

NAGYFELBONTÁSÚ ÉS MULTIOBJEKTUM
SPEKTROGRÁFOK TERVEZÉSE ÉS
ALKALMAZÁSA:
NYÍLT CSILLAGHALMAZOK DINAMIKAI
VIZSGÁLATA

Ph.D. értekezés tézisek

Fűrész Gábor

diplomás csillagász

*a Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics intézet predoktori ösztöndíjasa
Cambridge, MA, USA*

Témavezetők:

Dr. Szentgyörgyi, Andrew and Dr. Latham, Dave
Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, MA, USA

Belső témavezető:

Dr. Vinkó József
Szegedi Tudományegyetem, Optika és Kvantumelektronikai Tanszék

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

Szeged

2008.

Bevezetés

Mivel a legtöbb csillag halmazokban születik (Lada & Lada 2003), ezért a csillagkeletkezési folyamatok tanulmányozásában alapvető fontosságú a halmazkeletkezés körülményeinek vizsgálata. Annak megértése pedig, hogy saját Napunk miként keletkezett, kulcsfontosságú a Föld és a Naprendszer születésének felderítésében. Napjainkban immár több, mint 200 Naprendszeren kívüli (exo-)bolygót ismerünk, ami egyértelműen mutatja, hogy a bolygókeletkezés egy általános folyamat. Ennek megértéséhez, az idegen világok tanulmányozásához az első lépés azonban a csillagkeletkezés titkainak feltérképezése.

Ma a halmazok a csillagkeletkezési folyamatok laboratóriumaként szolgálnak a modern (különösen az infravörös és multi-objektum) megfigyelési eszközök számára, aminek köszönhetően halmaz- és csillagfejlődési ismereteink igen részletessé váltak. Az infravörös eszközök érzékenysége növekedése (mind a földfelszíni, mind az űrbeli megfigyelések esetében, l. Spitzer űrtávcső) lehetővé tette újabb fiatal csillagcsoportok felfedezését és azok minden eddiginél részletesebb tanulmányozását – annak ellenére, hogy ezen társulások gyakran sűrű por- és gázfelhőkbe ágyazódva rejtőzködnek a csillagászok szeme előtt. Amennyiben sikerül ezekben a legfiatalabb halmaz-embriókban valamiféle szerkezetet felfedezni, az segítséget adhat annak megértésében, miként is alakulnak ki a csillagok ezen bölcsői, milyen folyamatok és körülmények vezetnek csillagok és bolygórendszerek kialakulásához.

Nagy, több parszek (pc) kiterjedésű csillagkeletkezési régiók esetében megfigyeltek kisebb sűrűsödéseket és elkülönülő struktúrákat (pl. az NGC 2264 fiatal nyílthalmaz, lásd Lada, Young & Greene 1993, valamint Teixeira 2006), amik a képződő halmazok építőkövei lehetnek. A közelmúlt Chandra űrtávcsővel végzett röntgen megfigyelései is alátámasztják a finomszerkezet jelenlétét keletkező csillaghalmazok esetén, ami pl. az Orion Köd Halmaz (ONC - Orion Nebula Cluster) esetében abban mutatkozik meg, hogy a centrális tartomány csillagai erősen aszimmetrikus eloszlást mutatnak (Feigelson et al.,

2005). Rövid hullámhosszú obszervációk más fiatal, beágyazott csillagbölcsők esetében is feltárták a csillagok határozottan struktúrált sűrűségeloszlást (l. Broos et al. (2007) értekezése az M17 szerkezetéről).

Ezek a vizsgálatok azonban csak pillanatképeket adnak bizonyos fejlődési állapotokról. Számos objektumot tanulmányozva ugyan felvillanhat az apró mozaikokból felépülő teljes kép, de annak részletes felvázolása megköveteli az összes lehetséges információ kinyerését ezekből a pillanatképekből, a lehető legnagyobb részletességgel. Ezért a nagyfelbontású spektroszkópia alkalmazása, mint az asztrofizika igen hatékony eszköze, elengedhetetlen a csillagkeletkezési folyamatok vizsgálatában. Továbbá az esetlegesen kialakuló bolygórendszerek karakterizálása is az echelle spektrográfokhoz köthető, hiszen a legtöbb exobolygót a spektrumban megfigyelhető Doppler-effektus alapján fedezték fel, megmérve a vonalak apró eltolódását amit a csillag keringése okoz a csillag–bolygó rendszer közös tömegközéppontja körül.

