

# Főszorozat előtti kettőscsillagok körüli korongok szerkezetének vizsgálata

**Ládi Tímea Mariann**

III. csillagász hallgató

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

Témavezető: **Dr. Ábrahám Péter**

MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézete

Külső konzulens: **Csengeri Tímea**

Service d'Astrophysique, CEA-Saclay, Franciaország



Budapest, 2009

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Csillagkeletkezés .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Korongok főszorozat előtti csillagok körül . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>1.3. A dolgozat célkitűzései . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>2. Infravörös adatok .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Kettőscsillagok közeli- és közép-infravörös fotometriája .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 A Spitzer űrtávcső mérései.....</b>	<b>10</b>
<b>3. Analízis.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1. A megfigyelt infravörös fluxus a szeparáció függvényében.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2. Hideg korongok gyenge vonalú és vegyes T Tauri rendszerekben.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3. Hisztogram.....</b>	<b>15</b>
<b>3.4. Kétszín diagram.....</b>	<b>16</b>
<b>4. Összefoglalás és kitekintés .....</b>	<b>18</b>
<b>Köszönetnyilvánítás.....</b>	<b>20</b>
<b>Felhasznált irodalom.....</b>	<b>20</b>
<b>Függelék: Főszorozat előtti kettősök fotometriai táblázata .....</b>	<b>21</b>

# 1. Bevezetés

A csillagkeletkezés a sűrű molekulafelhőkből a főszorozati csillagok megszületéséig tartó folyamat, amelyet gyakran bolygórendszer keletkezése is kísér. Kant és Laplace elméletei voltak az elsők a Naprendszer keletkezéséről a XVIII. századból. Elméletük szerint a porból és gázból álló felhő saját gravitációs terében összehúzódva lapos korongot formált, ennek közepén létrejött a Nap, a korong maradékából pedig kialakultak a bolygók. Később ezekről az első tudományos elméletekről bebizonyosodott, hogy tulajdonképpen nem is állnak távol a ma elfogadott csillagkeletkezési elméletektől. A csillagok keletkezését leíró legelfogadottabb modell a Shu-elmélet, amely egyedülálló csillagokra jól alkalmazható (Shu et al., 1987).

Közismert azonban, hogy a főszorozati csillagok között gyakoriak a kettős és többes rendszerek. Ez nem meglepő, mivel a csillagok jelentős része kettős vagy többes rendszerként, halmazokban, asszociációkban jön létre a megfigyelések szerint. Felmerül a kérdés, hogy a kettős vagy többes rendszerekben szoros vagy távoli kísérő esetén milyen körülmények között jön létre csillagkörüli korong és otthont teremthet-e ez a környezet bolygók kialakulásának? Milyen szerkezetű és alakú cirkumsztelláris korong alakul ki a kettős tagjai körül, illetve kialakul-e egyáltalán? Ugyanez a kérdés vetődik fel a kettőst kívülről körbevevő cirkumbináris diszk esetén is.

A fiatal, főszorozat előtti kettőscsillagok vizsgálata a csillagkeletkezési tanulmányok egy fiatal ága. A gyakran közeli és halvány kísérővel rendelkező rendszerek megfigyeléséhez nagy felbontóképességű és a közép- illetve távoli-infravörös tartományban is érzékeny detektorok szükségesek. A csillagkeletkezési területek fontos célpontjai az űrtávcsöveknek, amelyek a földfelszínről nem elérhető

hullámhossztartományban, elsősorban a közepes és hosszú hullámhosszú infravörös mérésekkel hoznak jelentős eredményeket.

A másik fő észlelési irányvonal a földi távcsövek felbontóképességének növelése. Ez magában foglalja mind a távcsőméret növelését (pl. Óriástávcsövek, mint a VLT, Keck távcsövek), mind pedig az interferometriás mérés technikák megjelenését (pl. VLT/MIDI).

## 1.1. Csillagkeletkezés

Az Univerzumban a csillagok közötti teret csillagközi anyag tölti ki, melynek négy fő fázisa különböztethető meg: molekuláris gáz, sűrű hideg gáz, meleg ionizált gáz és forró, ritka ionizált gáz. Ennek az anyagnak nagy része felhőket alkot, pl. molekulafelhőket. A bennük előforduló felhőmagokat tartjuk a csillagkeletkezés kiinduló helyeinek. A csillagkeletkezés főleg galaxisokban, ezen belül is főleg a sok csillagközi anyagot tartalmazó spirálgalaxisokban zajlik.

A korábban egyensúlyban lévő felhőmag, ha kikerül ebből az egyensúlyi helyzetből, a gravitációs erő domináló hatása miatt elkezd összehúzódni és melegedni, így az eredetileg 10-20 K-es hőmérséklet és a sűrűség is elkezd növekedni. A felhőmag közepén az összeroskadó anyag melegszik, kialakul egy hidrosztatikai egyensúlyban lévő protocsillag. Kívülről ekkor egy sűrű csomóként figyelhető meg az objektum. A születő csillag az optikai tartományban nem látszik, viszont hőmérsékleti sugárzása a szubmilliméteres tartományban észlelhető. Ezeket hívjuk *Class 0* típusú objektumnak. A beérkező anyag a protocsillag körül akkréciós korongot képez, és miközben nagy része a protocsillagba zuhan, kisebb része bipoláris jet formájában a csillagközi térbe távozik. A csillag sugárzását az infravörös tartományban észlelhetjük, mert jelentős része elnyelődik a korong poranyagában és melegíti azt. Ezt a fejlődési állapotot hívjuk *Class I* típusú objektumnak. A protocsillag a sűrűség növekedésével folyamatosan fölhevül, és mintegy egymillió K hőmérséklet elérése után a legbelső részen megindul a deutérium, később a hidrogén fúziója. A gázfelhő

maradékát a csillag sugárzása és csillagszele kifújja, és ezt követően a csillag láthatóvá válik. Az akkréciós korong maradékából egy lapos forgási korong, az úgynevezett protoplanetáris korong képződik. A fiatal csillagok  $10^5$  -  $10^6$  éves korukban teljesen elfújják maguk körül eredeti felhőburkukat, s csupán anyagkorongjuk egy részét tartják meg. Ezeket nevezzük névadó csillagokról klasszikus T Tauri típusú objektumoknak (*Class II* csoport). Infravörös többletsugárzásuk (excesszus) a csillag körüli korongban a porszemcsék által a látható tartományban elnyelt, és az infravörösben visszasugárzott sugárzástól ered. Az elfújás és befújás következtében már kisebb tömegű a korong, és idővel bentről kifelé „feltisztul”, elvékonyodik, az akkréció pedig leáll. *Class III* típusúnak nevezzük az ún. gyenge vonalú (weak-line) T Tauri csillagokat, amelyek csekély infravörös többletet mutatnak és bennük akkréció sem figyelhető meg. Vannak még korong nélküli fősorozat előtti csillagok, amelyeket csupasz (naked) T Tauriknak nevezzük. A korong maradék anyagából idővel bolygók is keletkezhetnek.

