



# Csillagbölcsők kutatása kis- és nagytávcsövekkel

**Kóspál Ágnes**

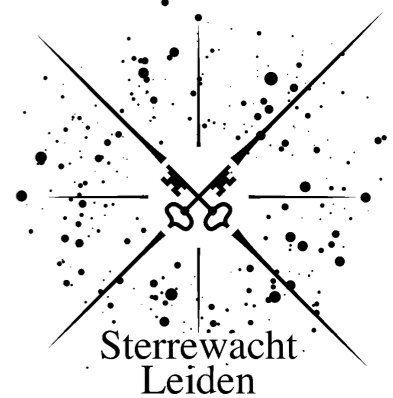
**MTA CSFK Konkoly-Thege Miklós Csillagászati Intézet**

**MTA CSFK Lendület Korong-kutató Csoport és SACCRED ERC-csoport**

A Magyar Csillagászati Egyesület közgyűlése, 2017. április 29.

# Személyes bemutatkozás

- 1999 óta MCSE-tag
- 2009: PhD a Magyar Tudományos Akadémia Konkoly-Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézetben (Budapest)
- 2006: Spitzer Science Center (Pasadena, CA, USA)
- 2008 – 2011: Leideni Obszervatórium (Hollandia)
- 2011 – 2014: Európai Űrügynökség (ESA/ESTEC, Hollandia)
- 2014 –: MTA CSFK KTM CSI (Budapest)
- 2014 – 2019: MTA Lendület-program: “Csillagkörüli korongok dinamikája – csillag- és bolygó-keletkezés az ALMA-korszakban”
- 2017 – 2022: Európai Kutatási Tanács: “SACCRED – Structured ACCRetion Disks: initial conditions for planet formation in the time domain” (ERC-StG 716155)

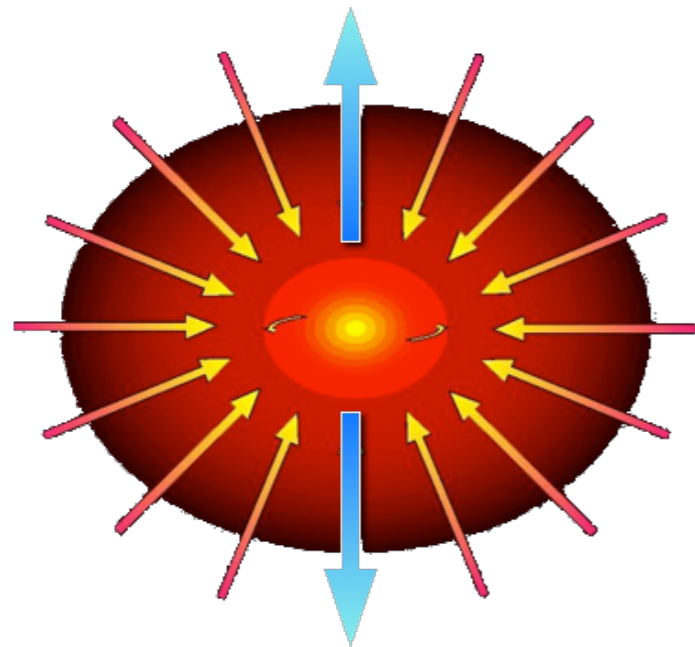


# Az előadás tartalma

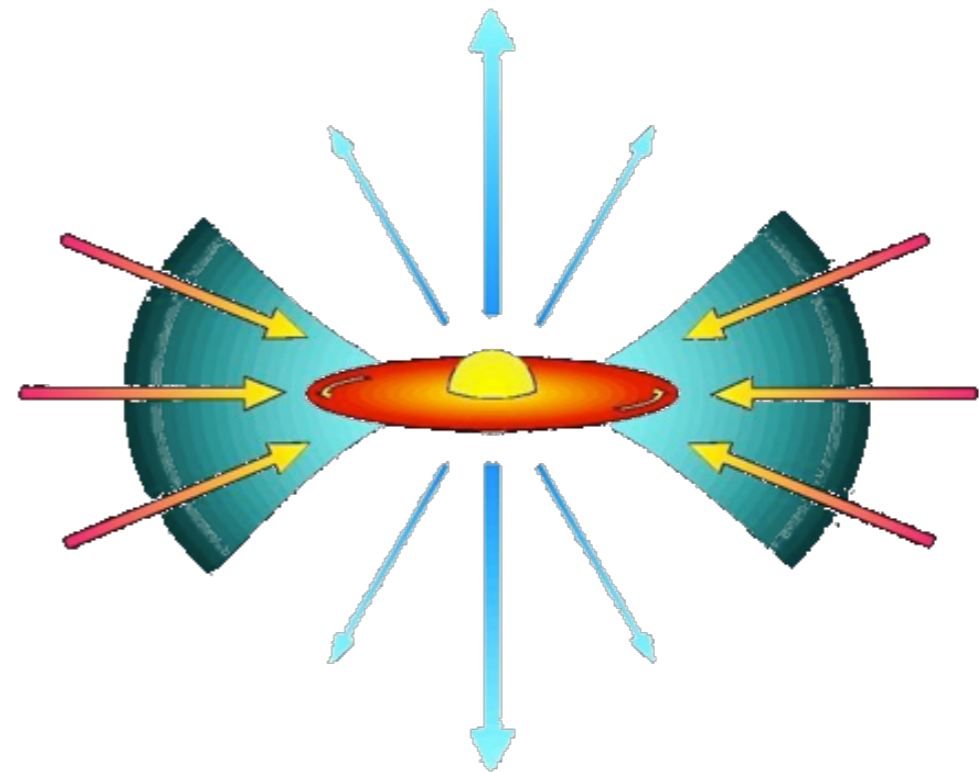


- Csillagkeletkezés és csillagkörüli korongok
- Tömegbefogás a korongról és annak változékonysága
- A legszélsőségesebb változások: fiatal eruptív csillagok
- Kistávcsöves eredmények: az amatőr csillagászok hozzájárulása a fiatal eruptív csillagok kutatásához
- Közepes távcsöves eredmények: a tömegbefogás változásainak nyomonkövetése
- Nagytávcsöves eredmények: a csillagkörüli anyag részletes szerkezete és mozgása

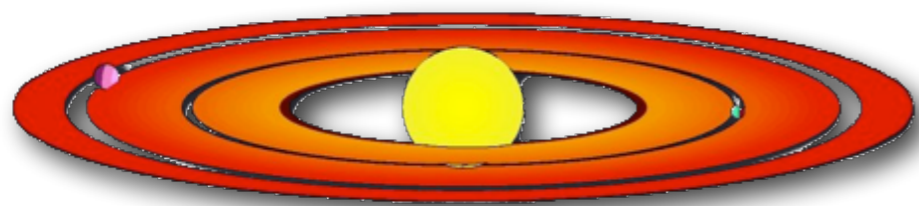
# A Nap-típusú csillagok keletkezése



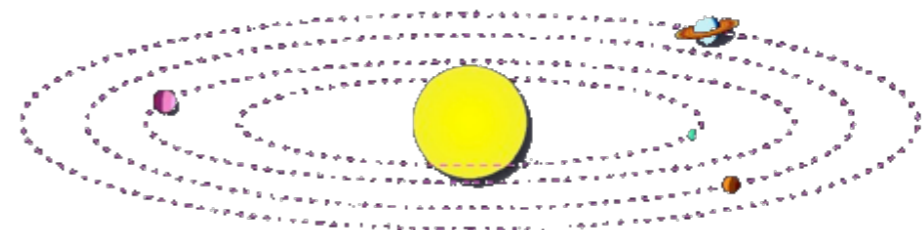
0. osztály, 10 000 év  
10 000 CsE, 10–300 K



1. osztály, 100 000 – 1 millió év  
1000 CsE, 100–3000 K



2. osztály, 1–10 millió év  
100 CsE, 100–5000 K



3. osztály, 10 millió – 1 milliárd év  
100 CsE, 100–5000 K

(Shu, Adams, Lada)

# Csillagkörüli korongok



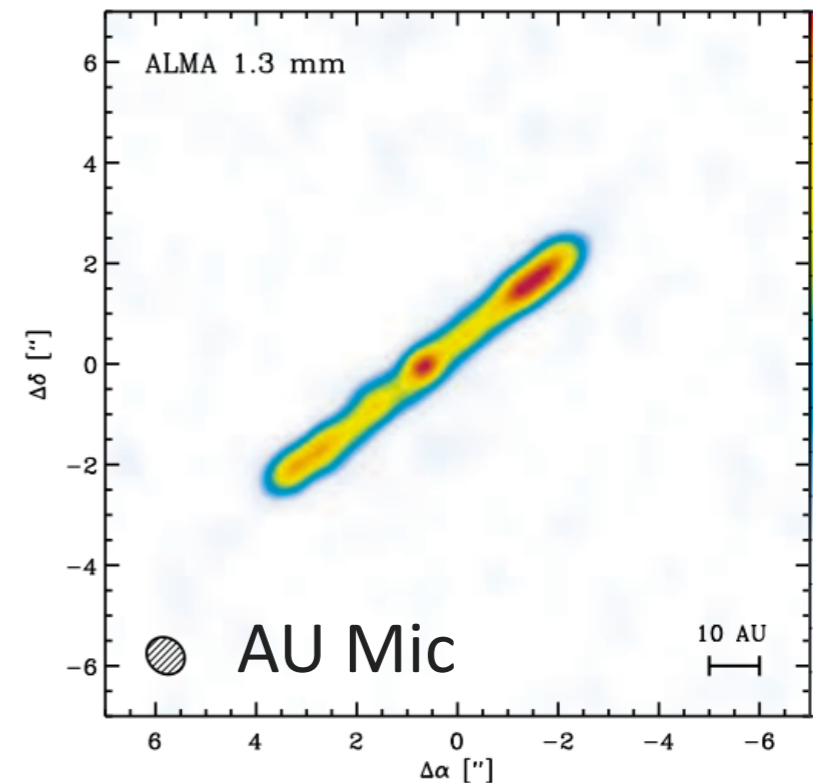
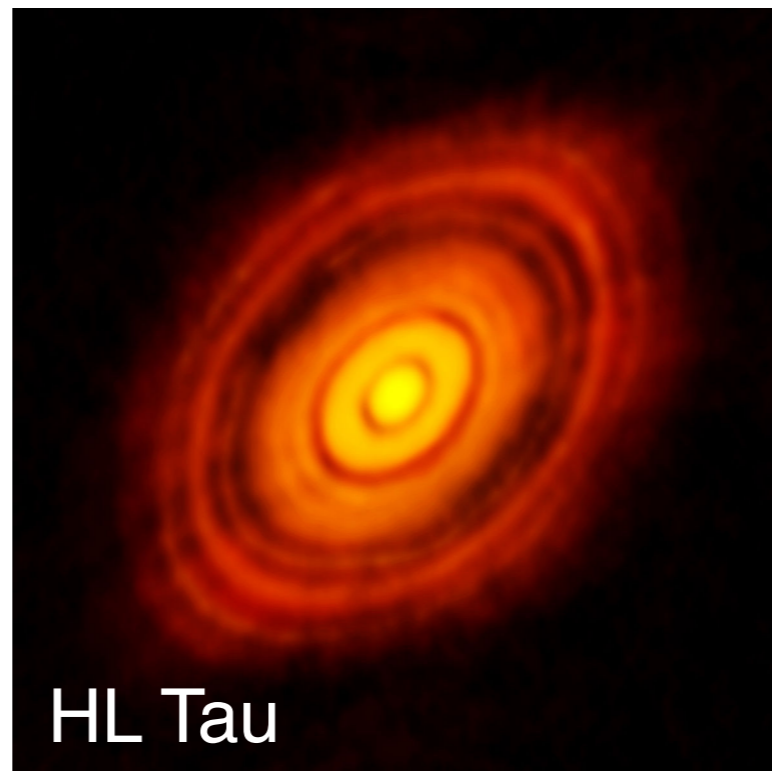
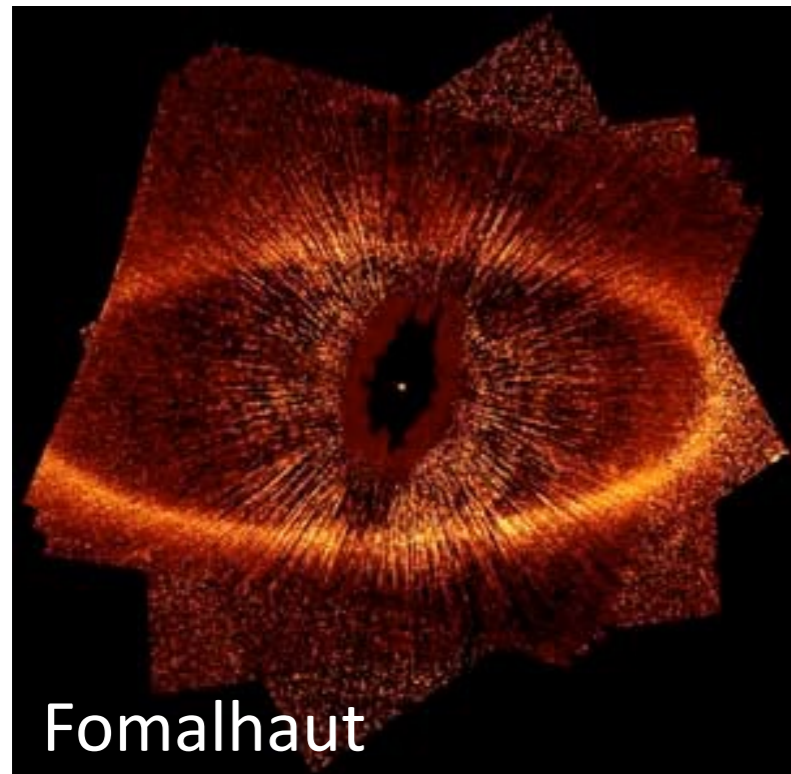
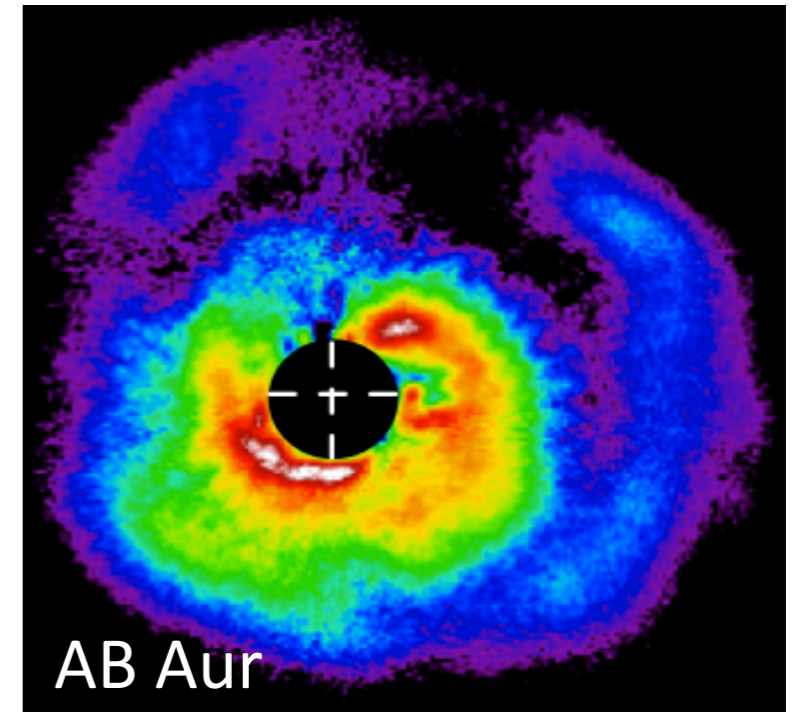
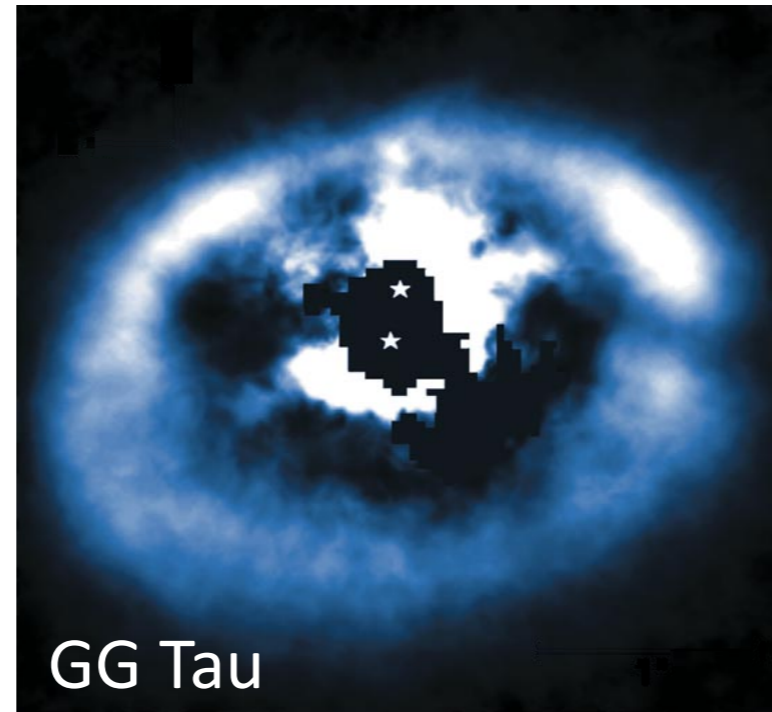
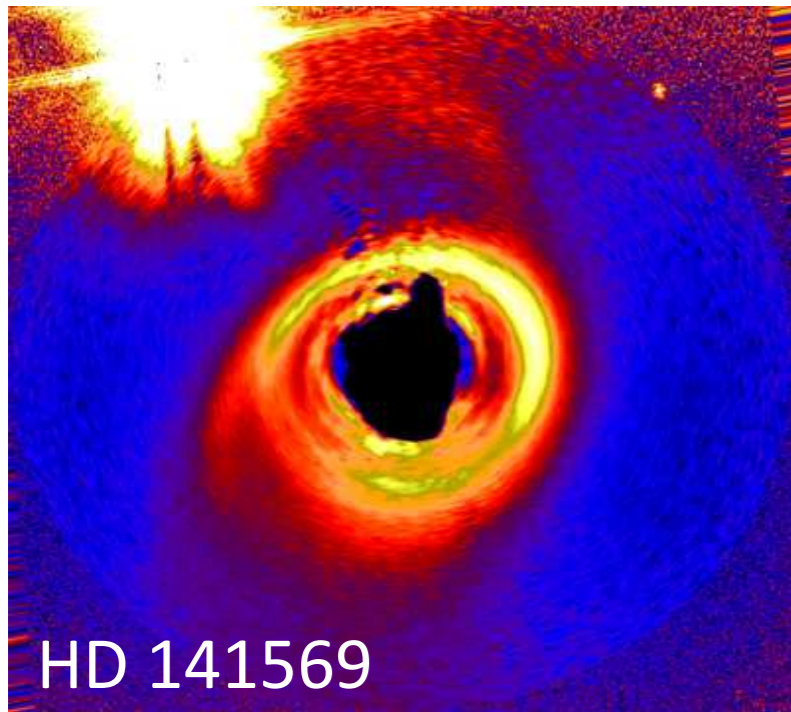
Ahogy a művész elképzeli:





# Csillagkörüli korongok

Ahogy a csillagászok látják:



# Célunk



- **A Naphoz hasonló csillagok és bolygórendszereik keletkezésének megértése a csillagkörüli korongok fizikájának tanulmányozása révén**
- **Kutatási témáink:**
  1. **Epizodikus tömegbefogás:** Milyen gyorsan épül fel egy Naphoz hasonló csillag? Meg tudja-e ezt magyarázni az időfüggő tömegbefogás?
  2. **Korong-dinamika:** Hogyan befolyásolják a bolygókeletkezést a korong kis- és nagyskálás inhomogenitásai?
  3. **A korongok feloszlása:** Mennyi ideig van a korongban gáz, hogy gázóriások keletkezessenek?

# Célunk



- **A Naphoz hasonló csillagok és bolygórendszereik keletkezésének megértése a csillagkörüli korongok fizikájának tanulmányozása révén**
- **Kutatási témáink:**
  1. **Epizodikus tömegbefogás:** Milyen gyorsan épül fel egy Naphoz hasonló csillag? Meg tudja-e ezt magyarázni az időfüggő tömegbefogás?
  2. **Korong-dinamika:** Hogyan befolyásolják a bolygókeletkezést a korong kis- és nagyskálás inhomogenitásai?
  3. **A korongok feloszlása:** Mennyi ideig van a korongban gáz, hogy gázóriások keletkezessenek?



