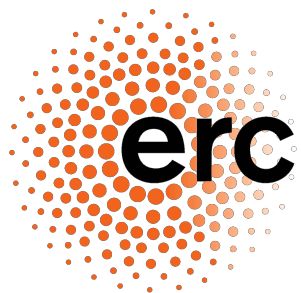


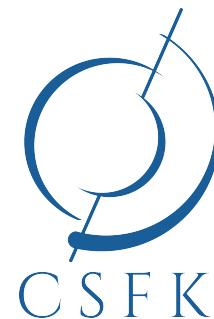
# A csillagkeletkezés vizsgálata új interferometrikus műszerekkel



**Kóspál Ágnes**

MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont  
Konkoly-Thege Miklós Csillagászati Intézet

Lendület Korong-Kutató Csoport  
Strukturált Csillagkörüli Korongok ERC SG



MTA 189. közgyűlése – A fizika fejlődési irányai – 2018. május 10.

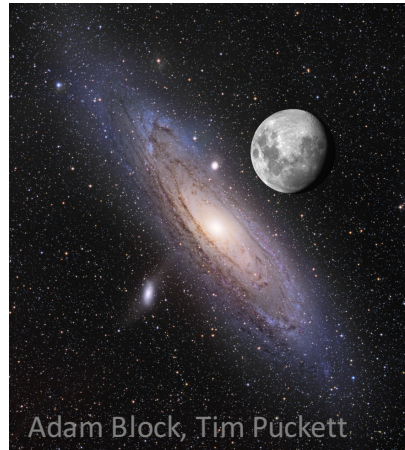
# Mekkora a csillagászati objektumok látszó mérete?

- Üstökös csóvával, csillaghalmazok:  $1 - 10^\circ$

- Androméda galaxis:  $2^\circ$

- Nap, Hold:  $0,5^\circ = 30'$

- Jupiter, Szaturnusz:  $20'' - 50''$



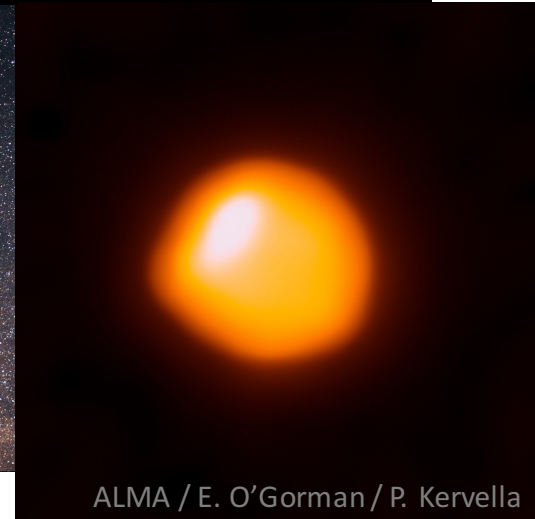
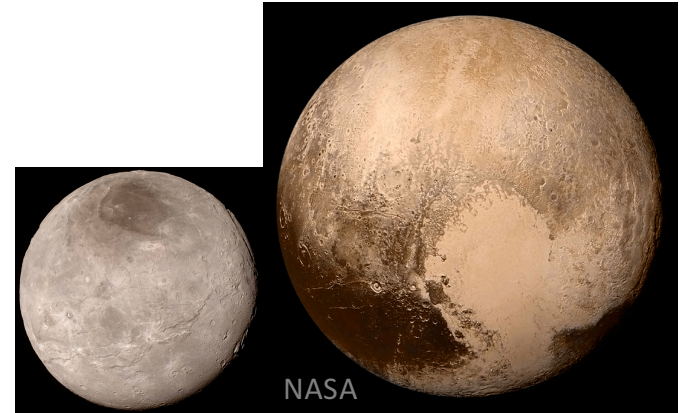
# Mekkora a csillagászati objektumok látszó mérete?

- Plutó: 0,1''

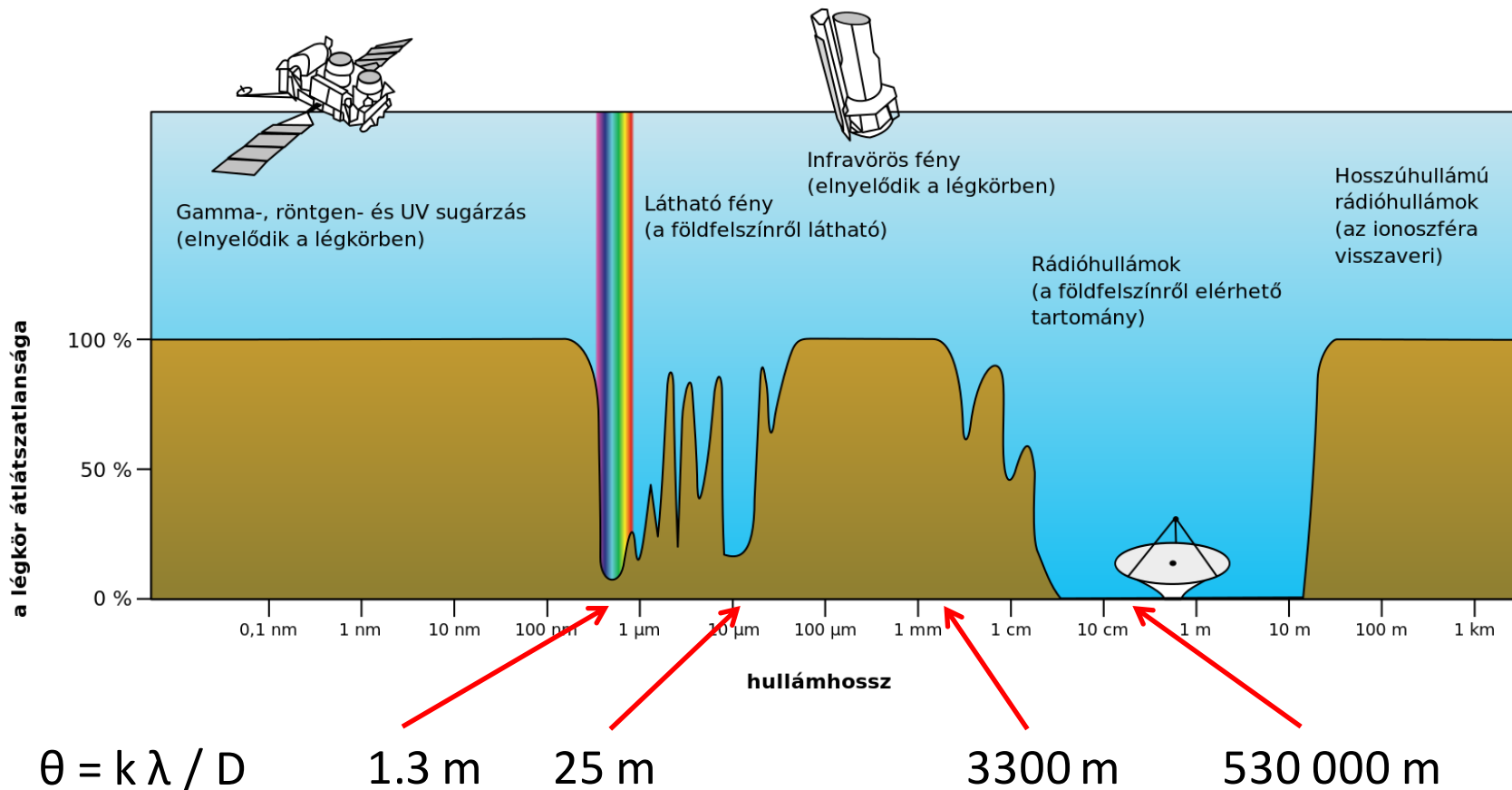
- Charon: 0,06''

- Betelgeuse: 0,05''

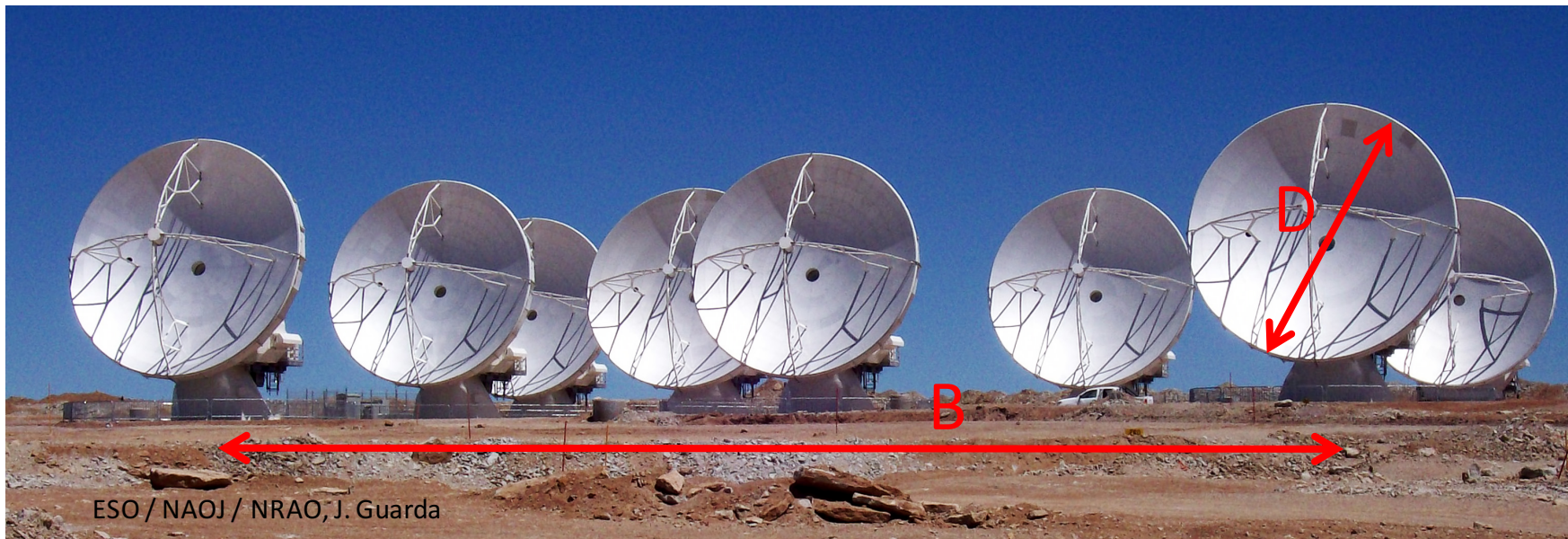
- Proxima Centauri: 0,001''



