leghosszabb élettartamú izotópjá a 99-es atomsúlyú $^{99}\text{Tc}^{99}$, ennek felezési ideje 470 000 év. 1950-ben mesterségesen előállított anyagmintán tanulmányozták a technecium-atom színeképét. Nem sokkal utána *Merill* a Mt. Wilson-i és *Meggers* a palomarhegyi reflektorok segítségével a technecium-atom egyes színekvonalait azonosította egyes S-típusú csillagok színeképében.

Tekintettel arra, hogy a technecium-atommag élettartama 1 millió évnél rövidebb, a technecium-előfordulásnak csak két magyarázata lehet:

1) Technecium-atommagok állandóan képződnek egyes állócsillagok belsejében.

2) A csillagban található technecium a csillag keletkezésekor került bele és még nem bomlott el. Ekkor viszont a csillag nem lehet egy-két millió évnél idősebb.

A csillagokban lefolyó termonukleáris reakciók elméletét *Gamow* és *Bethe* dolgozták ki magfizikai ismereteink alapján. Az elmélet következtetései a meg-

figyelésekkel összhangban állnak, így nincs okunk kételkedni abban, hogy az a csillagok belső viszonyairól helyes képet ad. Jelenlegi legjobb tudásunk szerint a csillagok belsejében végbemenő magreakciók csak a legkönnyebb elemek közt folynak le, oxigénnél nagyobb rendszámú elemek atommagjainak egyesülését a Coulomb tasztítás nem engedi meg. Ma nem tudunk elképzelni olyan folyamatot, mely az állócsillagok belsejében uralkodó 1—100 millió fokos hőmérsékleten technecium és más nehezebb elem keletkezéséhez vezetne számottevő mértékben.

Marad tehát a második feltevés, az, hogy a technecium az anyagnak csillaggá tömörülése előtt keletkezett, így a csillag rendkívül fiatal, néhány millió éves, annyi idős, mint a társulások fiatal csillagjai. E mellett szól az is, hogy a techneciumot tartalmazó csillagok legtöbbje változócsillag, tehát instabilis alakzat. Ha tehát a gondolatmenet helyes, a technecium-előfordulás is a csillagok napjainkban való keletkezése mellett bizonyít.

Az elmondottak után igen meglepőnek látszanak azok a híradások, melyek egyes technecium-vonalaknak a Nap szinképében való felfedezéséről szólnak. Először 1950-ben *Charlotte Moor* következtetett az ionizált technecium egy-két gyenge vonalának lehetséges felléptére a Nap-spektrumban. Egy 1953-as jelentés ismét az egyik ultraibolyába eső szinképvonal megfigyeléséről tudósít. Amennyiben ezek a megfigyelések reálisaknak bizonyulnának, vagyis sikerülne a technecium-ion több szinképvonalát felfedezni, akkor ez újabb problémákat vetne fel. Ha csak nyomokban fordul elő a technecium, annak keletkezése elképzelhető a Napon, elsősorban maghasadás következtében. (Laboratóriumi kísérletek bizonyítják, hogy uránium-magok hasadásakor technecium keletkezik.) Ez azonban csak technecium-nyomokat produkálhat, számottevő koncentrációt nem. Ha a technecium a Napon és más „idősebb” csillagokban előfordulna, akkor számolni kell azzal, hogy ott ilyen közepnehéz elemeknek folyamatos keletkezése folyamatban van, ami az atommagreakciókra vonatkozó ismereteink gyökeres átalakítását hozhatná magával.

Látható, hogy ezen a területen a csillagászat és az atommagfizika kapcsolata kölcsönös. A technecium-előfordulás felvilágosítással szolgál az állócsillagok korára vonatkozólag. Ha azonban a Napon jelentékeny technecium-koncentrációt sikerülne kimutatni — ez azonban nem valószínű — akkor a termonukleáris reakció elmélete szorulna döntő revízióra. Különösen fontos volna az intenzív technecium-vonalakat mutató csillagok korának más módszerrel való meghatározása. Pl. meg kellene vizsgálni, hogy azok nem tartoznak-e szétszóródóban levő társulásokhoz.

