

A CSILLAGKELETKEZÉS VIZSGÁLATA ÚJ INTERFEROMETRIKUS MŰSZEREKKEL

Kóspál Ágnes, Ábrahám Péter, Varga József
MTA CSFK KTM CSI

A Nap típusú csillagok keletkezése

Galaxisunkban a csillagok közötti teret porból és gázból álló diffúz anyag tölti ki. Ennek egy része sűrű csillagközi felhőket alkot, amelyekben a hideg gáz molekuláris állapotú. A molekulafelhőkben a gáznyomás és a tömegvonzás egyensúlya könnyen felborulhat, akár a felhők összeütközése, akár egy szupernóva-robbanás által keltett lökeshullám következtében. Ilyenkor a gáz termikus nyomása, a mágneses mező és a turbulens mozgások nem tudnak ellenállni a gravitációnak, és a felhő egyes részei összeomolhatnak.

Egy ilyen összehúzódó, de csillagot még nem tartalmazó felhőmag kezdetben lassan forog, és mivel a felszabaduló gravitációs energiát teljes mértékben kisugározza, hőmérséklete 10 K körüli értéken marad.

A Magyar Tudományos Akadémia 189. közgyűlése kapcsán megrendezett *A fizika fejlődési irányjai* című tudományos ülésen elhangzott előadás szerkesztett és kibővített változata.



Kóspál Ágnes asztrofizikus, hat évet töltött a Leideni Observatóriumban és az Európai Űrügynökségnél, jelenleg az MTA CSFK Csillagászati Intézetében – az Európai Kutatási Tanács 1,3 millió eurós támogatásával – vezeti kutatócsoportját. A legnagyobb földi és űrtávcsövekkel vizsgálja a Naphoz hasonló csillagok és bolygórendszereik keletkezését. Több, mint félszáz cikkben publikált eredményei elismeréseként elnyerte a L'Oréal–UNESCO Nemzetközileg Kiemelkedő Tehetségek díját Párizsban.



Ábrahám Péter fizikus és csillagász, az MTA CSFK Csillagászati Intézet tudományos tanácsadója, 2010–15 között igazgatója. Kutatási területe a csillagok keletkezése, a fiatal csillagok körüli korongok szerkezete, a csillagok fényváltozásai. Megfigyeléseikhez rendszeresen használ nagy térbeli felbontású, gyakran infravörös hullámhosszakon működő földi vagy űrműszereket. Magyarországi vezetője annak az EU technológiai programnak, amely a MATISSE fejlesztésében is részt vállalt.



Varga József az ELTE-n szerezte doktori fokozatát 2015-ben, galaxisok nagyskálás szerkezetének elemzésével. Azóta az MTA CSFK Csillagászati Intézetében dolgozik posztdoktori kutatóként, ahol fiatal csillagkörüli korongok szerkezetét vizsgálja a VLTI infravörös interferometrikus műszereivel. Egy nemzetközi csapat tagjaként részt vesz a VLTI új műszere, a MATISSE beüzemelésében és tesztelésében.

Amikor a felhőmag közepe elég sűrűvé válik, a megnövekedett nyomás megállítja az összeomlást, és a középpontban kialakul a protocsillag. A protocsillagok már ionizált hidrogént tartalmaznak, tömegük néhány tized naptömeg, méretük néhány napsugár. A gravitációs összeomlás kezdete után körülbelül tízezer évvel alakulnak ki.

A kezdeti felhőmag nullától különböző perdülete miatt az anyag nem eshet közvetlenül a protocsillag felszínére, hanem egy lapult, korongszerű struktúrát alkot. Ezen csillagkörüli korongok mérete hasonló a mi bolygórendszerünkéhez, tipikusan néhány száz csillagászati egység (CSE, az átlagos Nap–Föld-távolság, vagyis 150 millió km) alatti, és bennük az anyag lassan befelé spirálozik, majd végül a csillagra hullik. Ekkor a protocsillag és a korong még mélyen beágyazódik a környező anyagburokba, amelynek a kiterjedése akár több ezer CSE is lehet. A korongból a csillagra hulló anyag egy része bipoláris kifújás formájában távozik a rendszerből. Ennek során az anyag a protocsillag pólusaitól áramlik kifelé, és elkezd elfújni a burkot. Ez a gravitációs összeomlás kezdete után körülbelül százezer évvel történik meg.