Kétségtelenül a megfigyelések végzése és a mérési adatok kiértékelése ad a legmélyrehatóbb képet egy műszer képességeiről s enged következtetni arra, hogy miként lehetne/kellene az adott műszert fejleszteni, annak érzékenységét a legfelső határig kitolni a legmodernebb technológia újítások felhasználásával. Az egyik legjobb példa erre a HARPS spektrográf (Pepe et al., 2000), mely a svájci kutatócsoport több évtizedes műszerépítési és megfigyelési tapasztalatának eredményeként rutinszerűen szolgáltat $< 1 \text{ m s}^{-1}$ pontosságú mérési adatokat többszáz fényév távolságban lévő objektumokról. Ez a megdöbbentő pontosság azonban még mindig csak arra elegendő, hogy a Földnél többszörösen nagyobb tömegű exobolygókat mutassunk ki. Azonban a méréstechnológia fejlődésének köszönhetően nemrég megjelent csillagászati lézerefűk (Li et al., 2008) a cm s^{-1} pontosság elérésével kecsegtetnek, ami már lehetővé teszi a Földhöz hasonló planéták felfedezését. A csillagkeletkezési régiók vizsgálatában e lenyűgöző mérési pontosságnál fontosabb a statisztikailag jelentős mennyiségű adat gyűjtése, amit viszont a legújabb nagyfelbontású több-objektum spektrográfok tudnak szolgáltatni. Azonban a lehető legnagyobb belső pontosság és -konzisztencia, a megfelelő kalibrációk a szisztematikus hibák kiszűrésére ezen műszerek esetében is alapvető, hiszen csak így juthatunk el értékelhető adatokhoz és helyes következtetésekhez.

Célkitűzés

A diplomamunkám témája egy közepes felbontású és alacsony költségvetésű spektrográf tervezése, megépítése és alkalmazási lehetőségeinek bemutatása volt, az egyetemi gyakorlati oktatás céljait segítendő. A Harvard-Smithsonian Asztrofizikai Központjának (Center for Astrophysics, CfA) doktori ösztöndíját elnyerve lehetőségem volt a csillagászati műszerépítésnek e terén, valamint a nagyfelbontású spektroszkópiai megfigyelések irányában továbblépni: egy modern echelle színeképelemző megépítésén és egy több-objektum spektrográf életre keltésén keresztül. Nagy segítséget és ösztönző erőt jelentett a napi kapcsolat és együttműködés lehetősége olyan munkacsoportokkal és kutatókkal, akik a nagy pontosságú radiális sebességmérés (RS) terén (Dave Latham, Guillermo Torres, és társaik), valamint a csillagkeletkezés/Spitzer infravörös űrtávcsöves megfigyelések terén (Lori Allen, Charles Lada, Tom Megeath, és társaik) nagy tapasztalattal és nemzetközi szaktekintéllyel rendelkeznek.

Ezek tükrében talán érthető, miként körvonalazódott két fő cél jelen doktori dolgozat elkészítése során:

- egy részletes, áttekinthető leírást adni modern echelle spektrográfok körültekintő tervezéséről és építéséről egy konkrét műszerfejlesztési program részletes bemutatásán keresztül, a végfelhasználó szemszögét és a tudományos alkalmazás igényeit mindvégig szem előtt tartva;
- fiatal nyílthalmazok dinamikájának tanulmányozása egy nagyfelbontású több-objektum spektrográffal készült megfigyelések alapján.

