

1. ábra. A James Webb űrteleszkóp 2022 júliusában rögzített felvétele a Carina-ködről. A kozmikus tájképet a teleszkóp NIRCam és MIRI műszereivel készítették [7]

Dr. Szabó Róbert\*

# Űrtávcsövek reneszánsza

## BEVEZETÉS

Napjainkban az űrtávcsövek reneszánszát éljük. Egyre-másra hallunk híreket egy-egy űrtávcsővel történt csillagászati felfedezésről, vagy új űreszköz felbocsátásáról. Nem is csoda, hiszen az űrtechnológia fejlettsége olyan szintet ért el, hogy rutinszerűen juttathatunk űreszközöket Föld körüli, vagy akár távolabbi pályákra is, a technológiai eszközök (számítógépek, digitális képrögzítő eszközök) látványosan fejlődnek, egyre pontosabb méréseket, és az adatok egyre gyorsabb és egyre nagyobb tömegben történő feldolgozását teszik lehetővé. További adalék, hogy létezik egy gyümölcsöző kölcsönhatás a hadiipari és a polgári – jelen esetben a tudományos, még pontosabban asztrofizikai – felhasználás között. Publikus információk elérhetősége híján erről kevesebb szó esik, de belátható, hogy nem jelent gyökeresen eltérő feladatot jó felbontással földi vagy űrbéli célpontot leképezni, nagy mennyiségű adatot tárolni, feldolgozni és visszajuttatni a Földre. Tehát nem járunk messze az igazságtól, ha – a hadiiparra jellemző, sok esetben titkos technológiákat is figyelembe véve – kijelentjük,

hogy az optikai űrtávcsövek és a kéműholdak nagyfokú hasonlóságot mutatnak.

Ennek kiváló példája az amerikai Nemzeti Felderítő Hivatal (National Reconnaissance Office – NRO) és a NASA együttműködése, amelynek során az NRO 2012-ben két Hubble-szerű (azonos főtükör-átmérőjű, de rövidebb fókuszsú, így nagyobb látómezőt biztosító), katonai célokra már nem használt (és így a földön tárolt) távcsövet ajánlott fel tudományos célra. A kutatók kapva kaptak az egyedülálló alkalmon, amelyből megszületett a Nancy Grace Roman<sup>1</sup> űrtávcső, és a hozzá kapcsolódó tudományos misszió terve. A 2,4 méteres átmérőjű főtükörrel rendelkező teleszkóp korábban a Wide-Field Infrared Survey Telescope (WFIRST) néven volt ismert. A teleszkópot – amelynek fő feladata a kozmológiai megfigyelések és exobolygók vizsgálata lesz – 2027-ben tervezik pályára állítani a Nap–Föld-rendszer második Lagrange-pontjába<sup>2</sup>. (2. ábra)

Bár a csillagászatban a teljes elektromágneses spektrumot használjuk – igaz, a rádiótartomány egyes ablakait és a látható fényt kivéve a földi légkör ezeket nem engedi át – ebben a tanulmányban csak a látható, ultraibolya és az

**ÖSSZEFOGLALÁS:** A csillagászati megfigyelőműszerek egyre nagyobb hányada települ az űrbe, ahol a földi légkör zavaró hatásaitól mentesen végezhetünk megfigyeléseket. Tanulmányunkban áttekinjtjük a látható, az ultraibolya és az infravörös hullámhossz-tartományokban üzemelő legfontosabb csillagászati űrtávcsöveket. Tárgyaljuk felépítésüket, működésüket, műszereiket, legfőbb feladataikat és az eddig elért tudományos eredményeiket. Röviden kitérünk a csillagászat és a hadtudomány űrtechnológiával kapcsolatos kölcsönhatására is.

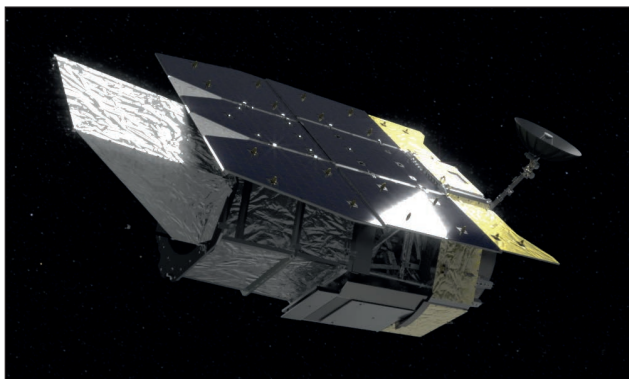
**KULCSSZAVAK:** csillagászat, asztrofizika, űrtávcső, NASA, ESA

**ABSTRACT:** Many astronomical instruments are designed to work in space, where they can do observations without the disturbing effect of the terrestrial atmosphere. In this paper we review the most important astronomical space telescopes that work in the visible, ultraviolet, and infrared parts of the electromagnetic spectrum. We describe their structure, operations, instruments, most important goals, and scientific results. We briefly discuss the interaction between civil and military science regarding space technology.

**KEY WORDS:** astronomy, astrophysics, space telescope, NASA, ESA

\* PhD, DSc, igazgató, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet. ORCID: 0000-0002-3258-1909





2. ábra. A Nancy Roman Grace infravörös teleszkóp, amelynek főtükre az Egyesült Államok Nemzeti Felfedítő Hivatalának adománya volt [1]