Ha az elfogyó burok már nem képes pótolni a korong anyagát, a csillag tömegbefogási rátája egyre csökken. A korongot ekkor már főleg a csillag megvilágítása fűti, és megindulhat benne a porszemcsék összetapadása, növekedése. Végül, néhány millió év alatt a korong gáz- és portartalmának nagy része teljesen szétoszlik, vagy nagyobb testekké, planetézimálokká és bolygókká áll össze. Mindezen fázisok konkrét csillagászati felvételeken is láthatók (*1. ábra*).

Az itt felvázolt folyamattal kapcsolatban még számos nyitott kérdés van. Amíg az apró porszemcsékből bolygók lesznek, méretük 13, tömegük 40 nagyságrenddel nő. Közben – a mérettől függően – különböző fizikai folyamatok lesznek a meghatározók a növekedésben. Úgy gondoljuk, hogy a Földhöz hasonló kőzetbolygók a korong legbelső részén, míg az óriás gázbolygók valamivel távolabb, a víz fagyáspontjának megfelelő sugáron túl keletkeznek. Ennek ellenére a megfigyelt exobolygórendszerekben gyakran látunk gázóriásokat a csillag közvetlen közelében, ami a korongon belüli vándorlásra, bolygómigrációra utal.

A nagybolygók hatással vannak a korong szerkezetére és sűrűségeloszlására is, meghatározva, hogy a maradék porból hol alakulhatnak ki kisebb égitestek, aszteroidák, üstökösök. Kiemelten fontos kérdés a korong ásványi és kémiai összetétele is: mennyi víz, mennyi szerves molekula van jelen már a legkorábbi fázisokban, és ezek hogyan kerülhetnek

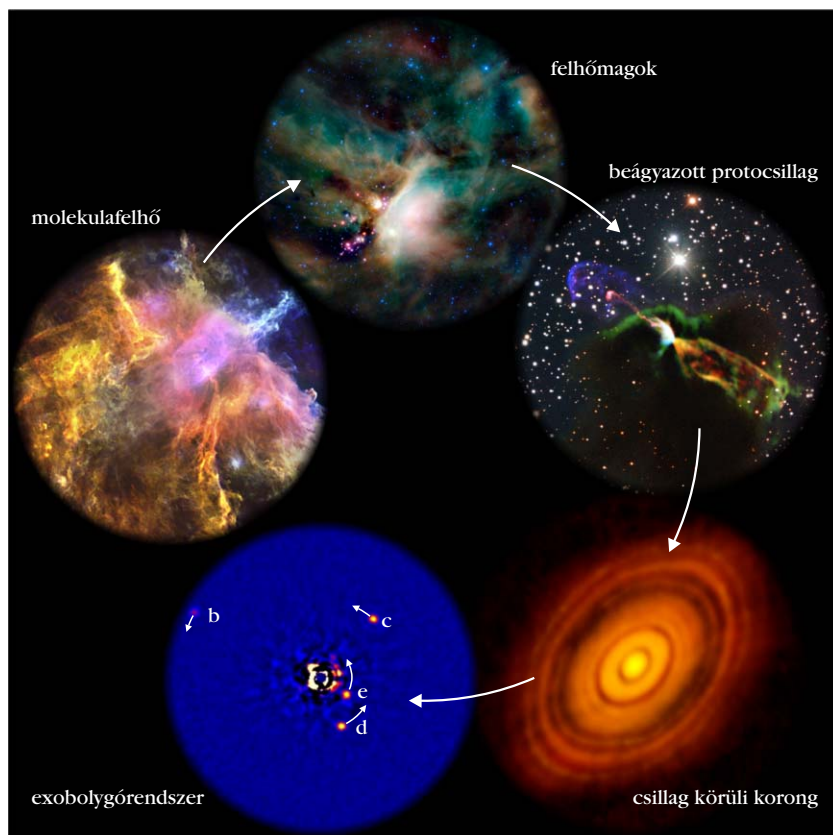
a bolygók építőanyagába? Az élet kialakulásához legkedvezőbb feltételek a korong mely részein jöhetnek létre? A nagy számú megfigyelt exobolygórendszer meglepően változatos. Lehet, hogy e sokszínűség eredete a korongok változatosságában rejlik? Ezek a kérdések a 21. századi asztrofizika legfontosabb kérdései közé tartoznak, megválaszolásuk pedig a legmodernebb, legnagyobb teljesítményű műszerek használatát igényli.

