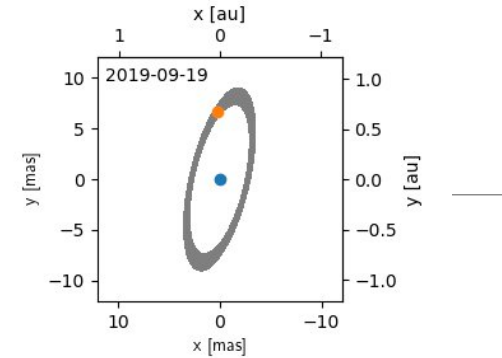


Meleg törmelékpör eloszlásának modellezése a HD 166191 csillag körüli óriás ütközés után



Ábrahám Péter, Lei Chen, Mező György

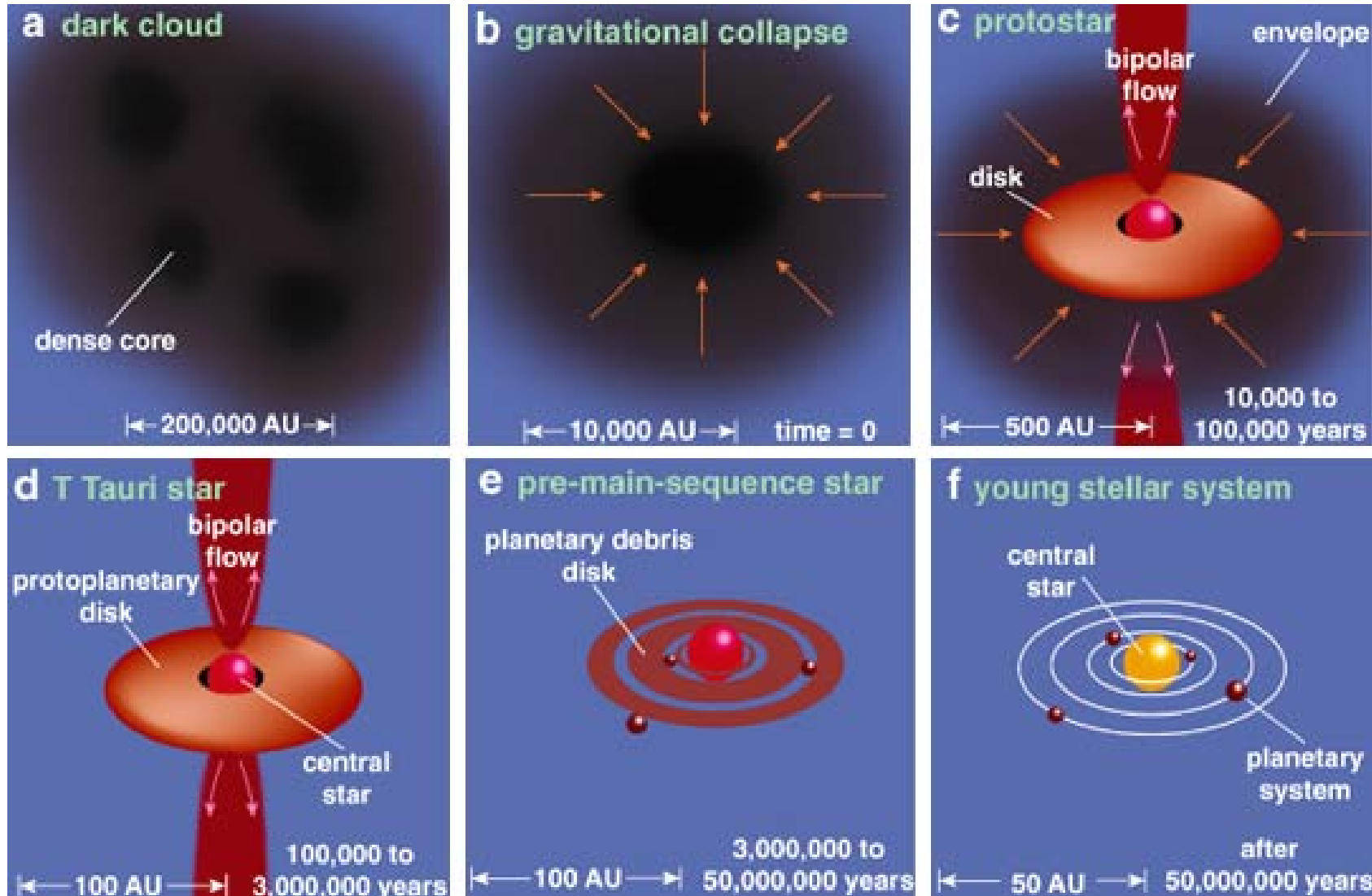
HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont

Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

II. Országos HUN-REN Cloud Találkozó

2025. november 13

Hogyan keletkezett a Naprendszer?