## 1.2. Korongok fősorozat előtti kettőscsillagok körül

A csillagkeletkezés folyamán az eredeti molekulafelhő visszamaradt anyagából burok vagy lapos, forgási koronggá rendeződött por és gázanyag található a fiatal csillagok környezetében. A korongok létét infravörös sugárzásuk alapján fedezték fel, amely a korong mintegy 1%-át alkotó por-komponens termikus sugárzásából ered. A gáz komponens milliméteres mérései alapján a korongok méretét magányos fiatal csillagok körül néhány száz csillagászati egységre becsüljük. A fősorozat előtti fejlődési szakaszban a csillagok meglehetősen aktívak, változtatják fényességüket, kitöréseket produkálnak (EXor és FUor típusú csillagok). Emellett anyagot akkretálnak felszínükre, és sokszor erős csillagszél mutatható ki. Számos esetben pedig kollimált részecskenyalábot bocsájtanak ki ún. molekuláris kifúvásokat hozva létre, ezek a csillagkeletkezési területen gyakorta megfigyelt és látványos Herbig-Haro objektumok.

Kettőscsillagok esetében a kép valamivel összetettebb, és a kialakult geometria valószínűleg függ a kettős szeparációjától. Ha a szeparáció sokkal kisebb, mint a korongok jellemző mérete (~100 AU) akkor valószínűleg egy kialakul egy cirkumbináris korong amely körbeveszi mindkét csillagot.

Ez a helyzet a *spektroszkópai kettősök* esetén. Ilyenkor szerkezetét tekintve a korong nem különbözik lényegesen egy magányos csillag korongjától, a szoros kettős a korongból nézve tulajdonképpen olyan, mintha egyetlen csillag lenne. Ha azonban nagyobb a szeparáció, akkor a kettős komponenseinek külön-külön is lehet csillagkörüli korongja. Azonban az ilyen rendszereket is körülveheti egy cirkumbináris korong is. Ezt a geometriát mutatja az 1. ábra.



**1. ábra:** *elképzelt geometria fiatal kettőscsillag esetén. Mindkét komponenst csillagkörüli (circumsztelláris) korong vesz körül, és az egész rendszert is körülfoghatja egy cirkumbináris korong (Csengeri T. engedélyével).*

A kettőskörüli korongokat a komponensek dinamikai hatásai miatt rés választja el a csillagkörüli korongoktól, amely meggátolhatja a csillagkörüli korongok anyagutánpótlását.

Így az egyedi csillagok körül kialakult korongok egymástól függetlenül fejlődhetnek. Az, hogy a kettősök infravörös sugárzási többlete mindkét komponenshez, vagy csak az egyikhez köthető, csupán nagyfelbontású mérésekkel vizsgálható. A korai eredmények ritkának mutatták azokat a rendszereket, amelyekben csak az egyik kísérő rendelkezett csillagkörüli koronggal. A legújabb eredmények szerint ezek a circumsztelláris korongok eltérő időskálán fejlődhetnek, mert gyakoriak az ún. vegyes

rendszerek is, amelyben az egyik csillag rendelkezik koronggal, míg kísérője nem (Monin et al., 2006).

### 1.3. A dolgozat célkitűzései

TDK-munkám célja, hogy megvizsgáljam, a fiatal kettőscsillagok körüli cirkumsztelláris korongok milyen szerkezetűek, és ezek a korongok hogyan fejlődnek, illetve, hogy a fejlődés milyen tényezőktől függ. Az irodalomban nemrégiben publikáltak egy nagyívű vizsgálatot, amelyben nagyszámú fiatal kettős mindkét komponenséről kaptak közép-infravörös fotometriát a Keck-teleszkóppal (McCabe et al., 2006). Ez a vizsgálat a legtöbb csillagról csak 10 mikrométer vagy annál rövidebb hullámhosszon szolgáltatott adatokat, így következtetések is az ebben a hullámhossztartományban sugárzó meleg belső korongra vonatkoztak. Természetes gondolatnak tűnt ennek a vizsgálatnak a folytatása a közép- és távoli-infravörös hullámhosszakon, ahol a hideg külső korong sugároz. Dolgozatomban elsősorban a kettőscsillagok korongjainak külső, hideg részét vizsgáltam. Ehhez a Keck-vizsgálatból átvett, viszonylag egységes mintát elemeztem.

Ezek hozzávetőlegesen 2 millió éves csillagok, melyek nagyjából azonos távolságra (~140 pc) vannak tőlünk. A 34 vizsgált kettős- és egy hármas rendszerből 21 a Taurusban, 11 az Ophiuchusban, 2 az Aurigában és egy a Corona Australis csillagképben található.

A fő hangsúlyt a Class II (klasszikus T Tauri állapot) és a Class III (gyenge vonalú T Taurik) közötti folyamatokra fektettem, elsősorban arra, hogy hogyan tűnik el a diszk.

A klasszikus T Tauri állapotban a meleg belső diszk által kibocsátott infravörös többlet az L és N sávban mérhető, de a feltisztulás, pl. fotoevaporáció után a megmaradó külső korong már nem mutat excesszust a közép-infravörös sávban. A dolgozatomban felhasználok a Spitzer űrtávcső távoli-infravörös (24 illetve 70

mikronméteres) adatait, mert ezeken a hullámhosszakon a hideg, külső diszk viselkedéséről szerezhetünk információkat, illetve arról is, hogy bolygókeletkezés felé továbbfejlődik-e a külső cirkumsztelláris korong.

## 2. Infravörös adatok

Ebben a fejezetben röviden összefoglalom a dolgozat alapötletét adó három cikket (*McCabe et al.*: Investigating Disk Evolution: A High Spatial Resolution Mid –Infrared Survey of T Tauri Stars; *Monin et al.*: Disk Evolution in Young Binaries: from Observations to Theory; és *Jensen et al.*: The Connection between Submillimeter Continuum Flux and Binary Separation in Young Binaries: Evidence of Interaction between Stars and Disks), és ismertetem a Spitzer űrtávcsövet és a Spitzer Legacy programokat, ahonnan az adataimat nyertem.

