

TÉZISFÜZET

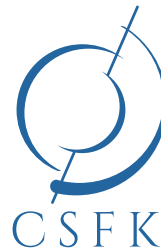
FIATAL CSILLAGRENDSZEREK VIZSGÁLATA

T Tauri csillagok nagy szögfelbontású optikai megfigyelése

Csépany Gergely László

Témavezető: Ábrahám Péter - PhD (MTA CSFK)

Konzulens: Mario van den Ancker - PhD (ESO)



Eötvös Loránd Tudományegyetem

Fizika Doktori Iskola, Részecskefizika és csillagászat program

Doktori iskola vezetője: Dr. Tél Tamás egyetemi tanár

Program vezető: Dr. Palla László egyetemi tanár

Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont

Magyar Tudományos Akadémia

2018

Bevezetés

A T Tauri csillagok fiatal, 1–2 millió éves változócsillagok. A csillagtípus neve a T Tauri csillagtól származik, amely a Taurus csillagkeletkezési területen található, és ma már tudjuk, hogy egy több csillagból álló rendszer. A T Tauri csillagok legtöbbször azon molekulafelhők közelében találhatóak, amelyből létrejöttek. A csillagközi felhők, amelyből a csillagok születnek, a fiatal csillagok körül egy koronggá formálódnak a perdületmegmaradás miatt, és a méretük a naprendszerünkhöz mérhető, általában néhány tíz vagy száz csillagászati egység kiterjedésűek. A T Tauri csillagok főszorozat előtti objektumok, amelyek a Hayashi vonalon a főszorozatra tartó összehúzódás alatt vannak, amely egy fényesség-hőmérséklet összefüggés a 3 naptömegnél könnyebb fiatal csillagokra.

A fiatal csillagok gyakran kettős vagy többes rendszerekben születnek, egy tanulmány azt találta, hogy az egyedülálló csillagok aránya $\approx 40\%$ is lehet a G-típusú csillagokra (Lada 2006). Ha a fiatal csillag egy olyan kettős rendszerhez tartozik, ahol a két objektum távolsága kevesebb, mint a korong sugara, akkor a csillagkörüli struktúra és a csillagkeletkezés kezdeti feltételei jelentősen megváltozhatnak. A kettős rendszerekben a csillagkörüli korongok megváltozásának hatása a bolygókeletkezésre egy ma is nyitott kérdés.

Az értekezésemben T Tauri csillagok részletes vizsgálatát végeztem el. Egyrészt lehetőséget kaptam magát a T Tauri rendszert megfigyelni napjaink egyik legnagyobb szögfelbontással rendelkező eszközével, másrészt az irodalomban kettősnek gondolt T Tauri rendszerek elemzését elvégeztem nagy szögfelbontású megfigyelésekre alapozva. A fiatal csillagok konkrét csillagfejlődési folyamatát az elméletek még mindig nem tudják pontosan leírni, és a fiatal kettős csillagrendszereket célzó megfigyeléseink felhasználhatóak arra, hogy peremfeltételekkel szolgáljanak az elméletekhez. A mai technológiával a kettős T Tauri rendszerek megfigyelése már egy valós lehetőség.

Az értekezésem három részből áll: a doktori kutatásom elején T Tauri kettősök megfigyelésével foglalkoztam, azután volt lehetőségem a T Tauri rendszert megfigyelni, végül részt vettem a Légyszem-kamera projektben, amely értékes fotometriai információval tud szolgálni a fiatal csillagokról.