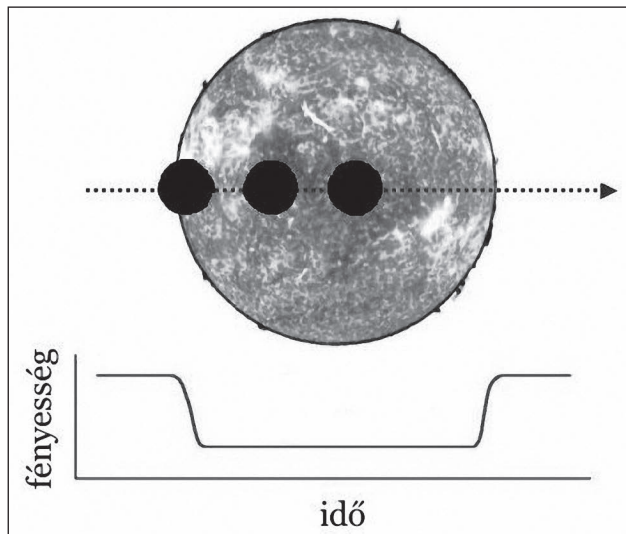
infravörös tartományban működő űrtávcsövekre szorítokunk. A hosszabb hullámhossz-tartományokban mikrohullámú és rádiótávcsövek működnek, a rövidebb hullámhosszokon röntgen-, sőt akár gammatávcsövek is léteznek, amelyek az univerzum nagy energiájú folyamatait hivatottak vizsgálni, ezek ismertetése azonban meghaladná jelen írásunk kereteit. Megjegyzendő, hogy míg évszázadokon át (a meteoritokat és az in situ szondákat kivéve) az elektromágneses sugárzás volt az egyetlen információhordozó, amellyel az univerzum objektumairól és folyamatairól tudomást szerezhettünk, az utóbbi évtizedekben előtérbe került a többcsatornás asztrofizika: amikor is nagy energiájú töltött vagy semleges részecskék, így pl. neutrínók, protonok, kisebb atommagok, illetve az Einstein által megjövendölt, 2015-ben kimutatott és a felfedezést 2017-ben Nobel-díjjal elismert<sup>3</sup> gravitációs hullámok (ez utóbbiak a négydimenziós téridő hihetetlenül apró „fodrozódásai”) révén új ablakok nyíltak az univerzumba.

Az ismertetés során nem időrendben, hanem tematikus sorrendben haladunk, azaz az űrtávcsöveket szűk vagy éppen nagyon is tág megfigyelési területeik szerint mutatjuk be.

### KEPLER, A BOLYGÓFELFEDEZÉSEK CSÁSZÁRA

A Kepler-űrtávcső ötlete egy 1984-es konferencián merült fel, ahol Bill Borucki<sup>4</sup> (NASA Ames Research Center, Kalifornia) és kollégái arról értekeztek, hogy milyen pontos fényességmérés érhető el a földfelszínről, és mi történik, ha ugyanezt az űrben próbálják ki. Akkor még egy évtizednyire voltunk az első exobolygó (azaz Naprendszeren túli planéta) felfedezésétől, de már akkor is világos volt, hogy a fedési, vagy tranzitmódszer<sup>5</sup> hatékony lehet más csillagok körül keringő bolygók kimutatására. A módszer azon alapszik, hogy ha szerencsés szögből figyelünk meg egy bolygót, akkor az periodikusan áthalad központi csillagának korongja előtt, parányi fényességcsökkenést okozva. (3. ábra)

Ha elég pontosan tudunk fényességet mérni, akkor máris kezünkben van egy módszer, amellyel távoli bolygókat fedezhetünk fel. Ha a Naphoz hasonló csillagunk van, akkor a méretarányok miatt egy Jupiter méretű bolygó 1%-os fényességcsökkenést okoz, míg egy Föld méretű objektum mindössze 0,01%-nyit. A tízezred résznyi fényességcsökkenés kimutatása meghaladja a földi műszerek képességeit, ehhez a földi légkör zavaró hatásaitól megszabadulva, az űrbe kell mennünk. Érdeemes végiggondolni, hogy a Naprendszerünket távolról (véletlen irányból) szemlélő hi-



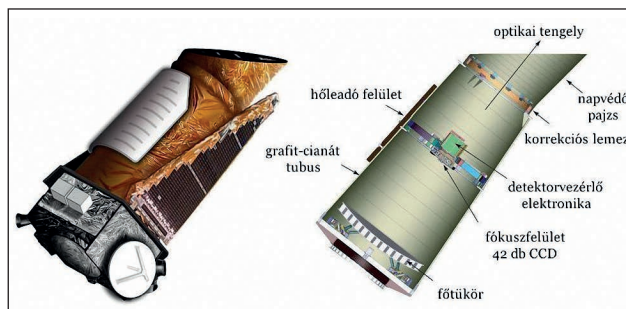
3. ábra. Egy bolygótranszit és a csillag fényében bekövetkező fényességcsökkenés (A szerző szerkesztése)

potetikus űrlakó mindössze egy ezreléknyi eséllyel fogja a Föld Nap-fedéseit látni, és ezek a fedések évente egyszer, mindössze 13 órán keresztül tartanak.

A Kepler űrtávcső koncepciójával a '90-es évek elejétől többször is jelentkezett a NASA-nál Bill Borucki és csapata. Az első exobolygót pedig nem is a fedési módszerrel, hanem a bolygó a csillagra gyakorolt gravitációs hatását kihasználó radiális sebesség módszerrel fedezték fel<sup>6</sup>. A 2000-ben történt első tranzitos exobolygó felfedezése azonban meghozta az áttörést, és a koncepció sokadik próbálkozásra zöld utat kapott. A koncepció ekkor kapta a Kepler<sup>7</sup> nevet, és a misszió a NASA Discovery típusú küldetéseinek sorába került, 600 millió dolláros költségvetéssel. A program fő célja a Naphoz hasonló csillagok körül keringő, Földhöz hasonló méretű bolygók felfedezése fedési módszerrel. A nagyon pontos fényességméréshez Föld-követő pályát terveztek 372 napos keringési idővel, ami azt jelenti, hogy a Kepler egyre jobban „lemarad a Földtől” a Nap körüli keringés során. Az eszközt 2009 márciusában bocsátották fel a floridai Cape Canaveralról<sup>8</sup>, és néhány hónapig tartó próbaüzem után, megkezdte a tudományos adatok gyűjtését.