Az emberiség egyik legősibb kérdése, egyben a XXI. századi asztrofizika frontvonala: **Hogyan jött létre a Föld, hogyan jött létre a Nap és a Naprendszer?**

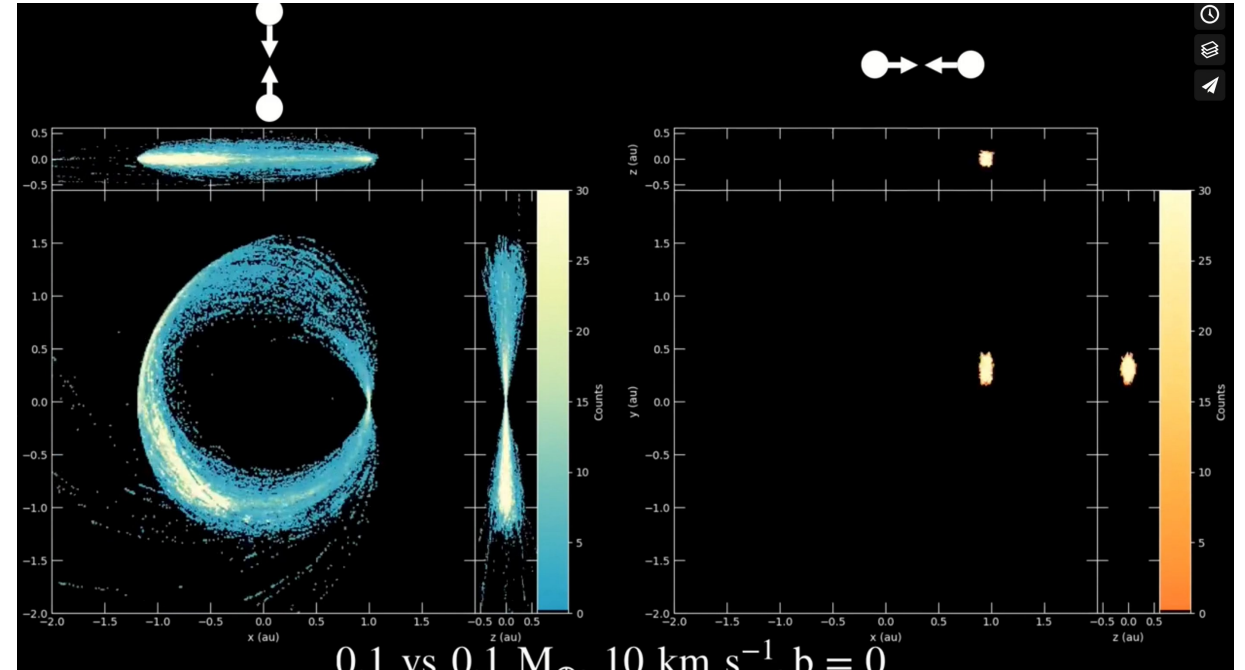
Hajtóereje a legnagyobb földi és űrtávcsövek megépítésének.

A Hold keletkezése



Forrás: BBC Sky

- A Föld és a Hold oxigénizotóp-összetétele azonos
- Alacsony vastartalom
- A Hold felszíne valaha olvadt volt (Apolló)
- A Hold keringési síkja merőleges a Föld forgástengelyére
- Theia (Mars-méretű protobolygó) ütközhetett a

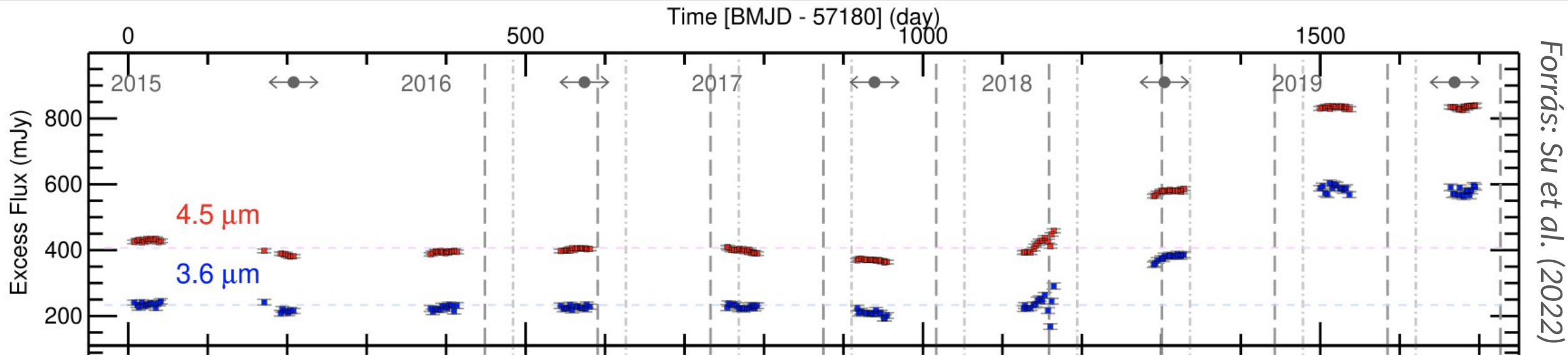


Forrás: Watt et al.
(2021)