Előbbi egy meglehetősen műszertechnikai aspektusa a csillagászatnak, ezért talán joggal nevezhető inkább mérnöki tudománynak mintsem csillagászati kutatásnak. Ugyanakkor egy műszer használata az egyetlen út, mely során annak minden tulajdonsága és korlátja kiismerhető, ami pedig elengedhetetlen az adott műszer tökéletesítéséhez, a tudományos igények kielégítéséhez. Ezért a műszerfejlesztés az asztrofizikai kutatás alapvető eleme, s mint ilyen természetes és szerves része a csillagászat művelésének.

A második cél egy mindeddig hiányzó mozaikdarabot hivatott illeszteni a csillag- és halmazkeletkezésről alkotott képünkhöz. Annak ellenére, hogy számos példa ismert halmazokon belüli sűrűsödésekre a halmaztagok *kétdimenziós eloszlását* tekintve, a születőfélben lévő protocsillagok *térbeli vagy dinamikai eloszlása* (ahol a harmadik dimenziót a sebesség, mint a távolságnál sokkal könnyebben mérhető mennyiség) ezideáig relatíve érintetlen terület maradt. Holott nagyfelbontású multi-objektum spektrográfok már évek óta a kutatók rendelkezésére állnak, ezen műszerek teljes kapacitásának kihasználása csak a közelmúltban kezdődött meg e téren. Ennek részben az lehet az oka, hogy a nagyon fiatal halmazok – melyek még nagy valószínűséggel hordozzák magukban a kezdeti csillagközi anyag struktúrális jegyeit – mélyen por- és gázfelhőbe ágyazva rejtőzködnek. Emiatt az optikai tartományban igen nehezen figyelhetőek meg, s csak igen kevés közeli csillagkeletkezési zóna vizsgálható hatékonyan, hiszen a nagyfelbontású infravörös multi-objektum spektroszkópia még nem áll rendelkezésre.

Jobban leszűkítve a doktori dolgozat második célkitűzését egy konkrét halmazkeletkezési elmélet ellenőrzését vettem tervbe: a Burkert & Hartmann (2004) által leírt modell kinematikára vonatkozó előrejelzéseinek nyomát kerestem fiatal nyílthalmazok esetében. Az elmélet szerint egyszerű izotermális, véges csillagközi gázlemezek gravitációs összehúzódásának eredményeként a kezdeti feltételektől függően olyan változatos struktúrák jönnek létre, melyek nagyban hasonlítanak különböző csillagkeletkezési régiók molekuláris hidrogénfelhőiben megfigyelt mintázatokra. Burkert & Hartmann (2004) numerikus szimulációkon keresztül megmutatta, hogy a csillagközi anyagban lévő áramlatok/ütközések nyomán keletkező kétdimenziós gázsűrűsödések gravitációs kollapszusa egy fonalszerű, elnyúlt alakzat képződéséhez vezet, melynek végpontjai tartalmazzák a kezdeti össztömeg jelentős részét. A kiszámított modellparaméterek szerint nem csak a tömeg, de a kinetikus energia nagy része is ezekben a végpontokban található, mely abnormálisan megnövekedett sebesség-diszperzióként figyelhető meg az összehúzódó felhő többi részeihez viszonyítva. A Hectochelle műszerhez való hozzáférésem lehetővé tette, hogy elsőként keressem és találjam meg ennek a „felforrósodott” dinamikának a jelét kialakulófélben lévő nyílthalmazok csillagainak háromdimenziós eloszlásában, s ezzel igazoljam a modell előrejelzéseit.