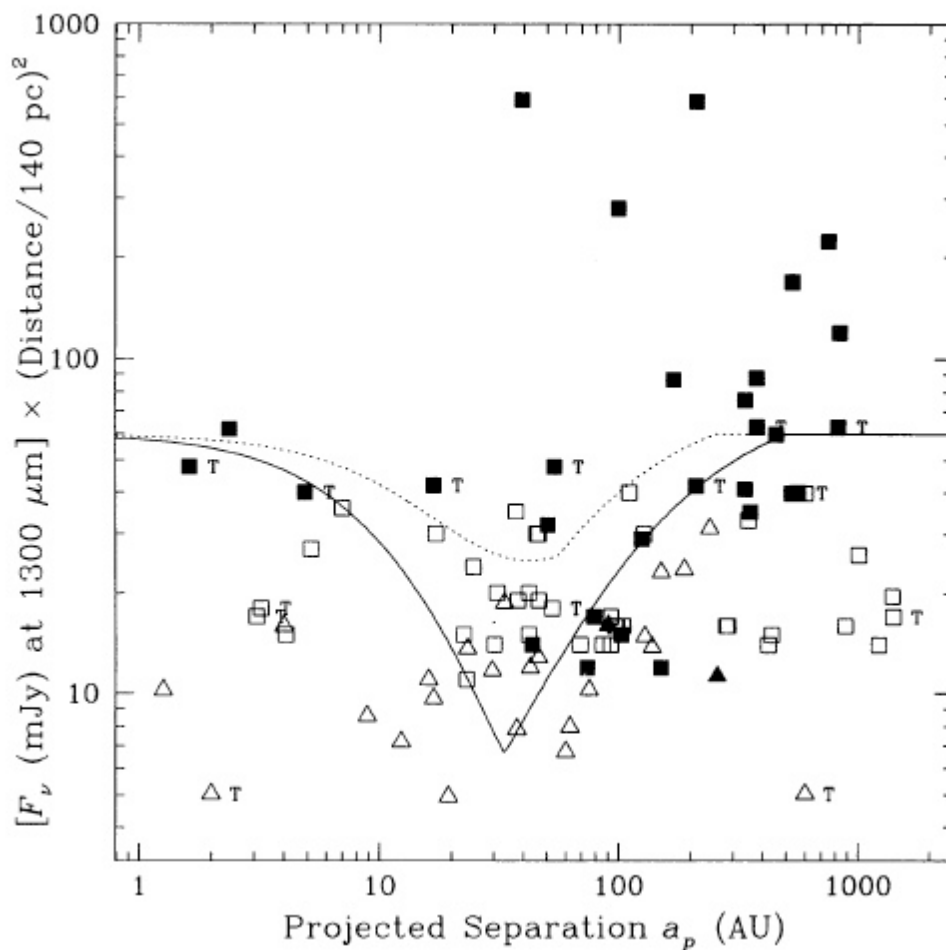
### 2.1. Kettőscsillagok közeli- és közép-infravörös fotometriája

A főszorozat előtti csillagok infravörös tartományban mérhető többlétsugárzása csillagkörüli korong jelenlétére utal. Másrészt, a színképben megfigyelhető erős H $\alpha$  - vonalak, valamint az emissziós és abszorpciós vonalak vöröseltolódása az akkréció bizonyítékai – tehát a korong anyaga a csillag felszínére hullik, miközben a diszk szerkezete, anyageloszlása változik, fejlődik. A korongok előbb-utóbb eltűnnek, mert az anyaguk vagy ráhullik a csillagra, vagy elfújja a csillagszél. A diszkek eltűnése két különböző folyamatból áll, melyek más időskálán helyezkednek el: először az optikailag vastag korong bentről kifelé feltisztul, és kialakul egy belső lyuk, majd a csillagszél kifújja a kisebb porszemcséket.

**McCabe és társai** 65 főszorozat előtti kettős rendszert vizsgáltak. Sok rendszerben ez a két folyamat éppen most zajlik. Ha a korong belső része már hiányzik, a közeli-



és közép- infravörös tartományban nincs infravörös excesszus, ezért a 2.2 és a 10 mikrométer közötti tartományban csak a csillag hőmérsékleti sugárzása látható a spektrális energiaeoszláson. A 65 kettős rendszer szeparációja 0,2" és 8" között oszlik el (140 pc távolságban ez 28 és 1120 AU-nak felel meg). McCabe és társai a Keck távcsővel észlelték a mintát, sikeresen felbontották a legtöbb kettőst, majd kiszámolták a K és az N sávban mért fluxusok különbségét (K-N), ami a külsőbb anyagra, és a K-L értékeket, melyek a legbelső, legmelegebb anyagra utalnak. A H $\alpha$ -vonalak erőssége alapján megkülönböztették a klasszikus T Taurikat (CTTS), a gyenge vonalú (weak-line) T Taurikat (WTTS), és a mintát beosztották klasszikus-klasszikus (CC), klasszikus-gyenge vonalú (CW) valamint gyenge vonalú-gyenge vonalú (WW) kettősökre. Találtak néhány különösen érdekes passzív, nem akkretáló diszkkal rendelkező kettőst is.



**2. ábra:** A Scorpio és Taurus-Auriga csillagkeletkezési területen található fősorozat előtti kettőscsillagok 800 és 1300  $\mu\text{m}$ -en mért fluxusai a szeparáció függvényében. A folytonos és a pontozott vonal olyan modellszámítások eredményeit mutatja, ahol azt feltételezték, hogy a korongok dinamikailag hatással vannak egymásra úgy, hogy rést nyitnak a korong anyagában a kettős szeparációja által meghatározott sugárnál (Jensen et al., 1996).

McCabe és társai külön táblázatba foglalták azt a 34 kettős és egy hármas rendszert, melyek mindkét komponenséről sikerült jó minőségű fotometriát kapni, és ez a táblázat volt a TDK-dolgozatom alapja.

**Monin és társai** a fent taglalt mintát tovább elemezték. Az általuk összeállított adatbázisból kitűnik, hogy a kiemelkedően sok klasszikus-klasszikus T Tauriból álló rendszer mellett a két gyenge vonalú T Taurit tartalmazó és a klasszikus-gyenge vonalú, vegyes rendszerek közel azonos számban fordulnak elő, ami a diszkek eltérő időskálán történő fejlődésének bizonyítéka lehet.

A diszkek fejlődése mellett érdekes kérdés továbbá, hogy kimutatható-e összefüggés a távoli-infravörös fluxus (hideg koronganyag jelenléte) és a kettős rendszer szeparációja között.

**Jensen és társai** a Scorpio-Ophiuchus és Taurus-Auriga rendszerekben található fősorozat előtti kettőscsillagok 800 és 1300  $\mu\text{m}$ -en mért fluxusait ábrázolta a szeparáció függvényében és azt találta, hogy közepes szeparációnál kisebb a fluxus, mint kis és nagy szeparációjú kettősöknél (ld. 2. ábra). Hasonló eredményt várok az általam a TDK munka keretén belül összegyűjtött infravörös adatminta alapján.

## 2.2 A Spitzer űrtávcső mérései

A Spitzer űrtávcső (Spitzer Space Telescope) 2004 óta működik.

Infravörös tartományban mér, megfigyeléseit 3,6-tól 160 mikrométeres hullámhossz-tartományban folytatja. Helioszinkron pályán mozog, 0,1 csillagászati egység (AU)/év sebességgel távolodik a Földtől. A távcső főtükreinek átmérője 0,85 m. Emiatt térbeli felbontása (a  $\lambda/d$  arány) lényegesen rosszabb a nagy földi távcsöveknél (pl. a

Kecknél, amivel McCabe a méréseit folytatta, mivel a Spitzer nagyobb hullámhosszú sugárzást mér sokkal kisebb távcső átmérőnél).

**Ezért a 24 és a 70 mikrométeren a kettősökre mért fluxusok a dolgozatomban nincsenek felbontva.** A Spitzer obszervatórium jelleggel működik, 3 fő műszere az IRAC (Infrared Array Camera) infravörös kamera; az IRS (Infrared Spectrograph) infravörös spektrométer; és a MIPS (Multiband Imaging Photometer for Spitzer) fotométer. Az IRAC 3,6; 4,5, 5,8 és 8 mikrométeres szűrőkkel rendelkezik, így a közeli infravörös tartományokban mér. Az IRS 5,2 -38  $\mu\text{m}$ -es színeképeket készít, tehát a közép-infravörös tartományban aktív, míg az MIPS 24, 70 és ~~160~~ -es szűrőkkel rendelkezik, amiből a 24 és a 70-es mérései a leghatékonyabbak.