Nagy szögfelbontású észleléstechnika

A Naphoz hasonló csillagok keletkezéséről itt felvázolt forгатókönyv nagy része olyan, a Naprendszer szomszédságában található csillagkeletkezési területek tanulmányozásából származik, mint az Orion, Taurus, Perseus, Cepheus, Aquila, Serpens, Ophiuchus, Scorpius, Lupus és a Chamaeleon. Ezek a területek egy körülbelül 3000 fényév átmérőjű, fiatal csillagokból és óriás molekulafelhőkből álló gyűrű, a Gould-öv részei. A hozzánk legközelebbi csillagkeletkezési területek 500 fényévre találhatók. Ilyen távolságban egy tipikus csillag körüli korong látszó mérete 1 ívmásodperc ($1''$, ekkorának látszana egy golflabda 9 km-ről, vagy ekkora a telihold átmérőjének 1800-ad része).

Ha tehát a korongokban bármiféle szerkezeti részlet szeretnénk megfigyelni, olyan képeket kell készítenünk, amelyek felbontása tízed ívmásodperc, vagy még annál is jobb. Ráadásul a korong hőmérséklet-eloszlása sem egyenletes: belső része forróbb, így a Wien-féle eltolódási törvénynek megfelelően inkább a közeli és közép infravörös tartományban sugároz, míg a külső, hidegebb részt elsősorban távoli infravörös és milliméteres hullámhosszakon lehet megfigyelni. A különböző hullámhosszon történő megfigyelések elengedhetetlenek ahhoz, hogy egy fiatal csillagról és környezetéről teljes képet kapjunk.

A csillagászati műszerek által még éppen felbontható részletek mérete ideális esetben (ha a légköri turbulencia zavaró hatását elhanyagoljuk) fordítottan arányos a távcsőtükör vagy antenna D átmérőjével és egyenesen arányos az észlelt fény λ hullámhosszával, tehát a szögfelbontás $\theta = k\lambda/D$, ahol $k = 70$, ha θ -t fokban mérjük. Látható tartományban 1,3 méteres távcsőtükör kell a $0''1$ felbontáshoz, az infravörös tartományban – például 10 μm -en – már 25 méteres tükörátmérő szükséges. A milliméteres tartományban több km-es, a rádiótartományban pedig több száz km átmérőjű rádióantennákra lenne



1. ábra. A csillag- és bolygókeletkezés főbb fázisai. Forrás: ESA/Herschel/PACS, SPIRE/N. Schneider, Ph. André, V. Könyves (CEA Saclay, France), Gould Belt survey Key Programme, NASA/JPL-Caltech/WISE Team, ESO/ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/H. Arce, B. Reipurth, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), NRC-HIA, C. Marois, Keck Observatory.

szükség. Ilyen óriástávcsöveket és óriásantennákat technikailag lehetetlen megépíteni, a költségekről nem is beszélve.

Gazdaságos és megvalósítható óriástávcsövet tehát úgy lehet készíteni, ha nem a teljes távcsövet, hanem csak egyes kisebb részeit építjük meg, és azokat összehangoltan használjuk. Ezen az ötleten alapul az interferometrikus technika, amelynek keretében távoli teleszkópokat irányítanak ugyanarra az égi objektumra, és a távcsövek jeleit interferáltatják. Egy ilyen rendszer esetében a felbontást már nem az egyes távcsövek átmérője szabja meg, hanem a köztük lévő távolság, azaz a bázisvonal (2. ábra).

Nem igaz azonban, hogy két távcsövet akármekkora távolságba helyezve tetszőlegesen jó szögfelbontású képeket készíthetünk. A technikából adódóan ugyanis egy interferométer nem közvetlenül az égen látható fényességeloszlást szolgáltatja, hanem annak Fourier-transzformáltját (az úgynevezett komplex vizibilitást), és azt is csak az adott bázisvonal hosszának (illetve az abból számolt térfrekvenciának) és pozíciószögének megfelelő pontban. Ahhoz tehát, hogy egy interferometrikus mérésből meghatározhasuk a csillagászati objektum képét, a Fourier-teret a lehető legtöbb pontban kell mintavételezni, amihez viszont sok különböző hosszúságú és pozíciószögű bázisvonalra, azaz minél több összekapcsoltan működő teleszkópra van szükség.