Alkalmazott módszerek

A többszáz nagyfelbontású spektrum összegyűjtéséhez, mely lehetővé tette a radiális sebességtér és az egyedi csillagok fizikai paramétereinek feltérképezését, a Hectochelle (Szentgyörgyi et al., 1998) nagyfelbontású több-objektum spektrográfot és az az MMT (Monolithic Mirror Telescope – Egybeöntött Tükrű Teleszkóp) távcsövet használtam. Az MMT Observatórium a Smithsonian Intézet (Smithsonian Institution) és az Arizónai Egyetem (University of Arizona) közös intézménye. A távcső egy 6.5 méter tükörátmérőjű altazimutális szerelésű Cassegrain rendszerű műszer, mely a Mt. Hopkins csúcsán található, a Santa Rita hegység (Coronado National Forest, Arizona, USA) második legmagasabb csúcsán, mintegy 55 kilométerre délre Tucson (Arizona, USA) várostól. Az MMT a Smithsonian Intézet Fred Lawrence Whipple Observatóriumának (FLWO) területén működik, ami egyben ott hont ad az 1.5 méteres Tillinghast tükrös teleszkópnak is. Ezen utóbbi reflektorhoz terveztem és építettem meg a TRES elnevezésű nagy felbontású, teljesen optikai tartományt lefedő echelle spektrográfot (Tillinghast Reflector Echelle Spectrograph – TRES), a CfA Optikai és Infravörös tagozatának (Optical and Infrared Division) műszerépítő csoportjával együttműködve.

A csillag- és kalibrációs színeképeket (utóbbi ThAr spektrállámpát használ forrásként) $R \simeq 34\,000$ -es felbontással készítettem különböző spektrális rendekben, melyek a $H\alpha$, Mg (5150–5300 Å) és Li (6708 Å) vonalakat tartalmazzák. A TRES műszer teljesítőképességének felmérését a teljes látható tartományt lefedő (3800–9200 Å) spektrumok alapján végeztem el $R \simeq 55\,000$ felbontás mellett, a szimultán ThAr kalibrációs technikát alkalmazva.

A színeképek kiértékelése és a nyers adatok kalibrálására kifejlesztettem egy autonóm szoftver folyamatot, mely Linux shell keretprogram egyéb standard képfeldolgozási- és adatbázis kezelő rutinok meghívását koordinálja. A teljesen automatikus kiértékelést egy műszer-specifikus kalibrációs adatbázis kiépítése tette lehetővé. A keretprogram a Linux/UNIX bash környezetben fut, és többnyire IRAF (Image Reduction and Analysis Facility – képkiértékelő- és feldolgozó szoftver-csomag) programokat, valamint STAR-

BASE¹ adatbázis-kezelő parancsokat hív meg. Ez az adatkiértékelési folyamat később a CfA Távcső Adatközpontjának (Telescope Data Center) hivatalos Hectochelle adatfeldolgozó folyamatává is vált.

A radiális sebességeket és a csillagok asztrofizikai paramétereit a kereszt-korrelációs módszer segítségével állapítottam meg, a CfA által kifejlesztett `rvsao.xcsao` IRAF programot használva. Ezen analízis során minden megfigyelt színeképet egy többszáz szintetikus spektrumot tartalmazó könyvtárral vetettem össze, keresvén az obszervált színeképet legjobban megközelítő párt. Ez a fajta több mintán alapuló összehasonlítás tapasztalataim szerint nagyban növeli a radiális sebesség meghatározásának pontosságát. A számított spektrumok a Kurucz (1992) csillagatmoszféra modelleken alapulnak, és John Morse (egyelőre publikálatlan), Munari et al. (2005) valamint Coelho et al. (2005) munkájának eredményei.

A TRES spektrográf optikai és mechanikai tervezéséhez a ZEMAX² kereskedelmi forgalomban kapható optikai sugárkövető/tervező programot, illetve az I-DEAS³ számítógépes tervezőprogramot (CAD – Computer Aided Design) használtam. Az optikai rendszerek elemzésére, az összeszerelés finom beállításainak segítésére valamint a megengedhető gyártási- és beállítási hibák pontos előrejelzésére további saját fejlesztésű programokat használtam.

