

Válaszok Dr. Szatmáry Károly, az MTA doktora kérdéseire

Kóspál Ágnes

2018. október 8.

1. Honnan lehet tudni, hogy a protocsillagok a gravitációs kollapszus kezdete után kb. 10 000 évvel alakulnak ki? Mitől függhet ez az időtartam?

Ez erre vonatkozó észlelési bizonyítékok azon alapulnak, hogy 0. osztályú objektumok esetén megfigyeltek molekuláris kifújásokat, amelyek dinamikai kora minden esetben 10 000 év alatti (André & Montmerle 1994). A 0. osztály élettartamának rövidegére utal az a statisztikai jellegű megfigyelés is, hogy egy adott csillagkeletkezési területen mindig jóval kevesebb 0. osztályú objektum figyelhető meg, mint 1. osztályú. Ezekből a mért arányokból a 0. osztály élettartama 5000 és 10 000 év közötti (Wilking et al. 1989).

Ezt az eredményt numerikus szimulációk is alátámasztják: pl. Stahler et al. (1986) egy $5 M_{\odot}$ tömegű felhőmag összeomlását szimulálták, és azt találták, hogy konstans akkréciós ráta mellett a deutérium fúziója a középpontban 6000 év után indul meg, tehát innentől beszélhetünk protocsillagról. Ez az időskála elsősorban azon múlik, milyen gyorsan omlik össze a felhőmag közepe, milyen hatékonysággal tud az energia kisugárzódni, és milyen gyorsan tud az anyag a középpontban felmelegedni.

2. Az 1.8. ábrán az időtengely mentén is el lettek tolvá a FUor fénygörbék?

Igen. Annak érdekében, hogy a fénygörbék alakját könnyebben össze lehessen hasonlítani, a vízszintes tengelyen a kitörés kezdete óta eltelt időt ábrázoltam, tehát a kitörés körülbelül $t=0$ -ban kezdődik. Ez a nullpont a különböző csillagokra természetesen más és más, az FU Ori pl. 1936-ban tört ki, a V1057 Cyg 1970-ben, a HBC 722 2009-ben, a V1647 Ori 2003-ban, az EX Lup pedig 2008-ban.

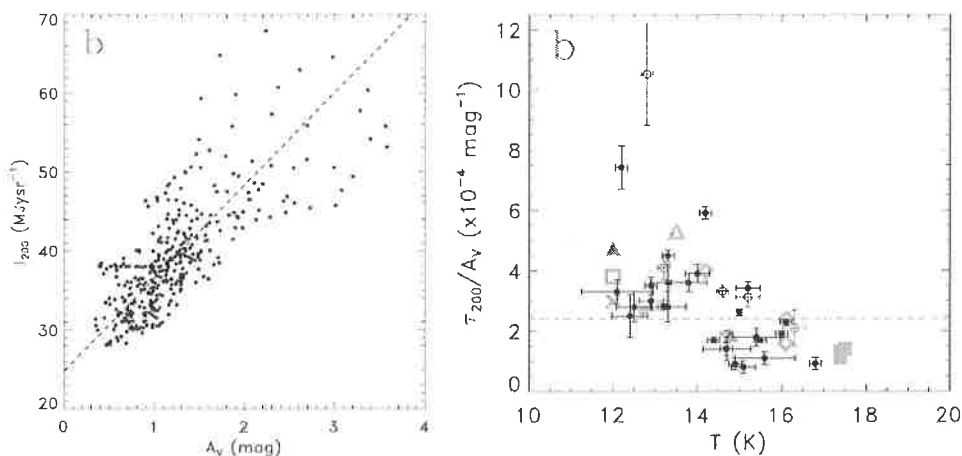
3. A 49. oldalon az EX Lup sugarára $1,6 R_{\odot}$ szerepel. A megadott hivatkozásban valóban ott van a T és L érték (amiből ekkora sugár számolható), de nem találtam ezeket az ott megadott forrásban.

A csillag sugarára az $1,6 R_{\odot}$ érték Gras-Velázquez & Ray (2005) cikkének 5. táblázatában található, míg a luminozítás ($0,47 L_{\odot}$) és az effektív hőmérséklet (3802 K) a 3. táblázatban. Ellenőrizhető, hogy ezek a számok a Stefan–Boltzmann-törvénynek megfelelően konzisztensek.

Gras-Velázquez & Ray a 3. táblázatukban a csillag színképtípusát is megadják (M0,5), ehhez tartozik az Appenzeller et al. (1983) referencia. Ezután a színképtípus ismeretében Gras-Velázquez & Ray megillesztették a csillag optikai és közeli infravörös fotometriai méréseit ($A_V = 0$ -t feltételezve), innen származik a 3. táblázatban megadott hőmérsékletérték. Ez tehát illesztés eredménye, és ebben az esetben jól megfelel annak, amit egy M0,5-típusú csillag effektív hőmérsékletére várnánk. A csillag luminozítását pedig ennek a fekete testnek a luminozításaként számolták a cikkben.