# Tömegbefogás



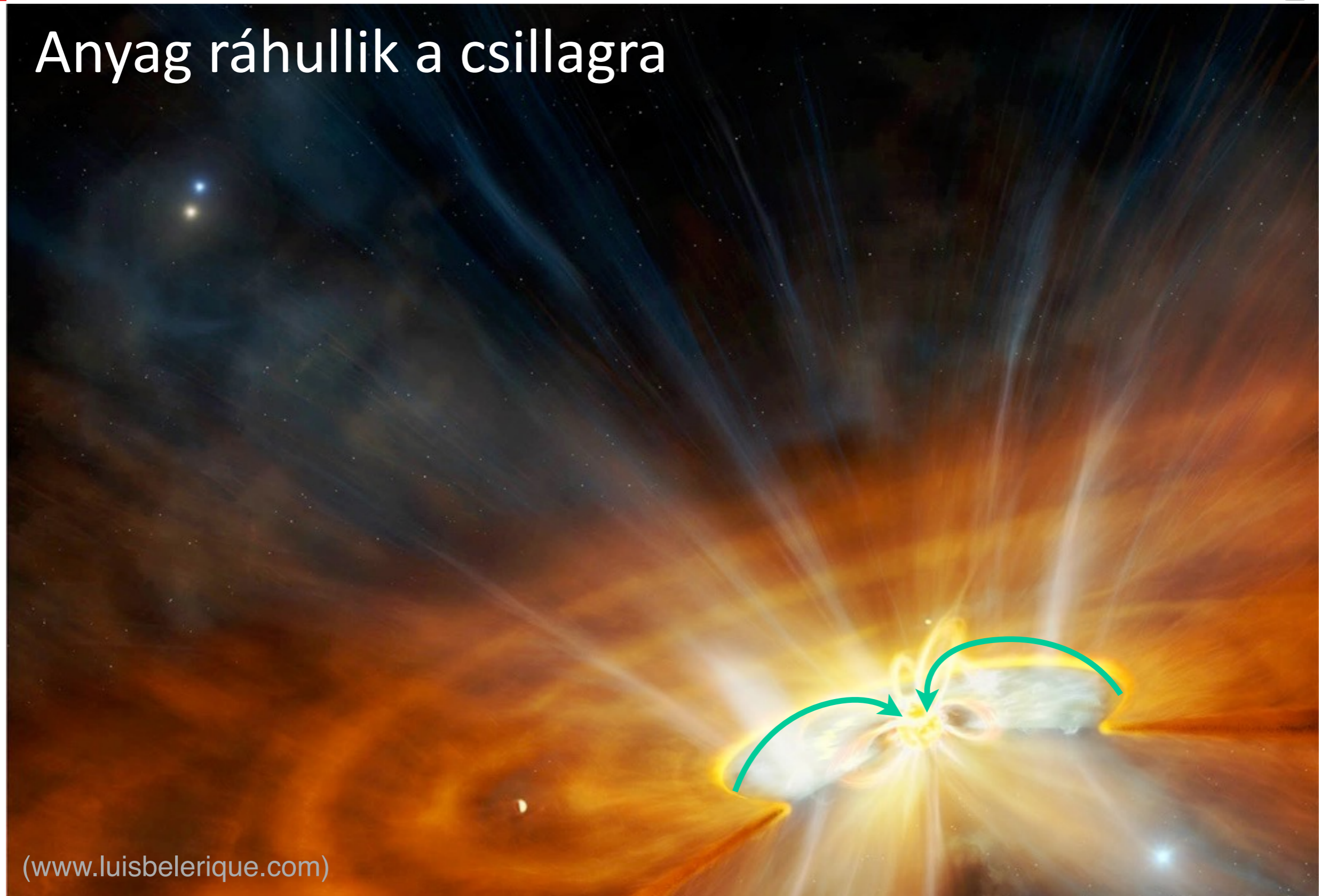
Anyag lassan befelé spirálózik



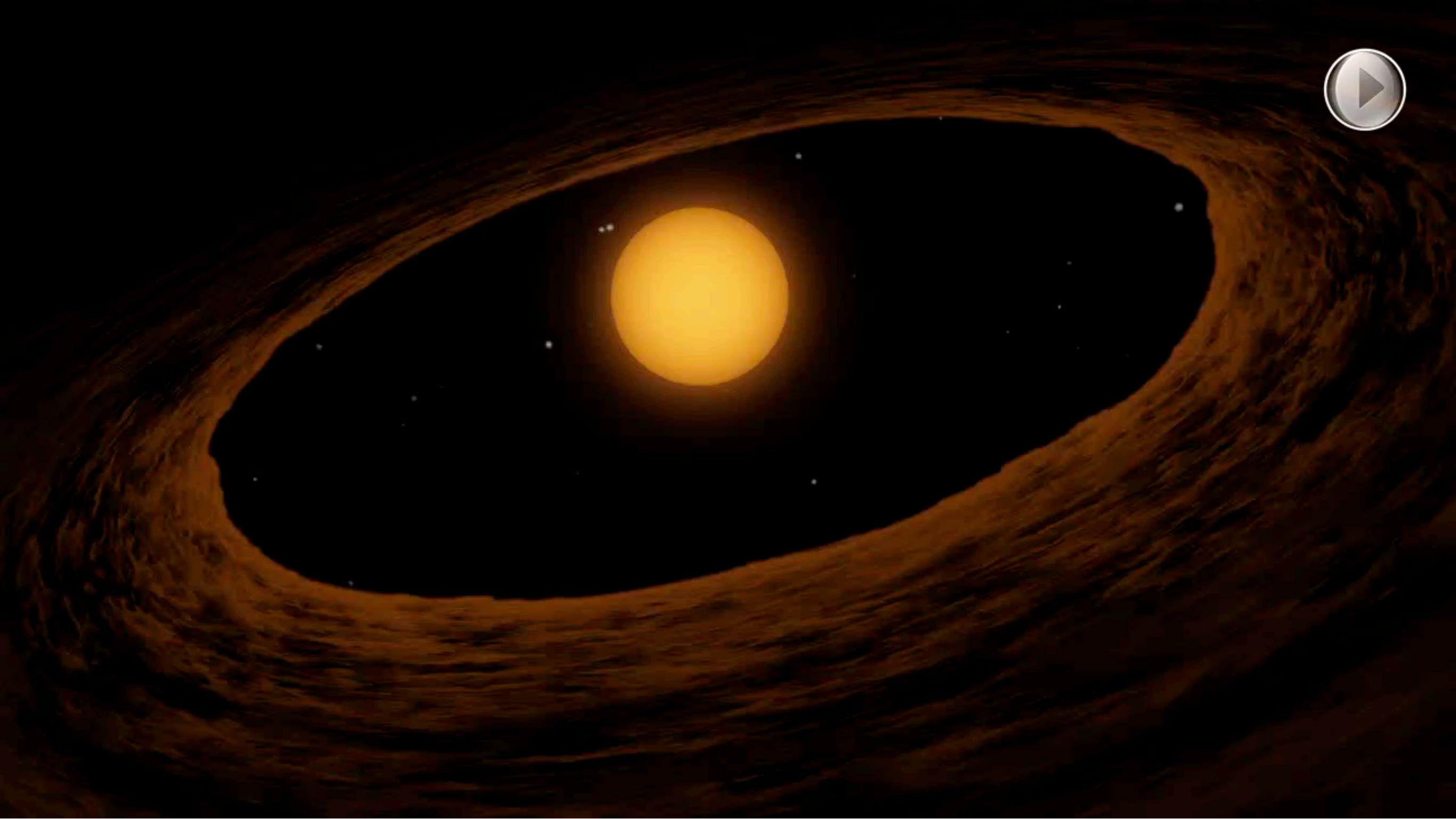
# Tömegbefogás



Anyag ráhullik a csillagra



# Tömegbefogás





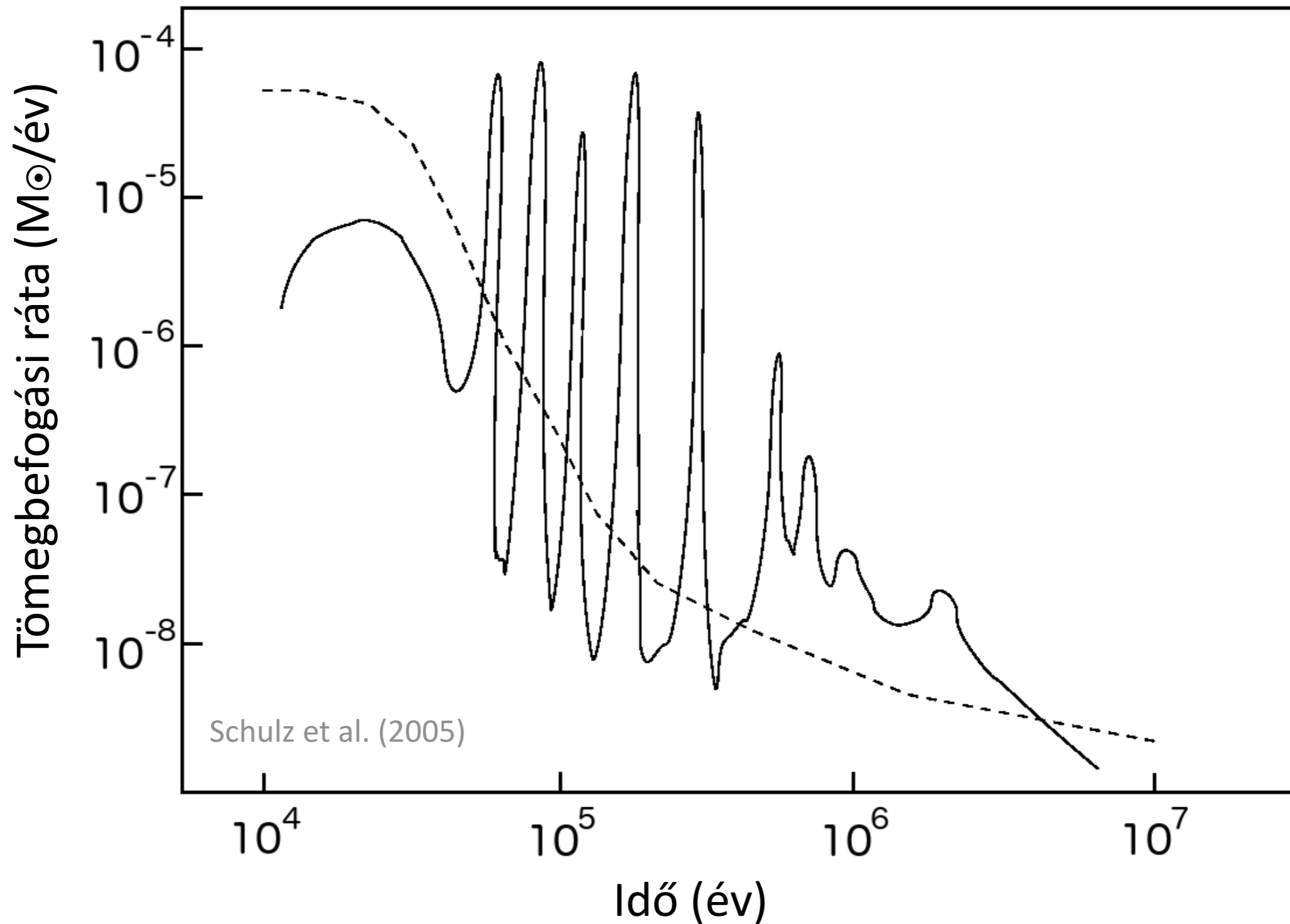
# Probléma a tömegbefogással

- Behulló anyag felforrósodik, felfényesedik
- Minél nagyobb a behullási ráta, annál fényesebb a rendszer
- Egy Naphoz hasonló csillag (tömeg:  $1 M_{\odot}$ ) 1 millió év alatt épül fel
- Ehhez átlagosan  $10^{-6} M_{\odot}/\text{év}$  anyagbehullási ráta kellene
- Ekkor a rendszer fényessége  $10 L_{\odot}$  kellene, hogy legyen
- Észlelések szerint: tipikus protocsillagok fényessége:  $1 L_{\odot}$  körüli

⇒ **ELLENTMONDÁS**

⇒ **MEGOLDÁS: időfüggő, epizodikus tömegbefogás**

# Epizodikus tömegbefogás: az elképzelés

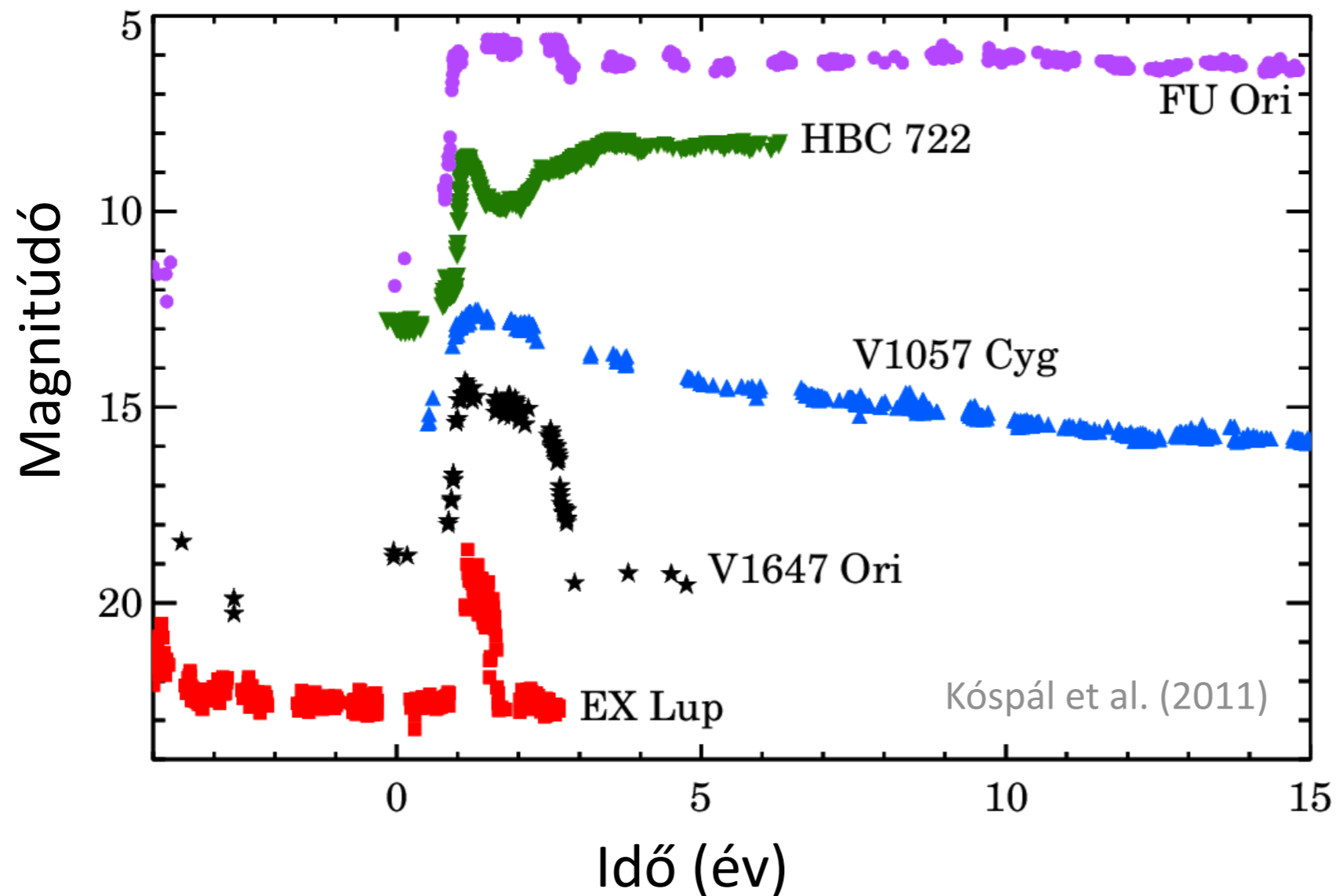




# Epizodikus tömegbefogás: a mérések

## Fiatal eruptív csillagok:

- hirtelen kifényesednek
- hirtelen megnő a tömegbefogási ráta



Kóspál et al. (2005)

# Az amatőrök hozzájárulásai



## V1647 Ori (McNeil ködje)

- Jay McNeil (Paducah, KY, USA)
- 7,6 cm-es Takahashi FTC-76 refraktor
- ST-10XME CCD
- 2004-es felfedezés
- Valami furcsaság van a képen a Palomar felvételekhez képest







# Az amatőrök hozzájárulásai



## V900 Mon (Thommes ködje)

- Jim Thommes (San Diego, CA, USA)
- 20,3 cm-es Celestron C8 Schmidt Cassegrain
- Artemis285 kamera
- 2011-es felfedezés
- új köd, ami a Palomar felvételeken nem látszott





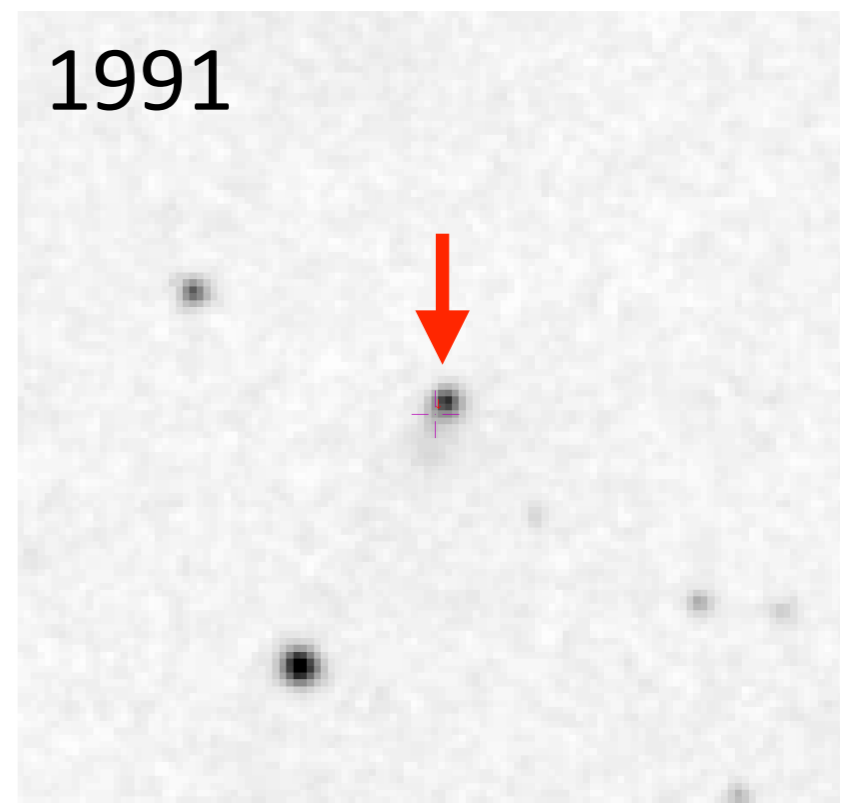
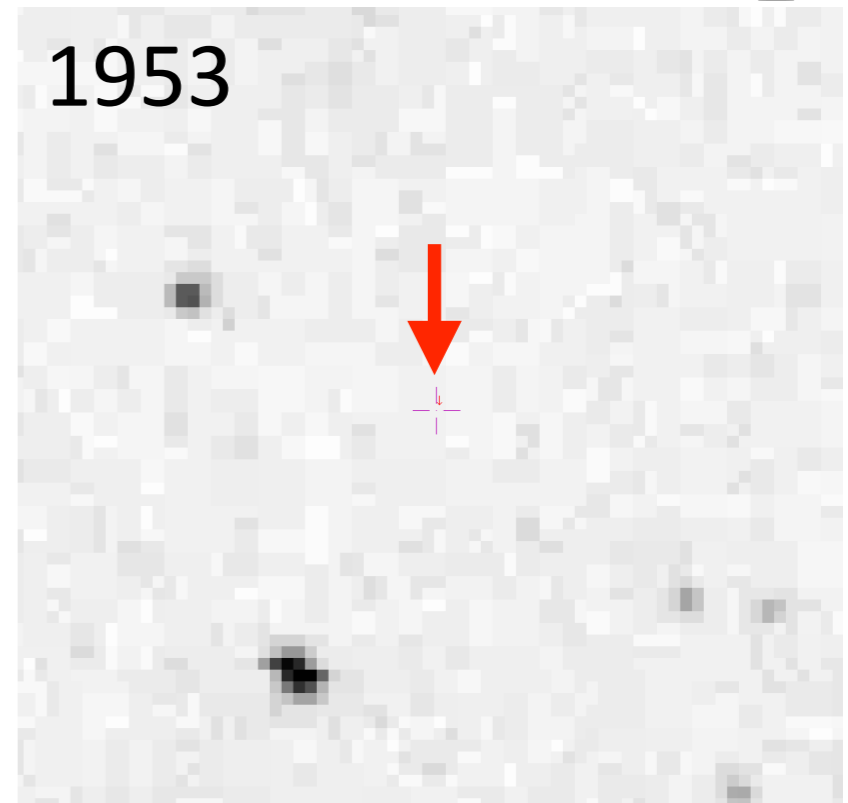
**Brightening  
Nebula**

# Az amatőrök hozzájárulásai



## V733 Cep (Persson csillaga)

- Roger Persson (Svédország)
- régi és új Palomar felvételeket hasonlított össze a számítógépén
- 2005-ös felfedezés
- egy kis ködösséggel körbevett csillag a POSS II (1991) felvételen, ami a POSS I-en (1953) még nem látszott



# Az amatőrök hozzájárulásai



## EX Lup

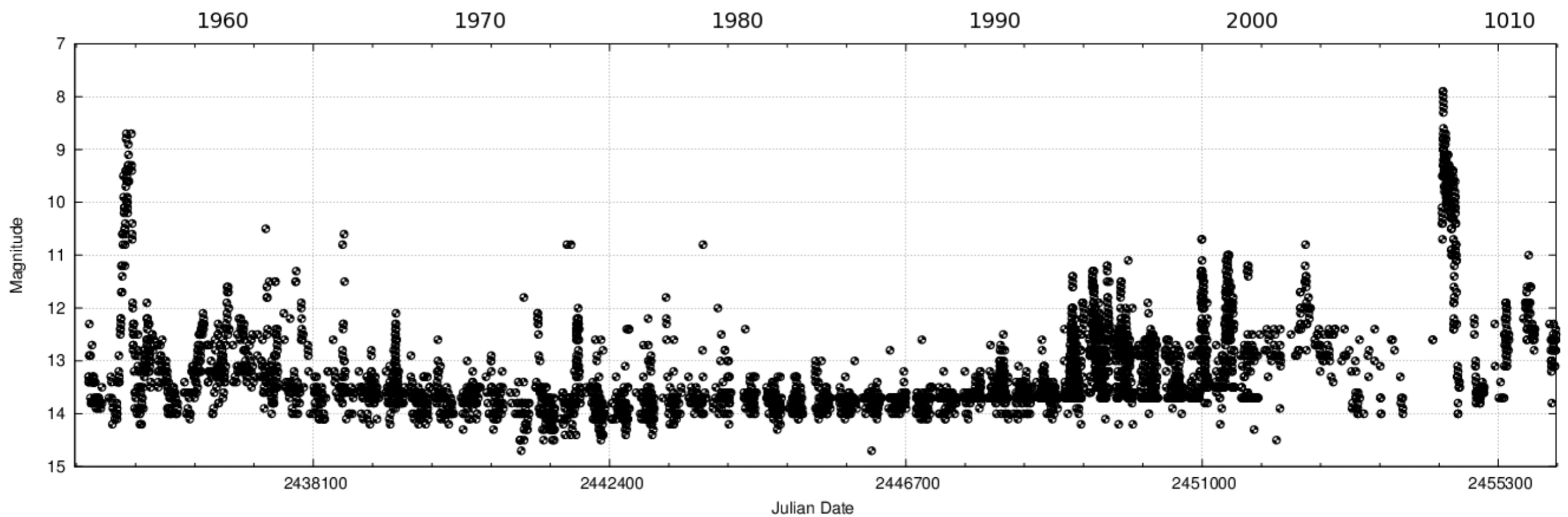
- Albert Jones (Nelson, Új Zéland)
- saját építésű 32 cm-es reflektor
- emberi szem: tipikusan 0,1 magnitúdó pontos
- Albert Jones: 0,05 mag pontosságú becslések
- > 500 000 változócsillag-észlelés