Protobolygók ütközése megtörténhet más, most születő bolygórendszerekben is.

Látunk-e ilyeneket?

A HD 166191 csillag infravörös kifényesedése



F8-típusú, a Napnál valamivel nagyobb és forróbb csillag

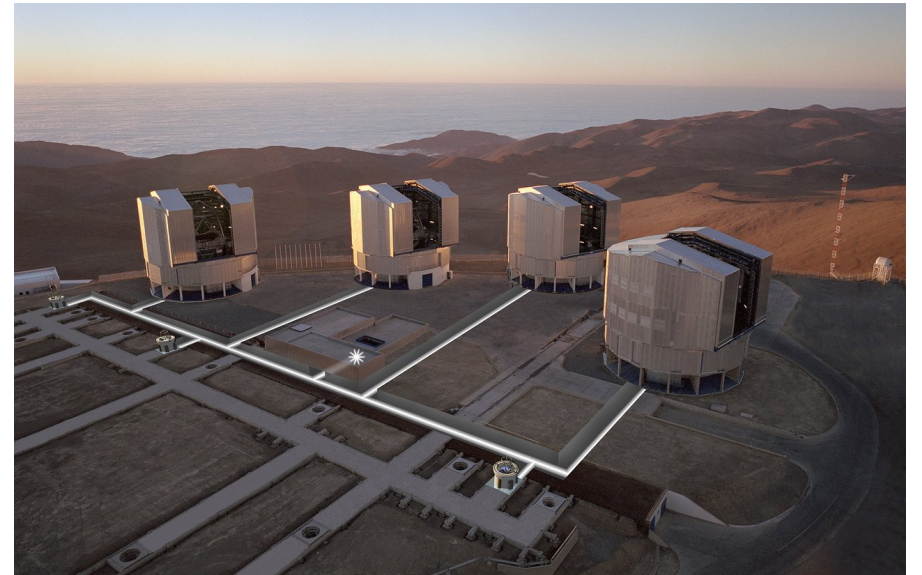
330 fényév távolság, 10 millió év

Váratlan fényesedés 2018-19-ben. **Protobolygó-
ütközés?** látni az ütközés nyomait?

Infravörös interferometrikus mérések

Felbontás arányos a távcsövek távolságával (3 milli-arcsec)

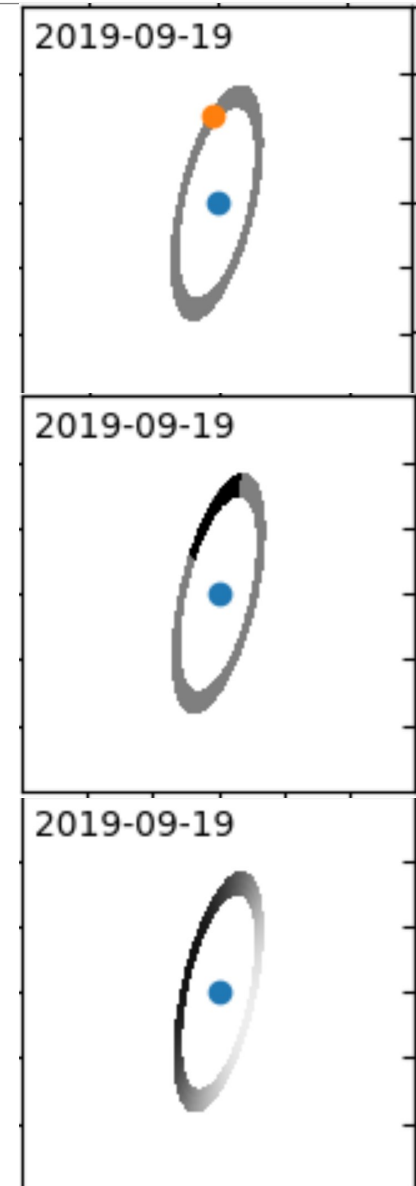
Fizikai felbontás a HD 166191 távolságában: 0.3 CSEI



