

né, hogy a keresett pálya mentén a $-m\ddot{\mathbf{x}}$ -ot is szabad-erőnek tekintti. Ha $A \subseteq \mathbb{R}^{3N}$ altér, akkor jelölje \mathcal{P}_A az A al-terre merőlegesen vetítő operátort. Ekkor a fenti gondolat mindent egybevetve így írható:

A D'Alembert-elv: $\exists \mathbf{K} : \mathbb{R}^{6N+1} \mapsto \mathbb{R}^{3N}$ folytonos és $\mathfrak{D} \circ m\mathbf{K} = \mathfrak{D} \circ m\mathbf{F}$ függvény, amelyre a keresett $\mathbf{x}(t)$ pálya mentén $\forall t \in \mathcal{J}$ esetén

$$\mathcal{P}_{\text{Konf}(\mathbf{x}(t), t)} [\mathbf{F}(\mathbf{x}(t), \dot{\mathbf{x}}(t), t) - m\ddot{\mathbf{x}}(t)] = -\mathbf{K}(\mathbf{x}(t), \dot{\mathbf{x}}(t), t).$$

A következő egyenlet azt fejezi ki, hogy a bővített szabad-erő a keresett pálya mentén merőlegesen a konfigurációs térre. Ez a feltevés azért szükséges, mert ennyi kell minimálisan ahhoz, hogy a két szemlélet ekvivalens legyen, és a hagyomány szerint is ez a D'Alembert-elvek kanonikus alakja.

A D'Alembert-egyenlet: A keresett $\mathbf{x}(t)$ pálya mentén $\forall t \in \mathcal{J}$ és $\forall \delta\mathbf{x} \in \text{Konf}(\mathbf{x}(t), t)$ esetén

$$[\mathbf{F}(\mathbf{x}(t), \dot{\mathbf{x}}(t), t) - m\ddot{\mathbf{x}}(t)] \cdot \delta\mathbf{x} = 0.$$

A szemléletek ekvivalenciája

A szemléletekben megfogalmazottak feltevések a keresett $\mathbf{x}(t)$ pályáról, vagyis az ekvivalenciát is a keresett pálya mentén kell igazolni. Így az alábbi igazolásoknál tartjuk ezt észben, és akkor nem kell kiírni a függvények változóit.

Newtontól D'Alembert-ig. A dinamika alaptörvényét átalakíthatjuk: $\mathbf{F} + \mathbf{K} - m\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{0}$. Megszorozva ezt az egyenletet $\delta\mathbf{x}$ -szel és felhasználva a virtuális munka elvét, miszerint $\mathbf{K}\delta\mathbf{x} = 0$, megkapjuk a D'Alembert-egyenletet. Vagyis az $\mathbf{F} - m\ddot{\mathbf{x}}$ benne van a konfigurációs tér ortogonális kiegészítőjében, azaz erre a térre vett merőleges vetülete önmagát adja, és tudjuk, hogy $\mathbf{F} - m\ddot{\mathbf{x}} = -\mathbf{K}$, azaz igaz a D'Alembert-elv.

D'Alembert-től Newtonig. A D'Alembert-egyenlet szerint az $\mathbf{F} - m\ddot{\mathbf{x}}$ vektor benne van a konfigurációs tér ortogonális kiegészítőjében, vagyis az erre a térre vett merőleges vetülete önmagát adja, így felhasználva a D'Alembert-elvet az $\mathbf{F} - m\ddot{\mathbf{x}} = -\mathbf{K}$ egyenletet, vagyis a dinamika

alaptörvényét kapjuk. Ha ezt az egyenletet megszorozzuk $\delta\mathbf{x}$ -szel, akkor a D'Alembert-egyenletet felhasználva adódik, hogy $\mathbf{K}\delta\mathbf{x} = 0$, vagyis igaz a virtuális munka elve is.