# Mekkora távcső kell < 0.1" felbontáshoz?



# Interferometria: a gazdaságos óriástávcső



$$\theta = k \lambda / D$$

helyett

$$\theta = k \lambda / B$$

$\lambda$ : észlelés hullámhossza

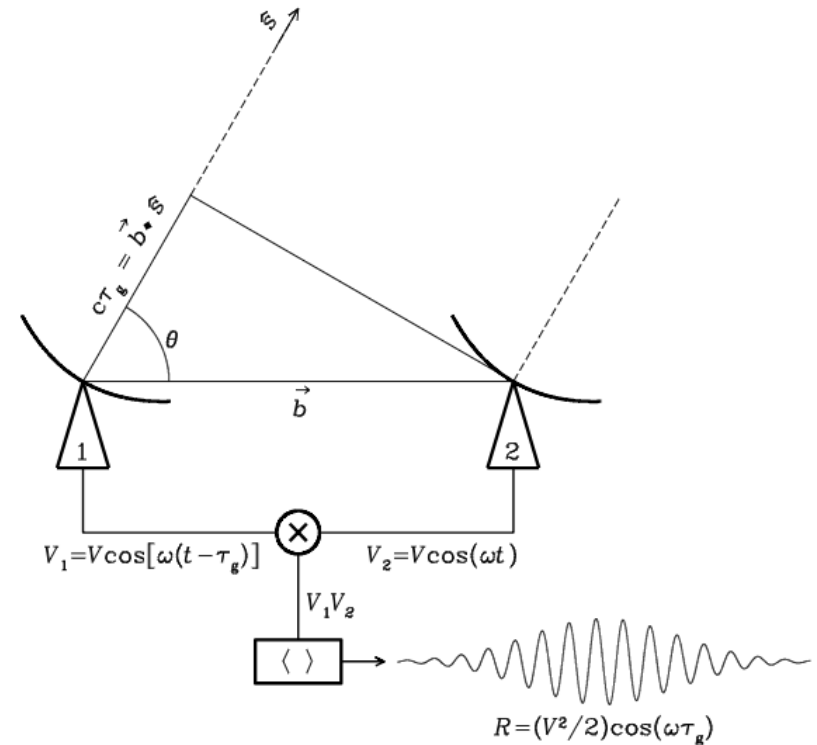
D: a távcső vagy antenna átmérője

B: a távcsövek vagy antennák közti távolság

$k = 70$  (ha  $\theta$ -t fokban mérjük)

# Interferometria: csillagászati csúcstechnika

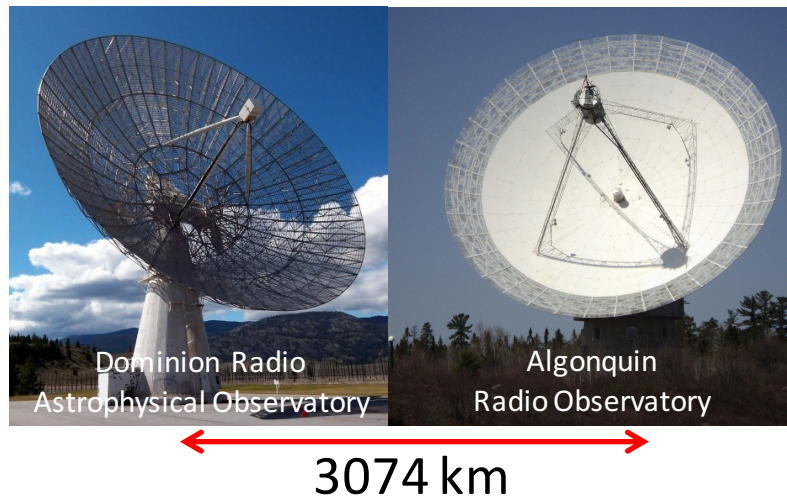
- **Milliméteres és rádiótartományban:**  
a sugárzást először detektálják és felerősítik majd kombinálják (heterodin technika)
- **Optikai és infravörös tartományban:**  
a sugárzást először kombinálják majd megméri az jelet (Michelson vagy Fizeau interferométer)
- Távoli teleszkópok **összehangolt** mérésén alapul, a távcsövek jeleit interferáltatják → a mért jel nem intenzitás, hanem vizibilitás (amplitúdó és fázis)



Condon & Ransom (2016)

# Történeti bevezető

- A csillagászati interferometria kezdetei: 1940-es évek
- Nagyon hosszú bázisvonalú interferometria = Very Long Baseline Interferometry (VLBI): 1967
- Korábban: az adatok és atomórák pontos időjeleinek mágneses hordozóra (korábban mágnesszalag, majd diszk) rögzítésével, az interferencia utólagos előállításával (korrelálás)
- Napjainkban: e-VLBI – valós idejű korrelálás szélessávú optikai kábelekkel összekötött antennák hálózatában





JIVE

Joint Institute for VLBI  
ERIC

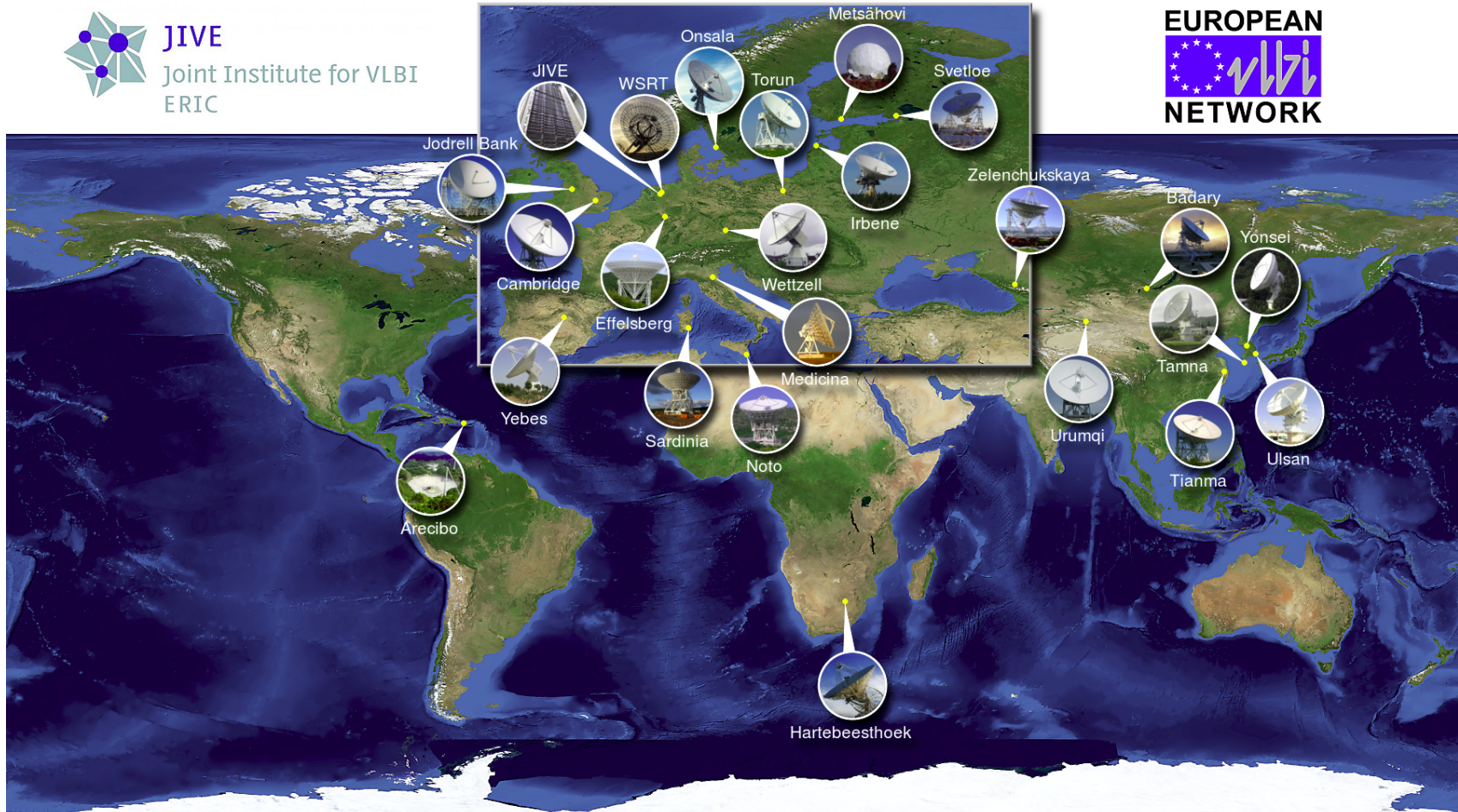
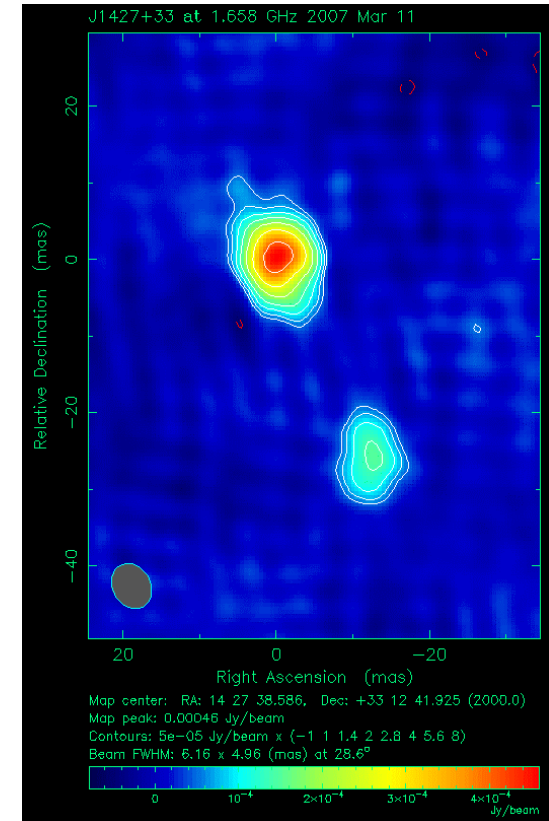