Interferometrikus mérések és geometriai modellek

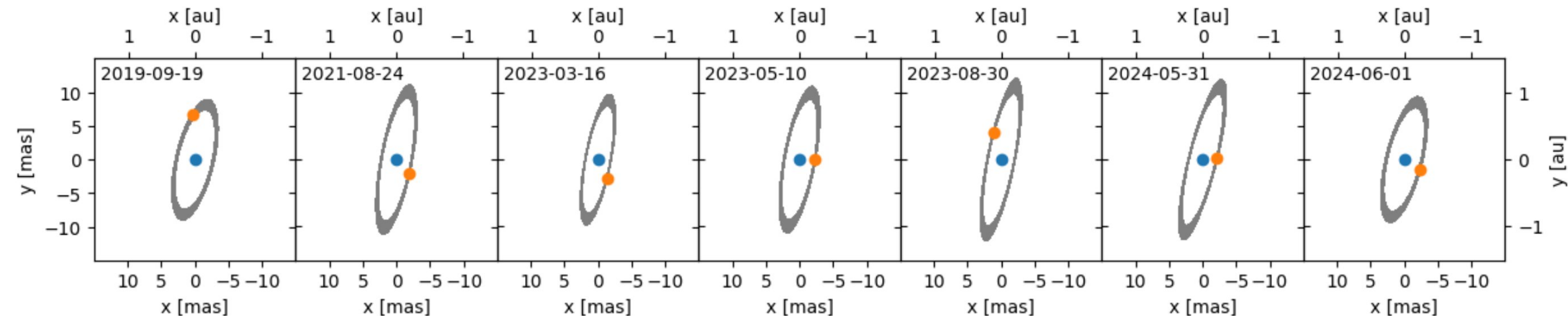
- Öt év alatt hét mérés az Európai Déli Obszervatórium legnagyobb távcsöveivel
- MATISSE interferométer, 3 mikronos hullámhossz
- Nagyon sok adat keletkezett (rövid expozíciók, négy teleszkóp)
- A beérkezett méréseket folyamatosan redukáltuk az aktuális feldolgozó kóddal
- **Modellezés: az interferometrikus mérések illesztése egyszerű geometriai konfigurációkkal (gyűrű + pontforrás / fényes szakasz / szinuszos fényességeloszlás)**
- **Markov Chain Monte Carlo illesztés, Python-ban implementálva**

Index	Date	ESO program	Configuration	Seeing (")	τ_0 (ms)	Wavelength used	Chopping
1	2019-09-19	103.2038.001 ^a	U1-U2-U3-U4	1.33, 1.31	1.73, 1.60	3.4–3.9	Y
2	2021-08-24	105.20ER.001	U1-U2-U3-U4	1.14, 1.07	2.09, 2.33	3.0–3.9	N
3	2023-03-16	110.2474.008 ^b	A0-G1-J2-K0	0.49, 0.48	8.59, 10.30	3.0–3.9	Mixed
4	2023-05-10	111.253T.001	U1-U2-U3-U4	0.43, 0.43	12.61, 12.61	3.0–3.9	N
5	2023-08-30	111.265P.001	U1-U2-U3-U4	0.89, 0.96	2.45, 2.15	3.0–3.2, 3.8–3.9	N
6	2024-05-31	113.26KD.004	U1-U2-U3-U4	0.80, 0.69	6.25, 6.25	3.0–3.9	N
7	2024-06-01	113.26KD.005	U1-U2-U3-U4	0.61, 0.60	4.02, 4.32	3.0–3.9	N



Eredmények

- A mérések minden időpontban kompatibilisek egy vékony gyűrűvel, amelyre 10-20 fok látószög alatt nézünk rá
- A gyűrű állása az égen nem változott az időben
- Sugár: 0.9-1 CSE
- Az időpontok többségében az interferométer aszimmetriát jelzett a gyűrű mentén!
- A fényes gyűrűszakasz helyzete időben változik: a struktúra kering!



Publikáció beküldve az Astronomy & Astrophysics-hoz

Astronomy & Astrophysics manuscript no. output
April 3, 2025

©ESO 2025

Evolution of the warm debris dust distribution around HD 166191 after a giant asteroid collision★

Lei Chen^{1,2}, Attila Moór^{1,2}, Kate Su³, Alexis Matter⁴, József Varga^{1,2}, Péter Ábrahám^{1,2,5,6}, Ágnes Kóspál^{1,5,7,2},
Bruno Lopez⁴, Foteini Lykou^{1,2}, Fernando Cruz Sáenz de Miera^{8,1,2}, Jean-Charles Augereau⁹, Philip J. Carter¹⁰,
William Danchi¹¹, Thomas Henning⁷, Karl-Heinz Hofmann¹², Michiel Hogerheijde^{13,14}, A. Meredith Hughes¹⁵, Grant
Kennedy¹⁶, Julia Kobus¹⁷, Elena Kokoulina¹⁸, Zoe Leinhardt¹⁰, Florentin Millour⁴, Eric Pantin¹⁹, Romain Petrov⁴,
Philippe Priolet⁹, Dieter Schertl¹², Roy van Boekel⁷, Lewis Watt¹⁰, Gerd Weigelt¹², Jacob White¹, Julien Woillez²⁰,
and Sebastian Wolf¹⁷