Az elsőfajú mozgásegyenletek

Most megmutatjuk, hogyan lehet előállítani a keresett pályát az előző feltevésekből. Használjuk a Newton-féle szemléletet! Tudjuk, hogy létezik a \mathbf{K} kényszer, és a keresett pálya mentén benne van a konfigurációs tér ortogonális kiegészítőjében. Azt is láttuk *A konfigurációs tér* alfejezetben, hogy az $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_k$ vektorok bázisát adják ennek a térnek minden helyen és időben (a konfigurációs elv miatt), így a keresett pálya mentén \mathbf{K} reprezentálható ebben a bázisban, vagyis a keresett pálya mentén $\mathbf{K} = \lambda_1 \mathbf{a}_1 + \lambda_2 \mathbf{a}_2 + \dots + \lambda_k \mathbf{a}_k$. Ezt viszont be lehet tenni a dinamika alaptörvényébe, vagyis tudjuk, hogy a keresett pálya mentén fennáll az

$$\mathbf{F} + \lambda_1 \mathbf{a}_1 + \lambda_2 \mathbf{a}_2 + \dots + \lambda_k \mathbf{a}_k = m\ddot{\mathbf{x}}$$

egyenlet. Ez $3N$ egyenletet jelent $3N+k$ ismeretlenre, hiszen a $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ úgynevezett Lagrange-multiplikátorok is ismeretlenek. Ugyanakkor a kényszerelv még biztosít számunkra k egyenletet, tehát összesen van $3N+k$ egyenletünk, vagyis a probléma elvben megoldható. Hangsúlyozzuk viszont, hogy feltevéseink nem teljesek abban az értelemben, hogy nem biztosítják egyértelmű megoldás létezését, „csak” annyit tesznek lehetővé számunkra, hogy megoldási módszereket konstruáljunk. Erre volt példa a most felírt $3N+k$ egyenlet.

Irodalom

- MATOLCSI TAMÁS: *Analízis I.* – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 1999
 MATOLCSI TAMÁS: *Analízis II.* – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 1999
 CSÁSZÁR ÁKOS: *Valós analízis I.* – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999
 ABONYI IVÁN, NAGY TIBOR: *Elméleti fizika* – Tankönyvkiadó, Budapest, 1980
 V.I. ARNOLD: *A mechanika matematikai módszerei* – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
 BUDÓ ÁGOSTON: *Mechanika* – Tankönyvkiadó, Budapest, 1952
 NAGY KÁROLY: *Elméleti mechanika* – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1993

FIATAL CSILLAGOK ÉS KÖRNYEZETÜK KÖLCSÖNHATÁSAI

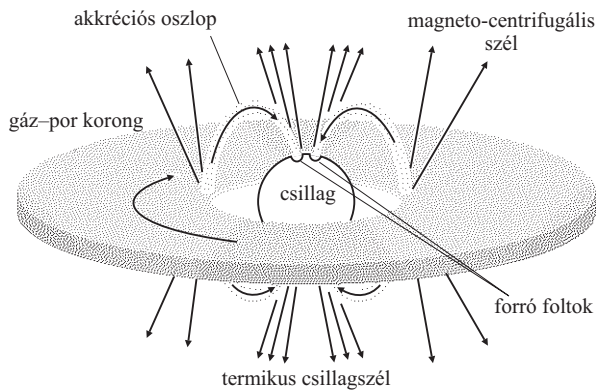
Kun Mária

MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézete

A csillagok életútját és a fejlődésük különböző szakaszaiban megfigyelhető tulajdonságait egyértelműen meghatározza a tömegük. A legfiatalabb csillagok kivételek. Fejlődésük kezdeti szakaszaiban a csillagok még nagyon szoros kapcsolatban vannak azzal a csillagközi felhővel,

A cikkben ismertetett kutatásokat az OTKA T34584 és T49082 sz. pályázatai támogatják.

amelyben születtek. Megfigyelhető tulajdonságaik jelentős része a környezet fizikai állapotát, valamint a csillag és környezete kölcsönhatásait tükrözi, nem a születő csillag tömegét és korát. Azt várhatjuk, hogy a különböző csillagkeletkezési régiókban feltűnő különbségeket találunk az azonos tömegű és korú csillagok megfigyelhető tulajdonságaiban. Ebben a cikkben ezekre a különbségekre mutatok be néhány példát.



1. ábra. A fősorozat előtti csillagok vázlatos szerkezete

A fiatal csillagok tágabb környezete: a csillagkeletkezési régió

A csillagkeletkezési régió mint galaktikus objektum nagyjából 10^2 – $10^6 M_{\odot}$ (naptömeg) tömegű molekuláris gázból, porból és a benne keletkezett fiatal csillagokból–csillagcsoportokból áll. A fiatal csillagkeletkezési régió térfogatának jelentős részét sűrű gáz tölti ki, és a hozzá tartozó csillagok mélyen a felhőkbe ágyazott infravörös objektumok. Fejlődése során a legsűrűbb tartományokban csillagok keletkeznek, a ritkább gáz szétszóródik, és a fiatal csillagok az optikai hullámhosszakon is megjelennek: a csillagkeletkezési régió *csillagtársulássá* (asszociáció) alakul át.