FÖLDES ISTVÁN:

Ambarcumjan máris klasszikusnak nevezhető vizsgálataiból kézzelfoghatóan következik, hogy a csillagok kora igen különböző; több milliárd éves csillagok mellett, melyek közé tartozik a mi Napunk is, olyan csillagok is léteznek, melyek legfeljebb mindössze néhány ezer tízmillió évesek. *Ambarcumjan* ilyen, viszonylag fiatal csillagok exisztenciájára az általa a bjurakani obszervatóriumban felfedezett és asszociációknak elnevezett instabilis csillag-halmazok alapján következtetett, melyeknek a közvetlen megfigyelésből megállapítható dilatációja is kétséget kizáróan mutatja, hogy ezek a halmazok nem jöhettek létre már korábban is létezett csillagok összeállása, vagyis kaptációs folyamatok eredményeképpen, tehát a hozzájuk tartozó csillagok sem lehetnek idősebbek, mint az egész rendszer, melyet a maga részéről nagyfokú

bomlékonyság jellemez. Az asszociációkra vonatkozó megfigyelések során olyan jelenségeket is fedeztek fel, melyek a csillagképződés folyamatával közvetlen vonatkozásban állanak, sőt annak mechanizmusára is bizonyos fényt vetnek. Nevezetesen egyes gáz- és porködök környezetében két szomszédos csillagot összekötő vékony fonalakat találtak, melyek egyes kivételes esetekben halvány csillagoknak egy szoros láncolatává bomlottak széjjel; a csillagok kölcsönös távolságai a láncban egyes esetekben nem nagyobbak 7—8 ezer csillagászati távolságegységnél. Az ilyen csillaglancok igen nagy mértékben instabilisek, úgy hogy egy ilyen lánc nem régen jöhetett létre a diffuz anyagnak egy fonalából. A gáz- és porködök fonalainak különálló kondenzációkká, csillagokká való szétbomlását *Feszenkov és Rozskovszkij* 1952-ben minden kétséget kizáró módon kimutatták egy tipikus csillaglanc, illetve egy fonal átlagos sűrűségének összehasonlítása által.

Vessük fel először általában a csillagok és a környező intersztelláris közeg kölcsönhatásának kérdését. Az alma-atai obszervatórium nagy fényerejű *Makszutov*-teleszkópjával gáz- és porködökről készült felvételek azt mutatják, hogy a köd tartományába eső egyes csillagok körül kisméretű kör alakú sötét zóna mutatkozik; ez a jelenség a legtermészetesebben az által magyarázható meg, hogy a ködben tartózkodó csillag sugárzása eltaszítja az erősen szóró porrészecskéket, minek következtében a csillag egy viszonylag üres gömbalakú tartomány által van körülveve, ahol a csillag fénye kevésbé szenved szórást, mint ott, ahol a köd sűrűsége nagyobb. *Gurzdjan* 1949-ben kimutatta, hogy az összes spektráltípusokhoz tartozó csillagok sugárzása neutrális H -atomokra is jelentékeny taszítóerőt fejt ki; ionizált H -atomok esetében természetesen számításba kell venni a csillag elektromágneses terét is. Az imént említett megfigyelési eredmények, valamint *Gurzdjan* számításai azt bizonyítják, hogy egy csillag nem képes tömegét számottevő módon megnövelni az intersztelláris közeggel való kölcsönhatása révén; azok a feltevések, melyeket *Hoyle, Lyttleton, Bondi, Weizsäcker* és *Gold* a csillagok tömegének gyarapodását illetően felállítottak, szerzőik számításai szerint is csak abban az esetben vezethetnek egy csillag tömegének növekedésére, ha a tömege a Nap tömegének legalább tízszerese és a környező közeghez képest a sebessége nem nagyobb másodpercenként 1 km-nél; a szovjet megfigyelési eredmények azt mutatják, hogy ezek a feltételek általában nincsenek realizálva. Mondhatjuk azonban, hogy nemcsak a csillag tömegének növekedését, vagy csökkenését, hanem általában fejlődésének menetét nem a környező közeggel való kölcsönhatása szabja meg, hanem belső sajátosságai determinálják azt; ezek folyamányának tekintendő a csillag fejlődésében fundamentális szerepet betöltő korpuszkuláris sugárzás is, melynek jelentőségére *Feszenkov* mutatott rá.