¹ Konkoly Observatory, Research Centre for Astronomy and Earth Sciences, HUN-REN, Konkoly-Thege Miklós út 15-17, 1121
Budapest, Hungary
e-mail: linuslchen@gmail.com

² CSFK, MTA Centre of Excellence, Konkoly Thege Miklós út 15-17, H-1121 Budapest, Hungary

**Bíráló: publikálásra alkalmas, de egységes adatredukálást kért -> modellezés
megismétlése**

Rövid idő alatt végigfuttatni a modellezést, nagy igénybevétel, nagy kapacitás: HUN-REN

Felhő

A feladathoz a felhőben kialakított konfiguráció

A nagy volumenű modellezési feladat rövid időn belüli végrehajtására nagy számítási kapacitás, nagy tárhely szükséges.

Infrastructure

Server Configuration

- IP Address: 10.1.146.235
- Flavor: m2.4xlarge (High-performance computing instance)
- Operating System: Ubuntu 24.04 LTS (Noble Numbat)
- Image: ubuntu-noble-x86_64-2025-08-22 (Fresh daily build)

Storage Configuration

- Root Volume: 80 GB SSD
- Data Volume: 800 GB HDD mounted at /data
 - Shared storage for datasets, models, and analysis results
 - Accessible by all team members

A használt szoftverkörnyezet kialakítása

Python Environment

Virtual Environment Details

- Location: `/opt/astro-env`
- Python Version: 3.12.3
- Auto-activation: Environment automatically activates on SSH login
- Permissions: All users can modify and install additional packages

Installed Scientific Libraries

Core Scientific Computing

```
numpy==1.26.4      # Numerical computing and arrays (downgraded for compatibility)
scipy==1.16.1      # Scientific computing algorithms
pandas==2.3.2      # Data manipulation and analysis
matplotlib==3.10.5 # Plotting and visualization
```

Astronomical Libraries

```
astropy==7.1.0      # Core astronomy library
astroquery==0.4.10  # Astronomical database queries
specutils==2.1.0    # Spectroscopic data analysis
synphot==1.6.0      # Synthetic photometry
stsynphot==1.4.0    # Space Telescope synthetic photometry
```

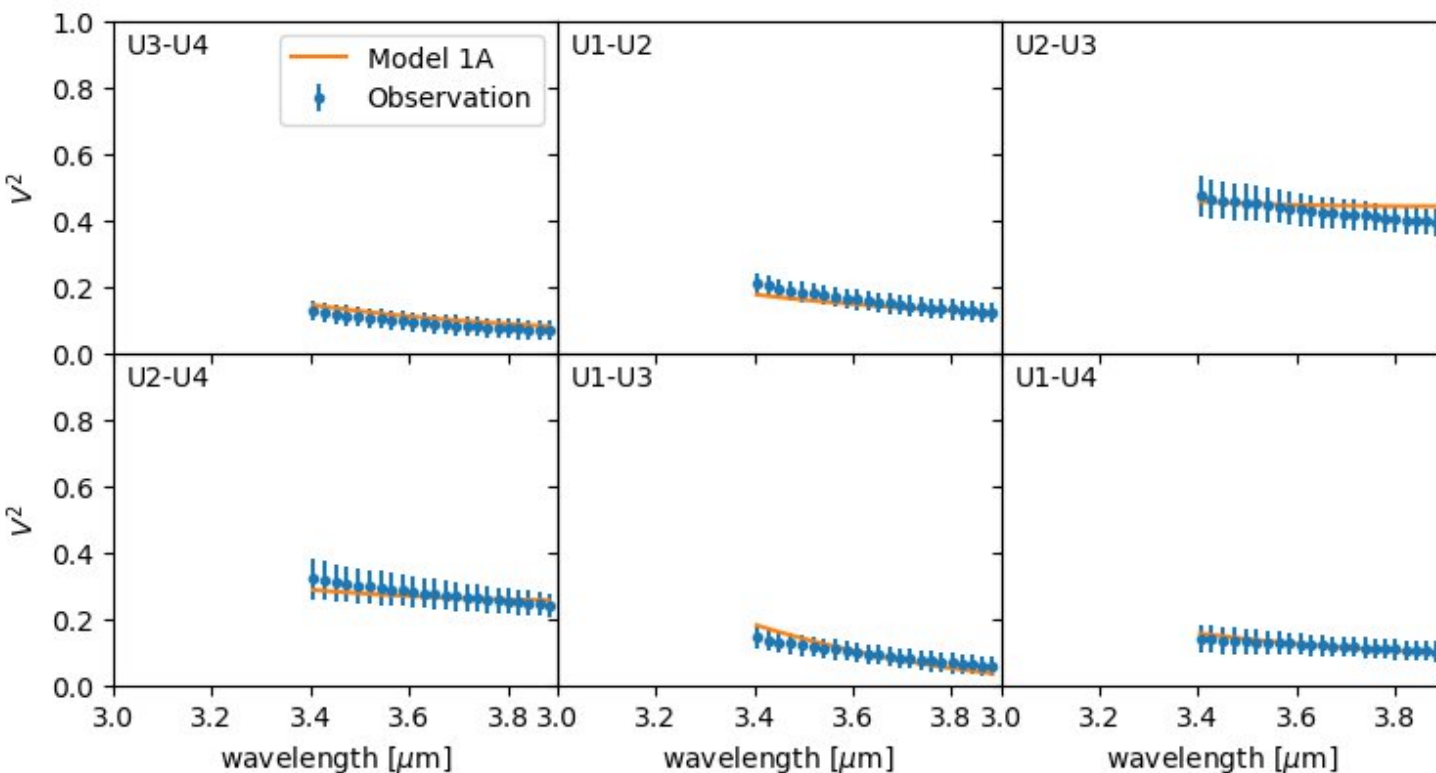
Statistical Analysis & MCMC

```
emcee==3.1.6        # MCMC sampling for Bayesian analysis
corner==2.2.3        # Corner plots for parameter estimation
```