# Az amatőrök hozzájárulásai

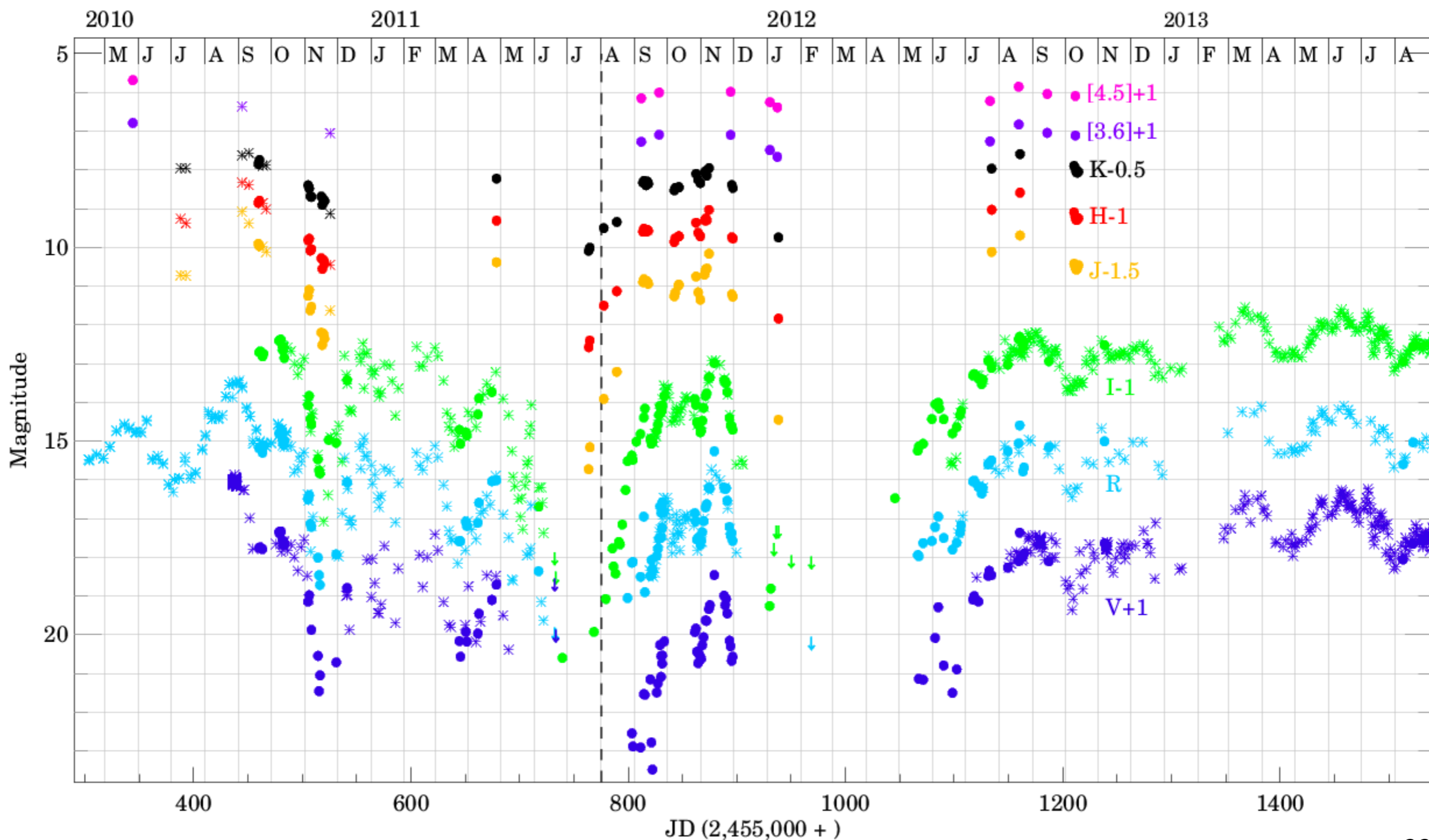


## Az EX Lupi fénygörbéje

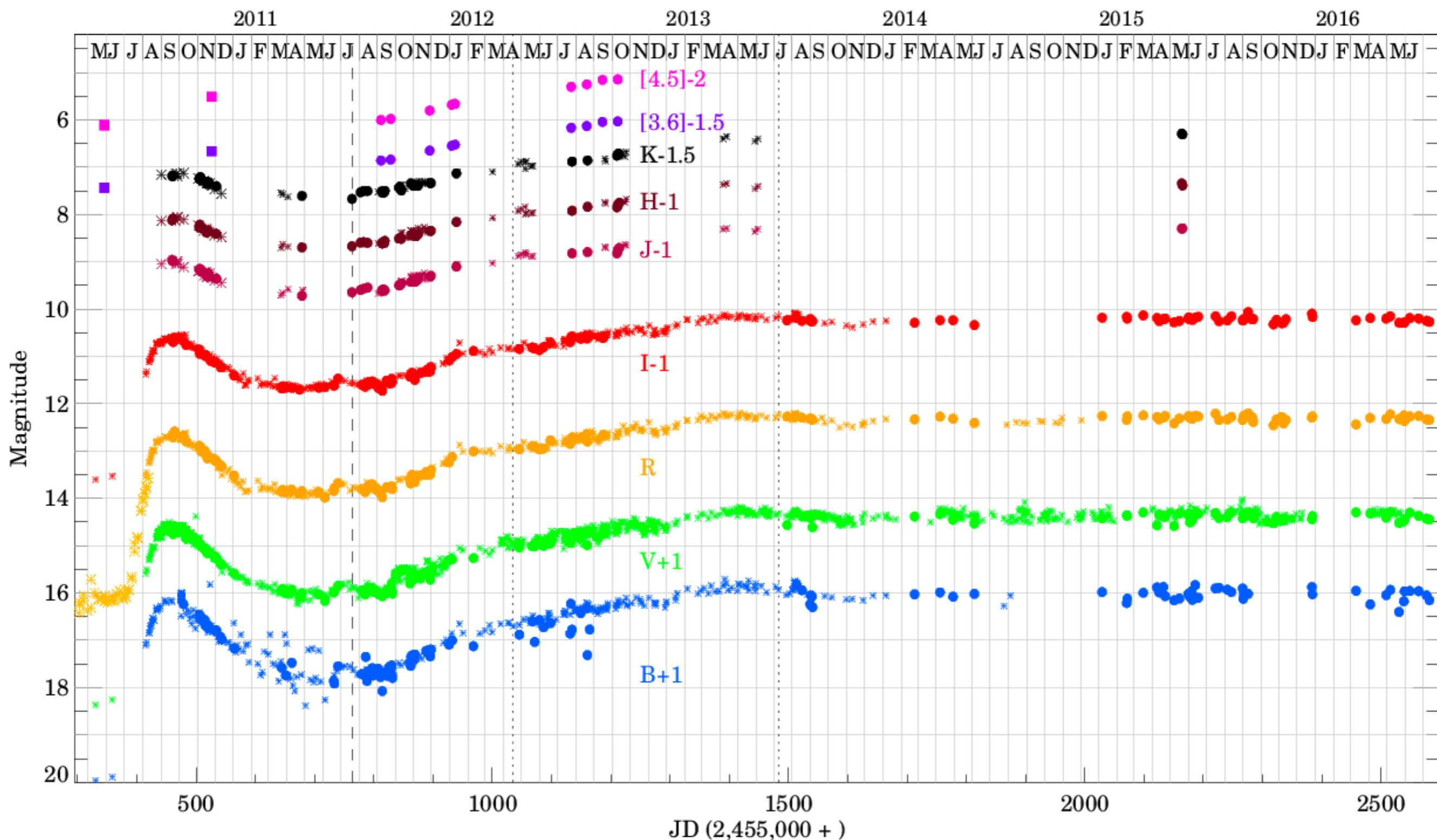


AAVSO DATA FOR EX LUP - WWW.AAVSO.ORG

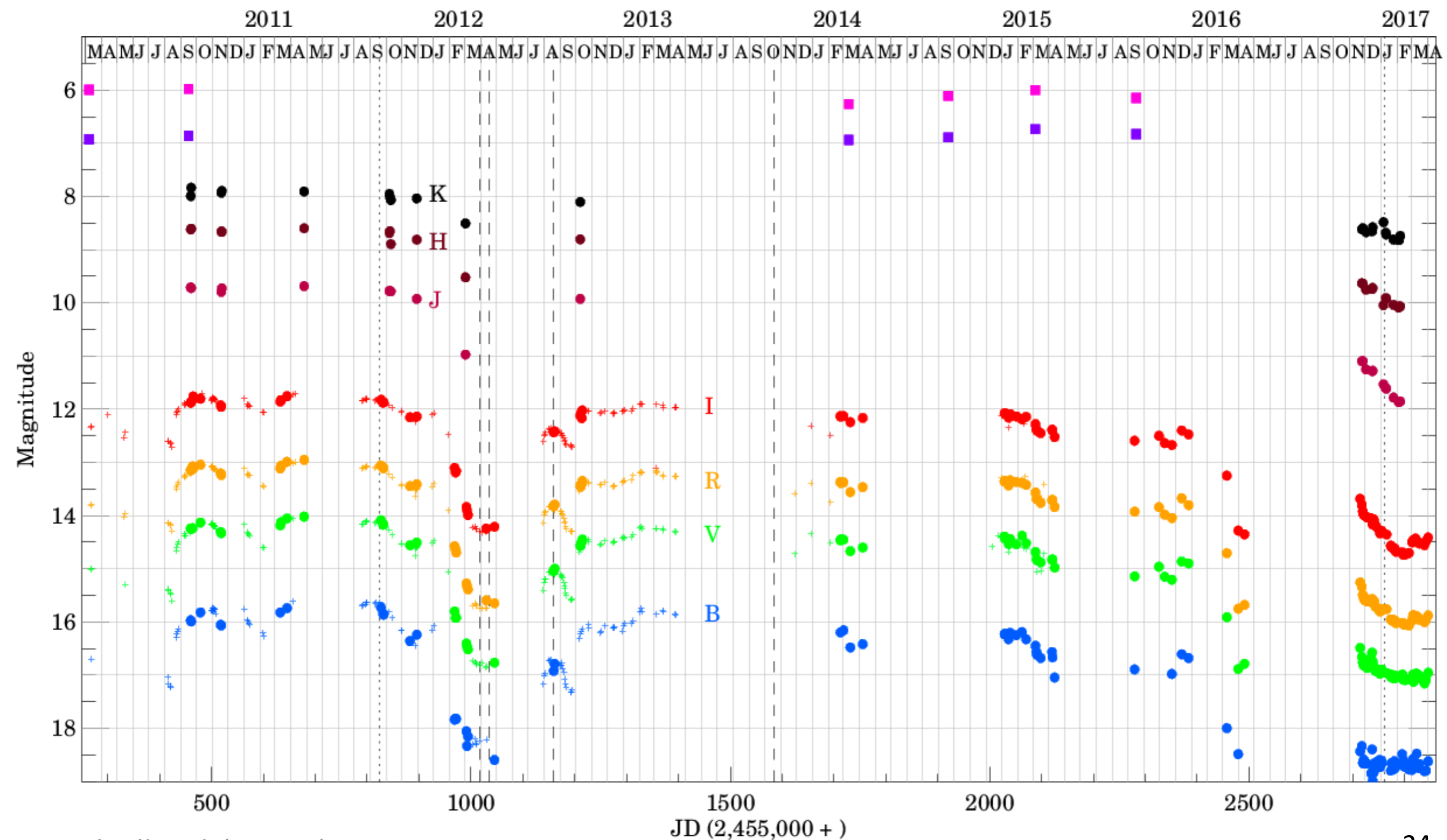
# Pizskéstetői mérések: V2492 Cyg



# Pizskéstetői mérések: HBC 722



# Pizskéstetői mérések: V582 Aur

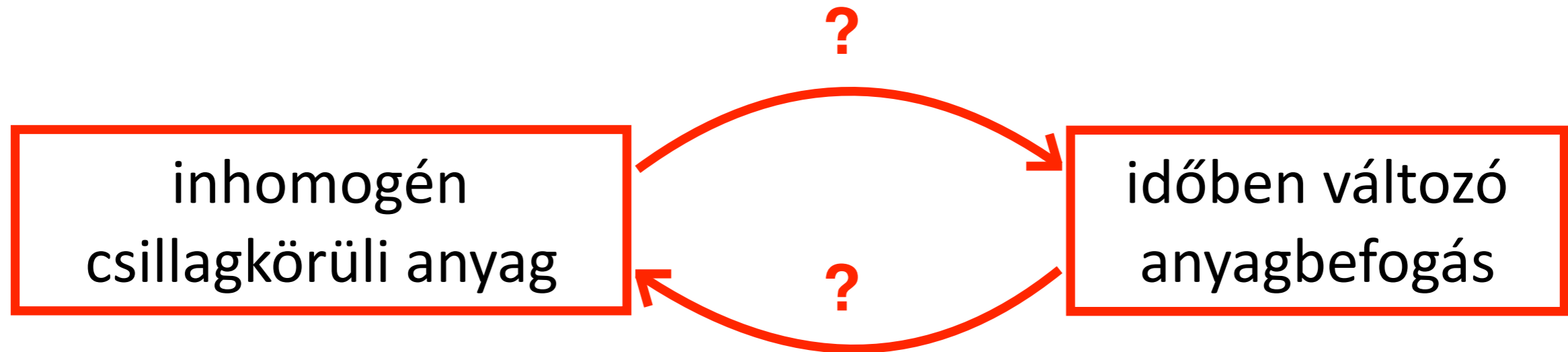






# A fiatal eruptív csillag-projekt

- **Ötlet: kétirányú kölcsönhatás vizsgálata:**



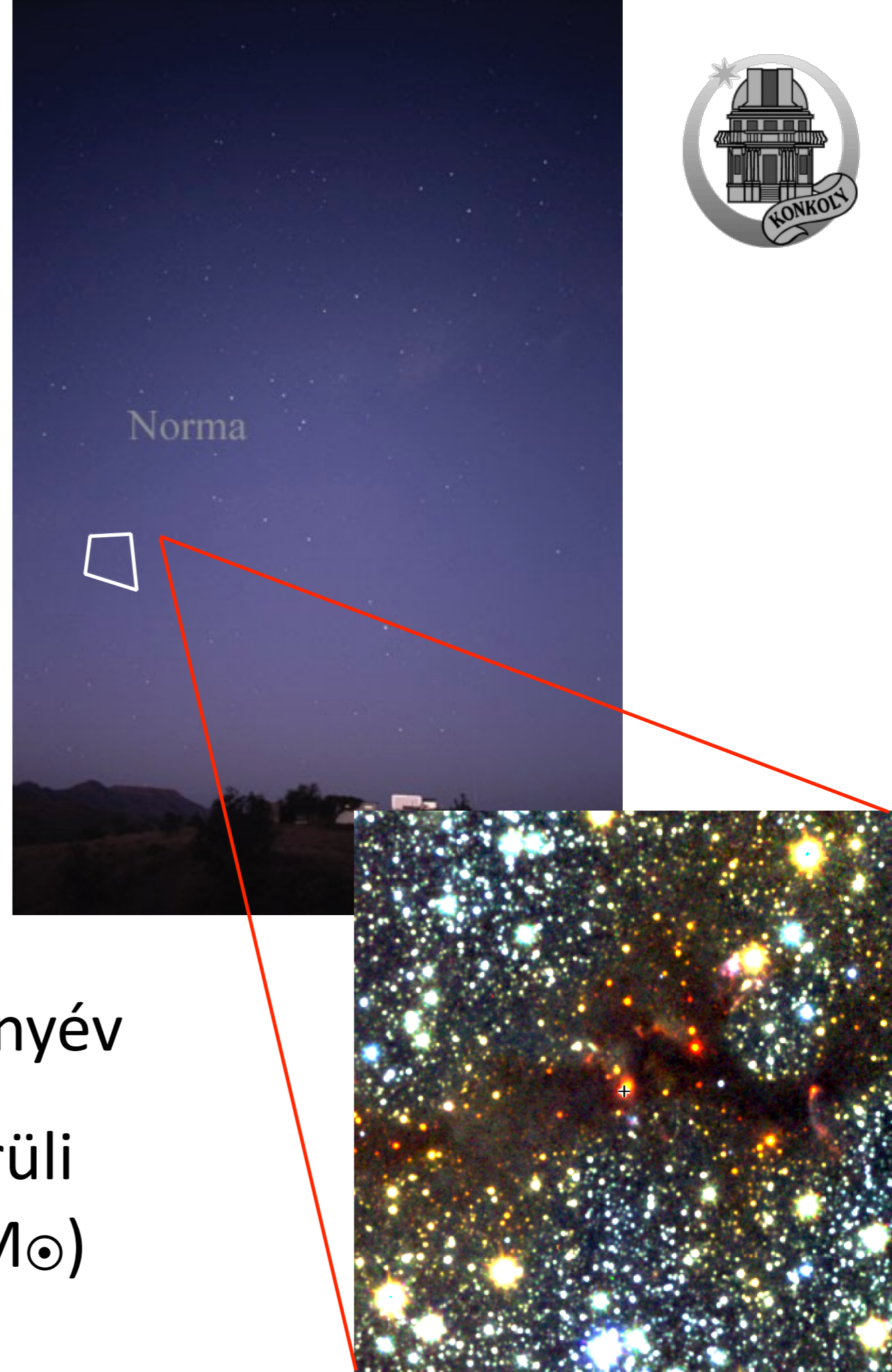
- **Módszer:** kombináljunk

több időpontban, több hullámhosszon, többféle mérés technikával készült észleléseket

több térbeli skálán is működő időfüggő szimulációkkal

# A célpont: V346 Nor

- 1980 körül tört ki
- Déli objektum (RA = 16 h, DEC =  $-44^\circ$ )
- Elhelyezkedése: Norma 1, Sandquist 187
- Távolsága: 700 pc / 2300 fényév
- Nagy mennyiségű csillagkörüli anyag veszi körbe ( $0.5 - 1 M_\odot$ )