Hogyan néz ki egy ilyen specializált műszer, amit egyetlen célfeladatra terveztek, nevezetesen, hogy minél több csillag minél pontosabb fényességmérését végezze megszakítás nélkül? Távcsövünk egy 1 méter főtükör-átmérőjű Schmidt-rendszerű teleszkóp<sup>9</sup>, a tubus elejére szerelt korrekciós lencse teszi lehetővé a nagy égbolterületek torzításmentes leképezését. (4. ábra)

4. ábra. A Kepler űrtávcső felépítése (A NASA ábrái alapján a szerző szerkesztése)





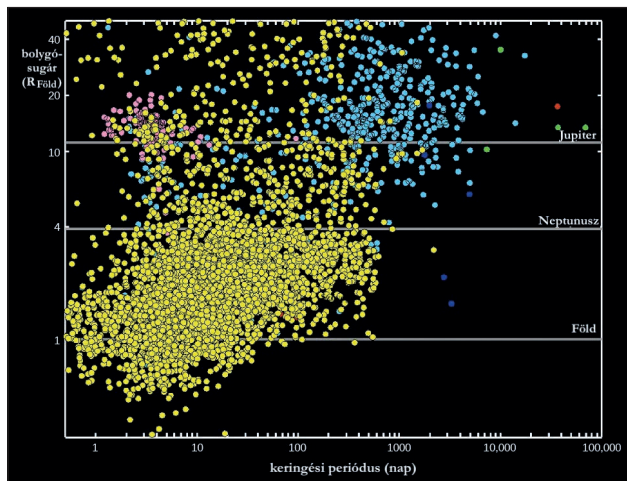


5. ábra. A Kepler teleszkóp görbült fókuszsíkra illeszkedő felületi kialakítású, 42 CCD-ből álló kamerarendszere. A 21 db négyzet mindegyike 2-2 db, szorosan összeillesztett CCD-t tartalmaz, a négy sarokban látható fekete négyzetek pedig 1-1 db, a pontos iránytartást szolgáló (Fine Guide Sensors) érzékelőt tartalmaznak [2]

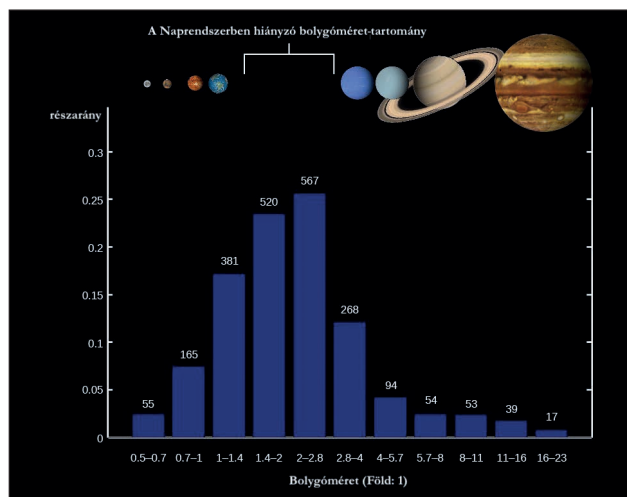
Esetünkben 115 négyzetfokos (kinyújtott tenyérnyi) egyszerre leképezhető területről van szó, amelyet 42 db CCD-ből álló, 100 megapixeles detektorrendszer rögzít a távcsőgyomrában. (4. ábra)

A Mátrában, a CSFK Csillagászati Intézetének Piskés-tetői Observatóriumában, a fentihez nagyon hasonló műszer található 90 cm-es főtükör-átmérővel, és 60 cm-es bemenőnyílással, amelyet az utóbbi években földközeli kisbolygók felfedezésére használnak. A Kepler detektorainak pixelmérete viszonylag nagy, 4 ívmásodperces felbontást eredményezve az égen. Az egyedi expozíciók hosszúsága 6,5 másodperc, amelyből 9-et összeadva 1 perces, 270-et összeadva pedig 30 perces mintavételezésű adatok állnak rendelkezésre a kiválasztott csillagokról. Megfigyelési adatokat a telemetriai kapacitás viszonylagos szűkössege miatt csak előre kiválasztott csillagokra lehetett letölteni (az összes pixel mintegy 5–6%-át). Ezzel a rendszerrel elérhetővé vált a  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  relatív pontosság a csillagászati fényességmérésben, amely 2–3 nagyságrenddel jobb fotometriai mérési pontosságot jelent, mint amely a földfelszínről korábban lehetséges volt. Fontos eredmény a folyamatos megfigyelés lehetősége is, amely a Földről szintén nem kivitelezhető a nappalok és éjszakák váltakozása, valamint a földi időjárás miatt. Az adatgyűjtést csak a 8 órás adatletöltési időszakok és rövid technikai szünetek szakították meg.

A Kepler majdnem napra pontosan négy évig működött (ezt hívjuk a Kepler első missziójának), miközben a nyári Tejút (galaxisunk) csillagokban gazdag vidékének egy jól meghatározott területét monitorozta megszakítás nélkül. Közel 200 000 csillag fényességének időbeli változását rögzítette. Ez alatt az idő alatt a mai napig ismert több mint 5000 exobolygó kétharmadát fedezte fel! Az egyik legfontosabb statisztikai megállapítás, amely a Kepler teleszkóp adatai és a földi adatok elemzése alapján megfogalmazható, hogy szinte minden csillagnak van bolygórendszere. Ezt 25 évvel ezelőtt még nem tudtuk, és idegen bolygórendszerek legfeljebb a sci-fi történetekben léteztek. E sorok írójának véleménye szerint ennek a felfedezésnek a fontossága gondolkodásunk szempontjából megközelítőleg a Kepler-törvényekhez hasonlítható.