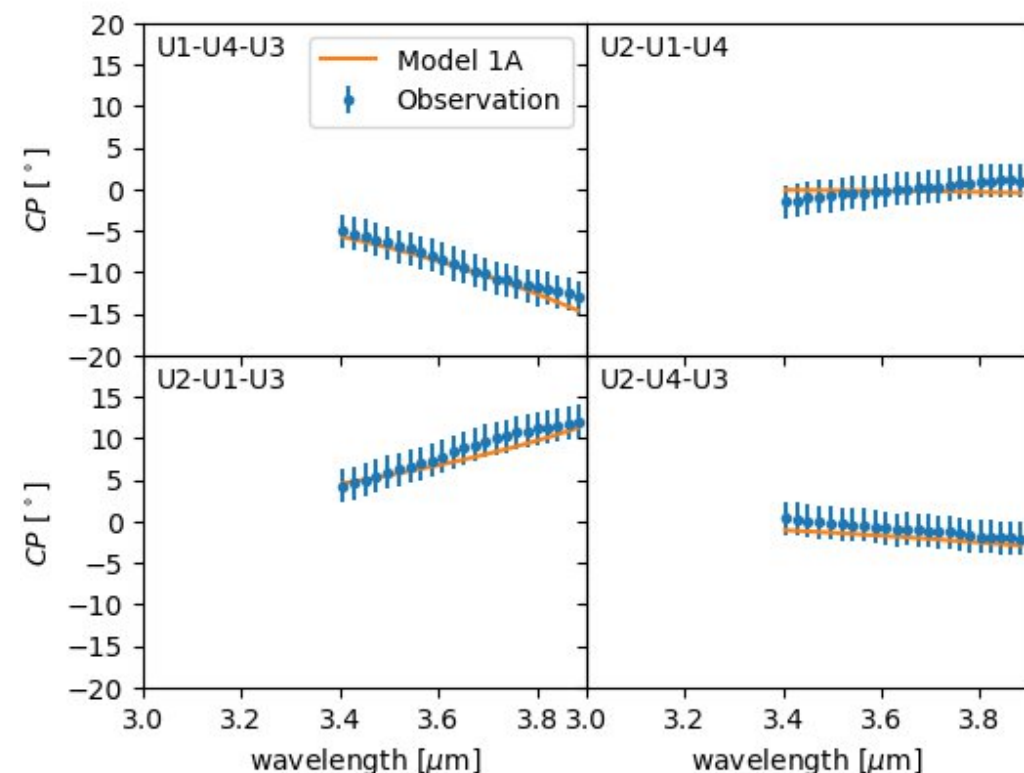
A felépített rendszer részletes dokumentálása