A dolgozatomban szereplő 24 és 70 mikronos méréseket a MIPS végezte. A Spitzer méréseinek eredményét egy Spitzer Legacy programból nyertem ki, melynek neve C2D (Cores to Disk). Ez a program csillagkeletkezési területek (CHA\_II, LUP, OPH, PER, SER) fotometriáját tartalmazza (<http://irsa.ipac.caltech.edu/cgi-bin/Gator/nph-dd>). Ebben a Legacy programban az Ophiuchus kettősök egy részének megtaláltam a fluxusát, de a Taurusban találhatóakat nem. A Taurus kettősök fluxusait egy hasonló adatbázisból gyűjtöttem ki az azimut és deklináció értékek alapján.

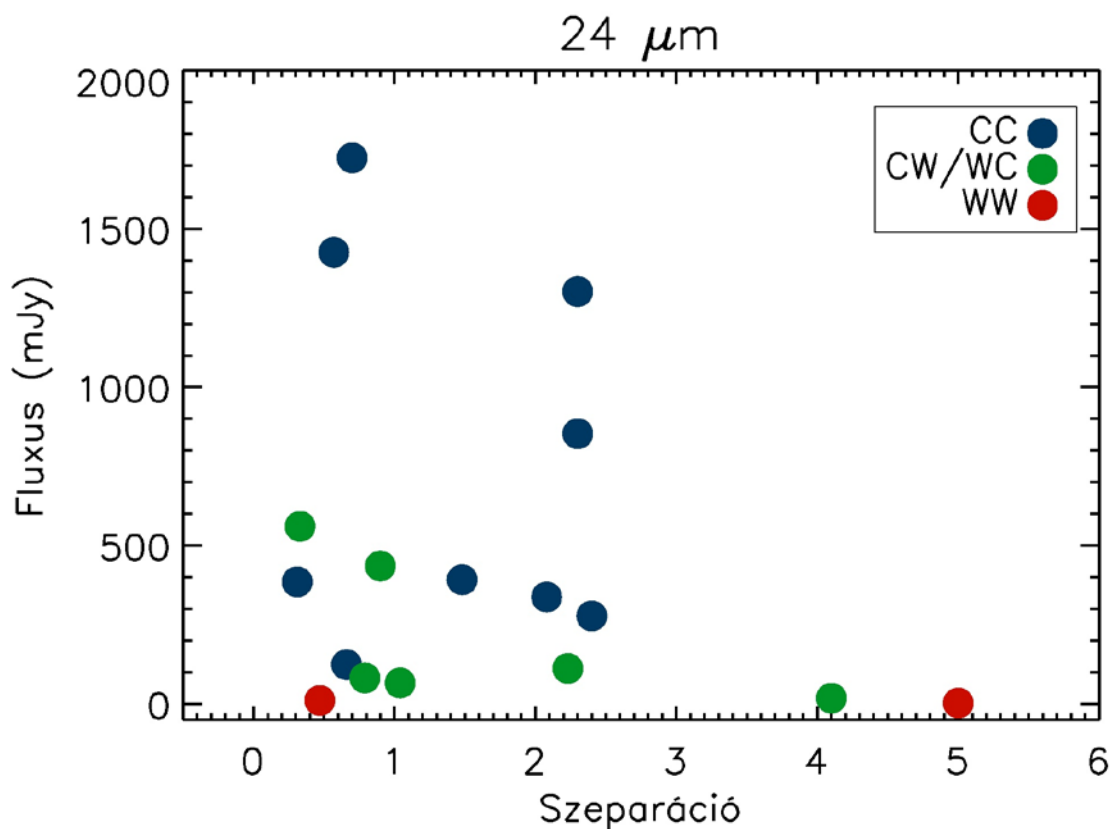
## 3. Analízis

Az általam vizsgált 35 rendszerről kigyűjtöttem a lehető legtöbb fluxus értéket különböző hullámhosszakon (K, L, N sávban illetve a Spitzer 24 és 70 mikrométeres hullámhosszán). Ezeket egy táblázatban foglaltam össze (lásd: Függelék), majd elkészítettem a spektrális energiaeloszlás és a fluxus- szeparáció függvényeket 24 és 70 mikronon.

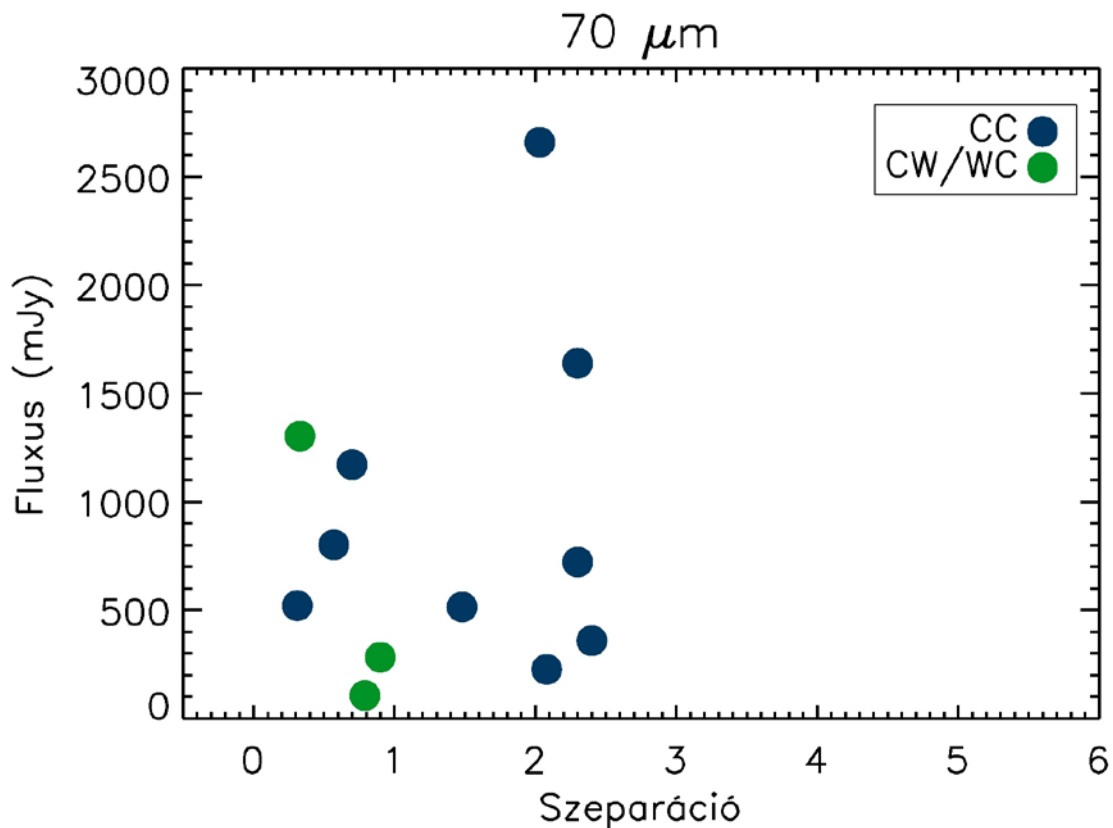
### 3.1. A megfigyelt infravörös fluxus a szeparáció függvényében