4. A 76. oldalon szerepel: „3000 magnitúdót véve a V -sávbeli extinkció és a $160 \mu\text{m}$ -es optikai mélység közti tipikus arányszámra...”. Ezt kérem kifejteni.

A 3000 magnitúdó valóban furcsán néz ki, de nem elírás. Ennek az összefüggésnek a fizikai háttere az, hogy a csillagközi anyag porszemcséi által okoznak extinkciót, hogy elnyelik a csillagból érkező fotonokat (ennek mértéke az A_V), de ezeknek a fotonoknak a hatására a porszemcsék fel is melegsznek egy kicsit, és távoli infravörös tartományban termikus sugárzást bocsátanak ki. Az alábbi ábra Kiss et al. (2006)-os cikkéből pl. az ISO mesterséges hold adatai alapján mutatja a V sávbeli extinkció és a $200 \mu\text{m}$ -es termikus emisszió felületi fényessége közötti összefüggést. A pontok szórása többek közt abból ered, hogy a porszemcsék emisszivitása (a reflektancia és az abszorpció hányadosa) kis mértékben függ a hőmérséklettől. A hőmérséklet ismeretében az infravörös felületi fényességből kiszámolható az adott infravörös hullámhosszon érvényes optikai mélység (τ). Mivel az A_V és a felületi fényesség között lineáris reláció látható, az A_V és a τ hányadosa egy konkrét szám lesz, a lenti ábra szerint $\tau_{200}/A_V = 0.0001 - 0.0005 \text{ mag}^{-1}$, vagyis $A_V/\tau_{200} = 2000 - 10\,000$ magnitúdó. Az általam használt 3000 magnitúdó ennek egyfajta középértéke.



Balra: a 200 μm -en mért felületi fényesség és a V sávbeli extinkció összefüggése. Jobbra: A 200 μm -es optikai mélység és a V sávbeli extinkció hányadosa a por hőmérsékletének függvényében. (Forrás: Kiss et al. 2006.)

5. 145. oldal: „A csillagkörüli burkok jelentős szerepet játszanak a FUor-kitörésekben, részben azért, hogy minden egyes kitörés után pótolják a korong anyagát ...”. Hogyan történhet ez az anyagpótlás?

Egy forgó felhőmag összeomlását a 70-es években dolgozták ki (Larson 1972, Ulrich 1976, Woodward 1978). Eszerint a felhőmag anyaga a középpont felé haladva az r_{cen} centrifugális sugárnál áll meg az perdületmegmaradás miatt. Itt van egy átmeneti zóna a behulló burok és a csillagkörüli korong között, ahol valószínűleg lökéshullámok is kialakulnak. Ez tipikusan a csillagtól 100-200 CSE távolságban van (Sakai et al. 2017). Ezen belül az anyag a korongban lassan befelé spirálozik, annak köszönhetően, hogy a korong viszkozitása lehetővé teszi a kifelé irányuló perdülettranszportot. Itt valószínűleg radiálisan állandó az akkréciós ráta, erre azonban szinte egyáltalán nincsenek észlelési adatok. Amint az anyag eléri a korong belső peremét, onnan a magnetoszférikus akkréciós modellnek megfelelően hullik a csillagra.

Az EX Lup esetében azt találtuk, hogy a 2008-as kitörés során mintegy $10^{-7} M_{\odot}$ anyag hullott a csillagra fél év alatt. Ez az anyag a központi csillagtól 0,12 CSE távolságban vagy annál közelebb volt, ez a terület ürült tehát ki. Feltételezhetjük, hogy egy hasonló kiürülés történt az EX Lup 1955-56-os kitörése során is, tehát a kiürült területnek fel kellett töltenie kb. 50 év alatt. Ez azt jelenti, hogy legalább $2 \times 10^{-9} M_{\odot}/\text{év}$ akkréciós rátának kell lennie a korong belső részében (Juhász et al. 2012). Ennek az anyagnak csak egy része hullik rá a csillagra (az EX Lup nyugalmi akkréciós rátája a csillagra $\lesssim 10^{-9} M_{\odot}/\text{év}$), a többi felgyülemlik a korong belső részén, és idővel újabb kitöréshez vezet.

Irodalomjegyzék

- André & Montmerle 1994, ApJ, 420, 837 • Juhász et al. 2012, ApJ, 744, 118 • Kiss et al. 2006, MNRAS, 373, 1213 • Larson 1972, MNRAS, 156, 437 • Sakai et al. 2017, MNRAS, 467, L76 • Stahler et al. 1986, ApJ, 302, 590 • Ulrich et al. 1976, ApJ, 210, 377 • Wilking et al. 1989, ApJ, 340, 823 • Woodward et al. 1987, ARA&A, 16, 555

Budapest, 2018. október 8.

Kóspál Ágnes

Kóspál Ágnes