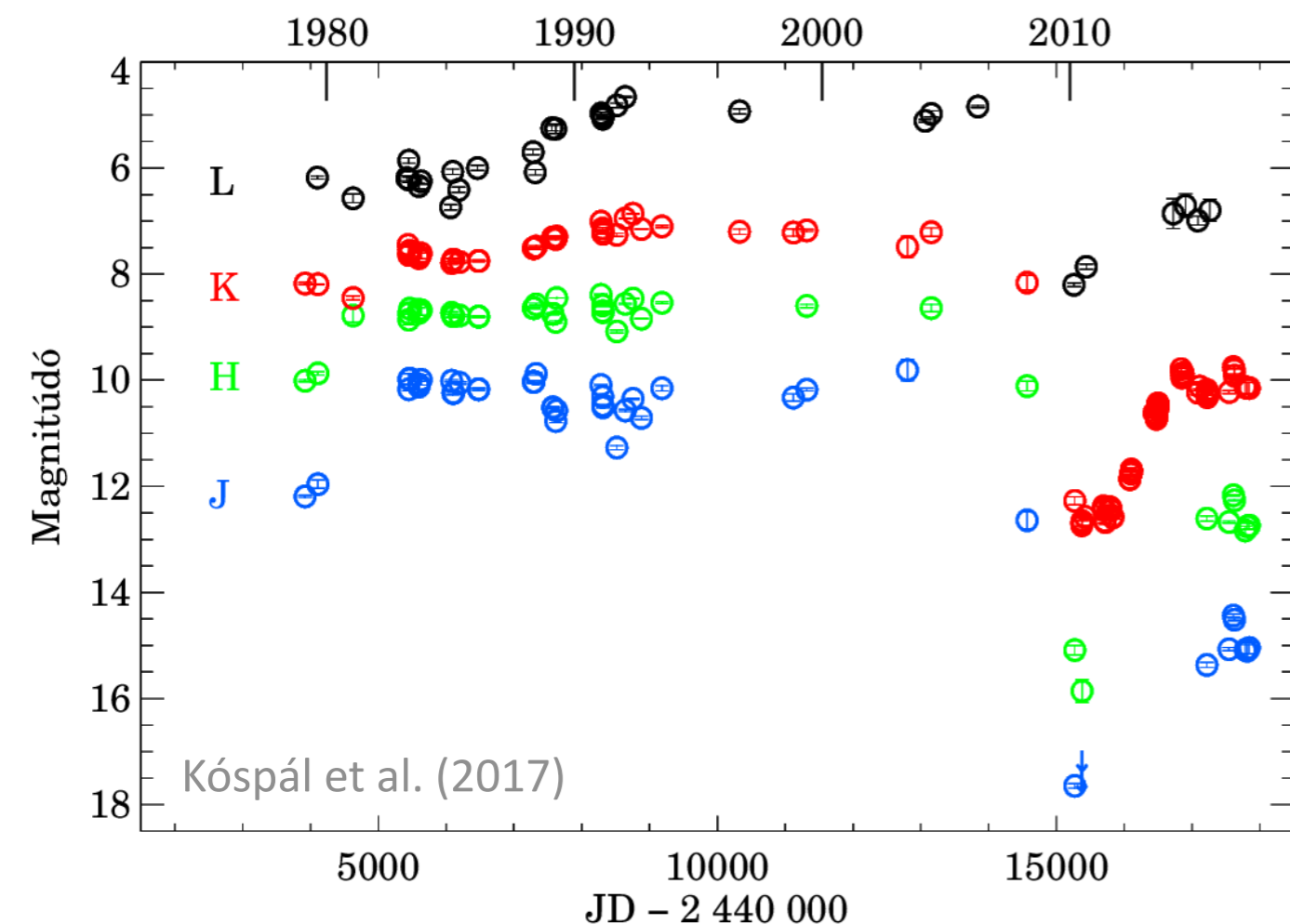
# Közepes távcsövek



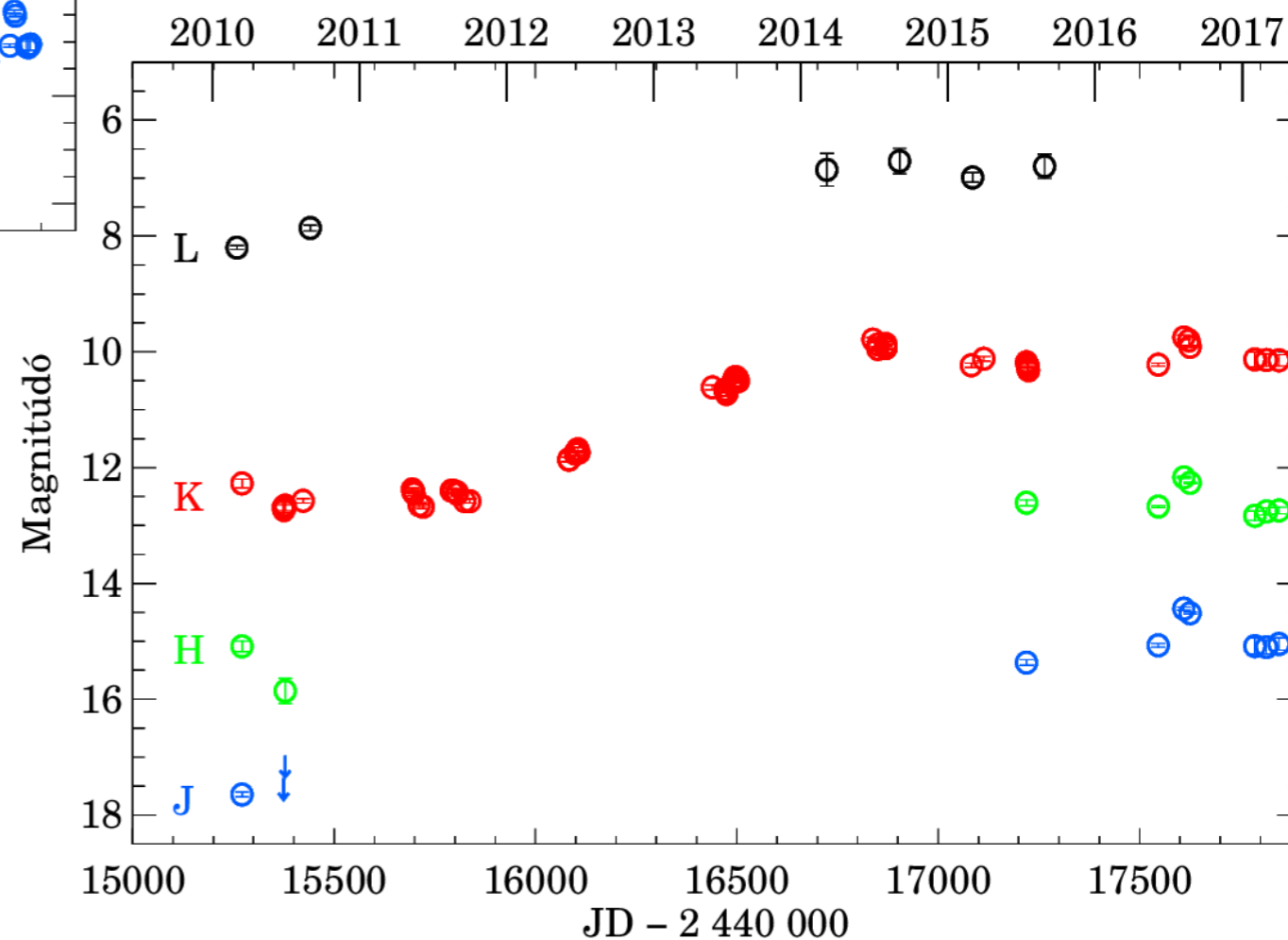
- Cerro Tololo Inter-American Observatory (Chile)
- Small and Moderate Aperture Research Telescope System (90 cm – 1.5 m távcsövek)
- SMARTS 1.3 m



# A V346 Nor infravörös fénygörbéi



- Kitörés 1980 körül
- Fényes állapot 1980–2010
- Váratlan, ideiglenes elhalványodás: 2010–14



# Nagy távcsövek: az ALMA



- Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array
- A világ egyik legnagyobb csillagászati vállalkozása (építési költség: 1 milliárd euró)
- Helyszín: Chile, Atacama sivatag, 5050 m tengerszint felett



# Nagy távcsövek: az ALMA



- 54 darab 12 m-es és 12 darab 7 m-es antenna
- Teljes fénygyűjtő felület: 6600 négyzetméter
- 0,3 – 3,6 mm sugárzást mér
- antennák felülete tökéletes parabola ( $< 20 \mu\text{m}$ )
- térbeli felbontása: 0,006 ívmásodperc (golflabda 1500 km-ről)