Image by Paul Boven (boven@jive.eu). Satellite image: Blue Marble Next Generation, courtesy of Nasa Visible Earth (visibleearth.nasa.gov).



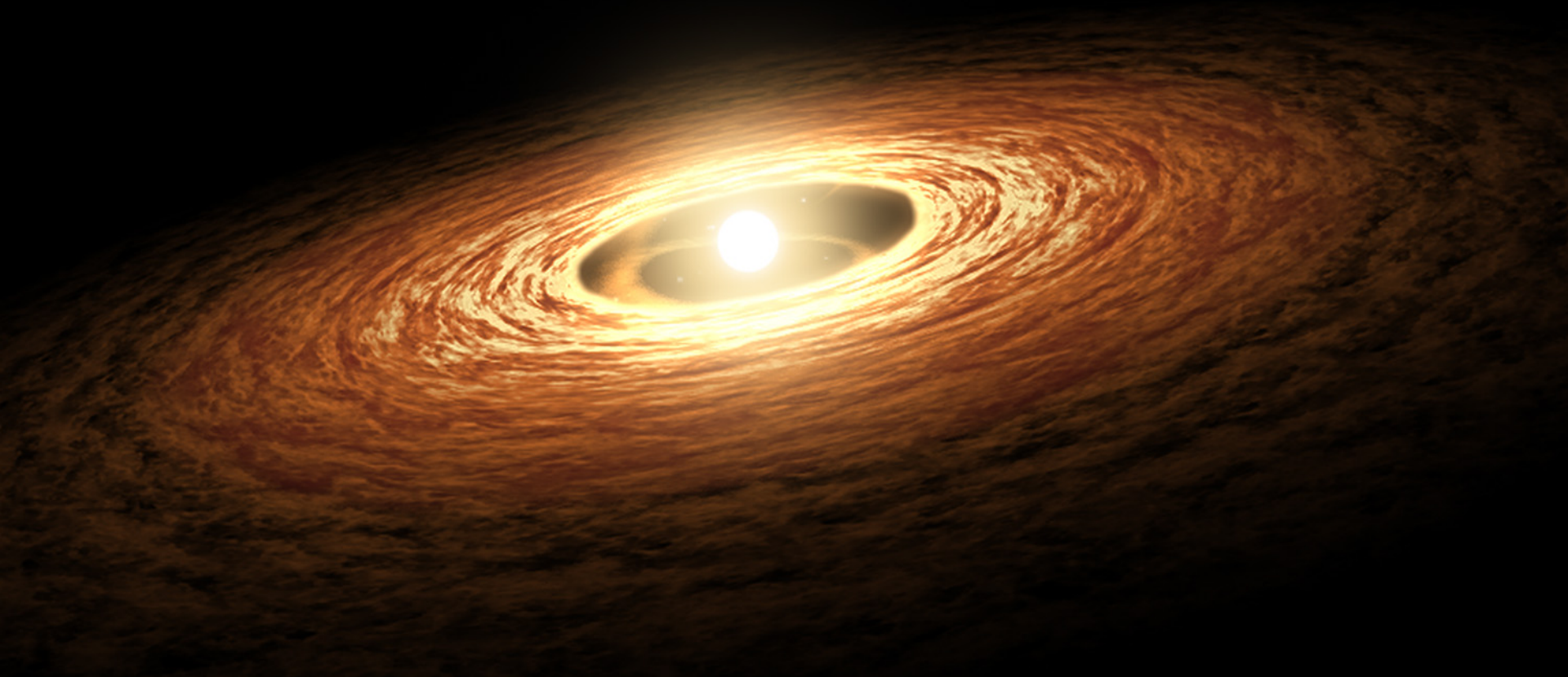
# Egy különös kvazár a világ végén

- Az egyik legtávolabbi ismert rádiósugárzó kvazár ( $z=6,12$ )
- Két, egymástól kb. 500 fényévre látszó komponensből áll
- Valószínűleg egy nemrég született, csak néhány 100 vagy 1000 éves fiatal aktív galaxismagot látunk a 14 milliárd éves múltból

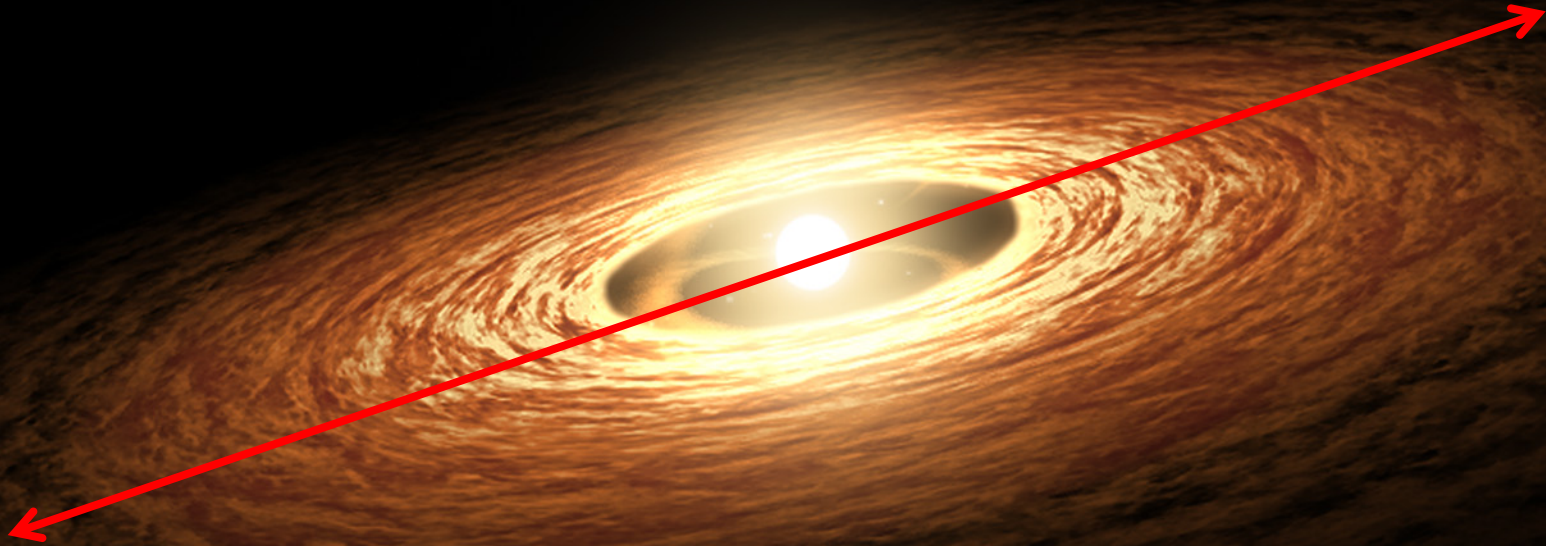


Frey et al. (2008)

# Csillagkeletkezés



# Csillagkeletkezés



150 CSE = 1" (a legközelebbi csillagkeletkezési területeken)

# Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA)



Ariel Marinkovic / X-Cam

Köspál: Csillagkeletkezés új interferometrikus műszerekkel

# Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA)

- Helyszín: Chile, Atacama sivatag, 5050 m tengerszint feletti magasság
- 54 darab 12 méteres és 12 darab 7 méteres antenna
- Antennák felülete tökéletes parabola ( $< 20 \mu\text{m}$ )
- Teljes fénygyűjtő felület:  $6600 \text{ m}^2$
- 0,35 – 3 mm hullámhosszú sugárzást mér
- Legnagyobb bázisvonal: 16 km
- Térbeli felbontás: 0.006" (golflabda 1500 km-ről)
- Építési költsége: 1 milliárd EUR (globális összefogás)
- Első tudományos mérések: 2011