Motiváció

A csillagászzal a kapcsolatam 2012-ben kezdődött, amikor a Csillagászati Intézetben volt egy nyitott pozíció az újonnan indult Légyszem-kamera csoportba. Az Intézetben a Légyszem csoportban kezdtem dolgozni, később néhány hónap erejéig részt vettem a VLT/MATISSE szoftverkörnyezetének fejlesztésében is, mielőtt kapcsolatba kerültem a nagy szögfelbontású technikákkal. A témában az érdeklődésemet először a Pizskéstetőn üzemelő EMCCD kamera keltette fel, amely képes 30–50 ms alatt, kevés fény mellett is képeket készíteni a csillagokról (20–33 képkocka/másodperc sebességgel). Az EMCCD kamera lehetővé teszi, hogy diffrakció korlátolt felvételeket készítsünk a Földről úgy, hogy technikai megvalósítással kiszűrjük a légkör zavaró hatását. Amikor megtudtam, hogy a heidelbergi csillagászati intézetnél (MPIA) lefolytattak egy T Tauri kettős utókövetési kampányt 2006–07-ben egy hasonló EMCCD kamerával, akkor döntöttem el, hogy T Tauri csillagokkal fogok foglalkozni. Az utókövetési megfigyelések olyan T Tauri kettős csillagokat céloztak, amiket az 1990-es évek elején fedeztek fel. Számos felvételt készítettünk különféle rendszerekről, amelyek közül 18 rendszerről volt tudományosan értékelhető felvételük. Ezek a rendszerek a közeli Taurus-Aurigae csillagkeletkezési területen találhatóak, amely ≈ 140 pc távolságra van tőlünk, amely távolságban a csillagok keringése ≈ 20 év alatt már észlelhető, így ezek a megfigyelések tökéletesen megfeleltek egy fiatal csillagrendszereket célzó kutatás alapjainak.

A T Tauri kettős csillagok tanulmányozása közben benyújtottam egy pályázatot az ESO Studentship programjára, amely doktorandusz hallgatók számára biztosít vendégkutatói lehetőséget az ESO németországi kutatóintézetében, és amelyet 2014-ben sikeresen elnyertem. Másfél évet töltöttem az ESO garchingi központjában Mario van den Ancker helyi témavezetésével. Az ESO-ban történő munkavégzés lehetővé tette, hogy távcsőidő pályázatokat nyújtsak be a chilei Very Large Telescope távcsöveire, és egy tudományos próbaidőszak alatti pályázattal az új extrém adaptív optikás SPHERE műszerre nyertem távcsőidőt. A SPHERE-rel végzett megfigyelések képezték a T Tauri rendszerről szóló cikk alapjait, és a kettős T Tauri csillagok vizsgálatához is szolgáltatottak további adatpontokat.

Módszerek és műszerek

Az értekezésem különféle nagy szögfelbontású technikákon alapszik, amelyekben közös, hogy a légkör zavaró jelenségeit igyekeznek valamilyen módon kiszűrni. A következőkben röviden bemutatom az értekezésben használt módszereket és műszereket.

Klasszikus képalkotás Ugyan a klasszikus képalkotást nem szokás a nagy szögfelbontású módszerek közé sorolni, viszont az űrtávcsövek képesek nagy szögfelbontású képeket készíteni az űrből, és a nagyobb távcsövek is tudnak a seeing által korlátolt képeket készíteni. A seeing által korlátolt képeken az egymáshoz közeli csillagok ugyan nincsenek felbontva, viszont ezek a képek értékes háttérinformációkkal szolgálhatnak a csillagokról (pl. teljes fluxus vagy spektroszkópiai adatok).

Lucky Imaging. Az 1990-es években felfedezett T Tauri kettős csillagok (Leinert et al. 1993) 2006–07-es utókövetési felvételeihez az AstraLux Norte lucky imaging rendszerét használtuk. Ez a rendszer a Calar Alto-i 2,2 méteres távcsövön működik, és a működési elve azon alapul, hogy 10 000 képet készít egy objektumról, minden képkockát 30–50 ms-ig exponálva. A felvételhez Johnson I és SDSS i' és z' szűrőket használtunk, mert az adott expozíciós idő és távcső méret esetén ezek az optimális hullámhosszak (800–1000 nm) ahhoz, hogy minimalizáljuk a légköri turbulencia zavaró hatását. Ezután megmértük a referenciacsillag Strehl arányát a képeken, és a képek legjobb 1–5%-ából egy összegképet készítettünk a Drizzle eltolás-és-összeadás algoritmusával. Ez a módszer azokat a képeket választja ki, amelyeken a légköri turbulencia hatása a legkisebb volt (a levegőcellákban a turbulencia az adott hullámhosszokon 30–50 ms-nál hosszabb időtartamok alatt jelentkezik), ami lehetővé tette, hogy a felvételekkel elérjük a távcső diffrakciós korlátját.