A csillag fejlődésében az energiaforrásokat, vagyis bizonyos hidrogénből héliumot termelő nukleáris reakciókat tekinthetjük domináló tényezőként; tudjuk, hogy az evolúció a H -tartalom csökkenésének és a He -tartalom egyidejű növekedésének irányában folyik le. A csillagok belső szerkezetének elméletéből következik, hogy állandó tömeg mellett a H -nek He -má való átalakulása a luminozitás szüntelen növekedését vonja maga után. Ebből következik, hogy egyenlő tömegű, de különböző korú és ezért feltehetően különböző H -tartalmú csillagok különböző fényességűek tartoznak lenni, ami ellentmond a tapasztalati tényeknek, nevezetesen az empirikus tömeg-fényességrelációnak. Mivel pedig másrészt *Ambarcumjan* vizsgálatai megmutatták, hogy a csillagok valóban különböző korúak; csak egyetlen lehetőség kínálkozik arra, hogy az elmé-

letet összhangba hozzuk a megfigyelések eredményeivel: fel kell tennünk, hogy a fejlődés folyamán a csillagok tömegei nem maradnak állandók, hanem minden csillag kialakulása után tömegéből veszíteni kezd kisebb, vagy nagyobb mértékben; a kisugárzott elektromágneses energia is előidézi a tömegnek egy bizonyos sebességgel bekövetkező csökkenését, *Feszenkov* azonban feltételezi, hogy a csillag tömegének egy ennél sokkal gyorsabban bekövetkező csökkenése származik az ú. n. korpuszkuláris sugárzástól, vagyis anyagi részecskék kidobásától.

A korpuszkuláris sugárzásra vonatkozólag *Feszenkov* a következő posztulátumokat állítja fel: 1) A tömeg-fényesség-reláció érvényessége abban az alakban, hogy a fényesség arányos a tömegnek egy bizonyos (kb. 4-ik) hatványával és abban az értelemben, hogy egy csillag fényessége és tömege egész fejlődése során úgy változik, hogy mindig teljesül az említett reláció; 2) A csillag tömegvesztése arányos fényességével; empirikus tény, hogy a nagy fényességű csillagoknak van erős korp. sugárzásuk; 3) A Nap eddigi létezése folyamán H -tartalma számottevő mértékben csökkent; ezt alátámasztják egyrészt a Nap, másrészt egyes B típusú csillagok H -tartalmára vonatkozó meghatározások; 4) A Nap kora a Földével megegyező nagyságrendű. E négy feltevés alapján kalkulálni lehet a csillag tömegének, fényességének és H -tartalmának változását, tehát le lehet vezetni a csillagok fényességük szerinti eloszlását és azt, hogy miképpen oszlanak el a Russel-diagramm főága mentén; megállapíthatjuk a csillag fejlődésének általános jellegét, a fejlődés tempójának változását, nevezetesen azt, hogy a változás kezdetben igen rohamos, majd erősen lelassul.

A csillagnak a korpuszkuláris sugárzás okozta tömegvesztése együtt jár az impulzusnyomatékának és forgási sebességének csökkenésével; ebben a tekintetben a korpuszkuláris sugárzás sokkal hatékonyabb, mint az elektromágneses sugárzás. Erre vonatkozó számításokat *Martinov* és *Krat* végeztek, megállapítást nyert, hogy e nagy tömegű és nagy fényességű csillagok forgása létezésük első stádiumában erős fékezést szenved annak következtében, hogy a nagy intenzitással kiáramló korpuszkulák magukkal viszik a csillag impulzusnyomatékának jelentékeny részét; később azonban a forgás sebessége állandósul. Ha a Nap korát 4 milliárd évnél vesszük, akkor a számítások szerint impulzusnyomatéka 2 milliárd évvel ezelőtt csak 2,53 szorosa, 3 milliárd évvel ezelőtt azonban 17-szerese volt a jelenleginek és minél távolabbi múltba tekintünk vissza, az impulzusnyomatéknak annál rohamosabb változását találjuk, mely messze felülmúlja a tömeg változásának gyorsaságát.

Mindebből megállapítható, hogy a korpuszkuláris sugárzás, melynek létezése nem hipotétikus, hanem egy bizonyos mértékben a megfigyelési eredmények által igazolható, a csillagok fejlődésének menetét kétségtelenül lényegesen befolyásoló, reális folyamat, melynek működésével minden kozmogóniai elméletnek számolnia kell és amelynek felfedezése számos bonyolult kérdés közvetlen megoldását tette lehetővé.