A kettős csillagok korongjai hatással lehetnek egymás szerkezetére. A kölcsönhatás erőssége attól függ, hogy mekkora a rendszer szeparációjának és a korong sugarának aránya. Három fő esetet különböztethetünk meg:

- Ha a szeparáció sokkal kisebb, mint a korongok jellemző mérete (~100 AU) akkor a cirkumbináris korong a szerkezetét tekintve nem különbözik az egyedülálló csillagok korongjától, tehát nem is várunk deficitet a hideg poranyagban.
- Ha a szeparáció lényegesen nagyobb a korongok méreténél (1000 AU vagy több), akkor ezek az úgynevezett *széles kettősök* csillagkörüli korongjai külön-külön is egyedülálló jelleget mutatnak, és mivel a két korong nem is érintkezik, nem is hathat egymásra. Ebben az esetben sem várunk deficitet a hideg poranyagban.
- Közepes méretű szeparáció, és vele összemérhető korongméret esetén a kettős cirkumsztelláris diszkjei összeérnek és kölcsönhatásba lépnek egymással. Ha egy síkban vannak, a két korong roncsolhatja egymást, és ún. *truncated disket* kapunk. Ekkor a korong külső hideg része hiányozhat és a távoli-infravörös/szubmilliméteres fluxus elméletileg kisebb érték lesz, mint egy magányos csillagnál.



**3. ábra:** 24 mikrométeres fluxus a kettős szeparációjának függvényében.



**4. ábra:** 70 mikrométeres fluxus a kettős szeparációjának függvényében.

Jensen és munkatársai valóban ezt az eredményt kapták 800, illetve 1300 mikrométeres hullámhosszokon, hiszen egy V-alakú, köztes szeparációknál minimumot mutató görbét tudtak illeszteni a fluxus-szeparáció függvényre (ld. 2. ábra). Én is ezt az eredményt vártam 24 és a 70μm -en is, azzal a különbséggel, hogy a közepesen meleg diszk excesszusa esetén kisebb szeparációnál várható a minimum, mint a 70 μm-esnél, ami a a külső hideg diszkre vonatkozik.

A 3. és 4. ábra mutatja a 24 illetve 70 mikronos fluxusok függését a kettős szeparációjától. Megállapítható, hogy az ábrákon nem jelentkezett az a trend, amelyet Jensen diagramja alapján várható lett volna. Ennek az eltérésnek több oka is lehet:

1. nem vizsgáltam sok olyan szeparációjú kettőst, ahol a fluxus minimumot adott volna
2. infravörös tartományban eleve nagyobb a fluxus, mint szubmilliméteres

hullámhosszon, ezért optikailag vastagabbnak látszik a korong, kevésbé vehető észre a sűrűség lecsökkenése adott távolságnál;

3. lehet, hogy más síkban vannak a közepes szeparációjú korongok, ezért nem zavarják, nem csonkolják egymást.

## **3.2. Hideg korongok gyenge vonalú és vegyes T Tauri rendszerekben**

A Keck mérései alapján, melyek közeli és közép infravörös tartományban zajlottak, nem tudtak arról mit mondani, hogy a WW és a CW típusú kettőscsillagok hosszabb hullámhosszon is weakline jelleget mutatnak-e, vagy kijjebb már klasszikus jellegűek?

Azaz: van-e hideg korong, hideg gyűrű a weakline jellegű csillag körül, vagy nincs körülötte semmi? Ennek kiderítésére néztük meg a korábban Keckkel vizsgált kettősöket hosszabb hullámhosszakon is.

Megfigyelhető a 3. és 4. ábrán, hogy a classic- classic (CC) T Taurik fluxusa a legnagyobb, mind a 24, mind a 70 mikronos hullámhosszon, a CW (vegyes) rendszereké kisebb, míg a WW (weakline- weakline) T Tauriké a legkisebb. Ez az eredmény nem meglepő, hiszen akkor várjuk a legnagyobb fluxust, ha mindkét komponens rendelkezik diszkkal (CC), akkor várunk közepes értékeket, amikor csak az egyik komponensnek van korongja (CW), míg a WW típusúak esetén várható a legkisebb érték.

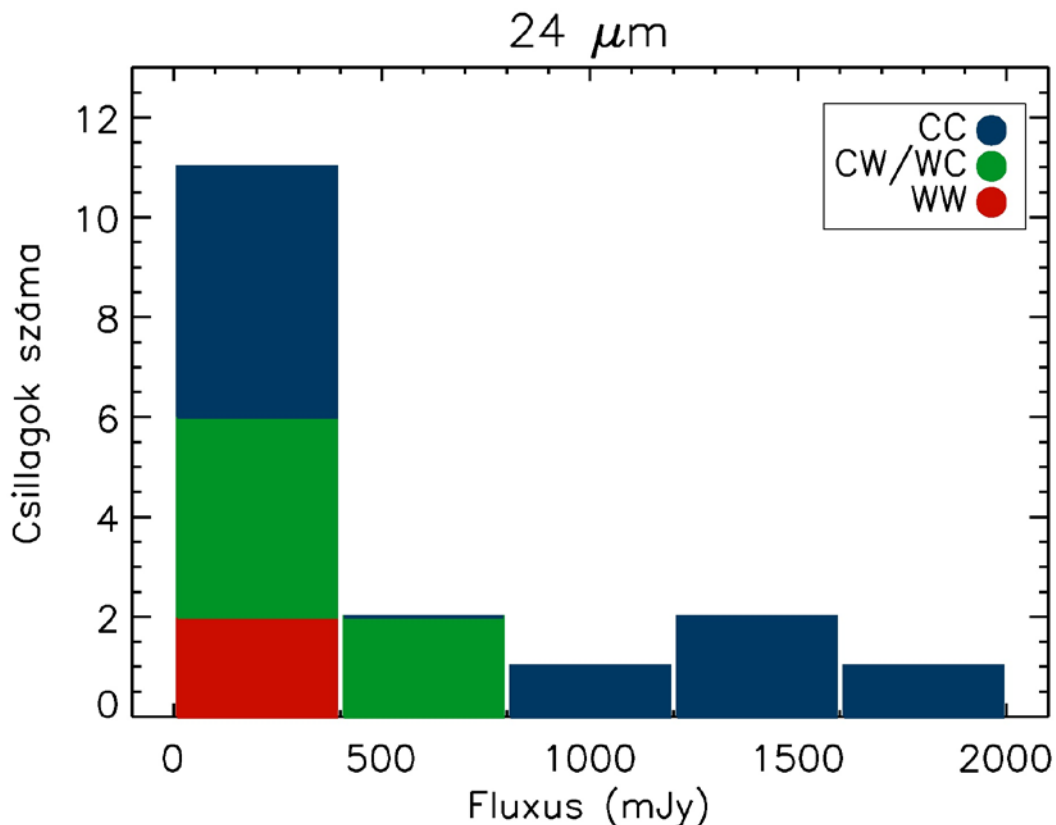
A vegyes típusúak esetén, ha feleakkora a fluxus, mint a CC típus esetén, akkor ez bizonyítéka lehet annak, hogy az egyik komponens esetén mind a belső, mind a külső korong hiányzik. Ez bizonyítéka lehet Monin megfigyelésének, tehát annak, hogy előfordulnak vegyes rendszerek, ahol a kettős egyik tagja körül mind a külső, mind a belső korong hiányzik.