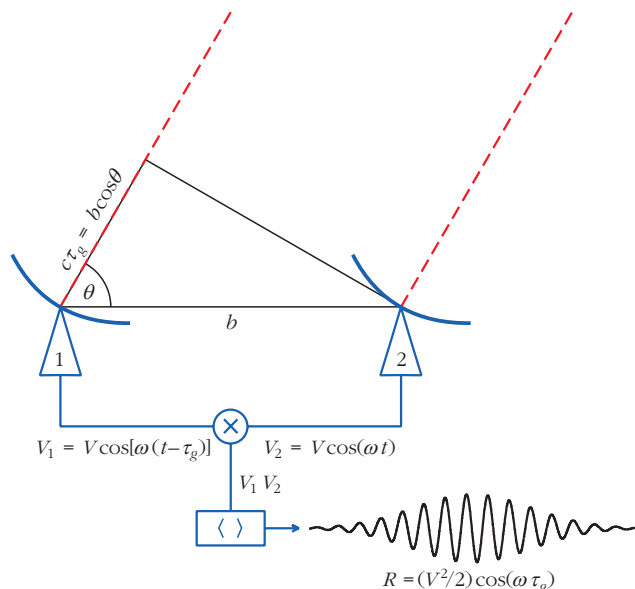
Az ALMA és a NOEMA

A fiatal csillagok körüli korongok termikus sugárzásának megfigyelésére különösen alkalmas a 2011-ben üzembe állított új rádióteleszkóp-rendszer, az Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA, 3. ábra), mely a 0,3–3 mm-es sugárzás észlelésére alkalmas. E tartományban a földi légkör áteresztése sávok: bizonyos sávokban jó az áteresztés, más sávokban a légkör teljesen átlátszatlan. Az elnyelést a levegőben található víz-pára okozza. Szerencsére a vízgőz skálamagassága csak 2 km (ilyen magasan esik felére a vízgőz parciális nyomása). Az ALMA-t emiatt kellően száraz és magas helyre építették, a chilei Atacama-sivatagban az 5050 m-es tengerszint feletti magasságú Chajnantor-fennsíkra.

Az ALMA ötvennégy 12 m és tizenkét 7 m átmérőjű, tökéletesen paraboloid felületű (az attól való eltérés kisebb mint 20 μm) antennából áll. Teljes fénygyűjtő felülete 6600 m^2 . A 66 antennához 192 alap tartozik, így azokat – az éppen adott mérési projekthez szükséges térbeli felbontásnak megfelelően – különböző konfigurációkba lehet rendezni. A legnagyobb elérhető bázisvonal 16 km, amellyel így akár 0,006 (6 milliüvmasodperc) felbontás is elérhető (ekkorának látszana egy golf labda 1400 km-ről). Ilyen felbontással már a korongok apró részletei is tanulmányozhatók.

Az ALMA 1 milliárd eurós építési költségét és a folyamatos működtetéshez-fejlesztéshez szükséges költségvetést globális összefogásban európai, észak-amerikai és kelet-ázsiai országok, valamint Chile fedezi. Az antennák jelének korrelálását (interferáltatását) a világ egyik legnagyobb speciális szuperszámítógépe, az ALMA-korrelátor végzi. A korrelátorban több mint 134 millió processzor van, amelyek együttesen 17 peta-FLOP számítási sebességre képesek, azaz másodpercenként 17 000 billió számítási műveletet végeznek. Erre szükség is van, hiszen az antennákról másodpercenként 1 GB feldolgozandó adat érkezik.

Az ALMA eddigi egyik legrészletesebb és legélesebb képét a 450 fényév távolságban, a Bika csillagképben található fiatal (1 millió éves) Nap-típusú csillag, a HL Tau korongjáról készítette. Az ALMA-képen korábban soha nem látott részletek tárultak fel a csillagkörül korongban: koncentrikus fényes gyűrűk, amelyeket sötét rések választanak el egymástól. Elképzelhető, hogy ezt a szerkezetet a korongban keletkezett, a fiatal csillag körül keringő bolygók okozzák. Ilyen esetben ugyanis ezen testek – gravitációs hatásuknál fogva – ki tudják tisztítani a pályájuk menti környezetet. A HL Tau gyűrűs szerkezetű korongja tehát közvetett bizonyíték lehet arra, hogy már egy ilyen fiatal rendszerben is létrejöhetnek bolygók (1. ábra, jobbra lent).