Arjel Marinkovic / X-Cam / ALMA

Köspár Csillagkeletkezés új interferometrikus műszerekkel

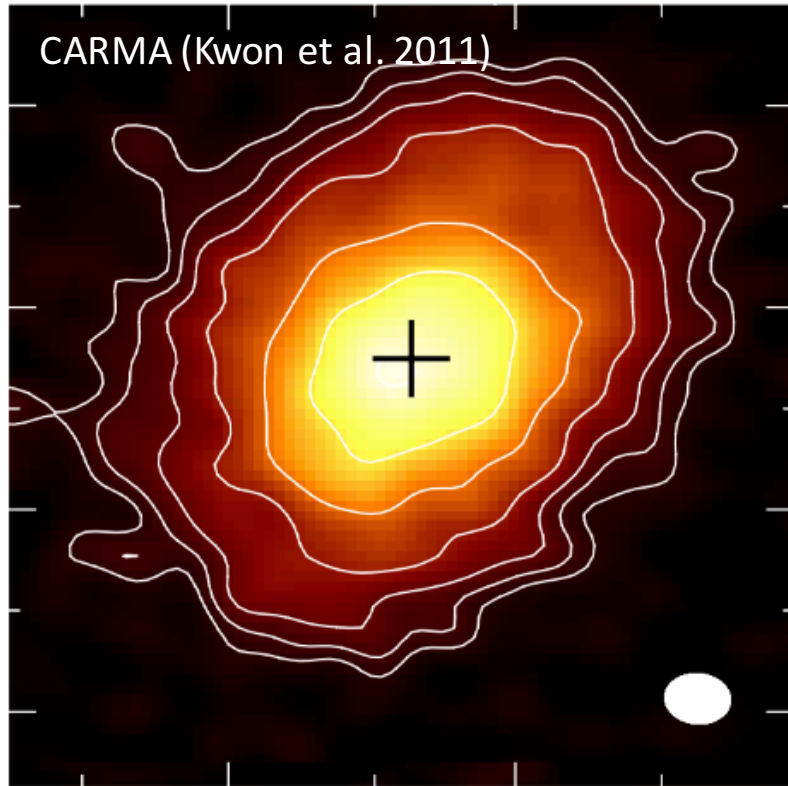
# Az ALMA korrelátor



Carlos Padilla – AUI/NRAO

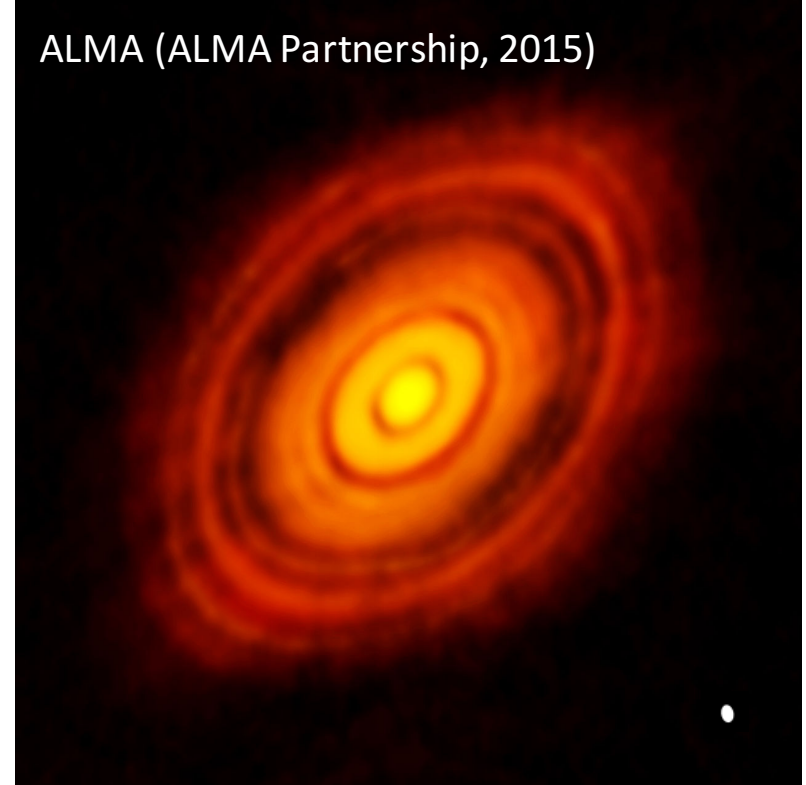
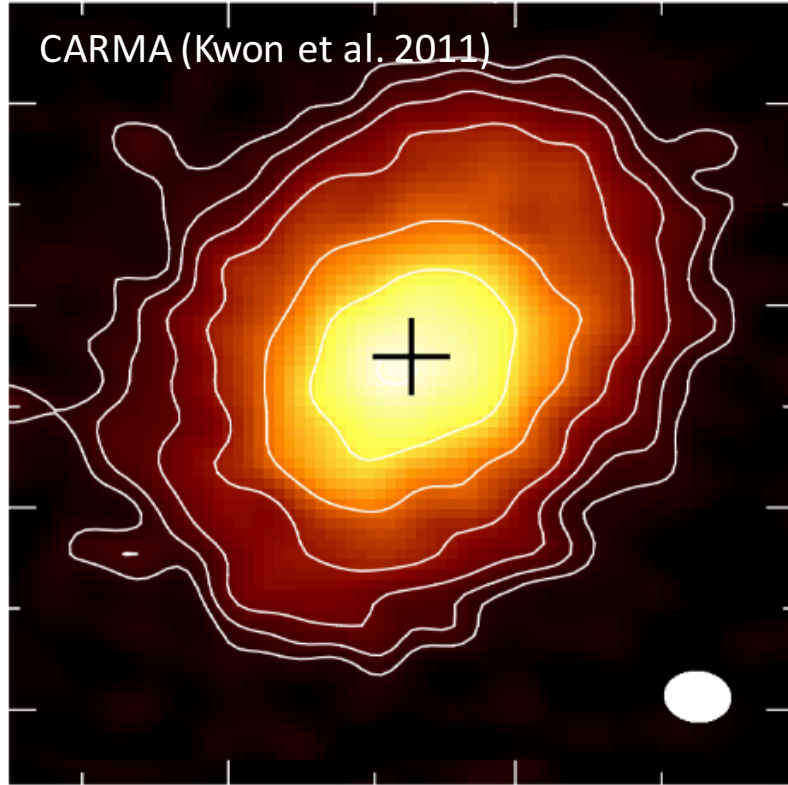
- A világ egyik legnagyobb szuperszámítógépe
- 134 millió processzor
- 17 peta-FLOP sebesség
- Antennákról másodpercenként 1 GB adat érkezik
- Évente 700 TB adatot kell tárolni