A WW típus is rendelkezik diszkkal, különben nem lenne infravörös fluxusa. Ezeket McCabe passzív, nem akkretáló diszkeknek hívta. Sajnos, összesen két ilyen rendszerről találtam 24 mikronos adatot (WSB 28 és LkCa3), 70-eset róluk viszont nem.

### 3.3. Hisztogram

Elkészítettem egy-egy hisztogramot a 24  $\mu\text{m}$ -es és a 70  $\mu\text{m}$ -es fluxusokból. Hisztogram készítésekor feltételezzük, hogy a vizsgált kettősök közel azonos fényességűek.

24 mikronon (5. ábra) 0-tól 2000 milliJanskyig terjedő fluxusértékek vannak, míg 70 mikronon (6. ábra) nagyobbak, 0- 3000-ig terjednek. Az x tengelyt felosztottam 500 mJy-s szakaszokra, és megszámláltam, hogy az egyes tartományokba hány kettős tartozik. Az ábrákon látszik, hogy a 3 típus (CC, CW és WW) nem azonos eloszlású.

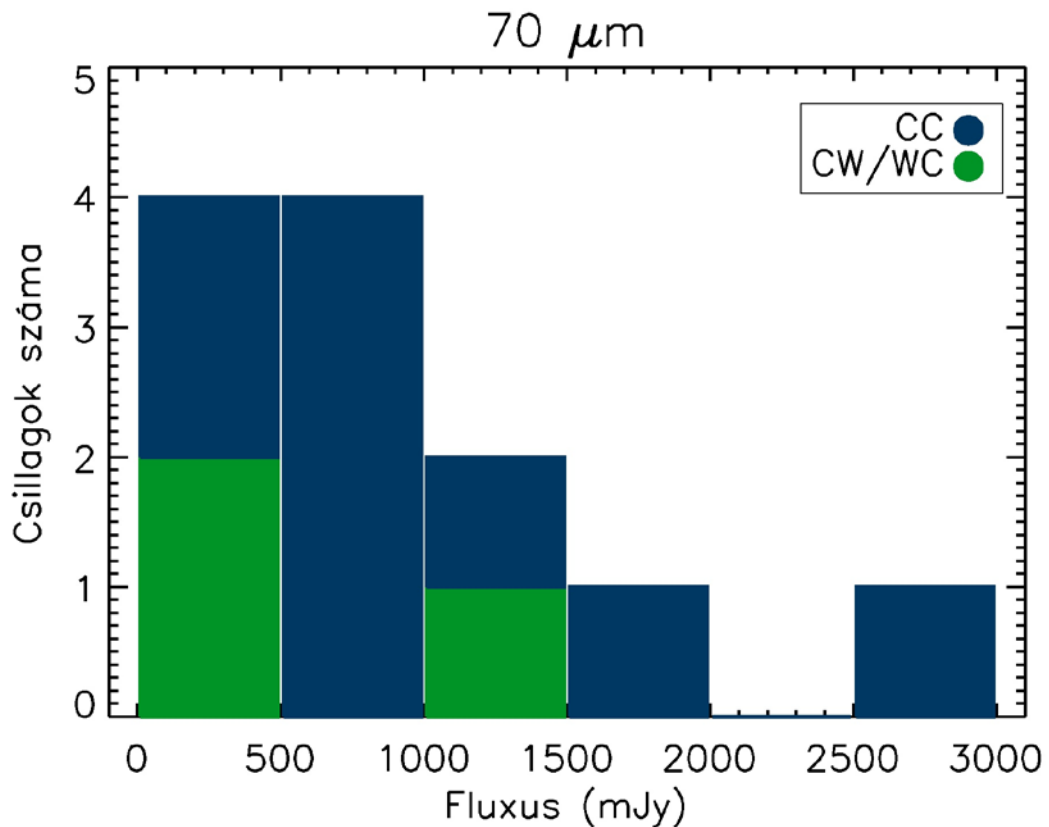


5. ábra. A 24 mikronon mért fluxusok hisztogramja

A Classic-classic típusúak maximuma 24 mikronon 0 és 500 mJy közé esik, de széles eloszlásúak, mert kicsi, közepes és nagy fluxus is megtalálható közöttük.

A CW, azaz a vegyes típusúak, mind 24, mind 70 mikronon kis fluxusértékeket adnak, de érdekes módon 70  $\mu\text{m}$ -en két csúcsuk is van: 0-500 és 1000-1500 mJy

közötti értékeknél. A WW típus adja a legkisebb fluxusértékeket 24 mikronon, míg az adataim közt 70 mikronon nem is fordulnak elő.