ALMA

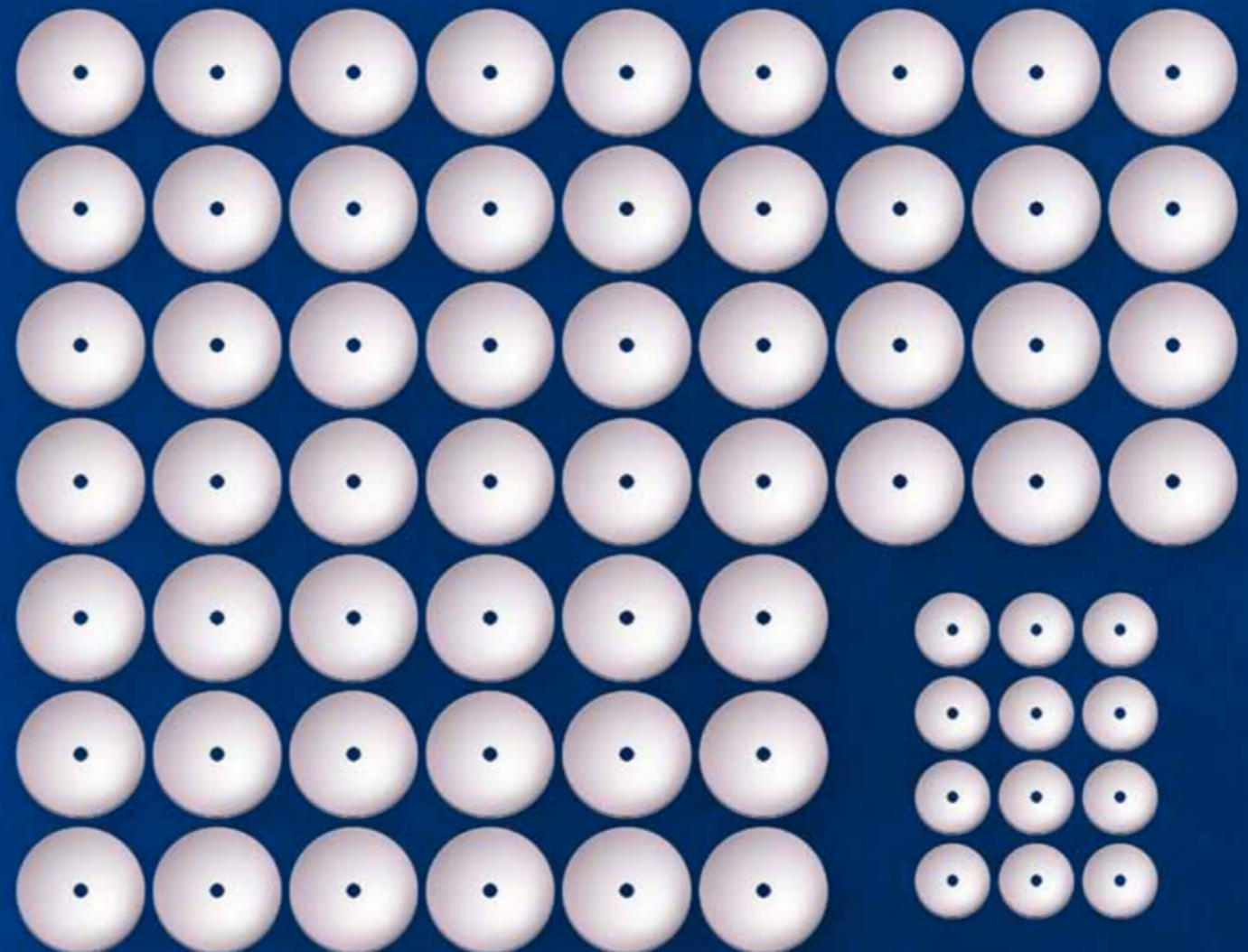
Fifty four 12-meter dishes and twelve 7-meter dishes

VLT

Four 8.2-meter mirrors

HUBBLE

One 2.4-meter mirror



# Nagy távcsövek: az ALMA



## Az ALMA lehetővé teszi, hogy:

- detektáljuk a korongokat és burkokat (**érzékenység**)
- megvizsgáljuk a szerkezetüket (**térbeli felbontás**)
- kinematikai vizsgálatokat végezzünk (**spektrális felbontás**)

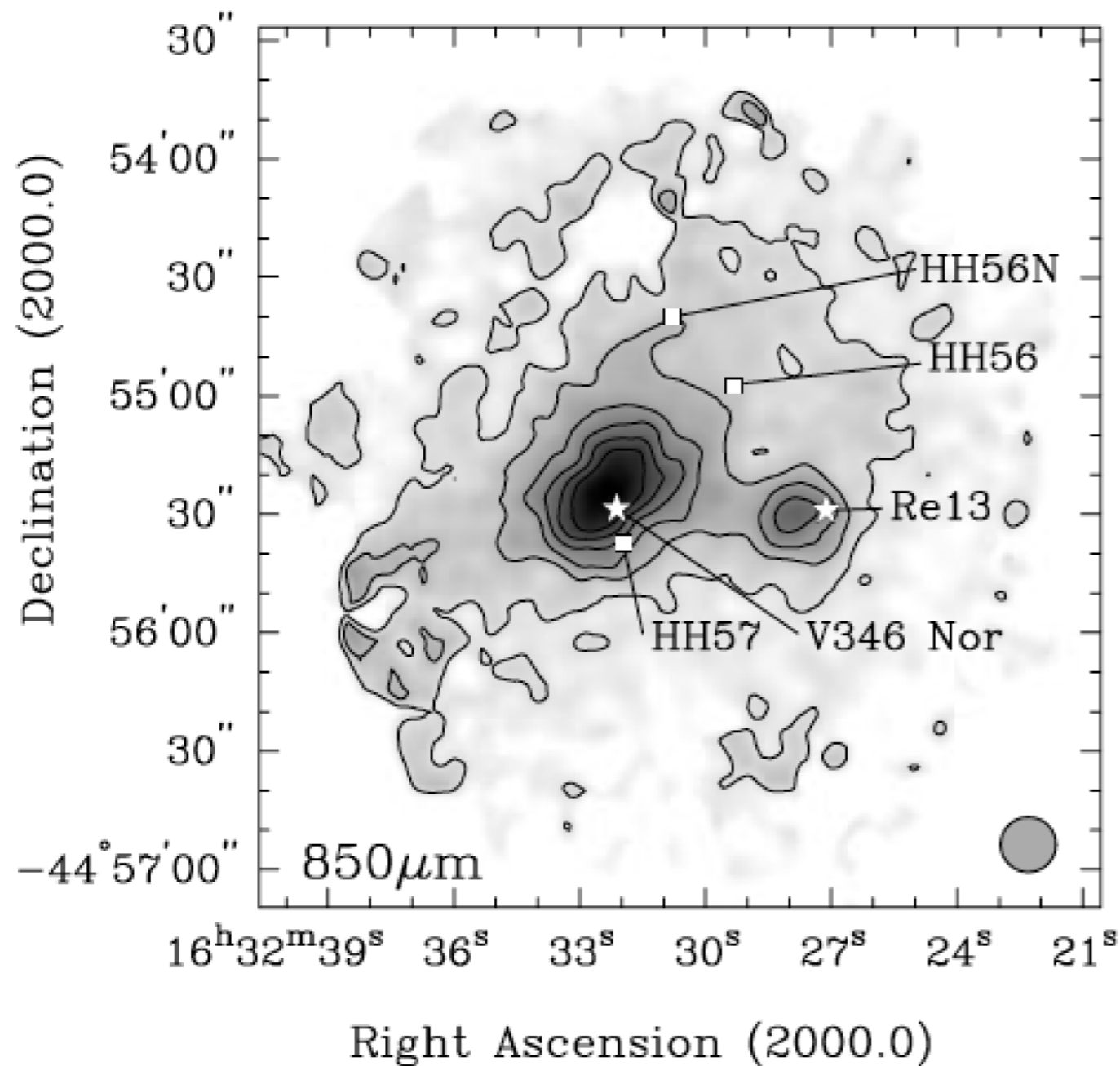
[almaobservatory.org](http://almaobservatory.org)



# A hideg por sugárzása



JCMT/SCUBA 850  $\mu\text{m}$



Sandell & Weintraub (2001)

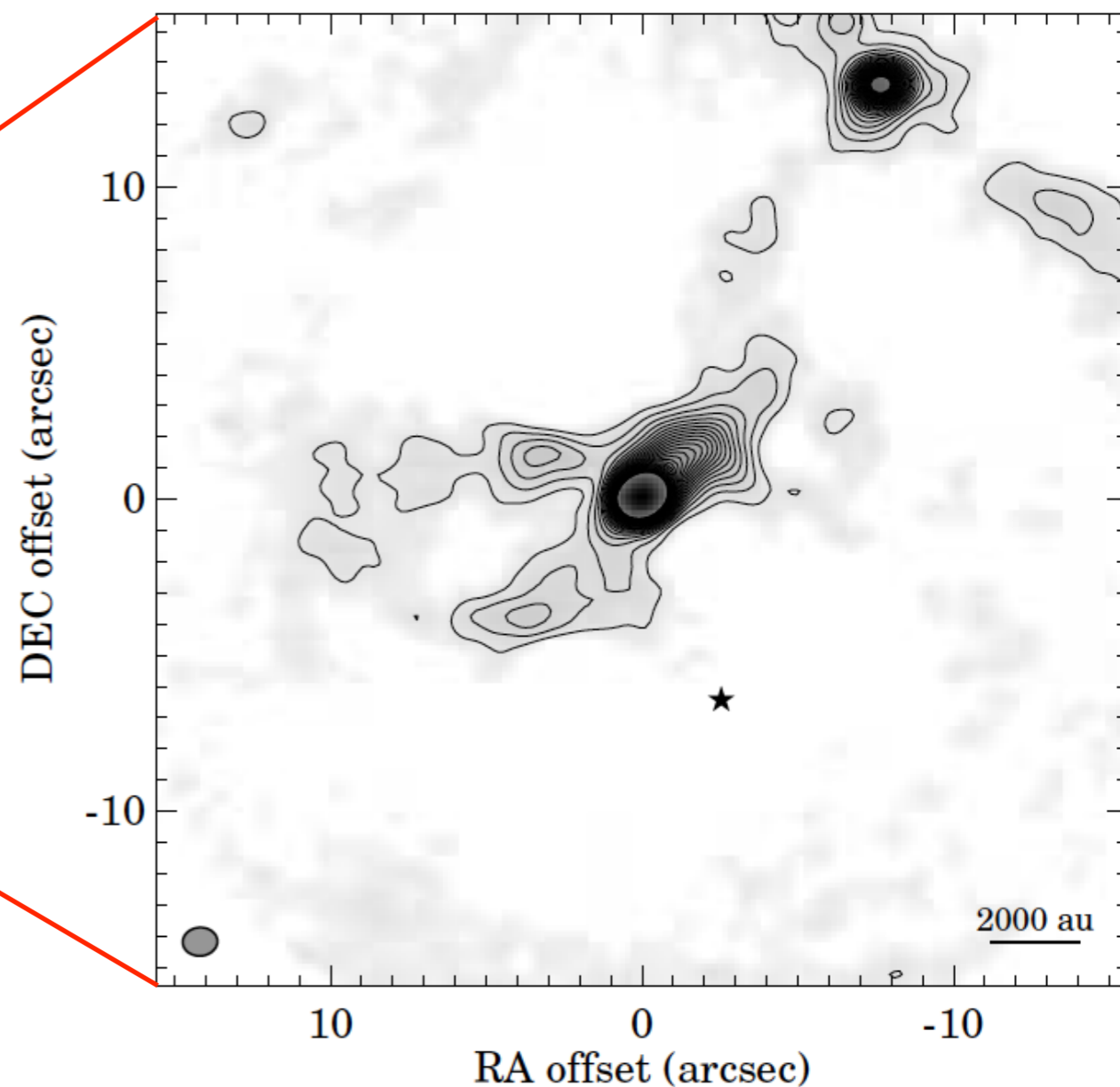
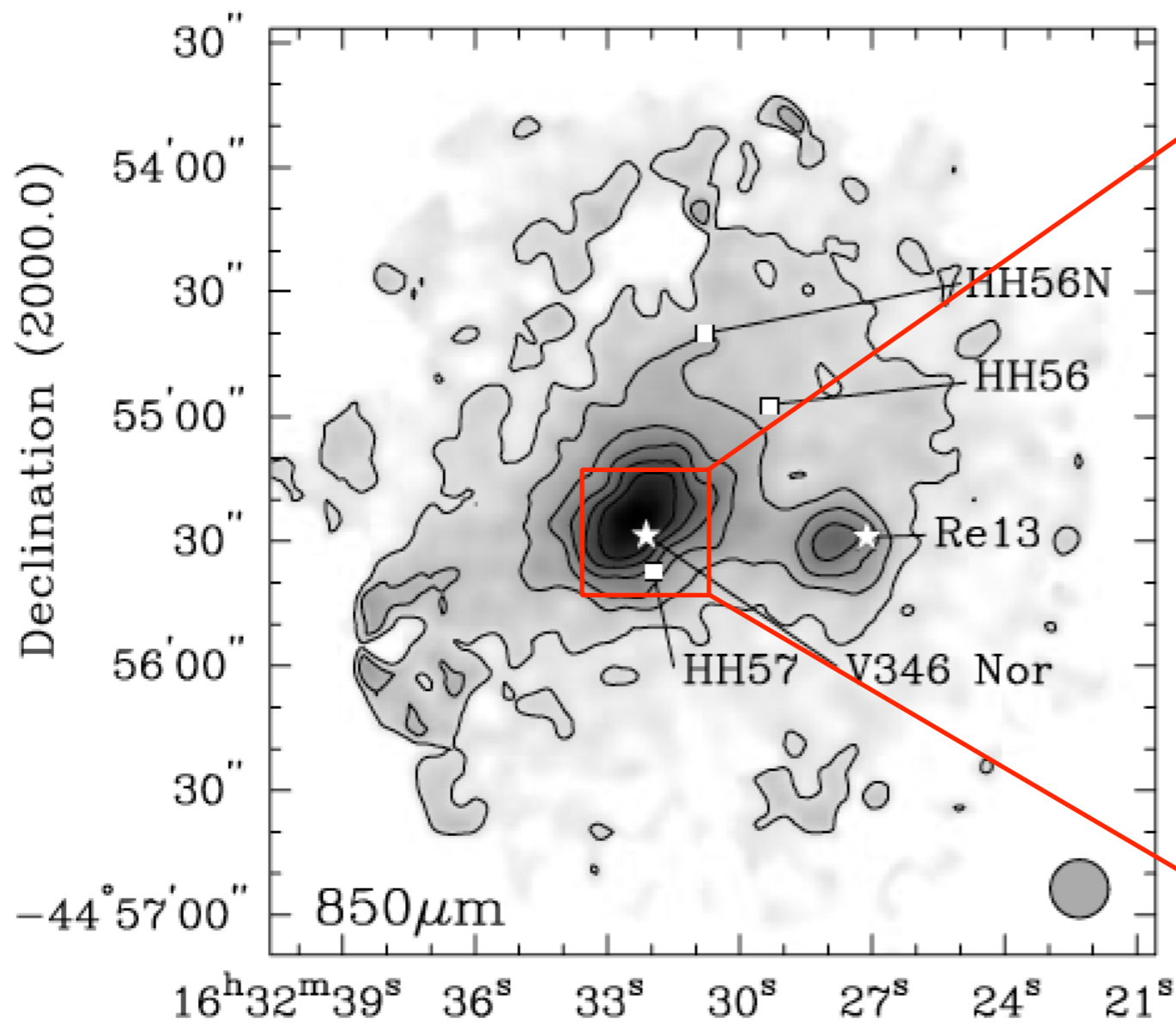