# A HL Tau korongja interferométerekkel

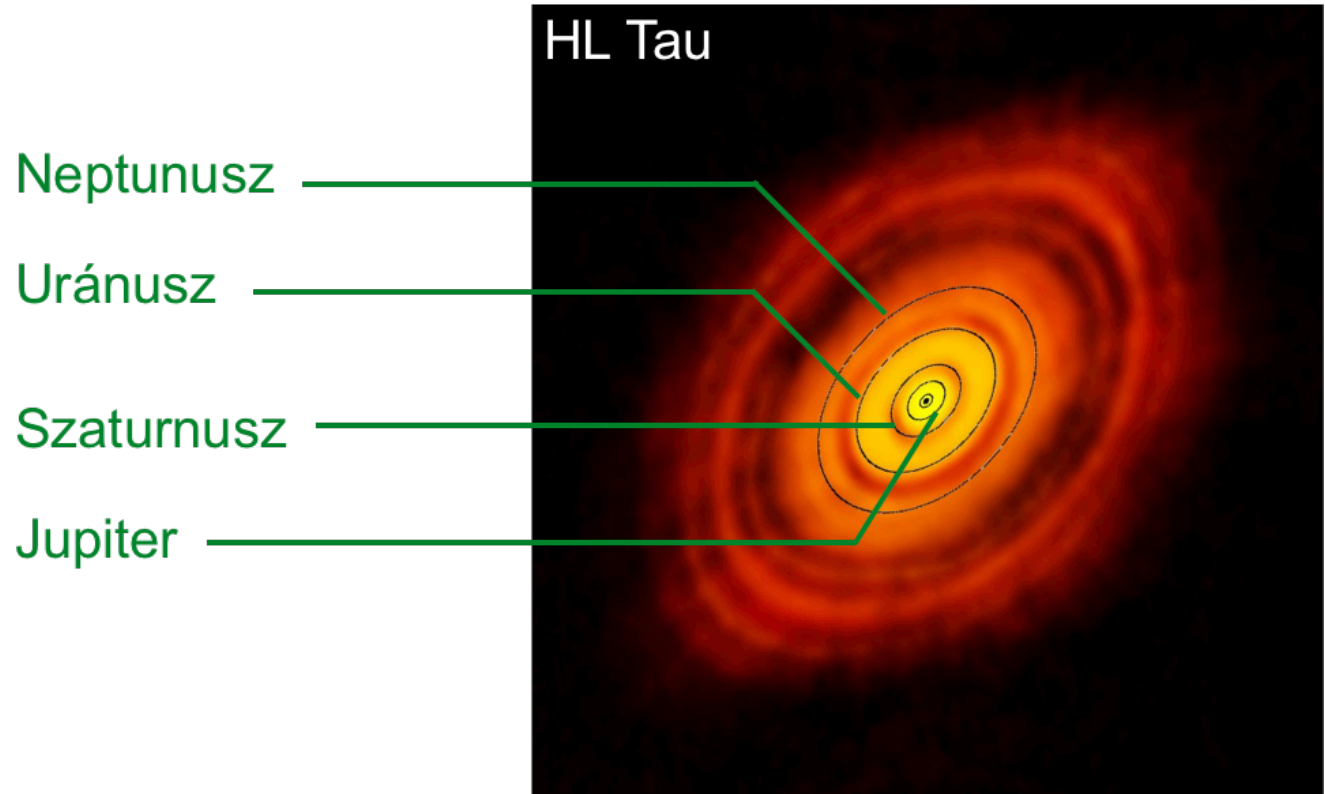




# A HL Tau korongja interferométerekkel



# A HL Tau korongja az ALMA-val

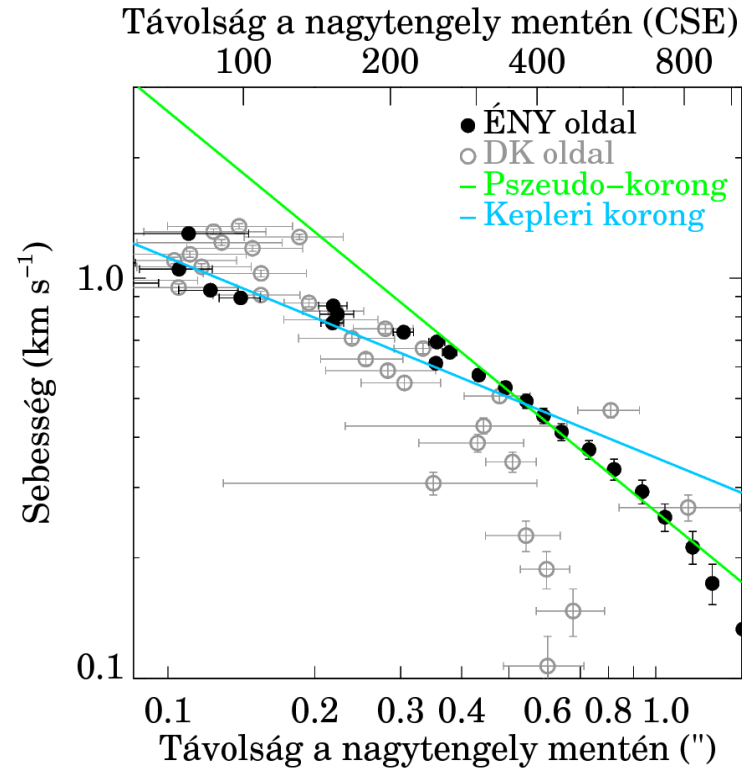
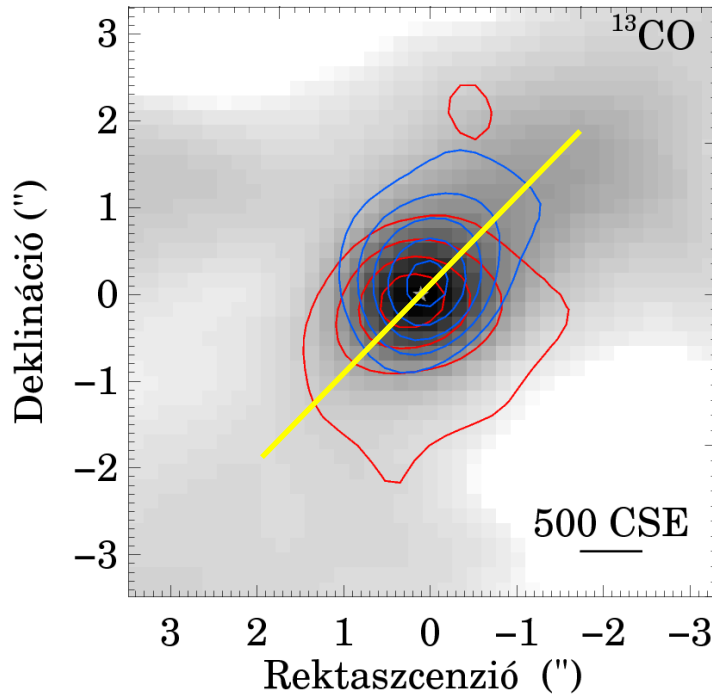


# Korong és pseudo-korong a V346 Nor-ban

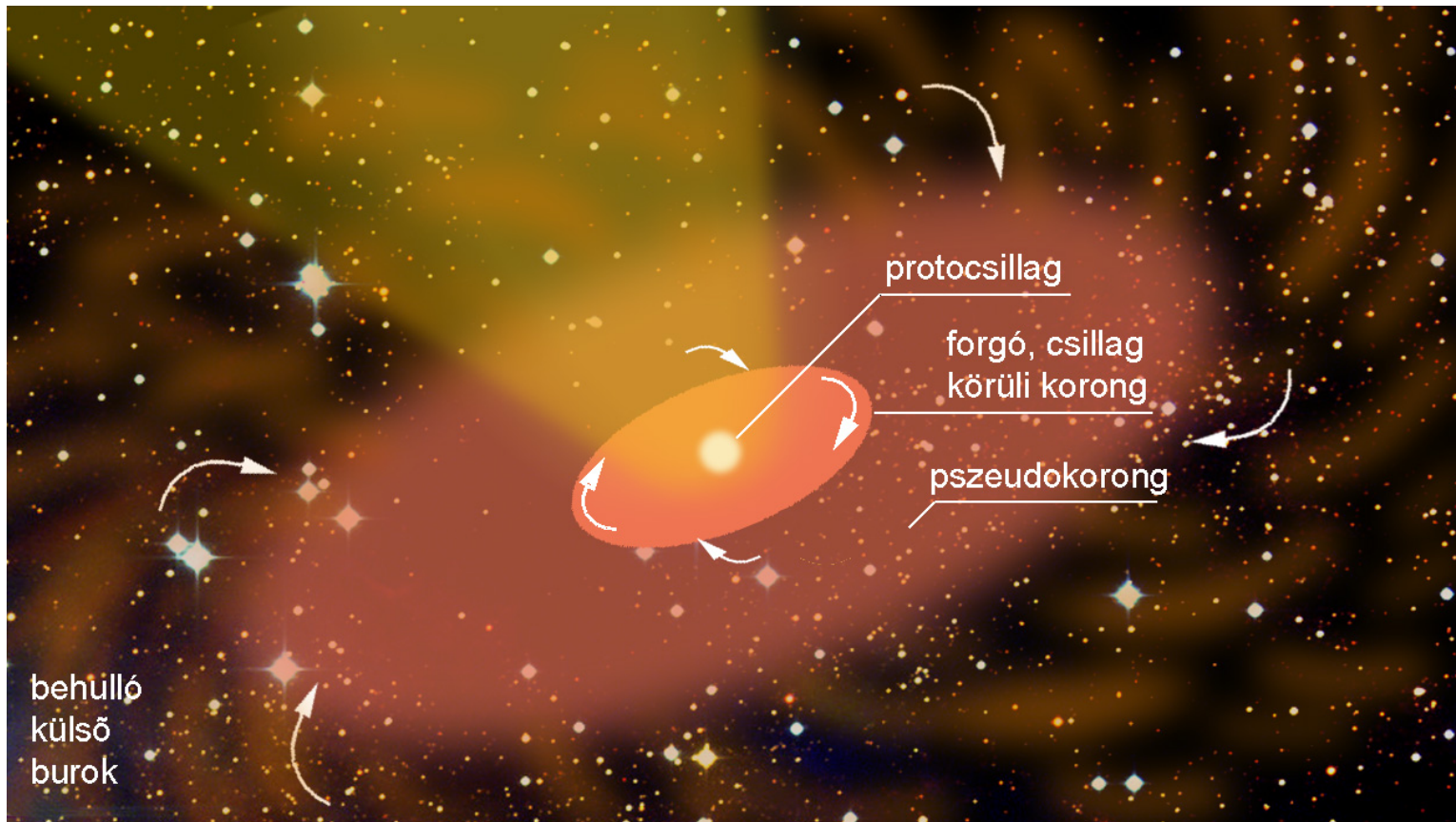
Lendület Korong-kutató Csoport (PI: Kóspál Ágnes)

A csillagkörüli korongok dinamikája – csillag- és bolygókeletkezés az ALMA-korszakban

Kóspál et al. (2017)