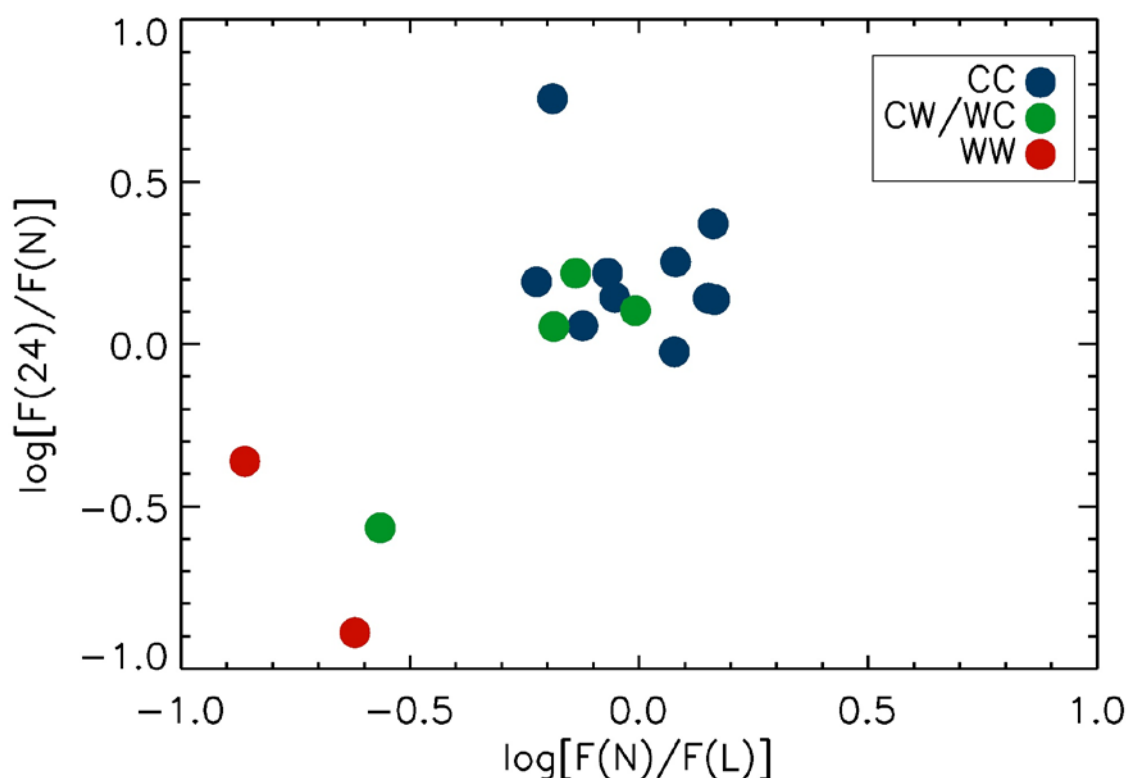


6. ábra. A 70 mikronon mért fluxusok hisztogramja

### 3.4. Kétszín diagramok

A kétszín diagramok készítésének az volt a célja, hogy megállapítsam, milyen a szomszédos korongrészek sugárzásának, fluxusának aránya. Először a log fluxus N/L-et értékeket (7. ábra) ábrázoltam a  $\log F(24)/F(N)$  hányados függvényében, majd a log fluxus 24/N hányadost a  $\log F(70)/F(24)$  fluxushányados függvényében (8. ábra).



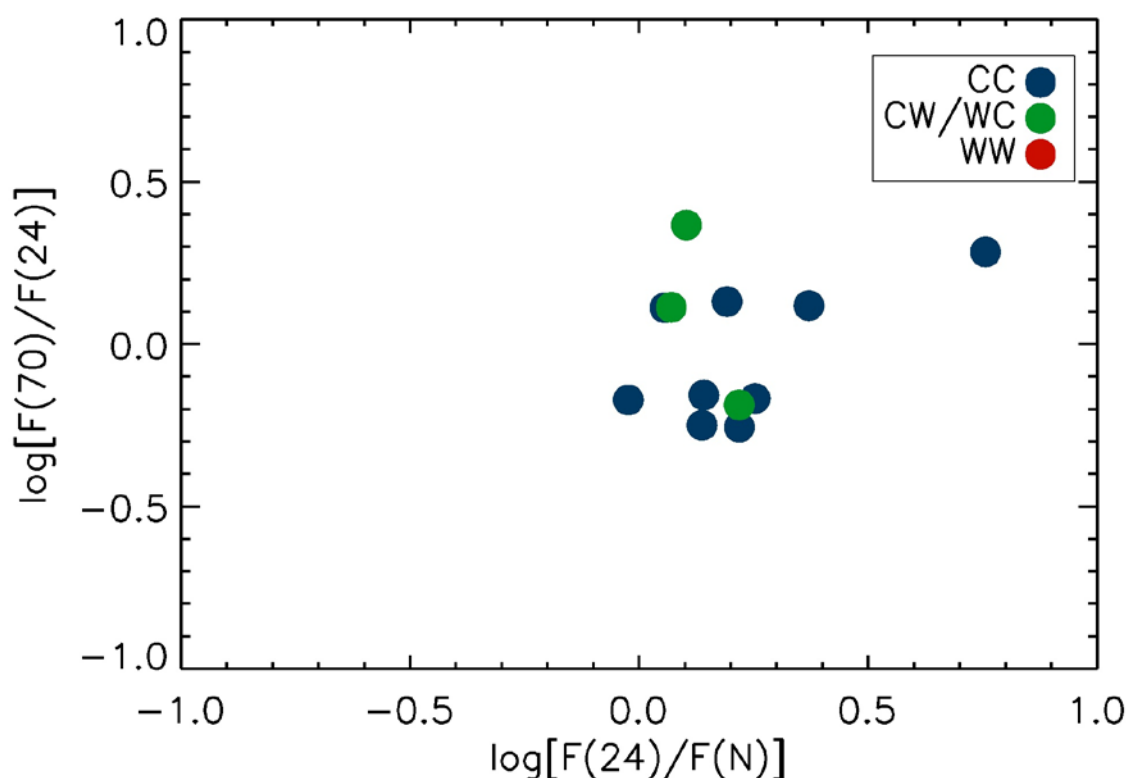


7. ábra Kétszín diagram:  $\log N/L$  fluxushányados a  $\log F(24)/F(N)$  függvényében

A kétszín diagramokról megállapítható, hogy a WW (Weakline-Weakline) típusú kettősök eltérnek a CW-től és a CC típustól.

A 7. ábrán a WW típusú kettősöket jelképező két pont a diagram bal alsó sarkában helyezkedik el. Különbálnak a többitől, tehát más a diszkjük szerkezete. Ez is bizonyítja, hogy nem egy nagyméretű disk hole okozta azt, hogy rövidebb hullámhosszon weakline típusúnak bizonyultak.

A 7. és 8. ábrán is az látszik, hogy a CW típusúak (vegyes rendszerek) kisebb abszolút fluxusúak, mint a CC típusúak, de szerkezetükben hasonlóak. Tehát mennyiségi, de nem minőségi a különbségük.



9. ábra Kétszín diagram:  $\log 24/N$  fluxushányados a  $\log F(70)/F(24)$  függvényében

## 4. Összefoglalás és kitekintés

A 34 kettős és az egy hármas rendszer fluxusának elemzése esetén nem láttam annak a bizonyítékát, hogy a kettős komponensei körüli korongok (a cirkumsztelláris diszkek) zavarnák, csonkolnák egymást. Nem kaptam meg azt a V alakú ábrát, amelyet Jensen (Jensen et al, 1996) kapott.

Ezt a kutatást azonban mindenképpen érdemes lenne folytatni, még több kettőst bevonva a kutatásba, és azokról még több adatot megvizsgálni. Sajnos a Spitzer mérései csak a két komponens fluxusainak az összegét mutatják meg, felbontott adatokat nem szolgáltatott. Sok kettős esetén nem találtam az irodalomban semmilyen publikált fluxusértéket.

2009 áprilisában indul a Herschel űrtávcső, mely a Spitzer ( $d=0,85$  m) tükrenél jóval nagyobb, 3,5m átmérőjű főtükörrel és 70, 110 és 170 mikronos szűrőkkel rendelkezik majd. A Herschellel a kettősökről pontosabb távoli-infravörös fotometriát kaphatunk, és el tudjuk majd dönteni, hogy az alacsony fluxusértékeknél a csillag fotoszféráját látjuk-e, vagy ténylegesen egy passzív diszket.

# Köszönetnyilvánítás

**Dr. Ábrahám Péternek**, témavezetőmnek a rengeteg segítségért, amit nyújtott nekem.

Köszönöm **Csengeri Tímeának** a sok jó tanácsot, és a rajzot, amit illusztrációként felhasználhattam.

Köszönet **Dr. Moór Attilának** az adatgyűjtéshez nyújtott segítségéért.