Name	Last commit	Last update
cloud-init	Fix SSH connectivity issue in cloud-init ...	2 months ago
scripts	Add image upload scripts and update in...	2 months ago
ssh-keys	Add team SSH public keys for docu...	2 months ago
support-tickets	Add support ticket: NumPy compati...	2 months ago
.gitignore	Add complete GitLab integration for Ter...	2 months ago
GITLAB_INTEGRATION.md	Add complete GitLab integration for Ter...	2 months ago
README.md	Fix NumPy compatibility issue and ...	2 months ago
auth_variable.tf	Add GitLab backend configuration for T...	2 months ago
backend.tf	Add complete GitLab integration for Ter...	2 months ago
gitlab-backend.env.template	Successfully migrate Terraform stat...	2 months ago
provider.tf	Initial commit: MTEM infrastructure	2 months ago
serv01_resources.tf	Initial commit: MTEM infrastructure	2 months ago
serv01_variable.tf	Add image upload scripts and update in...	2 months ago

Előzetes eredmények a felhő-alapú modellezésből

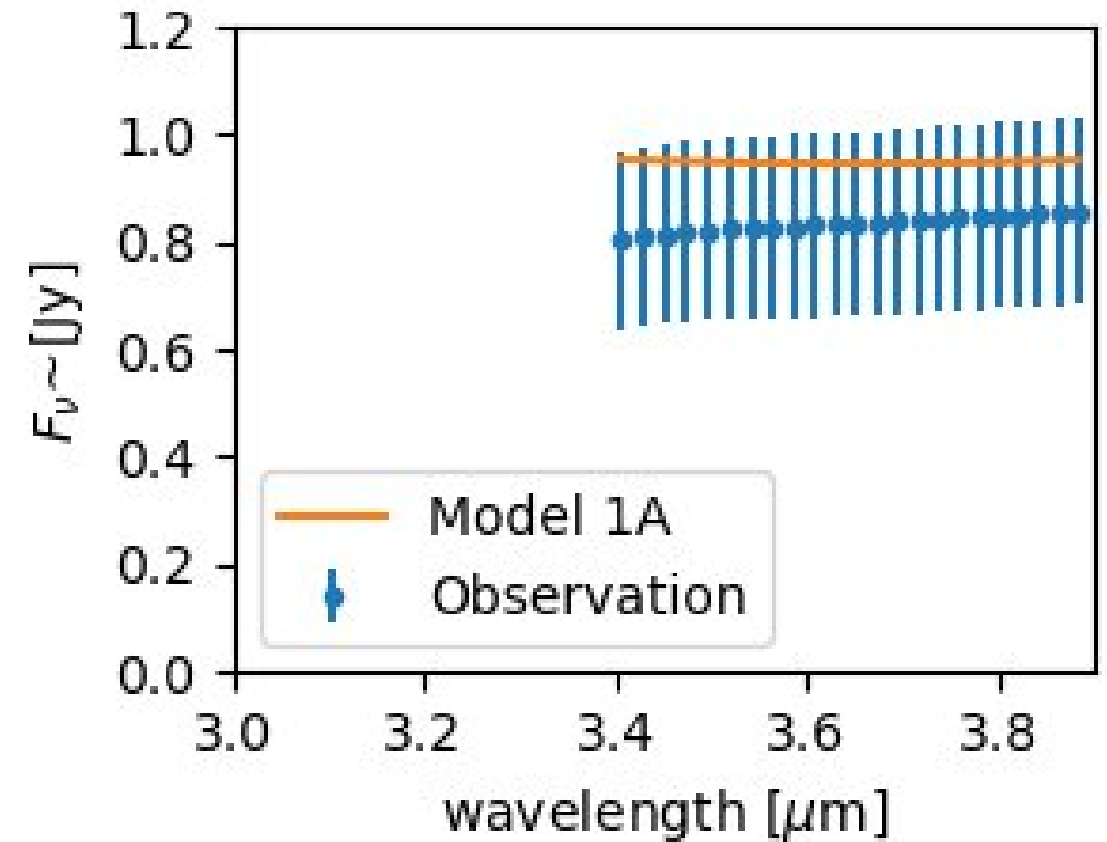
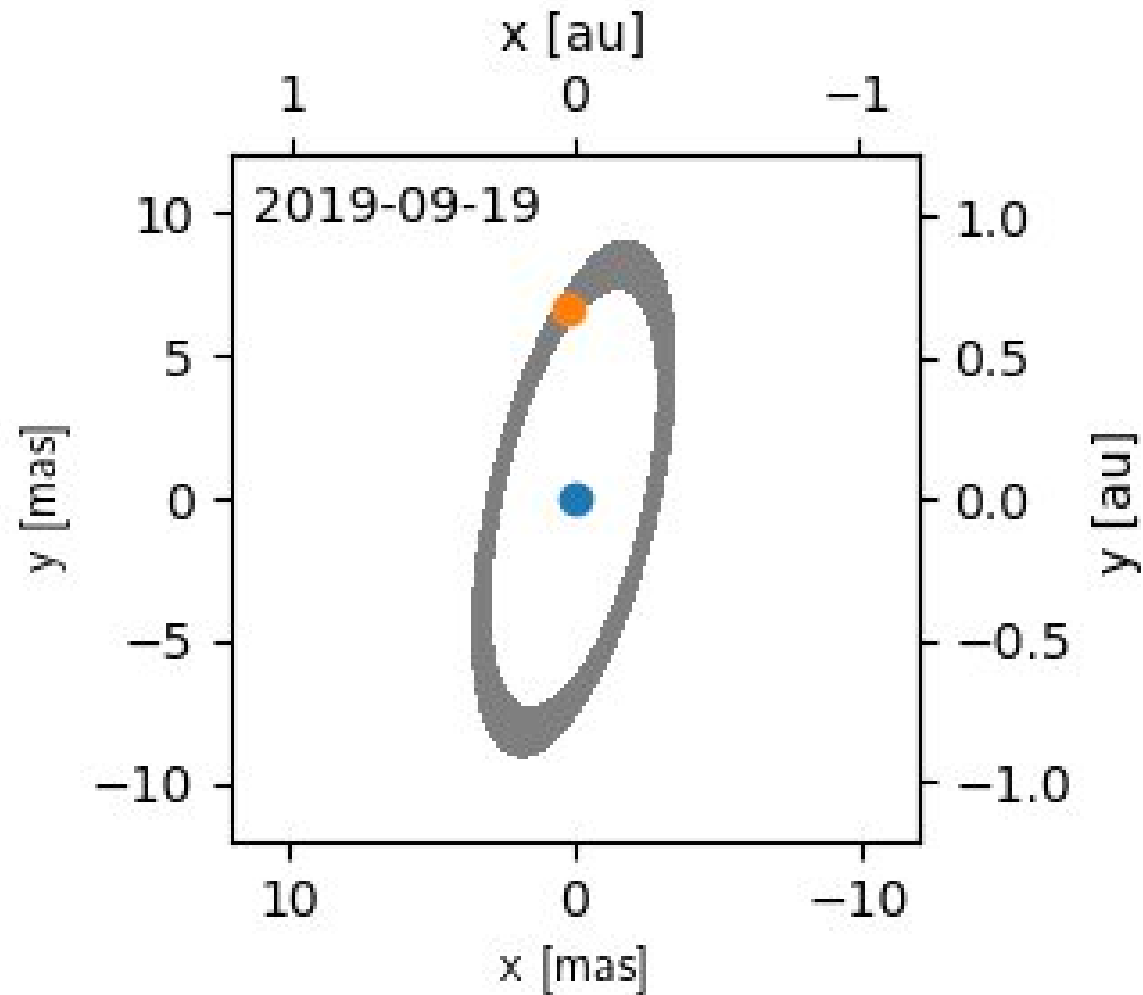


