

# CSILLAGÁSZATI KÉPALKOTÁS OPTIKAI INTERFEROMETRIÁVAL

Kiss L. László

az MTA levelező tagja, kutatóprofesszor,

MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet  
kiss.laszlo@csfk.mta.hu

Az interferometriai képalkotást optikai hullámhosszakon rendkívül megnehezítik a kapcsolódó mérnöki feladatok kihívásai. Nem véletlen, hogy az optikai csillagászatban csak az új évezred első éveiben váltak alkalmazhatóvá a rádiócsillagászatban már több mint fél évszázada alkalmazott módszerek. Az elmúlt tíz évben fantasztikus eredmények születtek, amelyekre alapozva a következő évtized fejlesztési irányai is kitűzhetővé váltak. Az amerikai CHARA- és a chilei ESO VLTI-távcsőrendszerekkel felbonthatóvá váltak csillagok felszíni részletei, a körülöttük található por- és gázkorongok szerkezete, a bolygókeletkezés nyomjelzői.

## *A csillagászati képalkotás korlátai*

A csillagászat alapvető megfigyelőeszköze a távcső, amivel a fényt összegyűjtjük és elemezzük, illetve képet alkotunk az égitestekről. Az elektromágneses színkép különböző tartományában más-más technológiával készülnek a teleszkópok, ennek megfelelően a képalkotás módszerei is nagyon változatosak. A hétköznapi tapasztalatainkkal legkönnyebben megérthető eljárásokat a látható fény tartományában működő optikai távcsövek biztosítják: miként egy lencsével fókuszálhatjuk a fejtetőre állított világot egy papírlapra,

úgy a csillagászatban használt távcsövek főtükrei is előállítják az optikai tengely irányába eső égitestek közvetlen képét a fókusz síkban, és egy odahelyezett detektor rögzíti a fényesség hely szerinti eloszlását, magyarul a képet. Természetesen a valóságban a konkrét műszerfelépítés ennél sokkal bonyolultabb is lehet, főleg mivel a fényt manipulálhatjuk a detektorig jutás közben (például az elsődleges képet optikai segédeszközökkel kivisszük a tükör fókuszpontjának közeléből, vagy szűrjük a fényt, esetleg nyalábosztóval különböző irányokba eltérítjük az eltérő színeket), ám az alapelveket ez nem érinti.

Az 1980-as években jelentek meg szélesebb körben a digitális csillagászati detektorok, amelyek a rákövetkező évtizedben teljesen kiszorították a korábban egyeduralkodó fotografikus technikát. A mai CCD-kamerák akár 90% feletti csúcsérzékenységű, nagyon precíz műszerek, amelyek számítógépek számára azonnal kiértékelhető digitális képet szolgáltatnak a távcsövek képsíkjaiból. A szilícium-alapú szenzorokból hatalmas mozaikokat lehet építeni, ezért a széles látószögű csillagászati fényképezésben soha nem látott távlatok nyíltak meg: például a teljes égboltra kiterjedő észlelési programok új lendülettel mérik fel a csillagos égbolt változásait – mozgó ob-

jektumok (kisbolygók és üstökösök) mellett felfedezve az időben változó Univerzum jelenségeit.

A képskála másik végén találjuk a nagy felbontást igénylő finom részleteket, amelyekről a közvetlen képalkotás nagyon komoly feladat. A fény hullámtermészetéből adódik, hogy egy távcső nagyítását/képskáláját nem lehet minden határon túl növelni: a végtelenben található pont képe nem pont, hanem a távcső belépő nyílásán kialakuló fényelhajlás miatt jellegzetes szerkezetű diffrakciós kép, közepén egy véges kiterjedésű folttal, körülötte pedig a diffrakciós mintázat gyűrűivel. Mivel a folt mérete a hullámhossz ( $\lambda$ ) és a távcső átmérőjének ( $D$ ) arányával skálázódik, a távcsövek elméleti felbontását pontosan a  $\lambda/D$  arány határozza meg. Például egy 1 m-es tükrőátmérőjű teleszkóppal 550 nm-es hullámhosszon a diffrakcióhatárolt felbontás kb. 0,1 ívmásodperc, ami megegyezik egy 2 m-es távcső elméleti felbontási határával 1,1 mikrométeres közeli-infravörös hullámhosszon. Összehasonlításként: egy 300 fényévre levő fiatal bolygórendszerben 0,1 ívmásodperc 10 csillagászati egységnek, azaz nagyjából a Nap-Szturnusz távolságának felel meg, tehát a részletesebb megértéshez mindenképpen nagyságrendekkel jobb felbontás szükséges. A megoldás formálisan egyszerű:  $1/D$  csökkenthető a rövidebb hullámhosszak, illetve a nagyobb távcsőátmérők felé haladva.