A fiatal csillagokat spektrális tulajdonságaik különböztetik meg a felhőre vetülő mezőcsillagoktól és infravörös galaxisoktól. A kis tömegű protocsillagok optikailag láthatatlan infravörös források. Spektrális energiaeloszlásukat jól leírja a központi égitest hőmérsékleti sugárzását elnyelő és visszasugárzó, különböző sűrűségű és hőmérsékletű rétegekből álló, porban dús burok modellje [1]. A molekulafelhő anyagából kialakuló protocsillagokat megfigyelési szempontból, infravörös spektrumuk energiaeloszlása alapján két osztályba sorolják: a fő akkréciós fejlődési fázis elején tartanak a *0. osztályú protocsillagok*, amelyek tömegének nagy része még a burokban található, és a tömegbefogás végénél az *1. osztályú protocsillagok*, amelyeknek cirkumsztelláris burka már a csillag tömegénél sokkal kevesebb anyagot tartalmaz [2, 3].

A tömegbefogás végén a születő csillagot *fősorozat előtti* csillagnak nevezik. A fősorozat előtti csillagok tömege már alig nő, lassú, több millió évig tartó kontrakcióval érik el a magfúzióhoz szükséges centrális hőmérsékletet, azaz a *Hertzsprung–Russell-diagram* fősorozatát.

A Nap típusú csillagok keletkezése dióhéjban

A Nap típusú csillagok keletkezése négy fő szakaszból áll (ld. pl. [4]):

1) *Gravitációsan instabil felhőmag kialakulása.* A csillagközi molekulafelhők legsűrűbb tartományainak, a *felhőmagoknak* tipikus mérete 0,01–0,1 pc, kinetikus hőmérséklete 10–20 K, tömege néhány naptömeg.

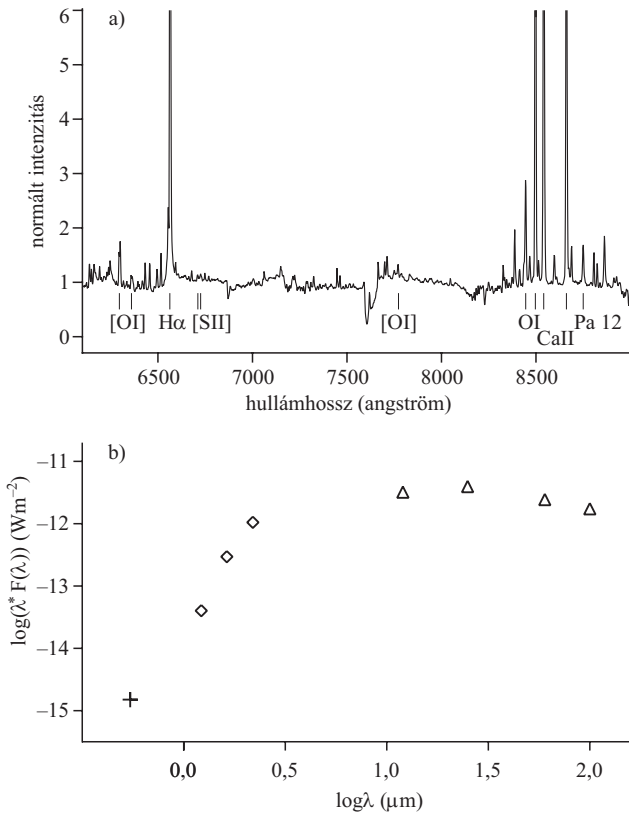
2) *A felhőmag közepén dinamikus kollapszus kezdődik és kifelé terjed: a felhőmagok gravitációs instabilitása következtében a felhőkben protocsillagok keletkeznek.* Kezdetben a kollapszus izoterm, a felszabaduló gravitációs energiát a por és a molekulák hatékonyan sugározzák ki. A sűrűség növekedésével a kollapszus centrális tartománya optikailag vastagga válik, hőmérséklete addig emelkedik, míg végül hidrosztatikus egyensúlyt ér el. A hidrosztatikus mag tömege kialakulásakor mintegy $0,01 M_{\odot}$. A csillagkeletkezésben részt vevő anyag tehát időben monoton növekvő tömegű és sugarú hidrosztatikus magból, bezuhanó burokból és az egészet beágyazó, még nyugalomban levő felhőmagból áll.