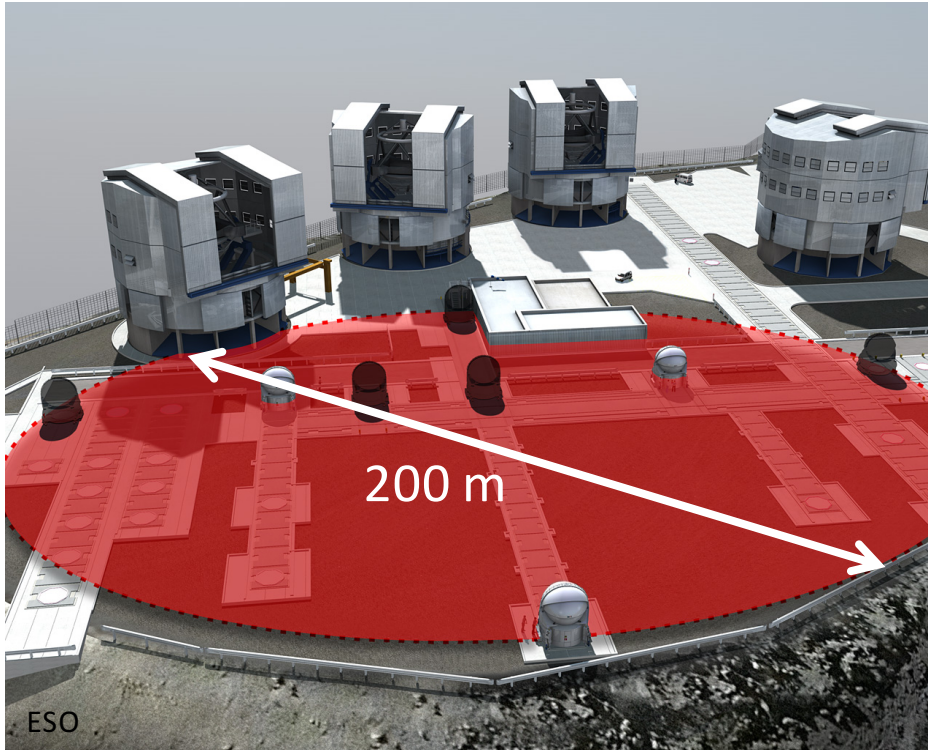


# Korong és pszeudo-korong a V346 Nor-ban

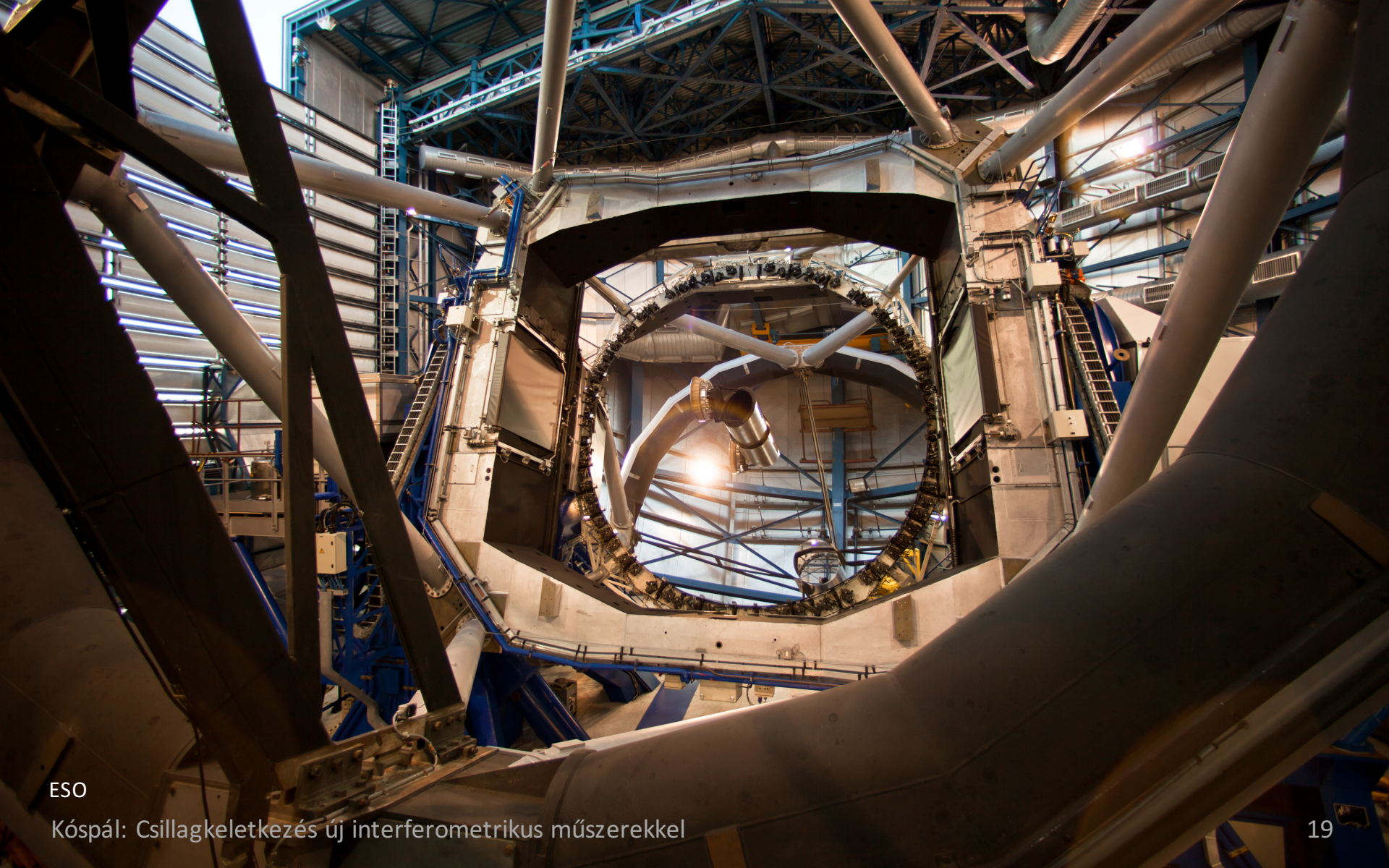


[http://mta.hu/tudomany\\_hirei/ujabb-lepes-a-bolygok-keletkezésének-megértésében-magyar-kutatóknak-elsőként-sikerült-megmenniük-egy-fiatal-csillag-körüli-anyagaramlás-mértékét-107855](http://mta.hu/tudomany_hirei/ujabb-lepes-a-bolygok-keletkezésének-megértésében-magyar-kutatóknak-elsőként-sikerült-megmenniük-egy-fiatal-csillag-körüli-anyagaramlás-mértékét-107855)

# Very Large Telescope Interferometer (VLTI)



- Paranal Obszervatórium, Chile
- 4 darab 8.2 m-es (fix) távcső
- 4 darab 1.8 m-es mozgatható távcső
- Kettesével, hármásával, vagy négyesével használhatók interferometriára
- Közeli ( $1.2 - 2.2 \mu\text{m}$ ) és közép infravörös ( $10 \mu\text{m}$ ) tartomány
- Valaha készült legélesebb kép felbontása:  $0.004''$



ESO

Kóspál: Csillagkeletkezés új interferometrikus műszerekkel

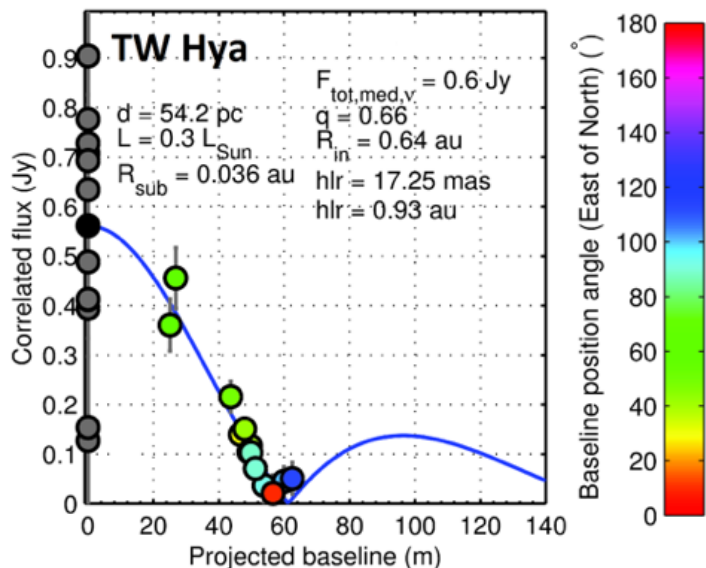


ESO

Kóspál: Csillagkeletkezés új interferometrikus műszereivel

# VLTI/MIDI

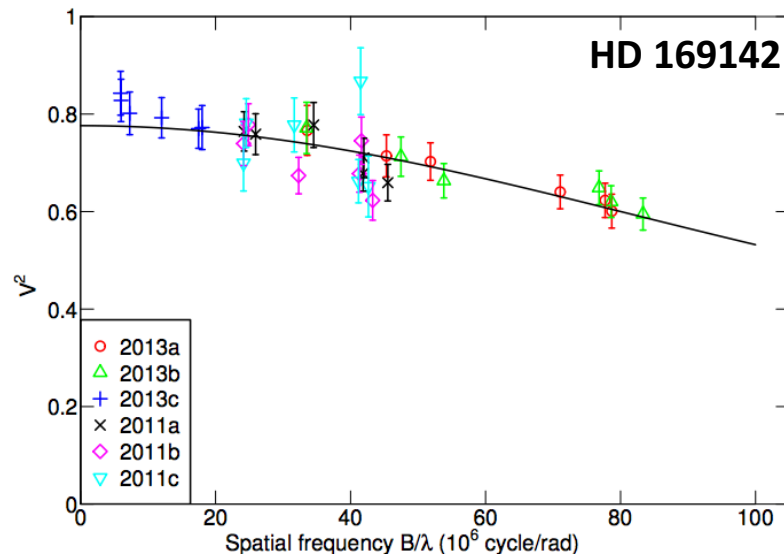
Varga et al. (2018)



- 82 fiatal csillag körüli korong
- 8 – 13  $\mu\text{m}$  interferometriás mérések
- Adatok illesztése korongmodellel
- Korongméret, paraméter-korrelációk

# VLTI/PIONIER

Chen et al. (2018)



- Közepes tömegű fiatal csillag
- 1.65  $\mu\text{m}$ -es interferometriás mérések
- Adatok illesztése korongmodellel
- Optikai mélység, hőmérséklet



# VLT/MATISSE

Az első olyan közép infravörösben működő interferométer, amely négy távcső jelét kombinálja és alkalmas a képalkotásra

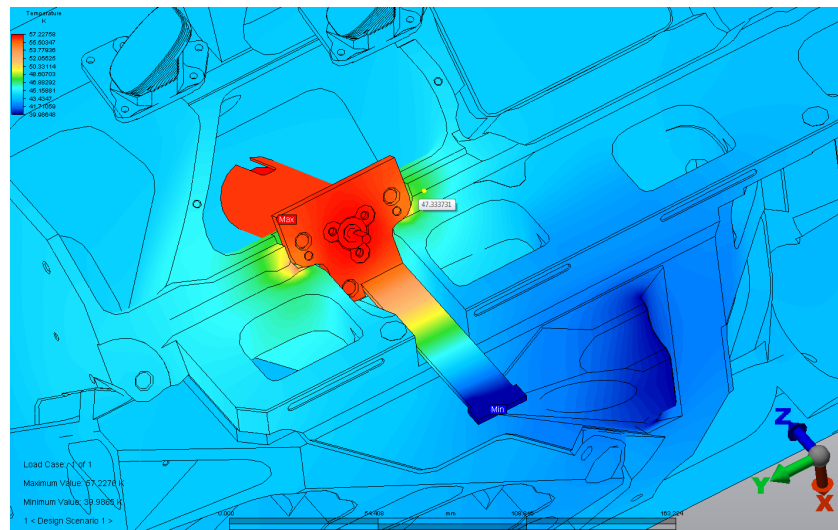
MATISSE Project / Y. Bresson



# VLT/MATISSE: magyar hozzájárulás

Mosoni László, Jaskó Attila, Csépany Gergely, Farkas Szigfrid, Mező György,  
Gabányi Krisztina, Varga József, Ábrahám Péter, Balázs G. Lajos