VLT. A Very Large Telescope (VLT, „Nagyon nagy távcső”) az ESO, az Európai Déli Obszervatórium egyik létesítménye a chilei Atacama sivatagban, amely négy 8,2 méteres tükörrel rendelkező Unit Telescope (UT)

egységből és négy mozgatható 1,8 méteres Auxiliary Telescope egységből áll. A 8,2 méteres Unit Telescope távcsövek képesek egy óra alatt akár egy 30 magnitúdós égi objektumokról is képet készíteni.

VLT/NACO. A NACO egy műszer a VLT UT1 távcsövén működik, és egy látható és infravörös tartományban működő hullámfront szenzorral felszerelt adaptív optikai rendszerből, a NAOS-ból és a CONICA nevű infravörös kamera és spektrométerből áll. Ez a műszeregyüttes képes akár 50%-os Strehl arányt is elérni a K-sávban pontszerű, 12 magnitúdós látható fényességű objektumokra.

VLT/SPHERE. A SPHERE (Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch) a VLT új extrém adaptív optikai műszere a UT3 távcsövön. A célja nagy szögfelbontású képek készítése, alacsony felbontású spektroszkópai és polarimetriai mérések végzése naprendszeren kívüli bolygórendszerekről, optikai és infravörös tartományban.

Összefoglalás

Az értekezésemben új eredményeket mutatok be több T Tauri rendszeréről. Az első részben a névadó T Tauri csillagrendszerről készült új VLT/SPHERE felvételek alapján mutatok új eredményeket. A második részben az irodalomban kettősnek gondolt T Tauri rendszerek keringésének szisztematikus vizsgálatát végeztem el. Az utolsó részben a Légyszem-kamera rendszer tervét írtam le, egy változócsillagászathoz tervezett új műszer. Az értekezésemben megmutattam, hogy ugyan a T Tauri rendszerek igen összetettek is lehetnek, a nagy szögfelbontású megfigyelésekkel hasznos adatokhoz juthatunk ezen rendszerekről. Megmutattam azt is, hogy a közeli Taurus-Aurigae csillagkeletkezési területen található kettős T Tauri rendszerek 20 évet átölelő megfigyelése elegendő adatot biztosít ahhoz, hogy a minta feléről meg tudjam mondani, hogy azok gravitációnal kötöttek-e. Emellett leírtam a fiatal csillagrendszerek megfigyelésének egy lehetséges jövőjét a változócsillagászat lehetőségével és bevezetésével, amelyet a Légyszem-kamerán keresztül mutattam be.

Tézispontok

1. A VLT/SPHERE műszer tudományos próbaidőszakának keretén belül megfigyeltem a T Tauri rendszert és kiszámítottam a három komponens pályáját (T Tau N, T Tau Sa és T Tau Sb). A közeli infravörös képek és spektroszkópiai mérések alapján megerősítettem, hogy a T Tau Sa-tól délre eső, az irodalomban korábban közölt kiterjedt kibocsátás jelen van a rendszerben. Az új szűk sávú képek először mutatják meg, hogy ez a kibocsátás erősen sugároz a Br- γ és H₂ 1-0 S(1) vonalakon. [1]
2. Megerősítettem, hogy a T Tau Sb-nek a T Tau Sa körüli pályája egyezik az irodalomban korábban közölt értékekkel az új asztrometriai pozíciók alapján is. Megmutattam, hogy az aktuális mérések alapján a T Tau S (az Sa és Sb tömegközéppontja) pályája a T Tau N körül számos pályájával illeszthető. A lehetséges pályák a szinte teljesen kör alakú, 475 éves periódusidejű pályától az igen excentrikus, 2.7×10^4 éves keringési idejű pályáig terjednek. [1]
3. A T Tauriról készült 2.27 μm -es szélessávú SPHERE felvételek azt mutatják, hogy a T Tau Sa 0.92 magnitúdóval fényesebb, mint a T Tau Sb. Ez ellentétben áll a 2014 januári megfigyelésekkel (amikor T Tau Sa halványabb volt, mint az Sb), és amiből feltételezem, hogy a T Tau Sa belépett egy újabb változékonysági időszakba.
4. A SPHERE felvételein felfedeztem egy új lehetséges komponens a T Tau N-től délre 144 ± 3 mas távolságban. Ez a lehetséges komponens csak az integrált-mező spektroszkópiai képeken látható, és nem látható a klasszikus Ks képeken, és az irodalomban korábban közölt Keck/NIRC2 Kp- és H-sávú képein sem látható. Ezen nem-detektálásoknak a lehetséges oka a Keck képek alacsony kontrasztja, ami miatt a komponens elveszik az égi háttérben. A feltételezett kísérő abszolút fényességét $J_{mag} = 6.0 \pm 0.4$ magnitúdóra becsülöm, amelyből egy 2 millió éves csillag esetén a kísérő tömege 0.06 és 0.15 M_{\odot} között lehet.