## Felhasznált irodalom

Jensen E. L. N., Mathieu R. D. & Fuller G. A. (1996) *Astrophys. J.* 458:312-326

McCabe C., Ghez A. M., Prato L., Duchéne G., Fisher R. S. & Telesco C. (2006) *Astrophys. J.* 636, 932-951

Monin J.-L., Clarke C. J., Prato L. & McCabe C. (2006) *Astrophys. J.* 0604031v1

Shu, F., Adams, F.C., Lizano, S., *ARAA* 25, 23, 19870

Fősorozat előtti kettősök fotometriai táblázata

Kettős neve	SFR	Szeperáció "-ben (AU)	Komponens	Spektrál-típus	Line	T Tauri	Típus	Megjegyzés	Fluxus különböző hullámhosszakon (mJy)				
									K	L (2 px)	N (2 px)	Q	
									2,2	3,6	8	24	70
Haro 6-37	Tau	0,33" (46,2) Aa-Ab 2,62" (366,8) A-B	A B	K7 M1	Hα Hα	II II	C C		757,6		581 483		
GH Tau	Tau	0,31" (43,4)	A B	M2 M2	Hα Hα	II II	C C		508,5± 7,02	415,1± 0,62	247,8± 0,42	385,4± 0,61	520,9± 104,2
LKHa 332	Tau	0,33" ( )	A B	K7 M2,5	Hα Hα	II II	C W	Passive	444± 2,87	450,5± 1,19	442,1± 1,01	560,5± 0,7	1304± 260,8
UZ Tau E	Tau	3,6" (504)	Aa	M1	Hα	II	C C		762,7± 20,37	643,4± 1,93	779,2± 2,2	1721± 2,84	1458± 291,6
UZ Tau W	Tau	0,37" (51,8)	A B	M2 M3	Hα Hα	II II	C C		210,6 121,19 762,7± 20,37	207,35 99,24 643,4± 1,93	96,5 82,5 779,2± 2,2	1721± 2,84	1458± 291,6
DD Tau	Tau	0,568" (79,52)	A B	M3,5 M3,5	Hα Hα	II II	C C		470,7± 5,64	710,8± 1,27	1039± 1,28	1426± 2,34	802± 160,4
Haro 6-28	Tau	0,66" (92,4)	A B	M2 M3,5	Hα Hα	II II	C C		102,7± 1,703	100,7± 0,2	89,1± 0,17	124± 0,2197	
FV Tau	Tau	0,704" (98,56)	A B	K5 K6	Hα Hα	II II	C C		431,97 285,4 703,3± 0,4	334,74 433,22 801,4± 1,35	848 387 962,2± 1,72	1724± 5,67	1172± 234,4
T Tau	Tau	0,695" (97,3) A-B 0,118" (16,52) B-C	A Ba-Bb C	K1 M1	Hα IC	II IRC	C C		3939,6 83,84 253,19	5256,6 1558,5 888,6			
FV Tau/c	Tau	0,74" (103,6)	A B	M2,5 M3,5	Hα Hα	II I	W Monin:C C	Passive IRC					
FQ Tau	Tau	0,79" (110,6)	A B	M3 M3,5	Hα Hα	II II	C Wc	Passive	125,5± 2,312		69,69± 0,157	81,88± 0,36	106,3± 21,26
V710 Tau	Tau	3,24" ( )	A B	M0,5 M2,5	Hα Hα	II III	C W		260± 13,4 230± 5,3				
FX Tau	Tau	0,9" (126)	A B	M1 M4	Hα Hα	II II	C W	Passive	451,2± 2,909	244,74 97,43 362,3± 0,67	263,4± 0,612	435,4± 0,646	282,9± 56,58
HV Tau	Tau	4,1" (574)	AB C	M2	Hα Hα	III II	W C		456,52 8,384 458,7± 8,03	242,5 8,18 243,6± 0,51	33,13 27,81 66,27± 0,21	18± 2	
GG Tau	Tau	0,204" (33,6) 1,4" (196)	Aa Ab Ba Bb	K7 M0,5 M6 M7,5	Hα Hα Hα Hα	II II II II	C C C C		500,56 239,58 57,47 9,89	492,84 221,16 53,54 9,05	350 337 73,8 18		
HK Tau	Tau	2,304" (327,6)	A B	M1 M2	Hα Hα	II II	C C		214,51 10,08 243,6± 3,59	201,7 6,8 231,1± 0,31	278 14,8 149,6± 0,373	853,2± 0,77	1640± 328
IT Tau	Tau	2,4" (336)	A B	K3 M4	Hα Hα	II II	C C		397,6 62,44 478,6± 9,26	506,65 31,67 323,8± 0,46	270 92 243,9± 0,36	277,6± 0,48	359,3± 71,86
DK Tau	Tau	2,304" (322,56)	A B	K9 M1	Hα Hα	II II	C C		678,35 161,23 967,2± 4,45	745,94 185,65 922,9± 1,66	1543 180 787± 1,44	1302± 2,14	722,6± 144,5
UX Tau	Tau	5,86" (820,4) AB 2,63" (368,2) AC	A B C	K5 M2 M5	Hα Hα Hα	II III III	C W W		636 162,72 37,62	565,86 78,11 23,59	203 17 3,4		
LkCa 3	Tau	0,47" (65,8)	A B	...	...	III III	W W		379,71 321,7 715,7± 9,88	174,06 148,83 342,6± 0,56	82,1± 0,17	10,58± 0,29	
HBC 411	Tau	2,08" (291,2)	A B	...	...	II II			274,82	201,7 33,81 298,4± 0,674	402,07 47,02 356,2± 0,706	337,4± 0,47	227,1± 42,42
NTTS 155203_2338	Oph	0,6" (84)	A B	G3 ...	Br Br	III III	W W		830,72 220,52	592,5 104,88			
WSB 18	Oph	1,04" (145,6)	A B	M2 M2,5	Hα Hα	III II	W C		63,01 116,8	89,5± 4,93	58,3± 2,81	66± 6,1	
WSB 26	Oph	1,1" (144)	A B	M0 M3	Hα Hα	II II	C C		104,58 77,88				
ROX 15d	Oph	1,2" ( )	A B	M3 M3	Br Br	II II	C C						
AS 205	Oph	1,3" (182)	A B	K5 M3	Hα Hα	II II	C C		2776,24 1105,24	3081,1 1344,95			
WSB 19	Oph	1,48" (207,2)	A B	M3 M5	Hα Hα	II II	C C		98,05 44,82	115± 7,46	167± 9,42	392± 36,4	515± 61,2
DoAr24E	Oph	2,03" ( )	A B	K5	Br Br	II I	C C		1570 ±26	1950 ±176	2760 ±212	3820 ±359	2660 ±316
DoAr26	Oph	2,23" (312,2)	A B	M4 M6	Br Br	II II	C W	Passive	136,6 37,97	136,99 22,32	0±0	112± 10,4	
WSB 28	Oph	5" (700)	A B	M2, M3 M7	Br Br	III II	W W	Passive	102,67 11,68	44,95 4,93	6,2 5,01	2,66± 0,75	
V835 Oph	Oph	0,4" ( )	A B	...	...	II II							
SR 9	Oph	0,6" (84)	A B	K5-K7 M4	Hα Hα	II II	C W						
UY Aur	Aur	0,88" (123,2)	A B	K7 M2	Hα Hα	II II	C C		808,82				
RWAur	Aur	1,41" (197,4) A-BC 0,12" (16,8) B-C	A B	K1 K5	Hα Hα	II II	C C		953,8 222,56	1182,2 190,85	2033 149		
S CrA	Cr A	1,41" (183,3)	A B	K3 M0	Br Br	II II	C C		1511,67 786,86	2658,9 1048,8			