A valóság azonban mindig bonyolultabb. A földi légkör turbulenciái hagyományos képalkotási módszerekkel áthághatatlan korlátot állítanak az ideálisan éles képalkotás elé. Az időben és térben folyamatosan változó törésmutatójú atmoszféra eltéríti a végtelenből érkező fénysugarakat, ezért a csillagok képe a legtöbb távcsőben jelentősen nagyobb koronggá kenődik szét, mint a diffrakciós kép

elhajlási korongja. A világ legjobb asztroklímájú magashegyi obszervatóriumaiiban sem lesz soha kisebb egy csillag képe 0,3–1,0 ívmásodpercnél, és hiába van 8–10 m-es tükrőátmérőjű óriás-teleszkópunk, a légköri nyugodtság korlátait csak speciális technikákkal lehet átlépni (például lézeres műcsillaggal követhetjük a légkör torzító hatásait, majd az optikai rendszer saját torzításait úgy módosítjuk, hogy éppen kompenzálják a légköri hatásokat – ez az ún. adaptív optikai képalkotás).

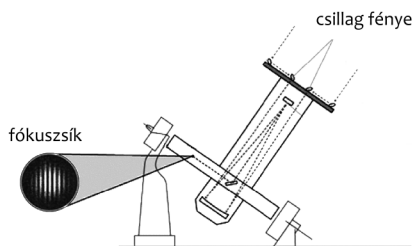
A legnagyobb felbontást nyújtó technika az interferometria, amelynek alkalmazásakor az egymástól nagyobb távolságokra lévő teleszkópok fényét egyesítjük, a kialakuló interferenciaképből pedig olyan felbontással reprodukáljuk a forrás finomszerkezetét, amilyenre külön-külön egyik távcső sem lenne képes. A nagyságrendek érzékeltetésére: amíg a klasszikus képrögzítéssel az ívmásodperces részletek örökíthetők meg, addig interferometriával három nagyságrenddel kisebb szögekről beszélünk, ahol a mértékegység az ezred ívmásodperc (mas = milliarsecond).

### *Fizikai alapok dióhéjban*

Rendkívül leegyszerűsítve: a csillagászati interferometria a hagyományos távcsövekkel fel nem bontható, kicsiny szögmetretű objektumok részleteit meghatározhatóvá tevő mérés-technika, amelynek alapjait a fény hullámtermészete adja meg. A különböző utat bejárt elektromágneses hullámok kölcsönös erősítésén és gyengítésén alapuló elv (az amplitúdó- és fázisinterferometria) a szó szoros értelmében évszázadok óta ismert, hiszen a kezdetek *Albert A. Michelson* és *Hippolyte Fizeau* 19. századi munkásságára vezethetők vissza, de a látható és a közeli-infravörös fény tartományában képalkotásra is használható megva-

lósítása csak a legutóbbi években vált lehetővé. Rádiócsillagászok már bő fél évszázada használják a fizikai Nobel-díjjal is jutalmazott apertúraszintézis módszerét, amelynek lényege, hogy egymástól nagy távolságra elhelyezett rádiótávcsövek jeleit kombinálva (interferáltatva) annival jobb szögfelbontást érhetünk el, mintha egyetlen olyan nagy rádiótávcsövet használtunk volna, amelynek átmérője a jeleket vevő távcsövek egymástól legmesszebbre eső párjának távolsága. A kései optikai megvalósítás kulcskifejezése a jelek kombinálása: természetes fényforrások sikeres interferenciájához a vizsgált hullámhossz töredékének pontosságával kell ismernünk és korrigálnunk az egyedi távcsövek között fellépő fényút-különbséget, ami a centiméteres–méteres hullámhosszú rádiótávcsövek-nél sokkal kisebb mérnöki feladat, mint a nagyjából mikrométeres hullámhosszú optikai és közeli infravörös tartományban működő teleszkópoknál.