6. ábra. Exobolygó-felfedezések 2015-ig. A függőleges tengely a Földhöz viszonyított bolygósugarat mutatja. A vízszintes vonalak a Föld, a Neptunusz és a Jupiter méretét jelzik. A vízszintes tengely a keringési periódust mutatja (a Merkúr keringési ideje 88 nap, a Földé 365 nap, a Jupiteré 12 év, a Neptunuszé 165 év). A rózsaszín a Kepler előtti fedési technikával felfedezett planétákat mutatja, a sárga jelek a Kepler-felfedezéseket ábrázolják. Kék szín jelöli a radiálissebesség-módszerrel megtalált bolygókat (A [3] alapján a szerző szerkesztése)



7. ábra. A hisztogram a Kepler teleszkóp első 2213 bolygójának méreteloszlását mutatja. A mérettartomány fél Föld-sugártól 23 Föld-sugárig terjed. Figyelemre méltó, hogy az 1–4 Föld sugárral rendelkező bolygók a legnépesebbek a Kepler-populációban, míg saját Naprendszerünkben teljesen hiányoznak ([3] alapján a szerző szerkesztése)

A felfedezett bolygójelölteket további – általában földi nagytávcsöves – megfigyelésekkel lehet megerősíteni. A Kepler fedési bolygóinak többsége a Föld és a Neptunusz (4-szeres Föld-sugár) közötti mérettartományba esett. (6. ábra) Ilyen méretű bolygót nem is ismerünk a Naprendszerben! (7. ábra)

Annak megállapítása, hogy hol húzódik a kőzetbolygó (szuperföldek) és a gázbolygók (mini Neptunuszok) átmenete, régóta kutatott kérdés. A legfrissebb kutatások 1,6 Föld-sugárhoz teszik ezt a váltást, vagyis az ennél nagyobb bolygóknak nincs szilárd felszínük. Honnan tudjuk, hogy mekkorák ezek a bolygók? A fedés mélységéből a csillag és a bolygó sugarának aránya meghatározható (feltételezve, hogy a csillag sugara pontosan ismert). Ha még



az említett radiális sebességmérésből netán a bolygó tömege is ismert, akkor már átlagsűrűség számolható a planetára, amely sokat elmond a bolygó felépítéséről. A bolygórendszeret és architektúrájukat tekintve hihetetlenül változatos naprendszeret tárt fel a Kepler teleszkóp, több 6–8 bolygót tartalmazó rendszert, igazi „tatuínokat”<sup>10</sup>, azaz kettőscsillagok körül keringő planetákat. És ez bizonyos értelemben még csak a jéghegy csúcsa, hiszen a Kepler például legfeljebb 1-2 éves keringési idejű bolygókat észlelt, holott saját Naprendszerünkben is ismerünk ennél sokkal távolabb keringő égitesteket.

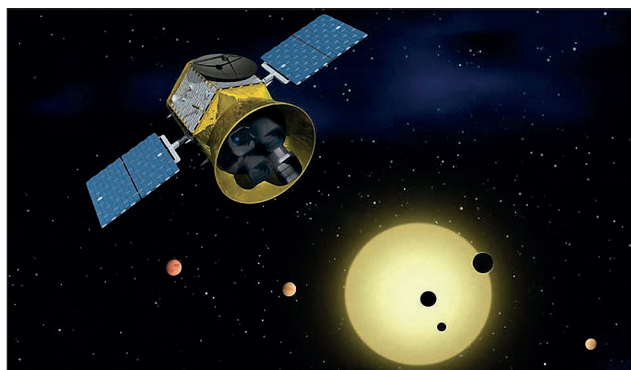
Fontos tudatosítani, hogy a megfigyelések során nem „látjuk” a bolygókat, a Kepler- teleszkóp csupán fénypontokat mért (a csillagok a legtöbb esetben a legnagyobb távcsövekkel is felbonthatatlanul messze vannak), és ennek a fénypontnak (a központi csillagnak) a fényesség-változásait rögzítette minden esetben. Ezek a mérések azonban – nem meglepő módon – a csillagokról is rendkívül sok információt szolgáltatnak. Például a csillagokban különböző okok miatt gerjesztődő rezgések vizsgálatai – hasonlóan a geofizika szeizmológiai módszeréhez – a csillag felépítéséről szolgáltatnak információt. Az extrém pontos fényességmérés révén a jelenlévő rezgések okozta parányi fényességváltozás kimutatható, ezáltal a Kepler űrtávcső a csillagszeizmológia – elméletben már korábban is létező – tudományágának a megfigyelési vonatkozásában is forradalmi áttörést hozott. A Kepler megfigyelései révén az is megállapítást nyert, hogy a Nap kevésbé aktív (kitöréseket, napfoltokat tekintve), mint a hozzá hasonló csillagok.

A Kepler teleszkóp első küldetése technikai problémák miatt megszakadt (a négyből két lendkerék tönkrement, így az iránytartás lehetetlenné vált), és mérnöki bravúrra volt szükség ahhoz, hogy a Kepler a továbbiakban ne használhatatlan roncsként keringjen a Nap körül. A Kepler második missziója (K2) 2018-ig tartott, a Nap látszólagos útja mentén, az ún. ekliptika síkjában figyelt húsz különböző területet, egyenként mintegy 3 hónapig. A hosszabbított küldetés alatt még több exobolygó-felfedezés történt, valamint csillagokkal kapcsolatos, sőt, még a Naprendszer érintő vizsgálatok is folytak. Itt már a NASA megnyitotta a lehetőségét annak, hogy bárki javasolhasson célpontokat, szemben az eredeti küldetéssel, ahol erre nem volt mód.

## TESS, A TRÓNKÖVETELŐ

A Kepler teleszkóp utódjának fejlesztését a Massachusetts Institute of Technology-n már jóval annak felbocsátása

8. ábra. A TESS exobolygókereső űrtávcső. Jól látható a négy egyforma távcső, a napelemtáblák és a Ka sávban működő, 100 Mbit/s sebességű adatletöltést lehetővé tévő tányérantenna [4]



előtt megkezdték és a projektet 2008-ban a Google is jelentős tőkével támogatta. A 4 db 10 cm-es lencsével szerelt távcsövet tartalmazó exobolygó-kereső űrtávcső (Transiting Exoplanet Survey Satellite – TESS) 2018 áprilisában indult. (8. ábra).