2. ábra. Kétantennás interferométer, a műszer térbeli felbontását a b bázisvonal hossza szabja meg. Forrás: Condon & Ransom (2016), <https://www.cv.nrao.edu/course/astr534/Interferometers1.html>

Bár a rádiócsillagászok már az 1940-es évektől kísérleteztek az interferometrikus technikával, az első nagyon hosszú bázisvonalú sikeres interferometrikus csillagászati mérést (Very Long Baseline Interferometry, VLBI) 1967-ben sikerült elvégezni egymástól több mint 3000 km távolságban lévő két észak-amerikai rádióteleszkóppal. Az adatokat korábban atomórák pontos időjeleivel együtt mágneses adathordozókra rögzítették, és utólag állították elő az interferenciát, ezt hívjuk korrelátatásnak. Napjainkban már számos rádióantennát széles sávú optikai adatkábelek kötnek össze, lehetővé téve a valós idejű korrelálást. Ilyen például az európai VLBI hálózat, amelyet magyar kutatók, például az MTA CSFK Csillagászati Intézetében *Frey Sándor* és munkatársai is rendszeresen használnak.

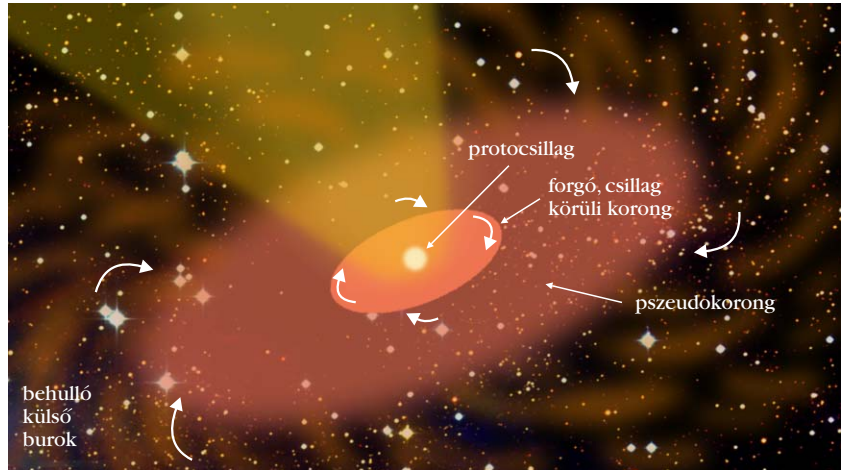
3. ábra. ALMA antennák a chilei Atacama-sivatagban. Forrás: Carlos Padilla (UI/NRAO).



Földrajzi helyzeténél fogva az ALMA csak a déli égbolton és az égi egyenlítő mintegy 30 fokos környezetben elhelyezkedő objektumokat tudja mérni. Az északi objektumok mérésére egy francia–spanyol–német együttműködésben a Francia-Alpokban fenntartott milliméteres interferométer, a Northern Extended Millimeter Array (NOEMA) ad lehetőséget. A NOEMA 2550 m tengerszint feletti magasságban a Plateau de Bure fennsíkon található és jelenleg kilenc 15 m átmérőjű antenna alkotja. A tervek szerint a következő években további három antennával bővítik majd a rendszert, amely így 2100 m² fénygyűjtő felületű lesz. A NOEMA antennáit is különböző konfigurációkba lehet rendezni, a legnagyobb bázisonal jelenleg 760 m, az elérhető legjobb térbeli felbontás pedig 0,2. A NOEMA a 0,8–4,3 mm közötti hullámhosszú sugárzást tudja detektálni.

E nemzetközi milliméteres interferometrikus projektekben több magyar kutató is részt vett: *Kóspál Ágnes* és *Jubász Attila* a Leideni Observatórium ALMA-központjában dolgozott, *Fehér Orsolya* pedig 2018 őszétől az Institute de Radioastronomie Millimétrique (IRAM) grenoble-i központjában fog – egyebek közt a NOEMA projektben – dolgozni. Az ezirányú kutatásokat a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) és az Európai Kutatási Tanács (ERC) is támogatja. Kóspál Ágnes 2014-ben nyerte el az MTA Lendület-ösztöndíját a *Csillagkörül korongok – csillag- és bolygókeletkezés az ALMA-korszakban* témájú projektjével, majd 2017-től az ERC kutatási ösztöndíját a *Strukturált anyagbefogási korongok mint a bolygókeletkezés időfüggő kezdőfeltételei* című pályázatára.