3) *Centrifugális korong kialakulása a protocsillag körül, és ezzel egy időben a deutérium fúziója és konvekció a protocsillagban.* Magnetocentrifugális szél indul a protocsillag forgástengelyének irányába. A felhő kezdeti forgása felgyorsul a kollapszus közben, ezért a beeső részecskék radiális mozgása a kollapszus centrumától egy, a csillag tömegétől, valamint a bezuhanó gáz kezdeti sebességétől és hőmérsékletétől függő távolságban (a *centrifugális sugárnál*) tangenciálissá változik. A csillagkezdemény körül így *akkréciós korong* alakul ki. A kollapszus a korongot táplálja, a csillag tömege pedig a korongról növekszik. *Protocsillagnak az egész hidrosztatikus csillagkezdemény – akkréciós korong – bezuhanó burokrendszert tekintjük.* A centrumban növekvő csillagkezdemény hőmérséklete az eredetileg molekuláris anyag disszociációja, majd ionizációja után emelkedni kezd. 10^6 K centrális hőmérsékletnél elkezdődik a deutérium fúziója héliummá. Ekkor, mivel a csillag még jóval terjedelmesebb a hasonló tömegű fősorozati csillagoknál, és a nagy felületen gyorsan hűl, konvektív válik. A konvekció és a forgás mágneses dipólteret hoznak létre, és ettől kezdve a csillag mágneses terének a befelé tartó anyaggal való kölcsönhatását is figyelembe kell venni. Az akkréciós korongról befelé áramló ionizált gáz impulzusnyomatékától függően a csillag mágneses erővonalai mentén vagy a csillag felszínére jut (magnetoszférikus akkréció), vagy kirepül a rendszerből (*magnetocentrifugális szél*).

4) *A tömegbefogás vége, a csillag megjelenése fényforrásként.* A szél térszöge kiszélesedik, a csillag leválik a felhőről, és tömege már nem nő jelentősen. Lassú, néhány millió évig tartó kvázisztatikus kontrakció során emelkedik centrális hőmérséklete a hidrogénfúzióhoz szükséges 15 millió kelvinre.

A fiatal csillagok megfigyelhető tulajdonságai

Az 1. ábra mutatja, hogyan néz ki az előző szakaszban vázolt folyamatban létrejött fősorozat előtti csillag. Feltűnően nem gömbszimmetrikus: nagyjából 100–200 csillagászati egység sugarú, néhány század naptömegnyi gázból és porból álló akkréciós korong övezi. A korong ionizált felszíne mágneses kapcsolatban van a csillaggal. A korong anyaga a mágneses erővonalak mentén áramlik a csillag felszínére. A korongról a csillagra hulló gáz a csillag optikai színpéldében erős emissziós vonalak formájá-



2. ábra. a) A PV Cephei optikai spektruma a Calar Alto Observatóriumban 2,2 m-es távcsövvel 2004. augusztus 5-én készült felvétel alapján. b) A PV Cephei Herbig Ae-csillag spektrális energiaeloszlása a 2MASS és az IRAS adatainak felhasználásával.

ban jelenik meg. A vonalak szélessége által tükrözött sebességek összemérhetők a csillagfelszíni szabadesés sebességével (kb. 300 km/s). A korong belső szélénél induló *magnetocentrifugális szélben* a korong anyagának legnagyobb perdületű részecskéi távoznak a rendszerből a nyitott erővonalak mentén. Ez a nagy sebességű, ritka gáz tiltott emissziós vonalak formájában figyelhető meg a fiatal csillagok optikai színképében. Az akkréció talppontjaiban a csillag felszíne felforrósodik. A forró foltok jelenléte miatt a csillag kékebbnek látszik, mint a hasonló tömegű, öregebb csillagok. A forró foltok is erős csillagszél forrásai. Ennek a szélnek a részecskéit tükrözi az optikai színképben látható héliumemisszió.