# A hideg por sugárzása



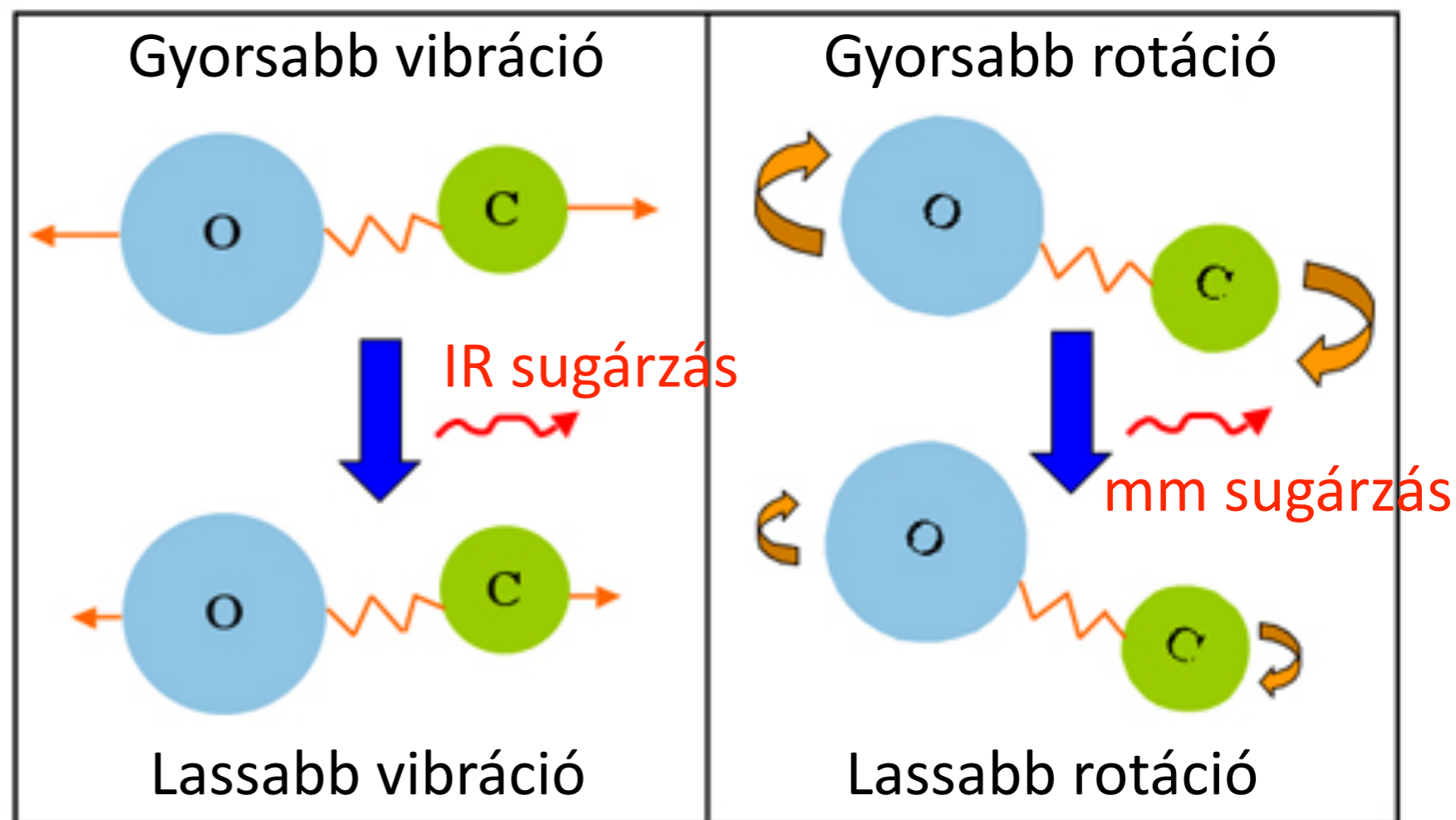
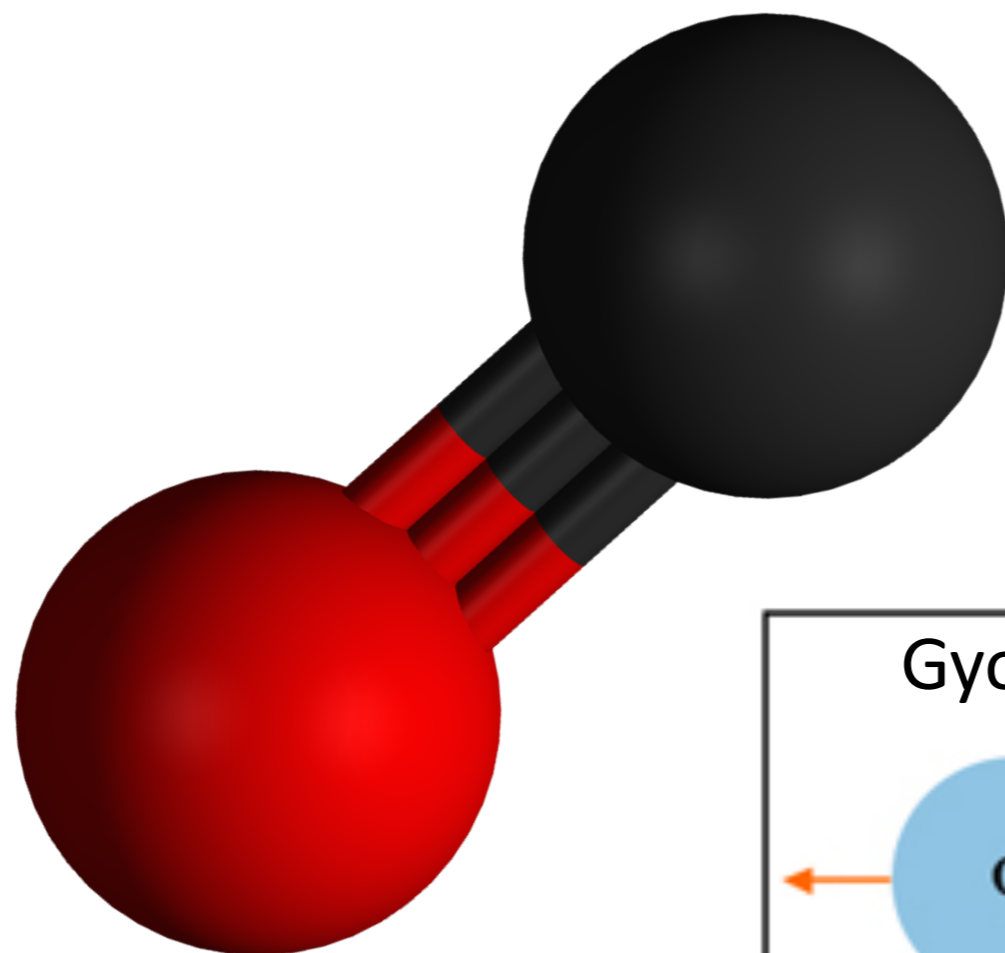
JCMT/SCUBA 850  $\mu\text{m}$

ALMA 1.32 mm

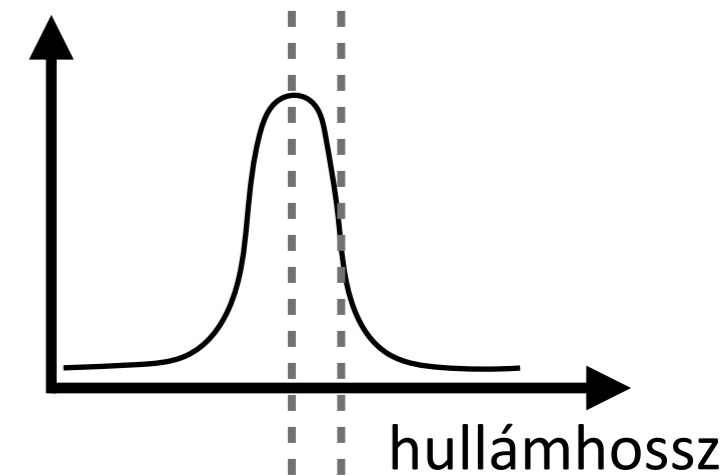
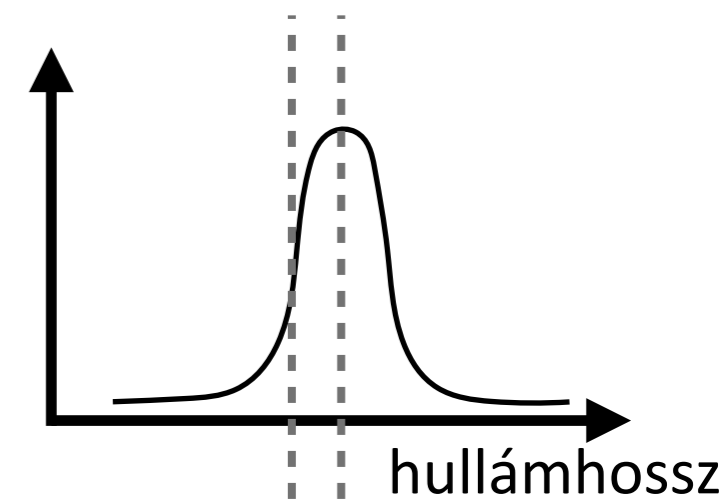


Sandell & Weintraub (2001)