HERCZEG TIBOR:

A csillagtársulások vizsgálata ma főképpen az O -társulásokra, azok tulajdosságainak megállapítására irányul. Ezek a társulások ugyanis mind szuperóriás és óriás csillagokból állanak, így aránylag nagy távolságról is megfigyelhetjük őket. Míg a törpe csillagokból álló T -társulások közül alig kettőt-hármat fedeztek eddig föl, O -asszociációt már mintegy 25-öt ismerünk.

Közülük néhánynak közelebbi vizsgálata azt mutatta, hogy a különböző asszociációk tulajdonságai nem mindenben egyeznek meg, ezért érdemes minél több *O*-társulás tulajdonságait lehetőleg részletesen megállapítani, hogy összeállíthassuk legfontosabb közös fizikai jellemzőiket.

Az ilyen munka lényege abban áll, hogy a társulások irányába eső, néhány négyzetfoknyi területet az éggömbön sztellárstatistikailag lehetőleg részletesen feldolgozunk. Rendszerint elegendő az első tájékozódásra a különböző, már publikált adatok gondos összeállítása és kritikája. Ezek alapján először el kell döntenünk azt, hogy mely csillagok tartoznak a társuláshoz, tehát mintegy el kell végeznünk az asszociáció cenzusát, azután pedig, amennyiben ennek során a társulás reális csillagcsoportosulásnak bizonyul, sorra meg kell vizsgálnunk tulajdonságait.

Egy-egy társulás közelebbi, individuális vizsgálata ugyanis már csak azért is érdekes lehet, mert esetről-esetre eldönti azt, hogy valóban fizikailag összetartozó csillagcsoportról, ténylegesen asszociációról van-e szó, vagy pedig csak egy irányban látszó, de össze nem tartozó égitestek csoportjáról, mondjuk „optikai” társulásról. Ez a kérdés egyáltalán nem jogosulatlan, *Voroncov-Veljaminov* fel is vetette ezt a problémát és — mint ismeretes — ennek alapján *Ambarcumjannak* az *O*-társulásokra vonatkozó egész koncepcióját kétségbe vonta. Véleménye szerint az állítólagos asszociációk irányában a csillagközi anyag sűrűsége kisebb, mintegy „átlátszósági korridorok” jönnek létre és ezekben az irányokban mi a nagyfényességű, szuperóriású csillagok bizonyos csoportjait látjuk. Ezek azonban szintén nem valódi asszociációk, csak egy irányban látszó csillagok csoportjai, amelyeknek belül azonban a távolságok igen különbözőek lehetnek. A közelebbi vizsgálatok azonban azt mutatták, hogy *Voroncov-Veljaminov*nak ez az alapvető természetű ellenvetése lényegében véve nem állja meg a helyét. Ennek tisztázásához az a munka is hozzájárul, amelyet, elsősorban a szovjet kutatók, az egyes társulások individuális tulajdonságainak feldolgozásával végeztek.

Ilyen „feldolgozó jellegű” vizsgálat során tisztázták egy sereg *O*-asszociáció tulajdonságait: így többek között *Markarjan* az NGC 2244 körüli társulás esetében, *Ambarcumjan* és *Markarjan* a P Cygni körüli társulás esetében, *Markarjan*, majd később részletesebben *Holopov* az NGC 6231 körüli asszociációra, *Gurzdjan* az Orion-asszociációra stb. Ezekhez a vizsgálatokhoz csatlakozott még 1952-ben az Akadémiai Csillagvizsgáló Intézetének pozíciós-asztronómiai osztálya is, a Cepheus II asszociáció feldolgozásával. Ennek során igyekeztünk az eddigieknél részletesebben, több szempont és teljesebb adatok alapján összeállítani a társulás főbb tulajdonságait. Így az eddigieknél több távolságkritériumot használtunk fel, tekintetbe vettük az intersztelláris abszorpció ingadozásait és kitértünk a mozgásviszonyok tárgyalására. Ugyanazzal a módszerrel, mellyel *Blaauw* megállapította a Perseus II asszociáció tágulását, ennél a társulásnál is konstátálni lehetett a csillagok divergáló sajátmozgását és ebből az asszociáció korát is meg lehetett határozni. Időközben *Ambarcumjannak* az 1952. évi római csillagászati kongresszuson tartott referátumát közzétették és ebből megtudtuk, hogy éppen ennek az asszociációnak feldolgozásával *Markarjan* is foglalkozott. Ezért a múlt év folyamán kiegészítettük vizsgálatainkat, például az Astronomische Gesellschaft közben publikált megfelelő zóna-katalógusa alapján. *Markarjan* eredményei általában nem ismeretesek, mert tudomásom szerint vizsgálatai külön cikk formájában még nem láttak napvilágot. Néhány eredményét azonban *Ambarcumjan* megemlíti és ezek alapján úgy látszik,