A Nap típusú, fősorozatot előtti csillagok egyik csoportját a G, K és M típusú, színképükben emissziós vonalakat mutató *klasszikus T Tauri csillagok* alkotják. A klasszikus T Tauri csillagok egyik legfeltűnőbb spektrális tulajdonsága a színképükben észlelhető erős H α -emisszió, a másik pedig az infravörös többletsugárzás. Feltűnőek még a tiltott emissziós vonalak, amelyek az akkréciós korong és a csillag kölcsönhatása következtében fellépő csillagszélből erednek.

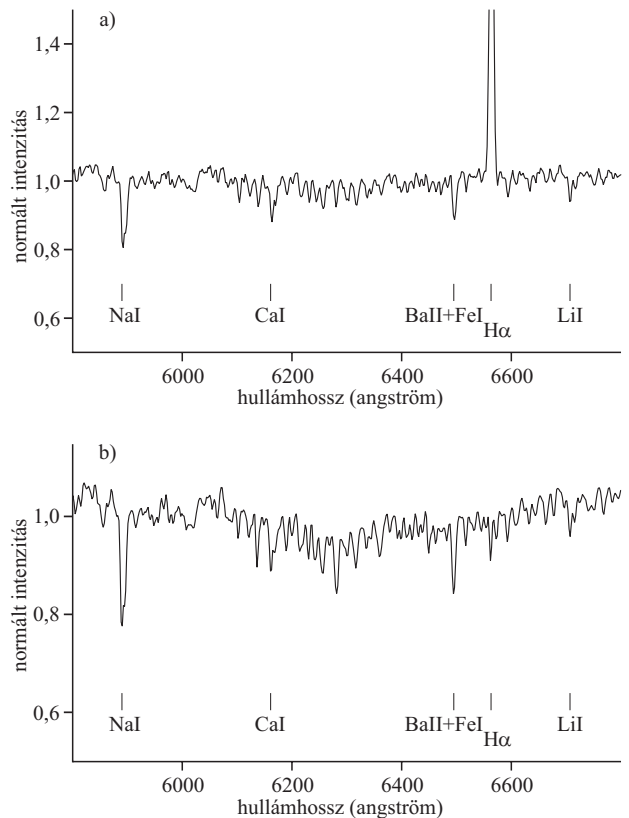
A Nap típusú fősorozatot előtti csillagok másik csoportja a *gyenge vonalú T Tauri csillagok*. Ezeknél az ugyancsak G, K és M színkép típusú csillagoknál nem figyelhető meg az akkréciós korong és a csillag kölcsönhatását tükröző jelenségek. Csillagkeletkezési régiókhöz való közelségük és erős *röntgensugárzásuk* hívta fel rájuk a figyelmet. A röntgensugárzás erős kromoszférikus aktivitást

tükröz, ami fiatal korra utal. A Napnál nem nagyobb tömegű csillagok fiatal korának legfontosabb indikátora a lítium rezonanciavonalának jelenléte a spektrumban 6707,6 Å-nél. A lítium a fősorozat előtti fejlődés során a kis tömegű, konvektív csillagokban elfogy, mivel már 3 millió kelvinen fuzionál. A gyenge vonalú T Tauri csillagok fiatal korát a lítium jelenléte bizonyítja legmeggyőzőbben.

Nem tudjuk egyértelműen megmondani, miért létezik a fiatal csillagoknak ez a két különböző csoportja. Kézenfekvő arra gondolni, hogy a gyenge vonalú T Tauri csillagok öregebbek, mivel az akkréció üteme csökken, ahogy a csillag a fősorozat felé közeledik. A lítiumgyakoriságra alapozott korvizsgálatok azonban azt mutatják, hogy mindkét csoport nagyjából azonos korú csillagokból áll. A protosztelláris fejlődés során kialakuló korong tulajdonságai függenek a csillagelőtti felhőmag sűrűségétől, perdületétől, mágneses terétől. A gyenge vonalú T Tauri csillagok általában a molekulafelhőkön kívül találhatóak. Valószínű, hogy kisebb, ritkább felhők voltak a csillagkeletkezés alapanyagai, amelyek a csillagkeletkezés után gyorsan szétszóródtak. Mind a csillagképződésben, mind a felhők szétszórásában fontos szerepet játszanak a külső hatások: közeli szupernóva-robbanás vagy közeli nagy tömegű csillagok erős szele.