A legegyszerűbb csillagászati interferométerben két, egymástól adott távolságon (ún. bázison) levő tükör fényét egyesítjük; a Michelson-féle sztelláris interferométert legelőször a kaliforniai Wilson-hegyi Observatóriumban építették meg, amikor a 100 hüvelykes (2,54 m-es) Hooker-teleszkóppal 1920 decemberében Michelson és *Francis Pease* megmérték a Betelgeuze látszó szögátmérőjét. A mérés elve az 1. ábrán látható: az egymástól több mint 6 m-re levő két kis tükör fénynyalábait a 100 hüvelykes tükör egyesíti, ennek eredményeként a fókusz síkban nem egy Airy-koronghoz hasonló kép alakul ki, hanem jól definiált csíkrendszer, amelyben a csíkok mérete és lefutása hordozza az információt a fényforrás szögátmérőjéről (pontosabban a felületi fényességének eloszlásáról, amelynek egyik paramétere az átmérő).



1. ábra • A Michelson-féle sztelláris interferométer sematikus ábrája, illetve a fókusz síkban kialakuló csíkrendszer képe

Mivel a két tükör égi vetülete kítűz egy adott irányt, ezzel a technikával csak az abba az irányba eső átmérő mérhető meg. Egy teljes éjszaka alatt a Föld forgása a két tükör égi vetületét is elfordítja, azaz folyamatosan mérve az interferenciakép változásait az átmérő mérését több pozíciószögre is kiterjeszthetjük, ez azonban nagyon korlátozott, és még messze van az optikai apertúraszintézistől. Valódi interferometrikus képalkotásra több elemből álló és egy egész síkot kifestítő tükör-együttesre van szükségünk, amelyben a páronként egyesített fénynyalábok interferenciájával más-más égi irányokban mintavételezzük az észlelt égitest átmérőjét, illetve fényességeloszlását. A finom felületi részletek a tükörhármások, -négyesek interferált jeleiből meghatározható fázisadatokból reprodukálhatók. (Fizikus olvasók számára: az interferométerrel valójában a kép Fourier-transzformáltjának amplitúdóit és fázisait mérjük meg, amelyekből egy inverz transzformáció adja vissza az eredeti képet.)

Jelenleg két igazán nagy optikai interferometriai képalkotó műszeregyüttes működik a világon: a CHARA hat darab 1 m-es tükrös teleszkóp fényét kombinálja, az Európai Déli Observatórium VLTI műszere pedig négy

8,2 m-es és négy 1,8 m-es tükrőátmérőjű távcső nyalábjával dolgozik. Mielőtt bemutatjuk ezeket az opto-elektromechanikai remekműveket, megemlítjük az interferenciaképrögzítésének nehézségeit. Emlékezzünk arra, hogy a természetes fényforrások interferenciájához a különböző távcsövek fényút-különbségét a hullámhossz töredékének pontosságával kell ismerni, illetve kiküszöbölni. Ha pontosan felfelé néz mindegyik teleszkóp, akkor az éppen a fejünk felett tartózkodó csillag hullámfrontjai ugyanabban az időben érik el az összes távcsövet, így ugyanakkora úton elvezetve a fényt az interferométerig elvileg kialakulhat a jellegzetes csíkszerkezet. Azonban mihelyst eltérő irányban észlelünk, a különböző távcsövekhez más-más időpontban ér el ugyanaz a hullámfront, s az akár száz métert is elérő útkülönbséget néhány tíz nanométeres pontossággal kell kompenzálni.

Ezt a gyakorlatban úgy érik el, hogy a távcsövektől vákuumcsöveken át elvezetett fénynyalábok úthosszát az egyesítés előtt az ún. *nyalábszintetizálásban* kiegyenlítik. Ez általában egy több tíz méter hosszú alagút, amelyben sínpárokra guruló kiskocsikra szerelt tükrök mozgásával mindegyik távcsőről érkező nyaláb ide-oda tükrözéssel pontosan annyit késleltethető, hogy a nyalábkombináló laborba már ugyanaz a hullámfront érkezzon meg mindenhol. A kocsik mindenkor helyzetét nagyon pontos lézerezinterferométeres telemetria adja meg.