hogy a két feldolgozás eredményei lényegében megegyeznek. Némi különbség van a két kormeghatározás adata között és abban, hogy a μ Cephei nevezetes változócsillagot *Markarjan* az asszociációhoz sorolja, ami azonban nem látszik megengedhetőnek, mivel ennek a csillagnak radiális sebessége elég nagy, mintegy 30 km/sec-nyi értékkel különbözik a társulás átlagos mozgásától.

A divergáló mozgás, az asszociáció „tágulásának“ megállapítására — mint említettem — ugyanazt az eljárást alkalmaztuk, mint *Blaauw*. Külön ábrázolva a sajátmozgás két komponensét, mint a koordináták függvényét, ennek divergáló mozgás esetén a centrum és az egyes csillagok (előjellel vett) koordináta-különbségével közelítőleg lineárisan kell változnia. A grafikonban kapott egyenes emelkedése a divergáló mozgás sebességét jellemzi, az iránytangens reciprok értékéből pedig a kor adódik.

Az ilyen vizsgálatok adalékkal szolgálhatnak a társulások belső mozgására. Mint a bevezető előadásban hallottuk, lényeges, hogy *Ambarcumjan* feltételezett egy „eredendő“ divergáló mozgást, az asszociációk bizonyos tágulását. Egyik-másik társulásnál így ezt sikerült is megtalálni és úgy látszik, hogy legalább is a társulások egy részénél ez a tágulás igen fontos, jellemző empirikus tény. Rögtön fölmerül az a probléma, hogy nem lehetne-e ezt a divergáló mozgást a radiális sebességekből kimutatni. Mindenesetre számítanunk kell arra, hogy, mivel a radiális sebesség csak a mozgás egyik komponensét tartalmazza, a sajátmozgás pedig kettőt, a tágulást a radiális sebességekből csak nagyszámú csillag tekintetbevételével lehetne megbízhatóan kimutatni. Egyetlen társuláson belül azonban a csillagok száma aligha elegendő erre. Ezért azok a próbálkozások, amelyeket ez irányban *E. Mendoza* és *E. Chavira* a Tonanzintla-obszervatóriumban (Mexikó), a Perseus I asszociáció esetében tettek, aligha tekinthetők reális értékűeknek.

Erre a kérdésre vonatkozik *H. Waever* vizsgálata is. *Waever* a korai színképtípusú szuperóriás csillagok radiális sebességének diszperzióját vizsgálta, külön az asszociáció-csillagokra és külön valamennyi ilyen csillagra. Eredménye az volt, hogy e két esetben a radiális sebességek diszperziója lényegében megegyezik, ami nem erősíti meg az asszociációk tágulására vonatkozó feltevést.

Mindezek a vizsgálatok azonban e tekintetben nem a leginkább célravezető utat követték. Ezért a csillagvizsgáló pozíciós-asztronómiai osztályán elkezdtek a radiális sebességek feldolgozását, és pedig a sebességeknek asszociációnbelüli eloszlását vizsgálva és az összes (közel gömbalakú) társulást gondolatban egyetlen tipikus asszociációvá egyesítve (ez által statisztikai feldolgozáshoz már elegendő anyag áll rendelkezésre). Tágulás esetén a radiális sebességek legnagyobb diszperzióját az asszociációk centruma irányában várhatjuk, a legkisebbet pedig a társulások peremén.

Természetes kérdésként adódik még a következő probléma: milyen kapcsolatban állnak az asszociációk és a Tejútrendszer kétféle csillagpopulációja? Mindenek előtt le kell szögeznünk, hogy a populációk kérdése még szinte felvetve sincs a szükséges általánosságban, hiszen például fontos csillagfajtáknak, így a fehér-törpéknek szerepe egyáltalán nincs tisztázva a populációkkal kapcsolatban. *Kukarkin* moszkvai professzor pedig a Tejútrendszer csillagait nem is annyira két populációba, mint inkább háromfajta alrendszerbe, a sík, az „átmeneti“ és a szférikus alrendszerek csoportjába osztotta be.