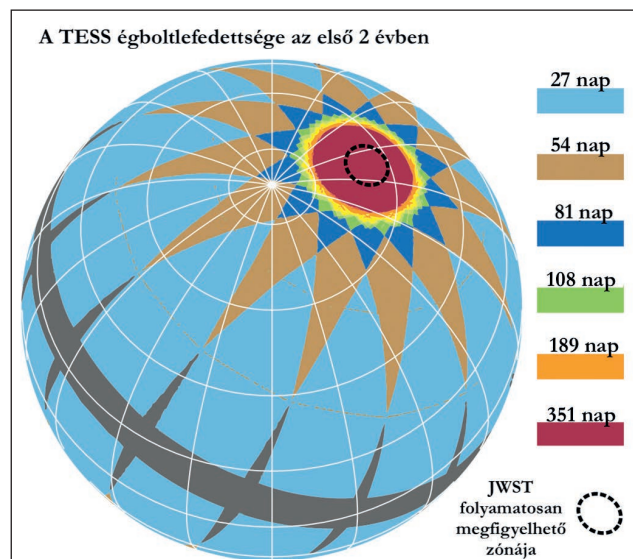
A NASA-misszió az egész égboltra kiterjeszti a bolygókeresést, különösen a legpontosabban megismerhető és karakterizálható, fényes és közeli csillagok körül keringő bolygókra. A négy kamera fénygyűjtő képessége jóval kisebb a Kepler nagy főtükrehez képest, a látómező azonban hússzor akkora, mint a Kepleré. A felbontás majdnem négyszer rosszabb a Keplerénél, ezért a csillagokkal zsúfolt területeken több kiegészítő megfigyelés szükséges ahhoz, hogy eldönthessük, egy adott jel pontosan melyik objektumhoz köthető.

A TESS a déli (ekliptikai) égbolt feltérképezésével kezdte munkáját, amelyet 13 szektorral sikerült lefednie. Minden szektort 27 napig figyelt meg (ezzel a viszonylag rövid keringési idejű bolygókra koncentrálna), némi átfedéssel (egyes objektumok kétszer vagy háromszor, sőt többször 27 napig voltak a látómezőben). A déli ekliptikai pólus körül volt egy olyan zóna is, amelyet egy teljes évig „látott” a TESS, itt így már hosszú keringési idejű bolygók keresése is szóba jöhetett. A második évben az északi ekliptikai pólus következett. (9. ábra)

Ezután a NASA meghosszabbította a küldetést, így a harmadik évben ismét a déli égboltra került sor, majd az északira, és a K2 küldetéssel részben átfedő ekliptikai mezők is sorra kerültek. A 2022 augusztusában kezdődött ötödik évben befejeződik az északi égbolt szkennelése, és újabb déli megfigyeléssorozat kezdődik.

A TESS Föld körüli mozgása nem szokványos, hiszen a Holddal 1:2 rezonanciában lévő, erősen elliptikus, 37°-os inklinációjú, 13,70 nap keringési időt biztosító pályáról van szó, amely különlegesen stabil, ezért az űrtávcső akár 20 évig is működhet, ha a műszaki (valamint a pénzügyi) feltételek rendelkezésre állnak. Egy szektor megfigyelési időtartama két TESS keringési idővel egyezik meg. A Föld megközelítésekor történik az adatok lesugárzása, amely

9. ábra. Az égbolt lefedettsége a TESS égboltfelmérés első két évében. Egyes szektorok 27 napig, mások ennek többszöröséig mérhetők, a vörös zóna, amely egybeesik a James Webb űrtávcső folyamatosan elérhető égbolttartományával, folyamatosan mérhető a TESS-szel is (A [4] alapján a szerző szerkesztése)





108 ezer km-es távolságot jelent, míg a pálya földtávolsági pontja nagyjából a Hold távolságának felel meg (375 000 km).

A Kepler teleszkóp eredeti, négyéves küldetésében a megfigyelési adatok letöltésük után mintegy fél-egy évvel váltak elérhetővé a nyilvánosság számára. Addig csak a Kepler program tudományos csapata dolgozhatott rajtuk, és publikálhatta az első eredményeket. Ezzel szemben a K2 misszióban és a TESS esetében is az adatok egy előzetes feldolgozás után azonnal publikusakká válnak. Tekintve, hogy a célpontok kiválasztásában is nagyobb mozgásteret van a világ összes érdekelt csillagászában, mint a Kepler első négy évében volt, így a K2 és a TESS igazi közösségi tudományos missziókká alakultak. A TESS e sorok írásáig több mint 200 megerősített, és közel 5500 megerősítésre váró bolygójelöltet figyelt meg. A megerősített exobolygók száma akár többszörösére is nőhet a több időt és erőforrást igénylő kiegészítő megfigyelések révén.

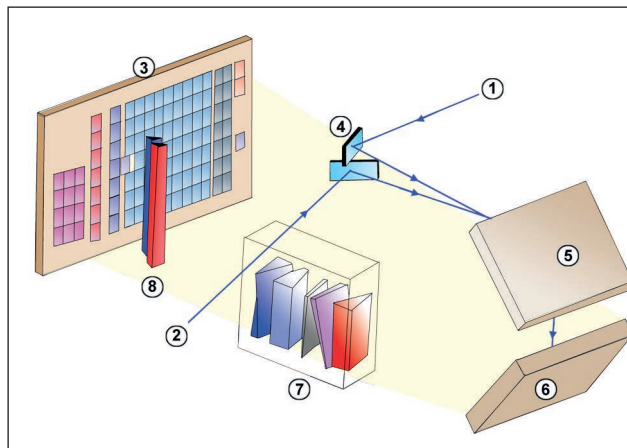
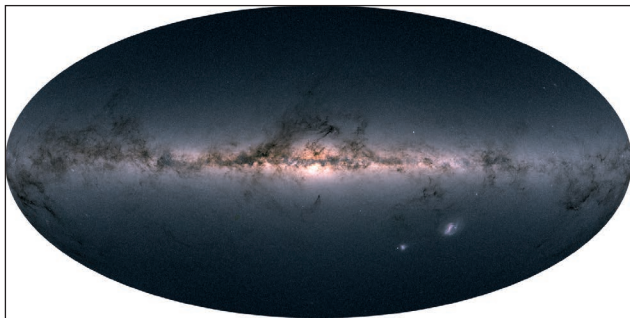
### A GAIA ASZTROMETRIAI MŰHOLD

A csillagászatban az egyik legnehezebb feladat az égitestek távolságának meghatározása. Minél messzebb tekintünk, annál inkább közvetett módszerekre vagyunk utalva. A közeli csillagokra azonban létezik egy jól bevált, biztos (egyszerű geometriai) alapon nyugvó, modellfüggetlen módszer, a trigonometrikus parallaxis. A módszer azon alapszik, hogy a közeli csillagok más és más irányban látásnak a távolabbiakhoz képest, ha a Földpálya ellentétes pontjairól nézzük őket. A durván 300 millió km-es különbség már elegendő bázisvonalat biztosít a parallaxis megfigyelésére<sup>11</sup>. Még a legközelebbi csillag esetén is nagyon parányi elmozdulásról beszélünk: a mindössze 4,26 fényévre levő Proxima Centauri parallaxisa (azaz 6 hónap alatti elmozdulása) 0,7685 ívmásodperc.