Az egyik magyar vezetésű, ALMA-adatokon alapuló érdekes eredmény a közelmúltból a déli féltekén, a Norma csillagképben található V346 Nor jelű fiatal csillaggal kapcsolatos. A V346 Nor egy 0,1 naptömegű, néhány százezer éves, jelenleg is növekvő protocsillag. Kóspál Ágnes és munkatársai az ALMA-val a szén-monoxid-molekula egyik milliméteres színképvonalát vették célba, amelynek Doppler-eltolódását kihasználva feltérképezték a rendszerbeli gáz mozgását. Az adatok elemzéséből kapott kép szerint a protocsillagot körülbelül 350 CSE sugáron belül Kepler törvényeinek megfelelően keringő korong veszi körül (a gáz v sebessége a csillagtól mért r távolság függvényében: $v \sim r^{0,5}$), míg a csillagtól távolabb az anyag sebessége ennél kisebb, a $v \sim r$ relációt követi. Ez utóbbi sebességeloszlás jellemző a pszeudokorongokra,



4. ábra. Vázlat a V346 Nor rendszer felépítéséről az ALMA-adatok alapján. Forrás: MTA CSFK CSI/Kereszturi Ákos.

olyan struktúrákra, amelyekben az anyag a keringés és behullás kombinációjával mozog (4. ábra).

A mérésekből az is kiderült, hogy az anyagáramlás üteme a V346 Nor korongjára lényegesen nagyobb, mint amennyi anyagot a korong továbbít a protocsillagra. Ennek következményeként az anyag a korong belső peremén felhalmozódik, egy idő után instabillá válik, majd hirtelen a központi csillagra zúdul. Ilyenkor a nagy mennyiségű, rendkívül gyorsan felszabaduló energia hatására a korong felforrósodik, és benne olyan lényeges kémiai és ásványtani változások mehetnek végbe, amelyek később befolyásolhatják, hogy a korongban hol és milyen összetételű bolygók alakulnak ki.

A VLT Interferométer

Ha a fiatal csillagok körüli korongok legbelső, legforróbb, a földpályának megfelelő sugarú vagy még annál is közelebbi részeire vagyunk kíváncsiak, akkor a

5. ábra. A VLT Interferométer által használt távcsövek és az azokat összekötő fényutak. Forrás: ESO.





6. ábra. A MATISSE műszer a VLT interferometrikus laboratóriumában. Forrás: MATISSE Project/Y. Bresson.

milliméteres tartomány helyett infravörösben kell nagyon jó felbontású méréseket végeznünk. Erre szolgál az Európai Déli Observatórium (European Southern Observatory, ESO) Paranal Observatóriumában található Nagyon Nagy Távcső Interferométer (VLT). A VLT-t négy 8,2 m és négy 1,8 m tükrőátmérőjű távcső alkotja (5. ábra). A nagyobb távcövek fix pozíciójú kupolákban találhatók, a kisebbek 30 különböző pozícióba helyezhetők. Az interferenciához a távcövek jelét egy bonyolult tükrrendszerrel föld alatti alagútrendszerben egy optikai laborba vezetik, ahol különböző műszerekkel kiválasztják a mérni kívánt hullámhossztartományt, majd létrehozzák és detektorokkal rögzítik az interferenciajelet. A távcövek kettesével, hármasával vagy négyesével használhatók az interferometriára, így a rendszer egy 200 méter átmérőjű óriástávcsőként üzemel, és vele akár $0,004''$ szögfelbontás is elérhető.

A MIDI (MID-infrared Interferometric instrument) a közép-infravörösben (a $8\text{--}13\ \mu\text{m}$ közötti tartományban) vett fel interferometrikus színeképeket. Ezek a hullámhosszak azért különösen érdekesek, mert itt látható a csillagkörüli korongok szilárd anyagának nagy részét alkotó szilikátszemcsék egy széles színeképi alakzata. Az alakzat profiljából lehet a szemcsék méretére és pontos anyagi szerkezetére is következtetni. A MIDI-nek köszönhetően tudjuk, hogy sok korongban a néhány CSE-en belüli részen a szilikátszemcsék nagyok és kristályosak, ezen kívül viszont –

a csillagközi porra is jellemző – szubmikronos ($1\ \mu\text{m}$ alatti méretű) amorf szilikátszemcsék találhatók.