Az asszociációk és a csillagpopulációk kérdésének vizsgálatánál figyelembe kell még vennünk egy fontos heurisztikus elvet, melyet *Ambarcumjan* is

következésként alkalmaz és amelyik azon alapszik, hogy a Tejútrendszer relaxációs ideje nagy a csillagok életkorához képest. A Galaxis relaxációs ideje az az időtartam, ami alatt a csillagok közeli találkozásai során bekövetkezett energia-változások összege a csillagok mozgási energiájával nagyságrendben egyenlővé lesz. A csillagok mozgásviszonyai tehát a relaxációs idő elteltével, lényegesen megváltoznának, mivel azonban a csillagok átlagos életkora ennél határozottan kisebb, azt mondhatjuk, hogy a csillagok életútja alatt az egyes csillagcsoportok mozgásviszonyai lényegesen nem változnak meg. Ebből pedig adódik az a fontos kritérium, hogy genetikus kapcsolatban lévő csillagok esetében hasonló mozgás- és eloszlásviszonyokat várhatunk a Tejútrendszerben. Így lehet meglehetősen biztonsággal megállapítani azt, hogy az RR-Lyrae és a δ Cephei csillagok nem jelentik egyazon csillagfajta fejlődésének különböző stádiumait, hanem a csillagfejlődés két különböző, egymáshoz nem kapcsolódó ágához tartoznak. Ezt az elvet alkalmazva feltétlenül észre kell vennünk, hogy az *O*-társulásokban eddig felismert csillagfajták mozgásviszonyai mindig sík alrendszerek csillagjainak mozgásviszonyaival egyeznek meg. *Ambarcumjan* bizonyos — mindenesetre eléggé hozzávetőleges becslések alapján — úgy véli, hogy az egész sík alrendszer, esetleg az egész első populáció csillagjainak összessége *O*-asszociációkban jött az idők folyamán létre.

A *T*-társulások helyzete e szempontból nem tisztázott. Mozgásuk alapján inkább átmeneti alrendszert jelentenének, az ilyen alrendszerek kapcsolata azonban a populációkkal nem eléggé tisztázott. Bonyolítja a helyzetet az a tapasztalat, hogy egyes esetekben, például az Orion irányába eső gazdag égtájon *O*- és *T*-társulások együtt fordulnak elő.

E probléma és más hasonló kérdések megoldására azonban bizonyára célravezető az az „empirikus“ metodika, amely az asszociációk felfedezéséhez és fontos tulajdonságaik tisztázásához vezetett.

DETRE LÁSZLÓ:

Csada Imre hozzászólásában a turbulenciaelmélettel olyan problémakört érintett, amelynek kozmogóniai fontossága egyre nagyobb lesz. Mint említettem, az intersztelláris anyagból csak a Naphoz képest igen nagy tömegű részek kondenzálódhatnak. Nyilván a kondenzálódó gáztömeg turbulens állapota az oka, hogy a kondenzálódás végeredményeképpen nem egy nagy égitest, hanem csillaghalmaz keletkezik. Érdekes volna megvizsgálni, hogy a keletkező csillagok tömegszerinti eloszlása mutat-e analógiát a turbulencia spektrálfüggvényével. Lehet, hogy a turbulenciával jobban meg lehet magyarázni a csillagok tömegének felső határát is, mint a sugárnyomással.

Valószínű, hogy a csillagok tengelyforgása is az intersztelláris anyag turbulenciájából ered. Érdekes ezzel kapcsolatban megemlíteni, hogy a „fiatal“ *O*- és *B*-csillagok tengelyforgása igen gyors. Sőt, amíg az „öreg“ főágbeli csillagok (mint pl. a Nap) tengelyforgása lassú, a *T*-társulások fiatal főágbeli csillagai, mint spektrálvonalai szélessége elárulja, gyors forgásúak. Valószínűleg a gyors forgás miatt lépnek fel színképükben az emissziós vonalak is, mint a gyors forgással járó instabilitásuk miatt fellépő anyagkidobás jelei. Nyilván a csillag fejlődésével a tengelyforgás lassabbodik, részben belső sűrűlődsé folytán, részben az intersztelláris anyaggal való kölcsönhatás miatt. Ami egyes csillagokra érvényes, azt elmondhatjuk a csillagrendszerekre is: a II. populációjú rendszereket a gömbalak, tehát a forgás hiánya, az I. populációjú csillagrendszereket lapult alak, azaz a gyors forgás jellemzi.