Ha ez így egész egyszerűen hangozna, lépünk ki a való világba: a Föld ugyanis forog, mégpedig nem is kis sebességgel, óránként 15 fokot elfordulva. Emiatt a több száz méteres bázisvonalú távcsőpároknál a fényút-különbség gyakorlatilag több cm/s sebességgel változik, azaz a nyalábkésleltető kiskocsiknak adott esetben több centimétert kell másodpercen-

ként megtenni úgy, hogy a rajtuk levő tükrök helyzete 10–20 nm-es pontossággal ismert és meghatározott. Ezt nem is lehet csak a kocsik mikroszkopikus szinten durva mozgásával elérni, ezért a fényvisszaverő tükrök a kocsi-kon egy elektromágnesesen finomhangolható tartón vannak, amely a távolságokat másodrendben korrigálja, rajta pedig egy piezoelektromos távtartó koronázza meg harmadlagos korrekciókkal az ultraprecíz telemetriát. És az egész rendszernek képesnek kell lennie a változó légköri viszonyokból fellépő fényút-különbség korrigálására is („vezetni” az interferenciaképre) – mindezt valós időben! Nem véletlen, hogy a 2000-es évek technikai fejlettségére volt szükség a ténylegesen működő optikai interferometriai képalkotáshoz.

#### *Tudományos alkalmazások*

A legegyszerűbb csillagászati interferometriai feladat csillagkorongok átmérőjének meghatározása. A mérések közel kilenc évtizedes múltja során feltételezték, hogy az észlelt csillag kör alakú korong egyenletes vagy perezsötétedéses fényességeloszlással. A mért interferenciacsíkokhoz megkeresve azt a korongátmérőt, amellyel kiszámítva az elméleti interferenciát a lehető legjobban közelíthető a fókusz síkban detektált kép (a gyakorlatban nem magukat a képeket, hanem az azok Fourier-transzformáltjaiból származtatott láthatóságot (*visibility*) illesztjük elméleti modellel, de ez a lényegen nem változtat). Viszonylag egyszerűen belátható, hogy ismert látszó fényességű csillagokra a szögátmérő és a csillag hőmérséklete szoros kapcsolatban áll, ezért a technika egyik fontos alkalmazása a nagyon precíz hőmérsékleti skála kalibrálása. Időben változó átmérőjű csillagokra közvetlenül kimérhető a szögátmérő változása, ami például a kozmikus távolságskálában fontos

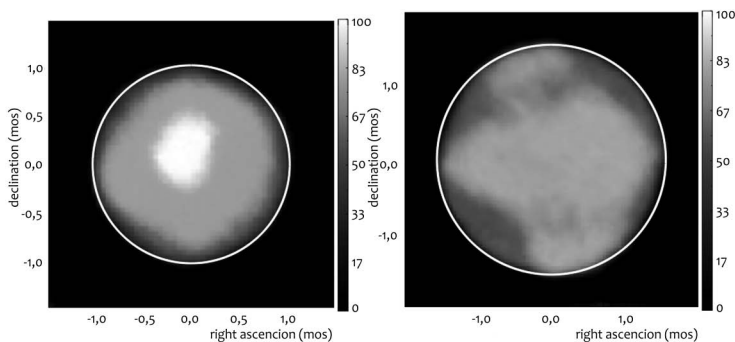
szerepet játszó cefeidák esetében a sugárirányú pulzáció által okozott 10–20%-os periodikus méretváltozásokat jelenti. Összevetve ezeket a fényesség és a látóirányú sebesség Doppler-effektusból számítható változásaival a pulzáló változócsillagok fizikáját tanulmányozhatjuk, illetve pontosíthatjuk magát a távolságskálát (2. ábra).

Természetesen egészen más interferenciaképet kapunk, ha a mért csillag valójában egy szoros kettőscsillag. Épp ezért második alkalmazásként a kettőscsillagok asztrometriája említhető: az összetett interferenciacsíkok elemzésével kiszámítható az adott pár komponenseinek szögtávolsága, illetve pozíciószöge. Hosszú időn keresztül megismételt mérésekkel kirajzolódhat a rendszer egész pályája, amelyből viszont már szinte a teljes fizikai leírás lehetővé válik (például tömegek, luminositások, távolság). Ide tartozik az extraszoláris bolygók pályameghatározása is, noha a kontrasztviszonyok miatt még az infravörös tartományban is sok nagyságrenddel halványabbak a bolygókísérők, mint a központi égitestek, ezért detektálásuk kemény dió.