Az Európai Űrügynökség (European Space Agency – ESA) 2013 karácsonyán indította a Gaia asztrometriai műholdat, amelynek célja több mint másfél milliárd csillag pontos pozíciójának, mozgásának és a fényesebbek parallaxisának meghatározása, ezáltal galaxisunk kialakulásának és fejlődésének minden eddiginél pontosabb vizsgálata. (10. ábra)

A Gaia elődje, a Hipparcos nevű műhold 1989 és 1993 között működött, és 118 ezer csillag pozícióját határozta meg nagy pontossággal, két és fél millióét pedig valamivel kisebb pontossággal. Pusztán a megfigyelt csillagok számát jellemző több nagyságrendnyi különbség alapján várható volt, hogy forradalmi változást jelent majd a Gaia-mérések megjelenése. Tegyük hozzá, hogy a pozíciómeghatá-

10. ábra. A Tejútrendszer a Gaia 1,8 milliárd megfigyelt egyedi csillaga alapján. Kétmillióen látszanak a spirálgalaxisunkat átszövő sötét porfelhők, jobbra alul pedig a Tejútrendszer kísérőgalaxisai: a Nagy és Kís Magellán-felhők [5]



11. ábra. A Gaia fókuszcsíkja és műszerei. Az űrteleszkóp forgása miatt a csillagok 1 perc alatt végighaladnak a CCD-mozsajkon. (1) és (2) a két tükörből beérkező fénynyaláb, (3) fókuszcsík a detektorokkal – asztrometria: világoskék, kék fotométer: sötét kék, vörös fotométer: piros, radiális sebességmérés: rózsaszín (4) a két tükör egyesíti a bejövő nyalábokat, (5) és (6) tükrök, utóbbi vetíti a fókuszcsíkra a fényt, (7) optikai és rácselemek a radiális sebesség méréséhez (alacsony felbontású spektrográf), (8) prizma a kék és vörös fotométer megvilágításához [6]

rozásban is több nagyságrendnyi ugrás következett be, hiszen a Hipparcos pontosság néhány milliívmásodperc ( $10^{-3}$  ívmásodperc) volt, a Gaia pedig a mikroívmásodperces ( $10^{-6}$  ívmásodperc) pontosságot ostromolja. Ezek alapján nem túlzás azt állítani, hogy a Gaia az egyik legfontosabb asztrofizikai űrmisszióvá vált a 2010-es évek végén, a 2020-as évek elején.

A Gaia két távcsövet alkalmaz, két, egymással  $106,5^\circ$ -os szöveget bezáró irányból vetíti a csillagok képét ugyanarra a fókuszcsíkra, egy hatalmas (közel 1 gigapixel magába foglaló) CCD-mozsajkra, miközben folyamatosan körbe forog. (11. ábra)

A nagyszámú csillag egymáshoz képest lévő relatív pozíciójából egy nagy pontosságú referenciarendszer vezethető le, amelyből abszolút pozíciók határozhatók meg. Egy-egy objektumról 80–200 mérési pont várható. A csillagok leképezett képét azonban nemcsak pozíciómérésre<sup>12</sup> használják: a vörös és a kék színszűrőkkel fényességet is mérnek, illetve kis felbontású spektrum is készül a fényesebb csillagokról, ezáltal ezen objektumok látóirányú sebességvektora is meghatározható. A pozíció és parallaxison (távolságon) kívül, a csillagok éggömbre vetített sajátmozgásán túl a látóirányú sebesség a hatodik mennyiség, amivel teljes mértékben leírható a csillagok helyzete és mozgása. Nagyszámú objektum esetén a galaxis szerkezete és dinamikája is vizsgálható. A fényesség mérésén kívül a spektrum segítségével kémiai összetétel, a csillagok hőmérséklete, színe, tömege, kora is származtatható, és bár vannak pontosabb módszerek is, de ennyi csillagra homogén módon még soha nem sikerült meghatározni ezeket az állapotjelzőket.

A Gaia szintén az  $L_2$  pontban működik, hogy zavartalanul és megszakításmentesen végezhesse megfigyeléseit. A mai napig közel kétmilliárd csillagról, galaxisunk csillagaiknak 1%-áról továbbított pontos pozíció- és sebességméréseket, emellett több százezer kisbolygót és több millió galaxist is megfigyelt. Ahogy említettük, ezáltal kirajzolódik galaxisunk kialakulásának története. Például olyan kérdések váltak vizsgálhatóvá, hogy mely csillagok közelítették meg a Naprendszert az elmúlt néhány millió évben, vagy



melyek fogják ezután? Melyek azok a csillagok, amelyek elég nagy sebességre tettek szert, hogy elhagyják a Tejútrendszert (például a Galaxis középpontjában található 4 millió naptömegnyi fekete lyukkal történt gravitációs interakció nyomán)? Sikerült kimérni a Nagy Magellán-felhő – az egyik legközelebbi extragalaxis – forgását is az egyedi csillagok mozgása alapján. Tejútrendszerünk tízmilliárd évvel ezelőtt egy kisebb galaxist olvasztott magába, amelynek csillagai mozgásuk alapján szépen elkülöníthetők a saját galaxisunk csillagaitól. De más törpegalaxisok beolvadása, és az általuk okozott zavarok nyomai is kirajzolódnak az adatokból. A Gaia egyedülálló képességekkel rendelkezik még fizikailag összetartozó csillagok, csillaghalmazok azonosításában, kettőscsillagok, csillagkísérők kimutatásában, de akár bolygó méretű társobjektum felfedezése is várható a csillag „kóválygó” mozgását megfigyelve. Ezen kívül a Gaia, a kisszámú fotometriai megfigyelés ellenére, fedési exobolygókat is talált.