- **Hőtani szimulációk az abszolút nulla fok közelében működő motorok által okozott hőterhelésre**
- Egy műszeregység kalibrációs kamerájának megtervezése és legyártása
- Modellezés a műszer biztonságos mozgatásához szükséges szállítóelemekre, a szállítási műveletek során várható mechanikai igénybevételre
- A műszer felhasználói szoftverének kialakításában és fejlesztésében való részvétel



# VLTI/MATISSE: magyar hozzájárulás

Mosoni László, Jaskó Attila, Csépany Gergely, Farkas Szigfrid, Mező György,  
Gabányi Krisztina, Varga József, Ábrahám Péter, Balázs G. Lajos

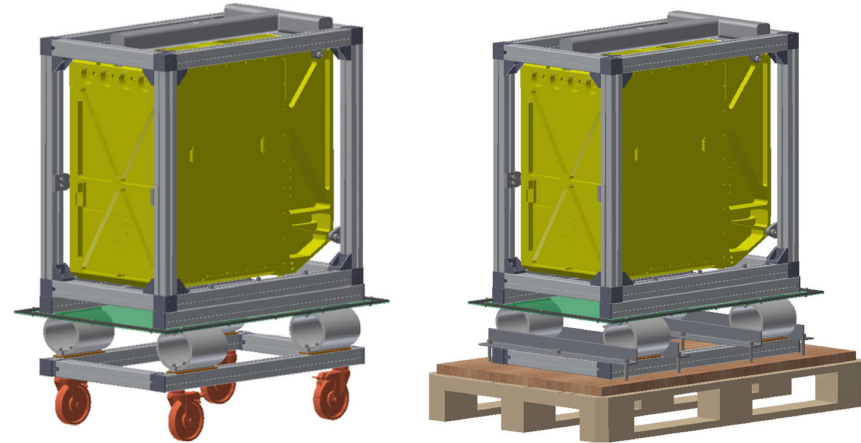
- Hőtani szimulációk az abszolút nulla fok közelében működő motorok által okozott hőterhelésre
- **Egy műszeregység kalibrációs kamerájának megtervezése és legyártása**
- Modellezés a műszer biztonságos mozgatásához szükséges szállítóelemekre, a szállítási műveletek során várható mechanikai igénybevételre
- A műszer felhasználói szoftverének kialakításában és fejlesztésében való részvétel



# VLTI/MATISSE: magyar hozzájárulás

Mosoni László, Jaskó Attila, Csépany Gergely, Farkas Szigfrid, Mező György,  
Gabányi Krisztina, Varga József, Ábrahám Péter, Balázs G. Lajos

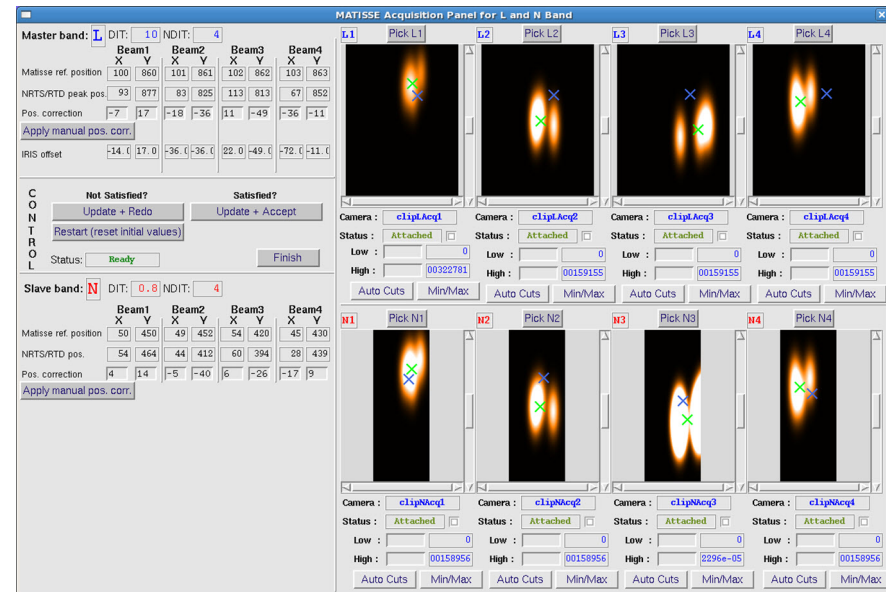
- Hőtani szimulációk az abszolút nulla fok közelében működő motorok által okozott hőterhelésre
- Egy műszeregység kalibrációs kamerájának megtervezése és legyártása
- **Modellezés a műszer biztonságos mozgatásához szükséges szállítóelemekre, a szállítási műveletek során várható mechanikai igénybevételre**
- A műszer felhasználói szoftverének kialakításában és fejlesztésében való részvétel



# VLT/MATISSE: magyar hozzájárulás

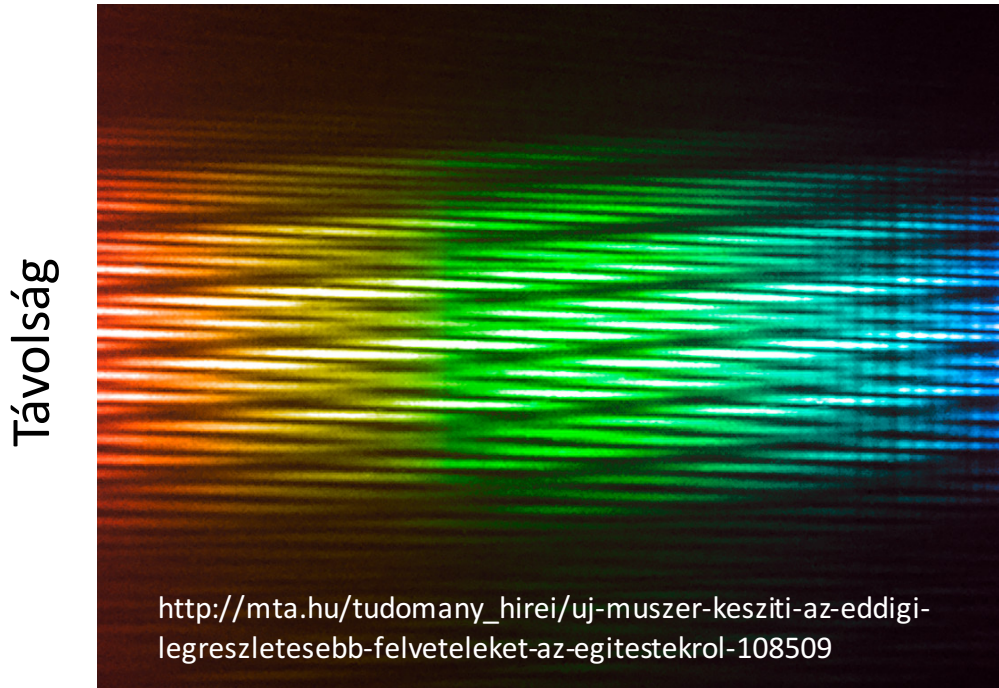
Mosoni László, Jaskó Attila, Csépany Gergely, Farkas Szigfrid, Mező György, Gabányi Krisztina, Varga József, Ábrahám Péter, Balázs G. Lajos

- Hőtani szimulációk az abszolút nulla fok közelében működő motorok által okozott hőterhelésre
- Egy műszeregység kalibrációs kamerájának megtervezése és legyártása
- Modellezés a műszer biztonságos mozgatásához szükséges szállítóelemekre, a szállítási műveletek során várható mechanikai igénybevételre
- **A műszer felhasználói szoftverének kialakításában és fejlesztésében való részvétel**