5. Látható és infravörös tartományban, nagy szögfelbontású felvételekből kiindulva elvégeztem egy kettős és hármas T Tauri csillagokból álló minta vizsgálatát. Az adatok közt találhatóak a 2006–07-ben a Calar Alto-i AstraLux Norte lucky imaging rendszerrel készített felvételeink, valamint a VLT SPHERE és NACO műszereivel készült képek is. Összehasonlítottam az új adatokat a korábbi, az 1990-es évek irodalmi eredményével. Összeállítottam egy adatbázist a többes rendszerek távolságáról, pozíciószögéről és kontrasztarányáról. Megmutattam, hogy a mintánkban tíz kettős pár egymás körül kering, öt mutat keringésre utaló jeleket és öt valószínűleg közös sajátmozgású pár. [2, 3, 4]
6. A többes T Tauri rendszerek esetében nem találtam nyilvánvaló összefüggést a csillagparaméterek és a kettős csillagrendszer konfigurációja között. A kettőscsillag minta $10\ \mu\text{m}$ -es infravörös többletsugárzása 0,1 és 7,2 magnitúdó közt oszlik el (ami hasonló az egyedülálló csillagok esetén, ahol 1,7 és 9,1 magnitúdó között van), amiből levontam azt a következtetést, hogy a második komponens jelenléte nem befolyásolja jelentősen a belső korong kibocsátását. [2, 3, 4]
7. Részt vettem a Légyszem-kamera rendszer tervezésében, amely egy új eszköz a változócsillagászathoz. A munkám része főleg az optikai felépítés, azon belül a távvezérlési lehetőségek megteremtése, és adat-redukciós módszerek fejlesztése voltak. A Légyszem-kamera hálózat elemzésével megmutattam, hogy ez a rendszer képes nagy pontosságú fénygörbéket készíteni T Tauri csillagokról. [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]

A dolgozat témájához kapcsolódó közlemények

1. **Csépány G.**, van den Ancker M., Ábrahám P., Brandner W., Hormuth F., 2015, A&A, 578, L9
2. **Csépány G.**, Ábrahám P., Regály Z., Mező G., Brandner W., Hormuth F., 2014, CoSka, 43, 425
3. **Csépány G.**, van den Ancker M., Ábrahám P., Köhler R., Brandner W., Hormuth F., 2015, ASPC, 496, 89
4. **Csépány G.**, van den Ancker M., Ábrahám P., Köhler R., Brandner W., Hormuth F., Hiss H., 2017, A&A, 603, A74
5. **Csépány G.**, Pál, A., Vida, K., Regály, Z., Mészáros, L., Oláh, K., Kiss, C., Döbrentei, L., Jaskó, A., Mező, G., Farkas, E., 2013, ASPC, 475, 369
6. Mészáros L., Pál A., **Csépány G.**, Jaskó A., Vida K., Oláh K., Mező G., 2014, RMxAC, 45, 94
7. Mészáros L., Jaskó A., Pál A., **Csépány G.**, 2014, PASP, 126, 769
8. Jaskó A., Pál A., Vida K., Mészáros L., **Csépány G.**, Mező G., 2014, SPIE, 9145, id.91453S
9. Vida K., Pál A., Mészáros L., **Csépány G.**, Jaskó A., Mező G., Oláh K., 2014, CoSka, 43, 530
10. Mészáros L., Pál A., Jaskó A., Vida K., Oláh K., **Csépány G.**, 2015, IAUGA, 22, id.2256615
11. Mészáros L., Pál A., Jaskó A., **Csépány G.**, Mező G., Vida K., Oláh K., 2016, SPIE, 9908, id.99085T
12. Pál A., Mészáros L., Jaskó A., Mező G., **Csépány G.**, Vida K., Oláh K., 2016, PASP, 128, id.045002