A fősorozatot előtti csillagok nagyobb, körülbelül 2,5 $M_{\odot} < M < 8 M_{\odot}$ tömegű képviselői a *Herbig-féle Ae/Be csillagok*. Ezek B, A és F színkép típusú, csillagkörüli

3. ábra. a) Az AS 507 – G2V típusú, pontosan mint a Nap – klasszikus T Tauri csillag a Cepheusban. Fiatal korát az erős H α -emisszió és a 6707 Å hullámhosszú lítiumabszorpció bizonyítja. b) Egy K3 színkép típusú, gyenge vonalú T Tauri csillag (GSC 0448000917) optikai színképe.



portól származó infravörös többletsugárzást mutató, emissziós színképű csillagok, és legtöbbjük reflexiós ködöt is megvilágít.

A 2. ábrán egy fősorozat előtti csillag, a PV Cephei optikai színképe látható a 6300–8800 Å hullámhossztartományon, valamint spektrális energiaeloszlása az optikai és az infravörös hullámhosszakon. A színképeket a csillag–korong kölcsönhatást tükröző emissziós vonalak uralják. A legfeltűnőbb vonalak, a H α és a CaII infravörös triplétt intenzitása a csillagra áramló anyag mennyiségével arányos. Az oxigén, nitrogén és kén tiltott vonalai a ritka csillagszélből erednek. A spektrális energiaeloszlás sem hasonlít a csillagok néhány ezer kelvines feketetest-sugárzásához: a csillagot körülvevő korong és burok infravörös sugárzása adja a megfigyelt sugárzás zömét.

A 3. ábrán egy sokkal kevésbé aktív – azaz lassabb ütemben építkező – G2 színkép típusú klasszikus T Tauri és egy K3 színkép típusú gyenge vonalú T Tauri csillag optikai színképe látható. Mindkét csillag a Cepheus csillagkép közeli molekulafelhőiben található [5, 6].

Legtöbb csillagnál megfigyelhető a vonalintenzitások időbeli változása, ami arra utal, hogy az akkréció és a hozzá társuló szél nem állandó. A korong belső viszkozitása következtében részecskéi a csillag felé spiráloznak. Előfordulhat, hogy a korong belső szélénél – amelynek helye a csillag tömegétől és mágneses térerősségétől is függ – nagy mennyiségű anyag gyűlik össze, majd hirtelen

4. ábra. A Boszorkányfej-köd az Orion csillagképben kis tömegű csillagok születési helye.



len a csillagra zúdul. Ekkor a csillag rövidebb-hosszabb időre kifényesedik, és spektrumában megnő az emissziós vonalak intenzitása. A 2. ábrán látható PV Cephei valószínűleg éppen ilyen fázisban van. A meglódukt akkréció egyes esetekben néhány hónap alatt véget ér, amikor elfogy a korong belső szélénél az anyag, és nincs utánpótlása. Vannak azonban olyan esetek, ahol a gyors anyagbeáramlás évtizedekig is eltart. Ezek a csillagok az *FU Orionis típusú változócsillagok*. Ezen csillagok valószínűleg a legfiatalabb fősorozat előtti objektumok közé tartoznak: akkréciós korongjaik az átlagosnál nagyobb tömegűek, és a csillagra hulló anyag folyamatosan pótlódik a csillagelőtti burokból.

A színképvonalak alakja néhány esetben egyértelműen megmutatja, hogy a vonal a csillagra áramló vagy éppen a szélben távozó anyagból ered. A kiáramló anyag esetében a széles emissziós vonalnak a rövid hullámhosszú oldalán abszorpciós összetevője van (P Cygni profil), míg a beáramló anyag nyomjelzője a vörös oldalon abszorpcióval társuló *inverz P Cygni* profil. Mivel korong a csillagkörülí anyag egyes tartományait eltakarja, a megfigyelhető színkép megjelenése attól is függ, milyen szögben látunk rá a korongra.