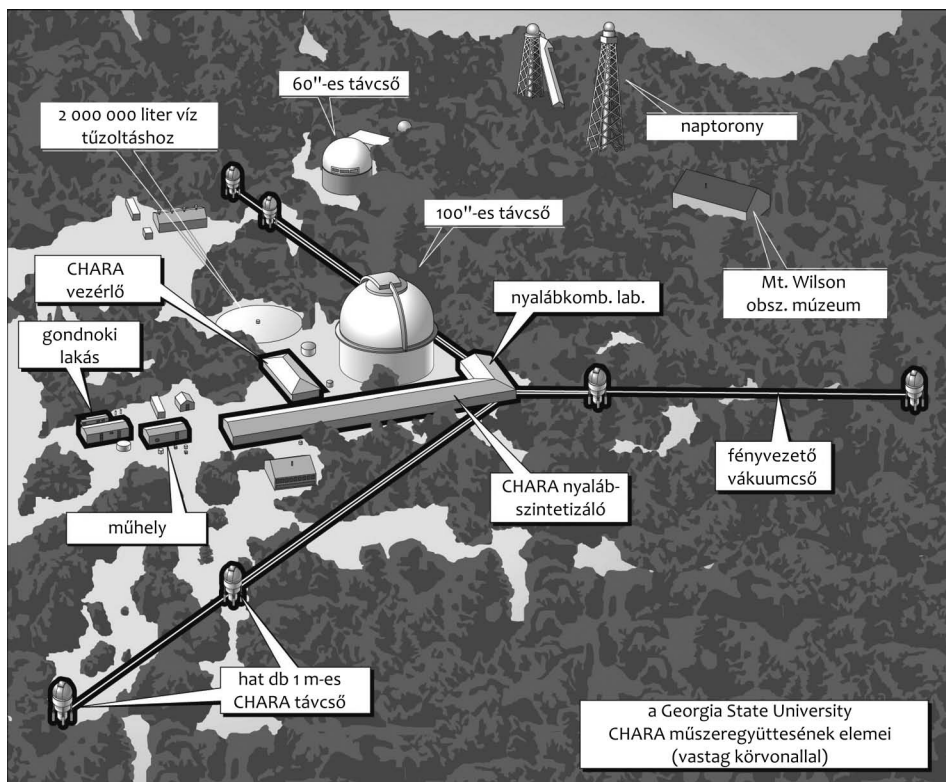
Kellően nagy bázisvonalak és fázislefedtség mellett a csillagkorongok felszíni részletei

is felbonthatóvá válnak. Ebben úttörő munkát a CHARA-rendszer MIRC elnevezésű közeli-infravörös kamerája végzett az előző évtized közepén (például a nyári égbolt fényes csillagán, az Altairon különleges, a pólusok felé melegedő felszíni hőmérséklet-eloszlást mért ki Monnier et al., 2007), mára pedig viszonylag rutinfeladattá vált az ezred ívmásodperces nagyságrendbe eső világos és sötét foltok feltérképezése interferometriai módszerekkel (lásd például Baron et al., 2014). A nagyon kicsi és közelítőleg kör alakú korongok részletei érdekesek lehetnek a naprendszerbeli kisbolygókra is, illetve a kozmológiai távolságokon található aktív galaxismagok központi fekete lyukait övező gázburkok esetében.

Végezetül szintén látványos eredmények születtek a körszimmetrikustól erősen eltérő, illetve a koncentrikus héjakkal övezett objektumok kutatásában. Mind a kialakulóban lévő fiatal csillagokat, mind az erős tömegvesztést mutató idős égitesteket gyakran porból és gázból álló korong veszi körbe, amelynek karakterisztikus látszó mérete messze alatta marad a Hubble-űrtávcső számára elérhető tartománynak. Ilyenkor kizárólag az interferometrikus módszerekből következtethetünk a



2. ábra • Két pulzáló vörös szuperóriás, a T Persei (balra) és az RS Persei (jobbra) rekonstruált képei a CHARA MIRC műszerével. A T Persei korongjának közepén látható fényes folt gyaníthatóan a csillag kiterjedt konvektív régiójával kapcsolatos (Baron et al., 2014).