A MIDI-t 2015-ben leszerelték, és rá egy évre minden adata nyilvánossá vált az ESO adatarhívumában. Ekkor az MTA CSFK CSI-ben dolgozó Varga József és munkatársai leöltöttek és egységesen feldolgoztak minden Nap-típusú fiatal csillagról készült MIDI-mérést. A több mint 80 csillag mindegyikéhez korongmodellt illesztettek. Így kiderült, hogy mekkora a korong $10\ \mu\text{m}$ -en sugárzó régiója, és ez hogyan korrelál különböző paraméterekkel, például a központi csillag luminozitásával. A létrehozott adatbázis a MIDI értékes öröksége, és nagymértékben segítheti majd a későbbi mérések megtervezését is.

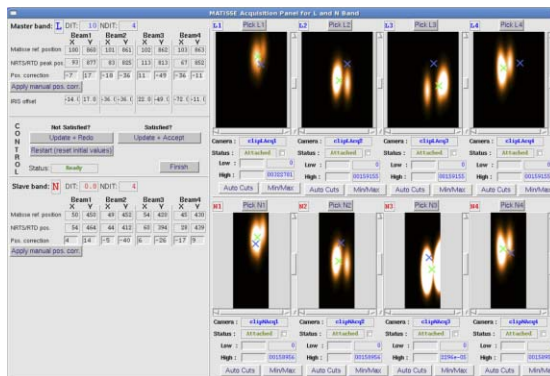
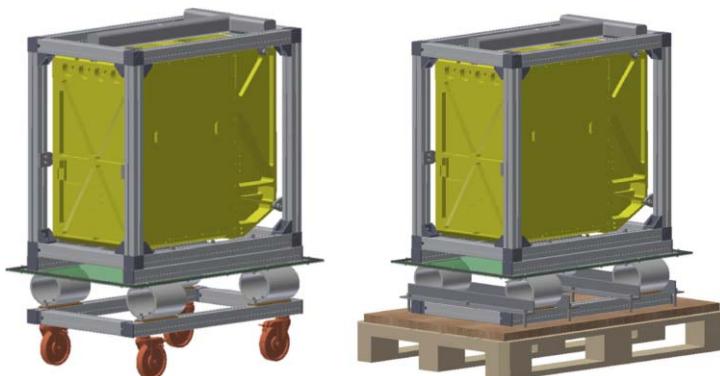
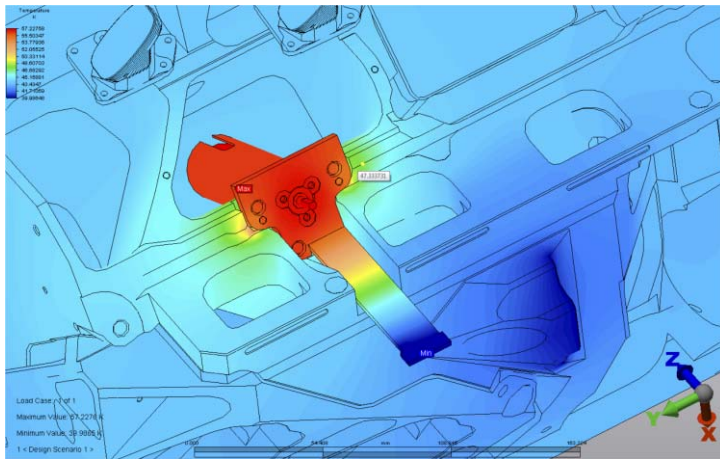
Az MTA CSFK CSI másik kutatója, Lei Chen és kollégái a közepes tömegű, vagyis a Napnál kissé több anyagot tartalmazó csillagokat kutatják. A VLT egy másik műszerével, a PIONIER-rel készítettek közeli infravörös interferometrikus méréseket a HD 169142 jelű csillagról. Az adatokból – szintén modellillesztés segítségével – kimutatták, hogy a csil-

lagtól $0,07$ CSE távolságra (ez a Merkúr pályasugarának mindössze ötöde) mérhető mennyiségű por található, amelynek hőmérséklete $1500\ \text{K}$.

Az előbb ismertetett két projektben a kutatók viszonylag kevés különböző bázison mért vizibilitáspontot illesztettek, és ebből határozták meg a modell paramétereit. Ezekkel a műszerekkel azonban nem lehet valódi képet készíteni. Ezért nagy újítás a MIDI utódjának tekinthető MATISSE (Multi AperTure mid-Infrared SpectroScopic Experiment) műszer, a közép-infravörösben működő első olyan interferométer, amelyik négy távcső jelét kombinálja, és képalkotásra is alkalmas. $3,2\text{--}3,9$, $4,5\text{--}5,0$ és $8\text{--}13\ \mu\text{m}$ -en fog működni, továbbá színeképeket is felvesz majd (6. ábra).