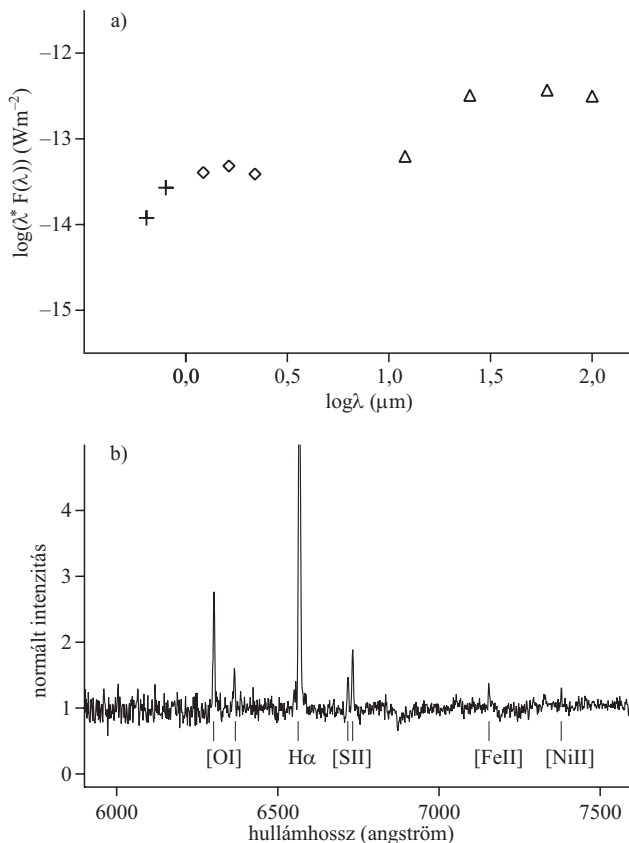
Maga az akkréciós korong jellegzetes infravörös spektrumáról ismerhető fel. A csillag–korong rendszer spektrális energiaeloszlásában összegződik a néhány ezer kelvines felszíni hőmérsékletű csillag és a kifelé radiálisan csökkenő hőmérséklet-eloszlású korong spektruma. A burok maradványai a hosszabb infravörös hullámhosszakon járulnak hozzá a fiatal csillag energiakibocsátásához.

A fiatal csillagok és tágabb környezetük viszonya

A fiatal csillag szűkebb környezete, a *cirkumsztelláris korong és burok* jelenléte határozza meg a csillagok spektrális megjelenését. A születő csillagok tömegeloszlása, csoportosulási tulajdonságai és a csillagkörülí anyag szerkezete és fejlődése viszont a csillagkeletkezési régió nagy léptékű tulajdonságaitól függ. A legismertebb közeli csillagkeletkezési régiók az Orion és a Taurus csillagkép molekulafelhői. Míg az előbbiben forró óriáscsillagokat is tartalmazó sűrű halmazok keletkeznek, az utóbbiban csak kis tömegű csillagok ritkás csoportokban.

Az MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézetében számos, kevésbé ismert, közeli molekulafelhő csillagképző tulajdonságait vizsgáltuk. Összehasonlításuk egymással és ismert csillagkeletkezési régiókkal hasznos információkat adhat a csillagkeletkezés kezdőfeltételeiről és környezettől való függéséről.

A *Boszorkányfej-köd* (IC 2118, 4. ábra) a jól ismert Orion csillagkeletkezési terület nyugati szélén, a Rigeltől 2° távolságban északnyugatra található. Noha az Orion az egyik legalaposabban tanulmányozott csillagkeletkezési régió, az IC2118 az Orionra irányuló legtöbb vizsgálat hatókörén kívül esett. A reflexiós köd és a hozzájuk tartozó molekulafelhők feltűnően aszimmetrikusak. Alakjuk azt sugallja, hogy dinamikai kölcsönhatásban vannak a közeli *Orion OB1* asszociáció nagy tömegű, forró csillagaival.



5. ábra. a) Kis tömegű protocsillag (IRAS 02086+7600) spektrális energiaeloszlása azt mutatja, hogy a sugárzás zöme a hideg csillagkörülí burokból ered. b) Az objektum optikai spektruma a csillag körüli burkon szórt fény folytonos színekéből, valamint a nagy sebességű protoszterlárius szél és gázburok ütközése során keltett tiltott vonalakkból áll. A „burokban születő” csillagról semmit sem árulnak el ezek a megfigyelések. A színekép a 2,5 m-es *Nordic Optical Telescope*-pal készült 2001 januárjában.

A Rigel által megvilágított kis felhőkben öt fősorozat előtti csillagot és egy I. osztályú protocsillagot találtunk [7]. A csillagképző felhők az Orion OB1 asszociáció forró csillagai által létrehozott, nagy nyomású gázzal kitöltött csillagközi térrész, az Orion–Eridanus-buborék hozzánk legközelebbi szélén vannak. A csillagkeletkezést a csillagközi buborék belsejében uralkodó nagy nyomás indította el. Az IC2118 csillagkeletkezési régió különlegessége, hogy az egy protocsillagra jutó felhőtömeg sokkal kisebb benne, mint a többi ismert csillagkeletkezési régióban (az átlagos $11 M_{\odot}$ /protocsillag helyett mindössze $6 M_{\odot}$ /protocsillag). A környezet nagy nyomása segítette a kisebb tömegű felhők kollapszusát.