¹<http://cfa-www.harvard.edu/~john/starbase/starbase.html>

²www.zemax.com

³Integrated Design and Engineering Analysis Software – Integrált Tervező és Mérnöki Analízis Program, jelenleg a Siemens PLM Software által forgalmazott

Új tudományos eredmények

1. Megterveztem és megépítettem egy nagyfelbontású, teljes vizuális tartományt lefedő, korszerű echelle spektrográfot (TRES – Tillinghast Reflector Echelle Spectrograph), mely 2007 során került átadásra a FLWO 1.5 méteres Tillinghast távcső műszereként. Az első tesztek és mérési eredmények azt mutatják, hogy a spektrográf az $\sim 5 \text{ m s}^{-1}$ sebességmérési pontosság elérésére képes a szimultán ThAr kalibrációs technikával, s a teljes rendszer fényhasznosítása (távcsövet és légkört is beleértve) meghaladja a 10%-ot. A TRES műszer folyamatosan veszi át az immáron 25 éves CfA Digitális Sebességmérő (Digital Speedometer, Latham et al 1992) szerepét, és hamarosan kulcsszerepet tölt be a CfA exobolygó kereső programjában, valamint a NASA Kepler missziójának⁴ földfelszíni támogatásában. [1]
2. Jelentős mértékben hozzájárultam a Hectochelle nagyfelbontású többobjektum spektrográf üzembe helyezéséhez az optika végleges beállítása, hatékony kalibrációs rendszer kifejlesztése, valamint az adatredukciós folyamat automatizálása révén, amely lépések elengedhetetlenek voltak a műszer sikeres alkalmazásában. Ezen munkám során olyan általános érvényű, a hasonló műszereket érintő következtetéseket vontam le azok karakterizálását illetve a belső radiális sebességmérési pontosságukat illetően, melyek eddig teljesen hiányoztak a szakirodalomból. Megmutattam, hogy a szub-optimális hullámhossz kalibrációs rendszer olyan szisztematikus hibák megjelenéséhez vezet, melyek pontos felmérés után korrigálhatóak és ezen utólagos módosítás nagy mértékben javítja a nagyvolumenű radiális sebességmérést kitűzű programok eredményeinek belső pontosságát. [2,3,4]

⁴<http://kepler.nasa.gov/>

3. Kimutattam, hogy fiatal nyílthalmazok (néhány millió éves kor alatt, mint pl. az NGC 2264) esetében még kimutatható lehet a halmaz finomszerkezete nem csak a két-, de a háromdimenziós eloszlásban (égi koordináták mellett a sebességtérben) is. Szignifikáns RS mintázatot találtam ebben a csillagkeletkezési régióban, mely a korábbi megfigyelésekből ismert hierarchikus szerkezettel rendelkezik. Megmutattam, hogy ez a halmazt létrehozó gázfelhő eredeti szerkezetéből visszamaradt mintázat, mivel a dinamikai relaxációs folyamatoknak nem volt lehetőségük a halmaz korára való tekintettel ezen nyomokat teljesen eltörölni. Eredményeim jó összhangban vannak az infravörös többletet mutató források eloszlását feltáró vizsgálatok következtetéseivel, melyek szintén azt mutatják, hogy a legfiatalabb (még anyagkoronggal rendelkező) csillagok előfordulási valószínűsége az eredeti keletkezési helyek mentén magasabb. Mérési eredményeim alapján állítható, hogy a csillagok látóirányú mozgása nagymértékű összhangot mutat a halmazban még mindig jelen lévő gáz sűrűbb elemeinek kinematikájával. Ezt a ^{13}CO molekula rádiómegfigyelései és az optikailag detektálható csillagok sebességértékeinek összevetése egyértelműen alátámasztja. Ezért azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a halmazkeletkezés során a molekuláris felhőben kialakult szerkezet a született csillagok eloszlás-mintázatában egyértelműen tetten érhető. Ezen kezdeti mintázat kialakulása a Burkert & Hartmann (2004) féle modell szerint várható jelenség: numerikus szimulációk azt mutatták, hogy a kiterjedt gázfelhők gravitációs kollapszusának természetes következménye a kezdeti apró inhomogenitások felerősödése és egy közelítőleg filamentáris szerkezet kialakulása, mely gyakran megfigyelt eloszlás csillagkeletkezési régiók esetében. [5]
4. Kiviteleztem egy alapos radiális sebesség felmérést az Orion Köd Halmazban és annak közvetlen környezetében. Ennek eredményeként azt találtam, hogy a régió gáz- és csillag komponensei igen szoros tér- és sebesség-eloszlásbeli összhangot mutatnak. Vagyis igen fiatal a formáció, kora alig egy áthaladási időegység, különben a gravitációs köl-