3. ábra • A CHARA műszeregyüttes a Wilson-hegyi Observatóriumban

csillagkörüli anyag térbeli eloszlására, az esetleges csomósodások (pl. kialakuló bolygók) jelenlétére, illetve a rendszer geometriájára.

## CSÚCSMŰSZEREK

### *CHARA a Wilson-hegyen*

A Georgia State University által alapított CHARA (*Center for High Angular Resolution Astronomy*) rendszere gigantikus pókhálóként hat darab, egyenként 1 m-es távcsővel hálózta be a kaliforniai Wilson-hegyi Observatóriumot. Noha a Los Angeles peremén található helyszín ege mára meglehetősen fényszennyezett, a nagy fényigényű interferometria eleve fényes csillagok vizsgálatára használható, ezért

az égi háttér zavaró hatása nem jelentkezik az adatokban. Az observatórium a 20. század első felében óriási felfedezések helyszíne volt: itt dolgozó csillagászok ismerték fel, hogy a Nap nem a Tejútrendszer középpontjában van (*Harlow Shapley*); fedezték fel, hogy számtalan galaxis létezik még a Tejútrendszeren kívül (*Milton Humason, Edwin Hubble*); a Napnak pedig jelentős mágneses tere van, ami fontos szerepet játszik aktivitásában (*George Ellery Hale*); az Univerzumot létrehozó ősrobbanás jeleként a galaxisok távolodnak (szintén Hubble); saját galaxisunkon belül pedig eltérő korú csillagok populációi különíthetők el (*Walter Baade*). Ehhez képest a CHARA egy szűk szakterületen, a csillagok interferometriá-



jában játssza az egyik vezető szerepet, ám ez mit nem von le a kutatások érdekességéből.

A CHARA hat távcsövéből összesen tizenöt pár alkotható, amelyek nemcsak más-más pozíciószögeknek felelnek meg, hanem a párok távolságai is széles tartományba esnek (3. ábra). Utóbbival különböző szögtartományok fedhetők le: a közeli távcsőpárok a nagyobb szögtávolságú, a távoli párok pedig a legfinomabb részletekre érzékenyek. A CHARA legnagyobb bázisvonala 331 méter, ami a használható hullámhosszakat figyelembe véve kb. 200 mikroívmásodperces (0,2 mas) felbontást tesz lehetővé! Összehasonlításképpen: a Hubble-úrtávcső (HST) WFPC2 kamerájában egy pixel kb. 0,05 ívmásodperc, azaz 50 mas méretű az égen – ez 250-szer nagyobb, mint a CHARA-rendszer maximális felbontása. Persze utóbbival soha nem fognak olyan gyönyörű, részletdús képek készülni kiterjedt, halvány égitestekről, mint a HST-vel – de nem is ez a műszeregyüttes célja.

Az intézmény két magyar munkatársa, *Sturmann László* és felesége, *Sturmann Judit* kezdettől fogva a kutatócsoport tagja (bő két évtizede élnek az USA-ban). Legfőbb feladatuk a működés során felmerülő problémák, fejlesztések, optikai tervezések megoldása, végrehajtása – egyszóval a műszeregyüttes stabil futásáért felelősként rendkívül fontos szerepet játszanak a CHARA életében. Hozzájárulásuk alapvető volt abban, hogy a CHARA ma az északi féltekén működő legérzékenyebb és legnagyobb felbontású optikai, illetve infravörös-interferométer, az elmúlt tíz évben több mint száz referált cikket produkáló kutatásokkal.