A Lynds 1333 kicsi (0,007 négyzetfok) átmérőjű sötét felhő a Kassiopeia csillagképben, mindössze 180 parsekre a Naptól. A felhő rádiócsillagászati megfigyelései

azt mutatták, hogy ezen a területen valószínűleg két felhő összeütközése indította el a csillagkeletkezést [8]. A csillagképző felhőmagok a galaktikus síkkal nagyjából párhuzamos, keskeny, filamentáris felhő mentén helyezkednek el. A L1333 fiatal csillagainak optikai spektrumait 2001 januárjában észleltem a *Nordic Optical Telescope ALFOSC* spektrográfjával. Különösen érdekes az IRAS 02086+7600, amelynek infravörös színindexei az optikailag általában láthatatlan I. osztályú protocsillagokéra hasonlítanak. Ezzel az infravörös forrással azonban egybeesik egy halvány, nagyon vörös csillag, amelynek optikai színeképe és spektrális energiaeloszlása az 5. ábrán látható. Ebben a spektrumban a protocsillag és a beágyazó burok kölcsönhatásait látjuk. Az erős [OI] és [SII] tiltott emissziós vonalak ott keletkeznek, ahol a csillagszéllel való ütközés gerjeszti a burok atomjait. Az erős H α -vonal valószínűleg a burkon belüli akkréciós korongról a csillagra áramló gázban keletkezik. Az IRAS 02086+7600 a piszkétetői 1 m-es RCC teleszkóppal R és I szűrőkön át készült optikai képeken nem pontszerű. Az objektum képeinek és a kép ponteloszlási függvényének félértékszélességéből a látható burok becsült lineáris mérete körülbelül 360 AU. Ezzel szemben a H α -szűrőn át készült felvételen az IRAS 02086+7600 képeinek profilja nem különbözik a csillagokétól, bizonyítva, hogy a H α -emisszió kisebb térfogattól érkezik, mint a folytonos szórt fény. Nagyobb szögfelbontású műszerekkel vizsgálva az IRAS 02068+7600 protocsillagot a korai csillagfejlődés sok érdekes részletét fedezhetjük fel.

A közeli csillagkeletkezési régiók vizsgálatával megismerhetjük a legszűkebb galaktikus környezetünkben, a szemünk előtt zajló csillagképződés törvényeit. A környezettől való függés vizsgálata segíthet megérteni, hogyan változhattak a csillagkeletkezési folyamatok a világegyetem fejlődése során, míg évmilliárdok alatt kialakították a kozmosz mostani képét.

Irodalom

1. F.C. ADAMS, C.J. LADA, F.H. SHU – *Astrophys. J.* 312 (1987) 788
2. C.J. LADA: *The Physics of Star Formation and Early Stellar Evolution* – szerk. C.J. Lada és N.D. Kylafis, Kluwer, 1991, 329. o.
3. P. ANDRÉ, D. WARD-THOMPSON, M. BARSONY – *Astrophys. J.* 406 (1993) 122
4. F.H. SHU, A. ALLEN, E. OSTRICKER, Z-Y. LI: *The Origin of Stars and Planetary Systems* – szerk. C.J. Lada és N.D. Kylafis, Kluwer, 1999, 193. o.
5. M. KUN – *Astrophys. J. Suppl.* 115 (1998) 59
6. K. TACHIHARA, R. NEUHÄUSER, M. KUN, Y. FUKUI – *Astron. & Astrophys.* (2005) nyomdában
7. M. KUN, T. PRUSTI, S. NIKOLIĆ, L.E.B. JOHANSSON, N.A. WALTON – *Astron. & Astrophys.* 418 (2004) 89
8. A. OBAYASHI, M. KUN, Y. YONEKURA, F. SATO, Y. FUKUI – *Astron. J.* 115 (1998) 274

Szerkesztőség: 1027 Budapest, II. Fő utca 68. Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: mail.elft@mtsz.hu

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Berényi Dénes főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Tamás, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyszámlán.

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 600.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015-3257