csönhatásoknak sokkal jobban ki kellett volna simítani a megfigyelt finomszerkezetet és jobban elkülöníteni a két komponenst. Ez a más korábbi módszerektől független kormeghatározás ~ 1 millió évet eredményez, ami a halmaz fizikai méretén és az általam mért 3.1 km s^{-1} nagyságú sebességszórás alapján. A megfigyelési eredményeket a Hartmann & Burkert (2007) féle elméleti modellel összevetve a következő képet rajzoltam fel az Orion Köd Halmazról és környezetéről:

nagy skálán a gáz és a csillagok erős sebesség-gradienst mutatnak az elnyúlt, filamentáris szerkezet mentén észak–déli irányban, ami rotációnak vagy ellentétes irányú mozgásból fakadó nyírásnak az eredménye. A felvett pozíció-sebesség térképek gravitációs gyorsulást mutatnak, mely a halmaz központja felé irányul. A Trapéziumtól északra található gáz- és csillagsűrűsödés kissé az előtérben helyezkedik el és a központ felé esik. A déli régió valószínűleg szintén a centrális tartomány felé mozog, de ennek jelei kevésbé egyértelműek az északi karhoz hasonlítva.

A megfigyelések alapján plauzibilis az a feltevés, miszerint a csillagkeletkezési folyamatok visszacsatolási energiája a déli régió gáztartalmának „kifújását” eredményezte. Ez a gyorsuló sűrűségfront egy kisebb csillag-populáció keletkezését indította meg, mely a ma megfigyelhető, enyhe kékeltoadást mutató előtérscillagokat alkotja. E mellett az indukált csillagkeletkezésre utaló más jeleket is találtam a halmazban, egy pozícióban jól körülhatárolható kisebb csillagcsoport formájában. A sebesség-térben ezen csillagok a környező objektumokkal ellentétben jelentős kékeltoadást és egyértelmű csoportosulást mutatnak a gázhoz viszonyítva. A halmaz ezen területén több ismert Herbig-Haro objektum található, melyek elnyúlt alakzatai az OKH központi vidéke, a Trapézium felé mutatnak. Ez összhangban áll azzal a következtetéssel, hogy a centrális vidéken jelenleg is legaktívabban folyó csillagkeletkezés anyagkiáramlást eredményez, mely kifújás további csillagkeletkezést indukál a külsőbb területeken. [6]

5. Megfigyelési bizonyítékát adtam annak, hogy idősebb nyílthalmazok közötti gravitációs kölcsönhatás szétszórhatja a halmaztagokat, amely folyamat a Naphoz hasonló egyedülálló csillagok egyik lehetséges eredete. A legtöbb csillag halmazokban keletkezik, azonban a gravitációsan kötött, idős halmazok száma feltűnően alacsony a fiatal, csillagkeletkezési folyamatokat mutató bölcsőkéhez képest. Vagyis a gázba ágyazott társulások tagjai nagy valószínűséggel szélednek szét alig néhány millió éves időskálán. Az idősebb kort megért, kötötté vált halmazok is felbomolhatnak ár-apály erők hatására, amiket a hatalmas molekuláris felhők közelében vagy a galaktikus korong sűrűbb síkján történő el-, illetve áthaladás kelt. Az NGC 1907 és 1912 (M38) halmazok alkotta páros esetében viszont nagy valószínűség szerint a két halmaz gravitációs közjátéka szórja szét a csillagokat. Erre a két társulást összekötő ár-apály híd és a szemközti oldalakon mutatkozó „uszály” enged következtetni. Ezen kinematikai elemek kimutatásával a Tejútrendszerben ismert második kölcsönható kettős rendszert sikerült kimutatni. [7,8]

Publikációk

A felsorolt új eredményekhez szorosan kapcsolódó közlemények

[1] „Precision Radial Velocities for the Kepler Era”

Szentgyorgyi, A.H. & **Fűrész, G.**

2007, The 3rd Mexico-Korea Conference on Astrophysics: Telescopes of the Future and San Pedro Mártir (Eds. Stan Kurtz, José Franco, Seungsoo Hong, Guillermo García-Segura, Alfredo Santillán, Jongsoo Kim, & Inwoo Han) Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de Conferencias) Vol. 28, pp. 129-133

[2] „Precision of Radial Velocity Surveys using Multiobject Spectrographs – Experiences with Hectochelle”

Fűrész, G., Szentgyorgyi, A.H., & Meibom, S.