Van azonban példa a turbulencia-elmélet óvatosság nélküli kozmogóniai alkalmazására is. Ilyen *Weizsäcker*nek a bolygók keletkezéséről szóló elmélete. Ebben az a hiba, hogy a turbulens elemeknek igen nagy stabilitását tételezte fel, holott ez ellentmond a turbulencia lényegének.

Marx György is igen érdekes problémát vetett fel a techneciummal kapcsolatban. Persze, ha a techneciumnak a Napban való előfordulása beigazolódik, csak az a választás marad, hogy a technecium csillagokban valami még előttünk ismeretlen módon tud mindig újra képződni. De, ha a technecium fellépése csak az *S*-csillagokra korlátozódik is, akkor is arra kell következtetni, hogy legalább is az intersztelláris térben van lehetőség technecium képződésére. Az *S*-csillagok fiatalságának feltételezésével aligha oldhatjuk meg a problémát, hiszen a Tejútrendszer néhány millió évvel ezelőtt nem volt lényegesen más, mint ma. Talán érdemes megemlíteni, hogy az *S*-csillagok légkörében más érdekesség is van: *Zr*, *Y*, *Nb* sokkal nagyobb mennyiségben van jelen, mint más csillagokban. Érdekes, hogy ugyanez áll más szinképi erős mágnesesterű csillagokra is. Ha az *S*-csillagok is erősen mágnesesek, lehet, hogy ebben kell keresnünk a technecium képződésének okát.

Földes István által érintett anyagi sugárzás kozmogóniai fontossága, azt hiszem, szélesebb körű, mint azt *Feszenkov* feltételezi. A *T*-társulás csillagai azt mutatják, hogy az anyagi sugárzás nemcsak a szuperóriásoknál lehet erős.

Sőt az sem biztos, hogy a *Feszenkov* által feltételezett $\frac{dM}{dt} \sim L$ összefüggés fennáll. A főágon levő régi csillagok esetében ugyanis a középén elhelyezkedő csillagok (mint a Nap) anyagi sugárzása aránylag kicsi. De úgy látszik, hogy a kis fényességű *M*-törpék anyagi sugárzása néha igen erős, mint azt a flare-csillagok mutatják. Sőt erős anyagi sugárzás jeleit figyelhetjük meg a *W Ursae Majoris* típusú szoros kettőscsillagoknál is.

Herczeg Tibor hozzászólása, azt hiszem, megnyugtató volt abból a szempontból, hogy az asszociációk kormeghatározása ma már némileg exakt alapokon nyugszik. A *Cepheus II*-asszociáció két teljesen független feldolgozása lényegében ugyanarra az eredményre vezetett. Az újabb vizsgálatok alapján azonban nem érthetek vele egyet abban a véleményben, hogy az *O*-, *B*-, illetve a *T*-társulásokból két egészen különböző mozgású alrendszer képződik. *Herbig* új eredményei szerint *O*-, *B*-társulásokban vannak *T*-csillagok is. Ez az eredmény igen megnyugtató, hiszen azt nehezen lehetett volna elhinni, hogy az *Oort*—*Spitzer*-féle elképzelés szerint kizárólag igen nagy tömegű *O*-, *B*-csillagok alakuljanak ki a komprimált intersztelláris felhőkből. *Herbig* eredménye szerint a *T*-társulásokat most már nem kell lényegesen más alakzatoknak tekinteni, mint az *O*-, *B*-társulásokat. Persze a *T*-csillagok, kicsi tömegük miatt, nagyobb expanziós sebességet kapnak, mint az *O*-, *B*-csillagok és így végül is érthető a törpe csillagok nagyobb térsebessége a szuperóriásokhoz képest. De az eltérés a tömegtől függően fokozatos, nem pedig egészen más nagyságrendű, mint azt *Kukarkin* gondolta.