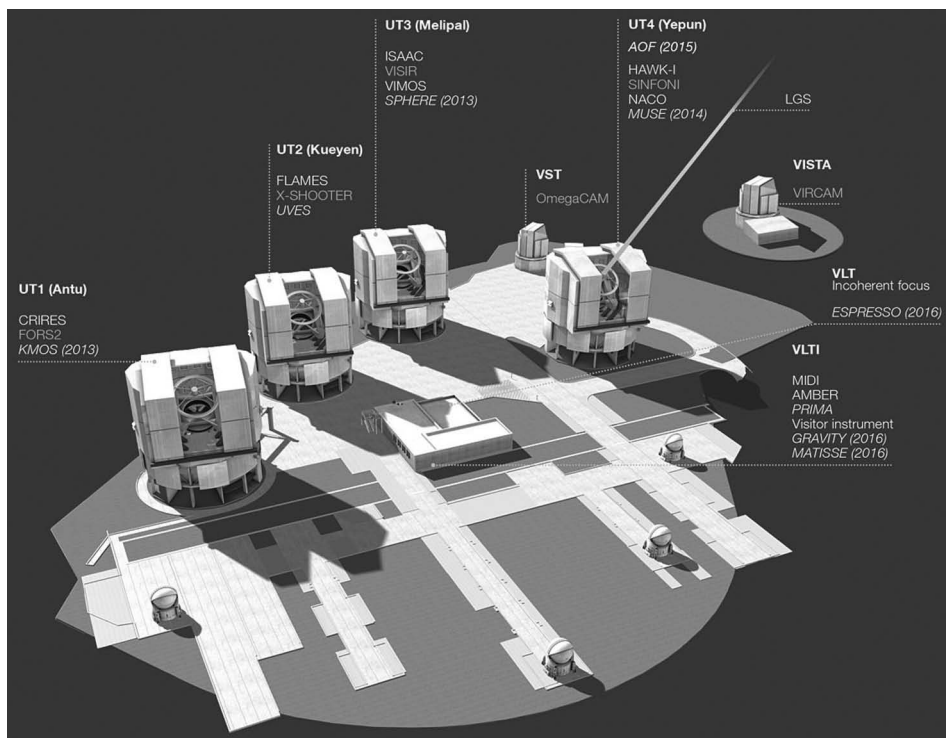
#### *ESO Very Large Telescope Interferometer*

Az Európai Déli Observatórium (European Southern Observatory – ESO) kétségkívül a

világ csillagászatának egyik legfontosabb megfigyelőhelye. Négy 8,2 m-es óriásteleszkóp épült a Cerro Paranal csúcsára, amelyeket kezdettől fogva interferometrikus üzemmódban is terveztek használni. A minél jobb felbontás és fázislefedettség céljából négy 1,8 m-es segédteleszkóp szolgálja az összességében Very Large Telescope Interferometer (VLTI) névre keresztelt műszeregyüttest. Utóbbi távcsövek harminc egyedi állomáshely között mozgathatók, ezáltal beállítható az optimális konfiguráció tetszőleges égi pozícióra. A leg hosszabb bázisvonal 140 méteres, ami az alkalmazott infravörös hullámhosszakkal együtt mintegy 1 mas felbontást enged meg a VLTI-vel (4. ábra).

Miként a CHARA-nál is több műszer analizálja az interferenciaképeket, úgy az ESO VLTI esetében is különböző hullámhosszakon, különböző nyalábkombinációkkal több műszer szolgálja a szakmai közösséget. 2015 tavaszán három nyalábkombinálóra lehetett beadni műszerpályázatokat: a MIDI 8 és 13 mikrométeres közép infravörös hullámhosszakon kettős interferenciaképeket rögzít, az AMBER 1 és 2,5 mikrométer közötti közeli infravörösben távcsőhármások nyalábjait, a PIONIER pedig a grenoble-i IPAG intézet vendégműszereként távcsőnégyesek egyesített fényét kombinálja interferometrikus képalkotáshoz, 1,6 mikrométeres hullámhosszon.

A VLTI nemcsak rendkívül produktív eszköz (tíz év alatt több mint ezer publikációt eredményezett), hanem a jövőbeli fejlesztéseket is nagyban generálja. Jelenleg két újabb interferometriai műszer áll fejlesztés alatt: a MATISSE és a GRAVITY. Mindkettő távcsőnégyesek nyalábjait fogja interferáltatni a közeli- és közép infravörös tartományban. A MATISSE hazai vonatkozása, hogy az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóköz-



4. ábra • Az ESO VLTi négy 8,2 m-es óriásteleszkóp és négy 1,8 m-es távcső fényét kombinálja az interferometriai mérésekhez.

pont Csillagászati Intézetének munkatársai részt vesznek a fejlesztési munkálatokban egy holland-magyar kooperáció keretében. A GRAVITY fő célja 2 mikrométeres hullámhosszon a Tejútrendszer magjában található központi fekete lyuk vizsgálata, a mintegy 10 mikroívmásodperces pontosságú pozícióméréseken keresztül. Ezzel a felbontással a nagyjából 4 millió naptömegű fekete lyuk körül keringő csillagok pályáit lehet nagyon pontosan kimérni, amiből közvetlenül adódik a vizsgált tartomány téridő-metrikája, illetve a behulló gázfelhők sugárzását is követni lehet.