A MATISSE tervezése, majd építése nagyjából egy évtizede kezdődött, és magyar kutatók és mérnökök is részt vettek benne. Nevükhöz például az abszolút nulla fok közelében működő motorok által okozott hőterhelésre vonatkozó hőtani szimulációk fűződnek, de magyarok tervezték és készítették az egyik műszeregység kalibrációs kameráját is. Továbbá modellezést végeztek a műszer biztonságos mozgatásához szükséges szállítóelemekre és a szállítási műveletek során várható mechanikai igénybevételre, valamint hozzájárultak a műszer felhasználói szoftverének megalkotásához és fejlesztéséhez is (7. ábra).

2017 novemberében a MATISSE épségben megérkezett a Paranal Observatóriumba. Az interferenciát 2018 januárjában először egy belső kalibrációs forrá-



7. ábra. Magyar hozzájárulás a MATISSE-hoz: hőtani modell (balra fent), az elkészült kalibrációs kamera (jobbra fent), szállítóelemek modelljei (balra lent) és felhasználói szoftver részlete (jobbra lent). Forrás: MTA CSFK CSI.

son, majd februárban egy égi objektumon, a Sziriuszon is tesztelték. A műszer tesztelésében és beüzemelésében szintén részt vesznek magyar kollégák. A tervek szerint a MATISSE-t majd 2019-től pályázati rendszerben kínálják használatra a csillagászközösségnek.

A magyar kutatók a projekthez való hozzájárulásukért cserébe garantált távcsöidőt kapnak, azaz egy ideig ők használhatják a négy 8,2 méteres távcsövet a MATISSE-szal. A célpont az FU Ori lesz, egy olyan rendkívül érdekes fiatal csillag, amely 1936-ban váratlanul százszorosára fényesedett, és az azóta eltelt több mint 80 évben fényereje alig csökkent. Úgy gondoljuk, hogy ennek a V346 Nor kapcsán már említett korongbéli instabilitás, és így a megnövekedett – a korongról a csillagra történő – tömegátadás az oka. Reméljük, hogy az új interferometrikus mérésekkel közelebb juthatunk majd a korong titkainak megértéséhez, és ahhoz is, hogy általában miként épülnek fel a Naphoz hasonló csillagok.

Az interferometria a modern csillagászat egyik legígéretesebb technológiája, amely a földpálya méretskáláján képes képet alkotni a születő bolygórendszekekről. A magyar csillagászat az elmúlt 15 évben mind

technikailag, mind tudományosan részt vett és vesz az ilyen irányú európai projektekben. Mindezt úgy sikerült elérni, hogy Magyarország még nem tagja az Európai Déli Observatóriumnak. A remélt ESO-csatlakozásunk az ehhez hasonló műszertechnikai és tudományos projekteket sokkal gördülékenyebbé teheti, és folyamatosan biztosítja hozzáférésünket az élvonalbeli eszközökhöz, közöttük a most épülő 39 m-es tükörátmérőjű ELT távcsökhöz.

Magyar nyelvű ajánlott irodalom

Frey Sándor, Gabányi Krisztina Éva: Nagy szögfelbontású rádió-interferometria – űreszközökkel. In: Konkoly Monográfiák 6, Kelemen János, Szabados László (szerk.): *Űrcsillagászat Magyarországon, 2010*, 62–68; <http://www.konkoly.hu/Mitteilungen/m6.pdf>

Kóspál Ágnes, Moór Attila: Hogyan látja az ALMA a fiatal csillagok korongjait? In: *Meteor Csillagászati Évkönyv 2016*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2015.

Mosoni László: Amíg a 100 méteres távcsövek elkészülnek. In: *Meteor Csillagászati Évkönyv 2013*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2012.

http://mta.hu/tudomany_hirei/ujabb-lepes-a-bolygok-keletkezese-nek-megerteseben-magyar-kutatoknak-elsokent-sikerult-megmerni-egy-fiatal-csillag-koruli-anagaramlas-merterekt-107855

http://mta.hu/tudomany_hirei/uj-muszer-kesziti-az-eddigi-legreszletebb-felveteleket-az-egitestekrol-108509

Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: elft@elft.hu

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős kiadó Groma István főtítka, felelős szerkesztő Lendvai János főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyzámlán.

Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 900.- Ft (duplaszámé 1800.- Ft) + postaköltség.

HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és HU ISSN 1588–0540 (online)