# VLTI/MATISSE: jelenlegi helyzet

Az első tudományos MATISSE mérés: Szíriusz

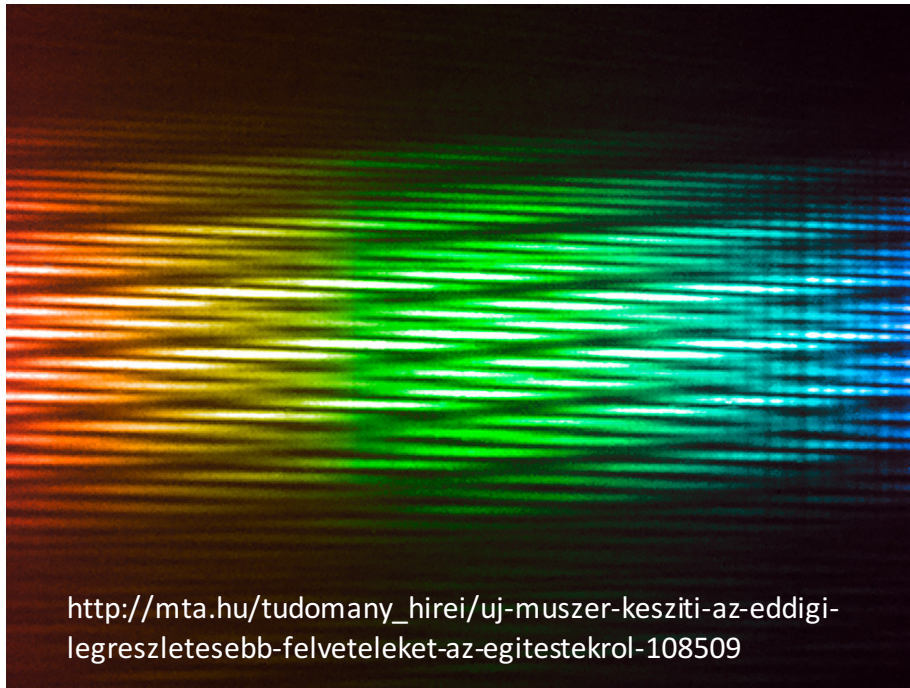


Hullámhossz

# VLTI/MATISSE: jelenlegi helyzet

Az első tudományos MATISSE mérés: Szíriusz

Távolság

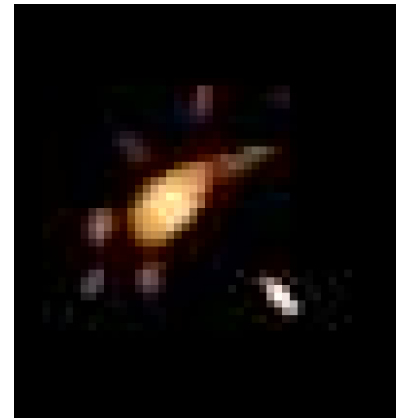


[http://mta.hu/tudomany\\_hirei/uj-muszer-kesziti-az-eddigi-legreszletesebb-felveteleket-az-egitestekrol-108509](http://mta.hu/tudomany_hirei/uj-muszer-kesziti-az-eddigi-legreszletesebb-felveteleket-az-egitestekrol-108509)

Hullámhossz

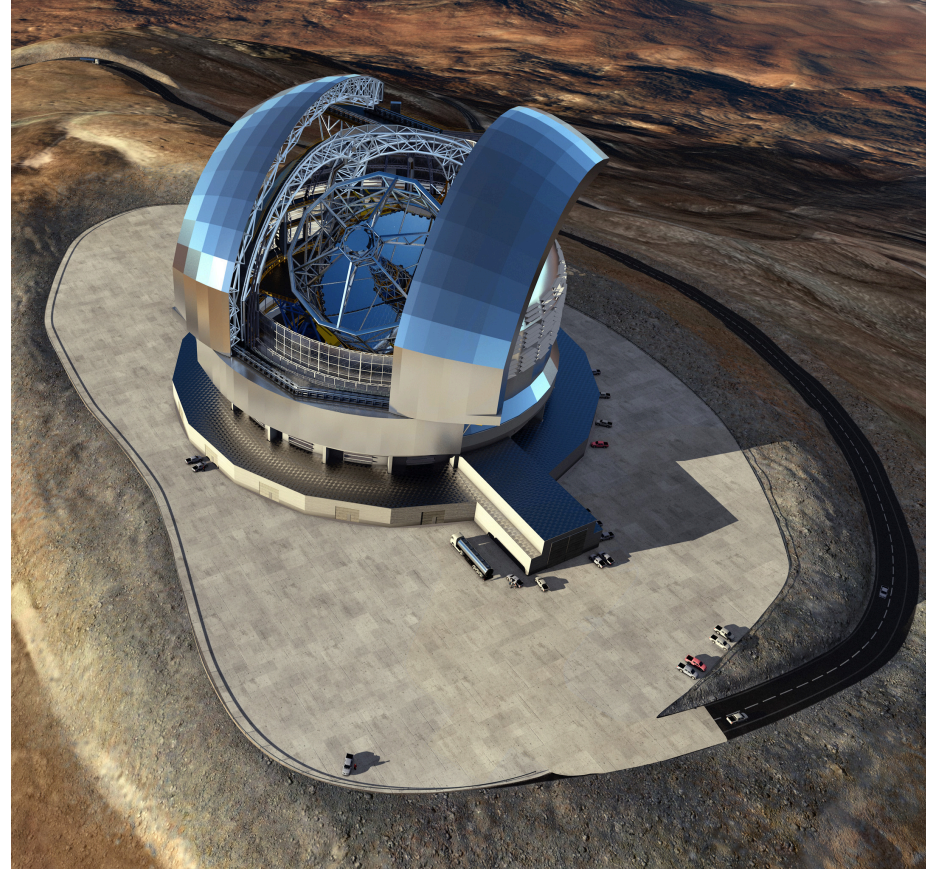
Kóspál: Csillagkeletkezés új interferometrikus műszerekkel

- Részvétel a MATISSE üzembe helyezésében (commissioning): Varga József és Gabányi Krisztina (2018 március)
- Terveink: FU Orionis észlelése garantált távcsőidő keretében



# Kapcsolat az ESO-val

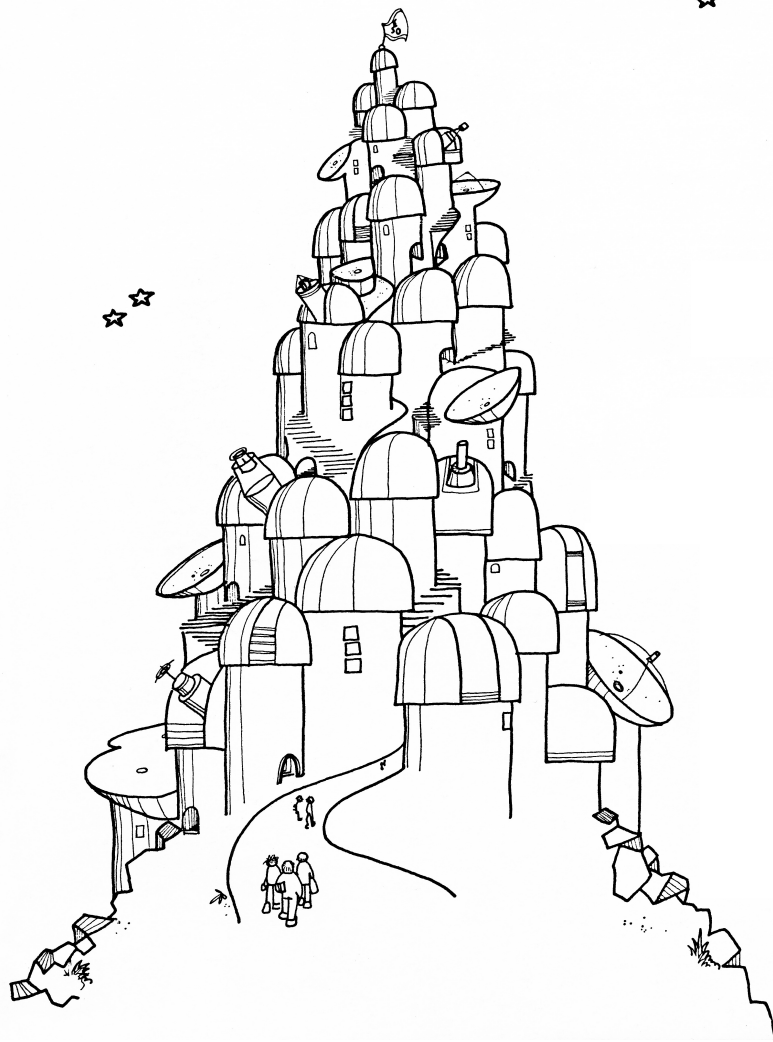
- Az Európai Déli Obszervatórium (ESO) Európa első számú kormányközi csillagászati szervezete
- 1962-ben alapították
- Jelenleg 15 tagállam + Chile alkotja
- Világszínvonalú kutatási infrastruktúrát biztosít a csillagászoknak (többek között a VLT és az ALMA)
- Az ESO építi a 39-méteres Rendkívül Nagy Távcsövet (Extremely Large Telescope, ELT)





# Kapcsolat az ESO-val, interferometriával

- 2003 óta: dedikált infravörös interferometriás kutatások a Csillagászati Intézetben
- Mosoni László: a VLTI/MIDI csapatában dolgozott (MPIA, Heidelberg, Németország)
- Kóspál Ágnes: az ALMA csapatában dolgozott (Leideni Egyetem, Hollandia)
- 2008: Interferometria nyári iskola Keszthelyen (Astrometry and Imaging with the Very Large Telescope Interferometer)
- 2015, 2018: részt veszünk az ESO VLTI interferometria nyári iskoláinak szervezőbizottságában
- Számos nyertes VLT és ALMA távcsőidő-pályázatunk van, és sikeresen pályázunk a Fizeau-ösztöndíjakra is



## ESO conference on Optical Telescopes of the Future (1978)

The ESO Conference on Optical Telescopes of the Future (p. 2) showed a **clear division between the astronomers who want very large telescopes (16 to 25 m class) and those who opt for an array of interlinked “small” telescopes (~100 elements, each 2–3 m mirror diameter).** Confronted with the continuously increasing demand for precious telescope time on La Silla (p.16), we here present the **“optimal-solution plan”** for La Silla that recently leaked from the ultra-secret ESO Planning Group (not even the Finance Committee knows about it!). Drawn by Karen Humby of the Engineering Group in Geneva, this beautifully simple conception purportedly aims at the definitive pacification of the various advocates of future telescopes by a **masterful combination of size and quantity.** It is reported, however, that fears have been expressed about the long-term stability of the support . . . no, you are wrong, of the La Silla bedrock, of course.