2008, Precision Spectroscopy in Astrophysics, Proceedings of the ESO/Lisbon/Aveiro Conference held in Aveiro, Portugal, 11-15 September 2006. Edited by N.C. Santos, L. Pasquini, A.C.M. Correia, and M. Romaniello. Garching, Germany, 2008 pp. 287-290

[3] „Automating Reduction of Multifiber Spectra from the MMT Hectospec and Hectochelle”

Mink, D.J., Wyatt, W.F., Caldwell, N., Conroy, M.A., **Fűrész, G.**, & Tokarz, S.P.

2007, Astronomical Data Analysis Software and Systems XVI ASP Conference Series, Vol. 376, proceedings of the conference held 15-18 October 2006 in Tucson, Arizona, USA. Edited by Richard A. Shaw, Frank Hill and David J. Bell., p.249

[4] „The 6.5-m MMT’s f/5 wide-field optics and instruments”

Fabricant, D., Fata, R.G., McLeod, B.A., Szentgyorgyi, A.H., Barberis, J., Berger, H.W., Jr., Brown, W.R., Caldwell, N., Conroy, M.A., Eng, R., Epps, H., **Fűrész, G.**, Gauron, T.M., Geary, J., Goddard, R.E., Hartmann, L., Hertz, E.N., Honsa, M., Mueller, M., Norton, T.J., Ordway, M.P., Roll, J.B., Jr., Williams, G.G., Freedman-Woods, D.L., & Zajac, J.M.

2004, Ground-based Instrumentation for Astronomy. Edited by Alan F. M. Moorwood and Iye Masanori. Proceedings of the SPIE, Volume 5492, pp. 767-778

[5] „Kinematics of NGC 2264: Signs of Cluster Formation”

Fűrész, G., Hartmann, L.W., Szentgyorgyi, A.H., Ridge, N.A., Rebull, L., Stauffer, J., Latham, D.W., Conroy, M.A., Fabricant, D.G., & Roll, J.

2006, Astrophysical Journal, 648, 1090

[6] „Kinematic Structure of the Orion Nebula Cluster and its Surroundings”
Fűrész, G., Hartmann, L.W., Megeath, S.T., Szentgyorgyi, A.H., & Hamden, E.T.
2008, *Astrophysical Journal*, 676, 1109

[7] „NGC 1907 and NGC 1912: an interacting pair of open clusters?”
Fűrész, G., Szabó, Gy.M., Székely, P., Szentgyorgyi, A.H., & Latham, D.W.
2008, submitted to *Astrophysical Journal*, positive referee report received

[8] „Kinematics and Variable Stars in NGC 1907 and NGC 1912”
Szabó, Gy.M., **Fűrész, G.**, Székely, P.; Szentgyorgyi, A.
2006, *Astrophysics of Variable Stars*, Pecs, Hungary, 5-10 September 2005, Sterken, C. and Aerts, C. (eds). ASP Conference Series, Vol. 349, p. 339. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific

A tézispontokhoz kapcsolódó egyéb közlemények

„T-Lyr1-17236: A Long-Period Low-Mass Eclipsing Binary”
Devor, J., Charbonneau, D., Torres, G., Blake, C.H., White, R., Rabus, M., O’Donovan, F.T., Mandushev, G., Bakos, G., **Fűrész, G.**, and Szentgyorgyi, A.H.
2008, submitted to *Astrophysical Journal*