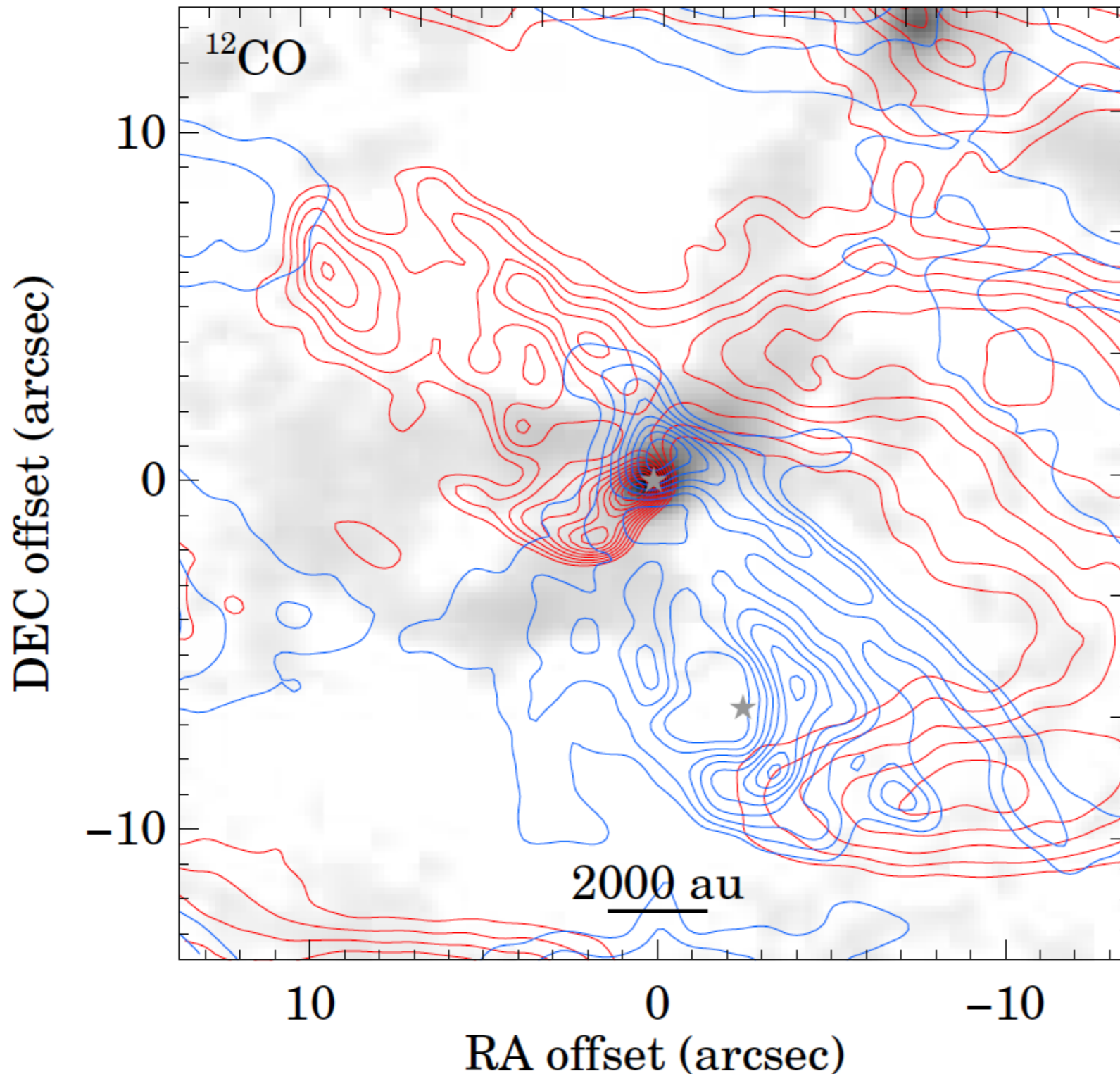
# A hideg gáz sugárzása: szénmonoxid



# A gáz mozgása Doppler-effektussal



# A hideg gáz sugárzása



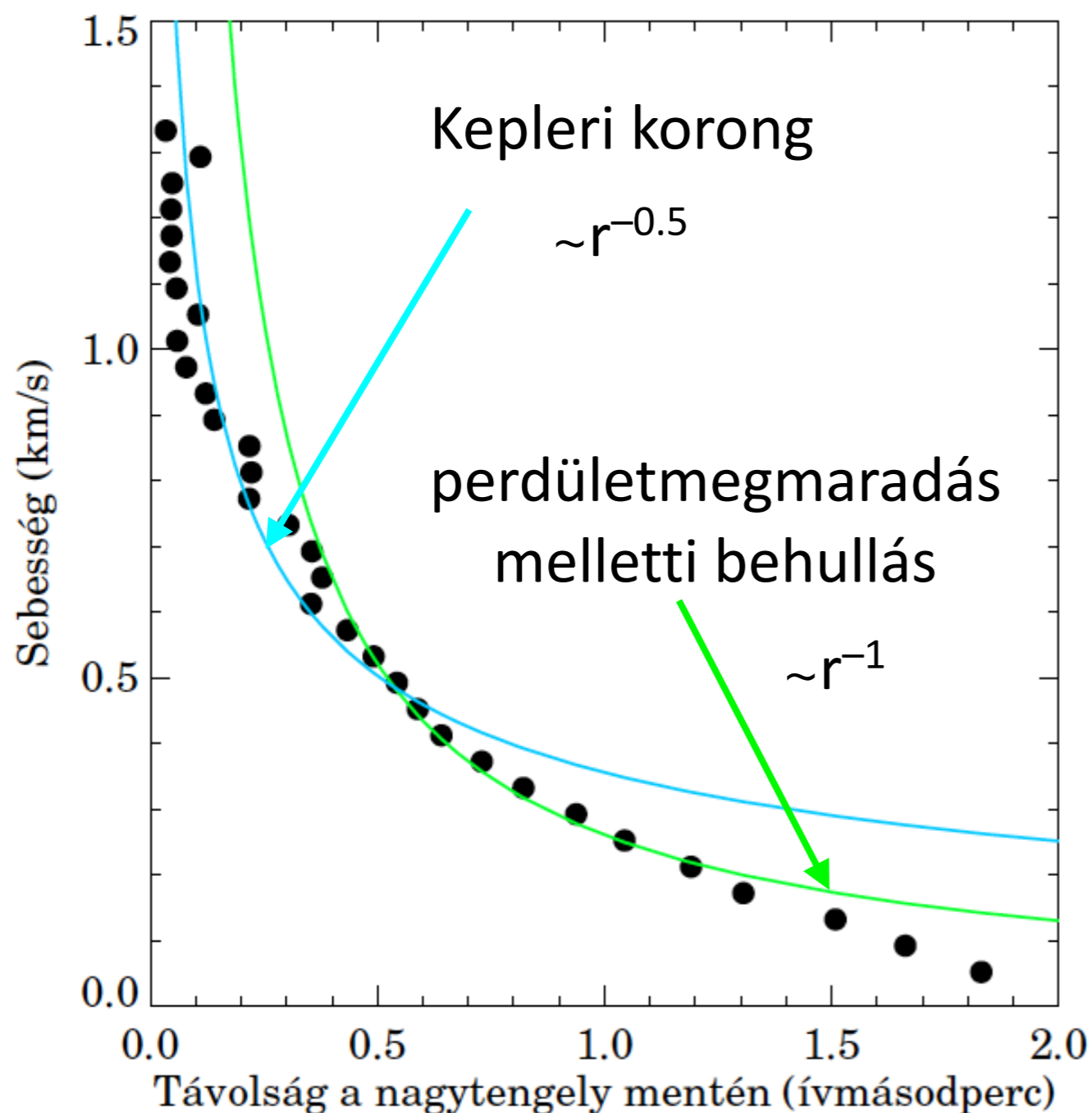
vöröseltolódott  
sugárzás: anyag  
távolodik tőlünk

kékeltolódott  
sugárzás: anyag  
közeledik hozzánk



anyag kering  
a csillag körül

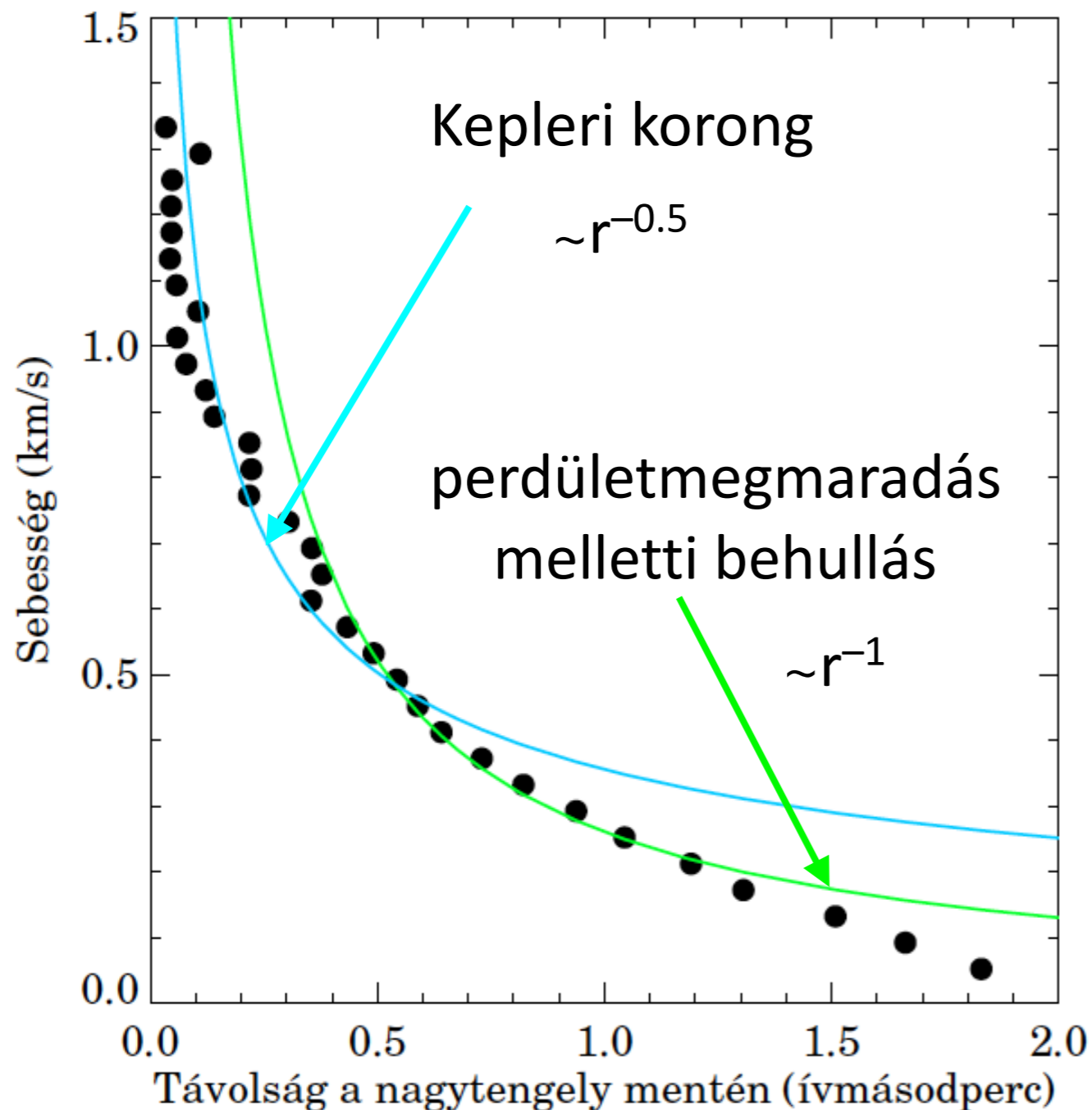
# Keringési sebesség



Legfelül az anyag Kepler törvényeinek megfelelően kering egy  $0,1 M_{\odot}$  tömegű csillag körül

Első közvetlen mérés egy FUor csillag tömegére

# Keringési sebesség



Kijebb az anyag kering és befelé hullik

Kiszámolható a behullási ráta:  $6 \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{év}$

Tömegbefogási ráta nyugalomban:  $< 10^{-6} M_{\odot}/\text{év}$

A kettő közti eltérés okozhatja a kitöréseket?

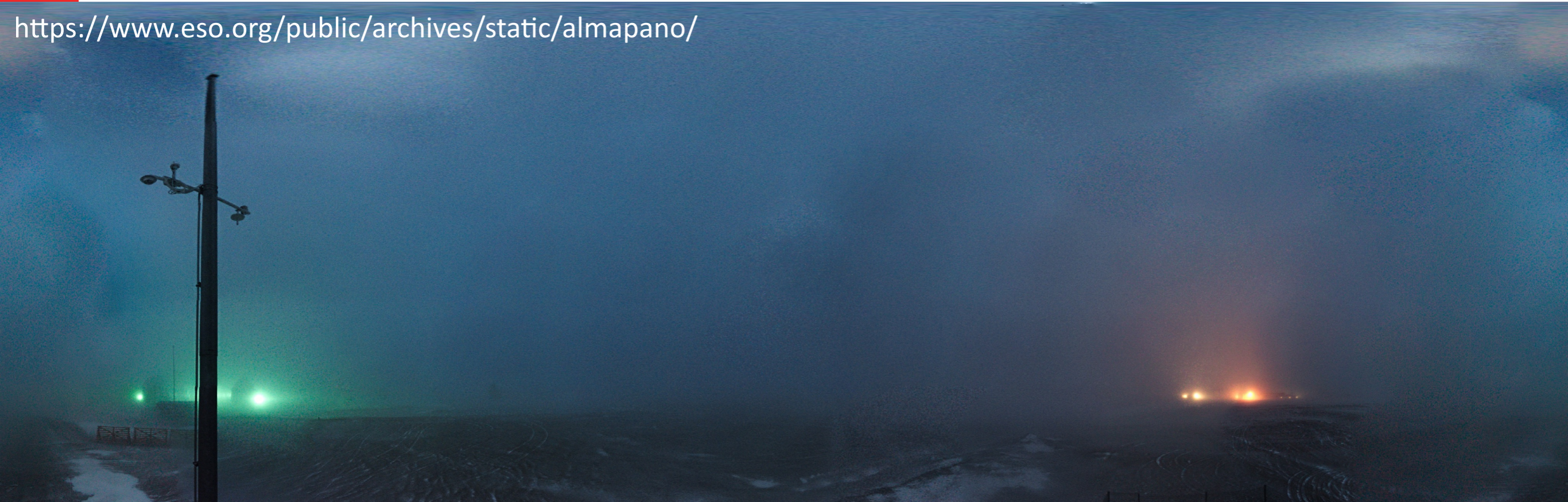
# Piszkéstető múlt szerdán és csütörtökön



(Hanyecz Ottó és Ordasi András)

# Az ALMA múlt szerdán

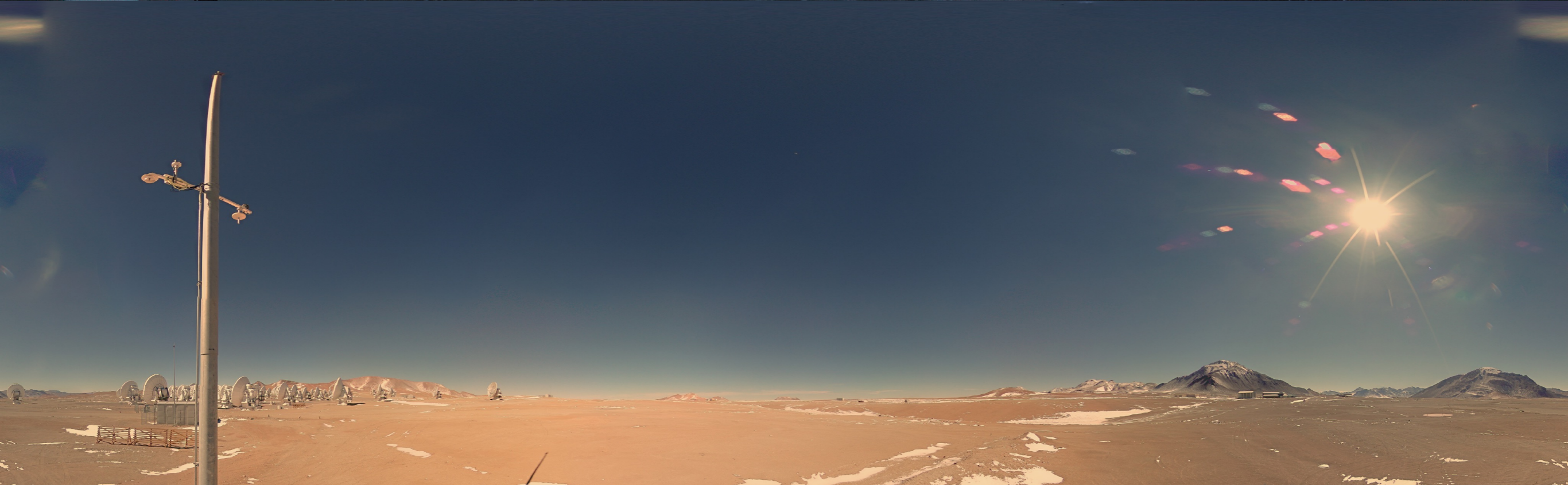
<https://www.eso.org/public/archives/static/almapano/>





# Az ALMA múlt szerdán és csütörtökön

<https://www.eso.org/public/archives/static/almapano/>









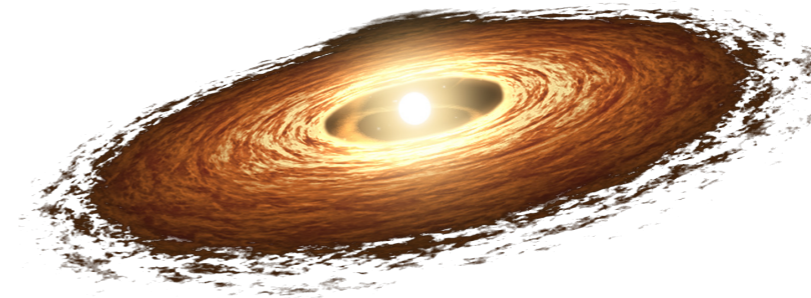
# A közeljövő: a SACCREd projekt

- **Structured ACCRetion Disks: initial conditions for planet formation in the time domain**
- Strukturált anyagbefogási korongok, mint a bolygókeletkezés időfüggő kezdőfeltételei
- ERC-StG #716155
- **Az első sikeres ERC pályázat az MTA CSFK-ban**
- Időtartam: **2017 – 2022**
- Támogatási összeg: **1 302 000 EUR**
- PI: **Á. Kóspál**
- Csoporttagok : 3 postdoc, 2 doktorandusz, 2 technikus

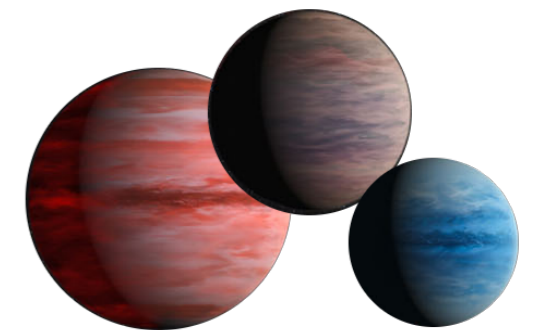
# A SACCREED projekt



## Várható eredmények:



- Bizonyítjuk, hogy az akkréciós változékonyság és kitörések **mindenütt előfordulnak**
- Meghatározzuk, hogy ezeknek miféle **alapvető hatása** van a korongra
- Igazoljuk, hogy az eruptív jelenséget **figyelembe kell venni** a bolygókeletkezést leíró modellekben



## Lehetséges hatás:

- Realisztikus kezdőfeltételek bolygókeletkezési modellek számára az **idő függvényében**
- Alap ahhoz, hogy elkezdhessük keresni a korongok és bolygók közti **hiányzó láncszemeket**