#### A jövő

Miközben az amplitúdó- és fázisinterferometria alapuló képpalkotás bevonul az optikai

csillagászat eszköztárába, érdekes régi-új irányok nyílnak meg a technikai fejlődéssel. Dainis Dravins és munkatársai a *Nature Communications*-ben publikálták 2015. áprilisban azt a tanulmányt, amelyben az intenzitásinterferometria optikai megvalósítását mutatták be újszerű módon: optikai jelegyesítés helyett elegendő lehet az elektronikus formában történő korreláltatás. Maga az ötlet Robert Hanbury Brown és Richard Twiss 1956-os kísérleteire vezethető vissza, akik a Sirius szögátmérőjét a csillagról érkező fotonáram intenzitásában kimutatható koherencia alapján határozták meg. Noha a jelenség értelmezhető a klasszikus optika fogalmaival, valójában kétfotonos kvantumjelenségről van szó. Ami különösen fontos gyakorlati szem-



pontból: az intenzitásinterferometria nem igényli a pontos képalkotást, mindössze a fotonáram időbeli jellemzőit kell kimérni különböző helyeken található távcsövekkel, majd a koherencián alapuló korrelációt kell kiszámítani. Ez azt jelenti, hogy a fényáram mérésére használt távcső optikai képalkotásának minősége szinte teljesen mindegy, illetve a légköri turbulenciák hatása is minimális. Azaz kidolgozható egy olyan interferometriai mérés, amelyhez nagyon olcsó távcsőhálózzal meglepően érzékeny képalkotás válik lehetővé. A kutatók javaslata alapján az atmoszferikus Cserenkov-sugárzás detektálására használt távcsövek ideális optikai eszközök

a technikához, és már néhány éven belül akár sok kilométeres bázisvonalú optikai interferometria is lehetővé válik. Mindez újabb nagyságrendi ugrást hozhat a felbontásért vívott küzdelemben, ezért az optikai interferometria közel sem lezárt történet még a csillagászatban.

A szerző munkáját az MTA Lendület Fialat Kutató Programja, az OTKA és az ESA PECS program támogatja.

Kulcsszavak: *interferometria, optikai apertúraszintézis, csillagok asztrofizikája, csillagászati műszertechnika, CHARA, ESO VLTI*

#### IRODALOM

- Baron, Fabien – Monnier, J. D. – Kiss L. L. et al. (2014): CHARA/MIRC Observations of Two M Supergiants in Perseus OB1: Temperature, Bayesian Modeling, and Compressed Sensing Imaging. *Astrophysical Journal*. 785, id. 46 DOI: 10.1088/0004-637X/785/1/46 • [http://iopscience.iop.org/0004-637X/785/1/46/pdf/0004-637X\\_785\\_1\\_46.pdf](http://iopscience.iop.org/0004-637X/785/1/46/pdf/0004-637X_785_1_46.pdf)
- Dravins, Dainis – Lagadec, T. – Nuñez, P. D. (2015): Optical Aperture Synthesis with Electronically Con-

nected Telescopes. *Nature Communications*. 6, id. 6852 DOI: 10.1038/ncomms7852 • <http://www.nature.com/ncomms/2015/150416/ncomms7852/full/ncomms7852.html>

- Monnier, John D. – Zhao, M. – Pedretti, E. et al. (2007): Imaging the Surface of Altair. *Science*. 317, 342 DOI: 10.1126/science.1143205 • [http://dept.astro.lsa.umich.edu/~monnier/Altair2007/Altair\\_files/monnier\\_final.pdf](http://dept.astro.lsa.umich.edu/~monnier/Altair2007/Altair_files/monnier_final.pdf)