Interferometrikus vizibilitások pontos illesztése



Interferometrikus zárófázis (aszimmetria!) pontos illesztése

Előzetes eredmények a felhő-alapú modellezésből



Mit tanultunk a Hold keletkezéséről?

- Hét független interferometrikus mérés egybehangzóan megerősítette, hogy a HD 166191 körül egy ~1 CSE sugarú vékony gyűrű van
- A legtöbb időpontban látunk egy lokalizált aszimmetrikus csomót a gyűrűn
- A gyűrű meglepően stabil, az aszimmetria kicsi. A numerikus szimulációk szerint egy ütközés során keletkezett friss por „szétkenődése” a pálya mentén függ az ütközés részleteitől. A HD 166191 esetében ez a szétkenődés rendkívül gyorsan megtörténhetett (feladvány a modellező kollégáknak).
- **Lehet-e a lokalizált fényes csomó az ütközés magja, a protobolygó körüli maradványpor? Nem biztos, mivel annak is változnia kellene időben, gyengülést várnánk.**



Tapasztalatok a felhő használatáról

- A Markov Chain Monte Carlo (MCMC) modellezési folyamat során 300 „walker”-t alkalmazunk, amelyek 20000 lépést tesznek meg, így a teljes illesztési folyamat 6 millió modell kiértékelését jelenti
- Ez a számolás egy asztali PC-n több napot venne igénybe, így nem lehet több tucat ilyen illesztést futtatni egyszerre
- A felhőben futtatott szerverrel 1 futtatás 1 CPU-n nagyjából 1 napot vesz igénybe, és sok párhuzamos futtatásra van lehetőség sok CPU felhasználásával
- A Felhő használata óriási segítség a modellezésben, és lehetővé teszi, hogy időben elkészüljünk a bíráló által kért számolásokkal

Nagy köszönet a HUN-REN Cloud támogatásáért!