„25 Orionis: A Kinematically Distinct 10 Myr Old Group in Orion OB1a”
Briceño, C., Hartmann, L.W., Hernández, J., Calvet, N., Vivas, A.K., **Fűrész, G.**, & Szentgyorgyi, A.H.
2007, *Astrophysical Journal*, 661, 1119

„High-Resolution Spectroscopy in Tr 37: Gas Accretion Evolution in Evolved Dusty Disks”
Sicilia-Aguilar, A., Hartmann, L.W., **Fűrész, G.**, Henning, T., Dullemond, C., & Brandner, W.
2006, *Astronomical Journal*, 132, 2135

„Accretion, Kinematics, and Rotation in the Orion Nebula Cluster: Initial Results from HectoChelle”
Sicilia-Aguilar, A., Hartmann, L.W., Szentgyorgyi, A.H., Fabricant, D.G., **Fűrész, G.**, Roll, J., Conroy, M.A., Calvet, N., Tokarz, S., Hernández, J.
2005, *Astronomical Journal*, 129, 363

Hivatkozások

- Broos, P.S., Feigelson, E.D., Townsley, L.K., Getman, K.V.; Wang, J, Garmire, G.P., Jiang, Z., & Tsuboi, Y. 2007, ApJS, 169, 353
- Burkert, A., & Hartmann, L. 2004, ApJ, 616, 288
- Coelho, P., Barbuy, B., Meléndez, J., Schiavon, R.P., & Castilho, B.V. 2005, A&A, 443, 735
- Fabricant, D.G., et al. 2004, Proc. SPIE, 5492, 767
- Feigelson, E.D., Getman, K., Townsley, L., Garmire, G., Preibisch, T., Grosso, N., Montmerle, T., Muench, A., & McCaughrean, M. 2005, ApJS, 160, 379
- Hartmann, L., & Burkert, A. 2007, ApJ, 654, 988
- Kurucz, R. 1992, Proc. IAU Symp. 149, p225
- Lada, C., Young, E., & Greene, T. 1993, ApJ, 408, 471
- Lada, C. J., & Lada, E. A. 2003, ARA&A, 41, 57
- Latham, D.W. 1992, in ASP Conf. Ser. 32, IAU Coll. No. 135, Complementary Approaches to Binary and Multiple Star Research, eds. H. McAlister & W. Hartkopf, p. 110
- Li, C-H.,Benedick, A.J., Fendel, P., Glenday, A.G., Kaertner, F.Z., Phillips, D.F., Sasselov, D., Szentgyorgyi, A.H., & Walsworth, R.L. 2008, Nature, 452, 610
- Munari, U., Sordo, R., Castelli, F., & Zwitter, T. 2005, å, 442, 1127
- Pepe, F., Mayor, M., Delabre, B., Kohler, D., Lacroix, D., Queloz, D., Udry, S., Benz, W., Bertaux, J.L., & Sivan, J.P. 2000, SPIE, 4008, 582
- Rupprecht, G. et al. 2004, SPIE, 5492, 148
- Szentgyorgyi, A.H., Cheimets, P., Eng, R., Fabricant, D.G., Geary, J.C., Hartmann, L., Pieri, M.R., & Roll, J.B. 1998, Proc. SPIE, 3355, 242
- Teixeira, P. S., et al. 2006, ApJ, 636, L45

Társszerzői nyilatkozatok

Alulírottak ezen nyilatkozatban kijelentjük, hogy a Fűrész Gábor által benyújtott doktori értekezésben, illetve annak téziseiben az 5. pont alatt (NGC 1907 & 1912) feltüntetett publikáció:

[7] „NGC 1907 and NGC 1912: an interacting pair of open clusters?”

Fűrész, G., Szabó, Gy.M., Székely, P., Szentgyorgyi, A.H., & Latham, D.W. 2008, submitted to Astrophysical Journal, positive referee report recieved

eredményeiben a jelölt (egyben a publikáció első szerzőjének szerepe) meghatározó fontosságú, és így azokat mi sem az eddigiekben sem a későbbiek során nem haszáltuk/nem fogjuk felhasználni tudományos fokozat megszerzéséhez.

..... Szabó Gyula

..... Székely Péter