A Gaia minden idők egyik legfontosabb csillagászati űrtávcsöve, hiszen rengeteg csillag alapadatainak homogén adatbázisát szolgáltatta, de a csillagászati koordinátarendszerek alappontjának meghatározásában is szerepet játszik. A Gaia harmadik adatkibocsátása (Gaia Data Release 3) 2022 júniusában történt. A 34 hónapnyi megfigyelési adat-tömeg részletes kiaknázása és az eredmények publikálása jelenleg is folyamatban van.

### HUBBLE, AZ ŰRCSILLAGÁSZAT SVÁJCI BICSKÁJA

A Hubble űrtávcsövet<sup>13</sup> (Hubble Space Telescope – HST) 1990-ben bocsátották Föld körüli pályájára a Discovery űrsikló rakteréből, és mind a mai napig működik. Ebben szerepet játszik az is, hogy szervizelhetőre tervezték, így amerikai űrhajósok immár öt alkalommal javították, hibás, vagy elavult alkatrészeit kicserélték. Ez természetesen csakis alacsony Föld körüli pályán volt lehetséges, hiszen a Hubble pályája 540 km-re halad a Föld felszínétől, keringési ideje 95,42 perc. A Hubble űrtávcsövet szinte mindenki ismeri, hiszen már annak indulása sem sok jóval kecsesített. A távcső 2,4 méteres főtükreét nagy pontossággal (~10 m<sup>2</sup>) ugyan, de hibás alakúra csiszolták, ezért a Hubble első képei elmosódottak voltak. Kiderült, hogy egy ellenőrzési hiba miatt a tükör széleit túl laposra csiszolták, ezért a szférikus aberráció nevű optikai hiba miatt a tükör külső és belső részei más és más fókuszponttal rendelkeztek. Szerencsére az első szervizmisszió alkalmával egy korrekciós optikai elemet („szemüveg”) installálva a Hubble visszakarta „éles látását”.

Űrbe helyezendő távcsövekről már az 1920-as években is volt szó, pl. a modern rakéatechnika egyik atyjának nevezett Hermann Oberth írt róla, komolyan azonban az 1960-as években kezdtek el foglalkozni a kérdéssel. A Hubble építése a NASA és az ESA együttműködésében az 1970-es években kezdődött, de a felbocsátás különböző technikai és finanszírozási problémák miatt – nem utolsósorban a Challenger 1986-os katasztrófája nyomán – sok év késést szenvedett, végül 1990 április 24-én történt meg. A Hubble a NASA „Nagy obszervatóriumainak” egyike, ide tartoznak még a Compton gamma obszervatórium (1991–2000), a Chandra röntgenobszervatórium (1999–), és az infravörös tartományban működött Spitzer űrtávcső (2003–2020).

A Hubble az ultraibolya látható és infravörös tartományokban is „lát”. Legelső műszerei közé tartozott egy nagy látószögű és bolygókamera, egy ultraibolya tartományban üzemelő nagy felbontású spektrográf, egy gyorsfotométer,

egy halvány objektumokat megörökítő kamera, illetve egy halvány objektumok spektrumát rögzítő spektrográf. Ezen felül a teleszkóp iránytartását segítő kamera (Fine Guidance Sensor) is használható tudományos mérésekre. A gyorsfotométer helyére az említett korrekciós optika került, és az összes többi műszert is lecserélték az űrhajós szervizküldetések során. Mivel az egyszerre használható műszerek száma korlátozott, néhány műszert hibernáltak, amelyeket a tervek szerint más műszerek esetleges meghibásodásakor hoznak majd működésbe. A jelenleg a fókuszsíkban működő megfigyelő eszközök az alábbiak: egy harmadik generációs, fejlett képrögzítő kamera (Advanced Camera for Surveys – ACS), az elsősorban galaxisok és galaxishalmazok vizsgálatára tervezett, ultraibolya tartományban működő Cosmic Origins Spectrograph (COS), egy különleges, leképezést és spektrumok készítését is lehetővé tevő spektrográf (Space Telescope Imaging Spectrograph), és a fejlett, szintén harmadik generációs, látható és infravörös hullámhosszokon is működő Wide Field Camera 3 nevű leképező eszköz. Látható, hogy a Hubble-t a sokoldalúság jellemzi, hiszen az elmúlt 32 év során a legközelebbitől az ismert legtávolabbi objektumokig mindent vizsgáltak vele: a Naprendszer bolygóitól, üstököseitől, kisbolygóitól a közeli és távoli csillagokon, csillagkeletkezési területeken, egyéb galaktikus objektumokon túl közelebbi és távoli galaxisokat, galaxishalmazokat, szupernóvákat (azaz robbanó csillagokat), és még sok minden mást.

A Hubble tehát tipikus „obszervatórium” jellegű űreszköz, szemben a „survey” jellegű távcsövekkel. Előbbi azt jelenti, hogy többféle műszerrel nagyon sokféle megfigyelés elvégezhető, tipikusan pályázni kell a távcsőidőre, és nincs előre meghatározott célpontlista. Az utóbbi csoportba tartozó eszközöknél, mint amilyen a Kepler teleszkóp első küldetése és a Gaia is, egy jól meghatározott feladat érdekében az egész égboltot (Gaia) vagy annak egy szeletét (Kepler) figyeli (adott esetben végigpásztazza) az eszköz. Ezen égboltfelmérő eszközöknél minden célpont érdekes, amely az eszköz látómezejébe kerül. A felmérő üzemmód tipikusan statisztikai vizsgálatokra és ritka objektumok felfedezésére is alkalmas, míg az „obszervatóriumok” általában egyes objektumok alaposabb vizsgálatát célozzák. A teljesség igénye nélkül a Hubble-űrtávcső legfontosabb tudományos eredményei:

- Az univerzum korának és tágulási sebességének meghatározása. Ehhez a Hubble több extragalaktikus szupernóvát és pulzáló változócsillagot (cefeidát) figyelt meg. Ezen objektumok abszolút fényessége ismert, és látszó fényességükből kiszámolható az univerzum tágulási sebességét jellemző Hubble-állandó.
- Galaxisok középpontjában található szupernagy tömegű fekete lyukak létének megerősítése és jellemzőinek tanulmányozása.
- A hosszú gammakitörések eredetének megállapítása. A Hubble mérései alapján kiderült, hogy ezek a nagy energiájú események nagy tömegű csillagok robbanása során jönnek létre.
- 1994-ben a Shoemaker-Levy 9 üstökös darabjai becsapódtak a Jupiterbe. Az eseményről a Hubble készítette a legrészletesebb felvételeket.
- A Hubble űrteleszkóp a fiatal csillagokat körülvevő bolygókeletkezési korongok direkt megfigyelése révén a csillag- és bolygókeletkezésről is tárgyolta ismereteinket.
- A „Hubble Deep Field” révén egy csillagoktól mentes területen több napon keresztül exponálva a Hubble több ezer galaxis képét rögzítette, köztük nagyon fiatal





12. ábra. A Hubble által készített ultramély felvétel. A képen látható objektumok túlnyomó többsége távoli galaxis és galaxiskezdemény. Összesen mintegy 10 ezer galaxis látható a képen, a legtávolabbiakat tekintve mintegy 13 milliárd évvel nézünk vissza az időben [7]

galaxiskezdeményekét, és rekordtávolságú galaxisokat is. Ezt a felvételt többször megismételték, és így az a kozmológiai vizsgálatok sarokkövévé vált. (12. ábra)

– A sötét energia és a sötét anyag kutatása is előkelő helyen szerepelt a Hubble tudományos programjában. Előbbi az univerzum gyorsuló tágulásáért felel, míg az utóbbi gravitációs hatással bír, de mindmáig nem értett „sötét”, valószínűleg (elemi) részecskék formájá-

13. ábra. A Teremtés oszlopai néven elhíresült Hubble-felvétel, amely a Sas-köd egy részletét mutatja. A por- és molekuláris hidrogénfelhőkből tornyosuló oszlopok csillagkeletkezési helyszínek, „csillagbölcsők” [8]



ban jelen lévő anyag, amely megmutatkozik például a galaxisok és galaxis-halmazok dinamikájában.

A Hubble népszerűségét ikonikus képeinek (13. ábra), kulturális hatásának éppúgy köszönheti, mint az eredmények professzionális tálalására biztosított forrásoknak.

Sokan nem tudják, hogy a színszűrőkkel készített szűr-keskálás képekből professzionális csapat állított elő olyan színes fényképeket, amelyek színvilágukkal megragadók, esztétikusak és a lehető legnagyobb hatást érik el. Néha olyan objektumokra is biztosítottak távcsődőt, amelyekről csak néhány színszűrővel készült kép a tudományos mérésekhez, és ez nem lett volna elég a színes képek összeállításához. Soha űreszköznek ekkora hatása nem volt az emberek képzeletére és az űrhöz való viszonyára. Talán csak magának a Holdra szállásnak a jelentősége mérhető hozzá.

### JAMES WEBB ŰRTELESZKÓP, AZ ŰRTÁVCSÖVEK FERRARIJA

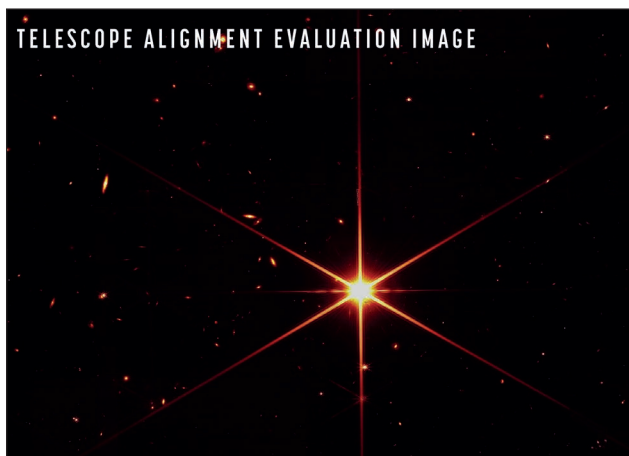
A több szempontból a Hubble utódjának szánt, infravörös tartományban üzemelő James Webb űrteleszkóp (JWST) indításáról már közöltünk egy rövid beszámolót a Hadtéchnika folyóirat 2022/3. számában. Ezért az ott leírtakat nem ismételjük meg, inkább egyfajta állapotjelentést közlünk 2022. július legelejéről. A James Webb szintén „obszervatórium” jellegű üzemben fog működni. Műszerei:

- Near-Infrared Camera (NIRCam): az amerikai fejlesztésű kamera a legtávolabbi galaxisoktól a Naprendszer külső szélén keringő, kis méretű objektumokig használható általános képalkotó berendezés. Különlegessége, hogy koronográffal is felszerelték, amely fényes égitestek közelében található halvány objektumok detektálására alkalmas a központi égitest fényének kitakarásával. Ilyenek például a távoli csillagok körül keringő exobolygók is.
- Near-Infrared Spectrograph (NIRSpec): az egyedülálló műszer száz objektum egyidejű spektroszkópiáját teszi lehetővé. A legtávolabbi (és egyben legfiatalabb) galaxisok fényének begyűjtéséhez összesen több száz órán keresztül kell majd exponálnia.
- Mid-Infrared Instrument (MIRI): európai vezetéssel készült, az egyetlen közép-infravörös tartományban (5–28 mikrométeres hullámhossz-tartományban) is működő JWST-műszer. A távoli galaxisoktól formálódó csillagokon keresztül halvány üstökösökig, különböző objektumokat fog megörökíteni. A James Webbtől legalább olyan látványos képeket várunk, mint amelyeket a Hubble készített.
- Fine Guidance Sensor/Near InfraRed Imager and Slitless Spectrograph: a Kanadai Űrügynökség hozzájárulása a misszióhoz. A Fine Guidance Sensor az űreszköz célra tartását segíti, míg a műszerhez tartozó kamerát és a rés nélküli spektrográftot elsősorban exobolygók tanulmányozására fogják használni.

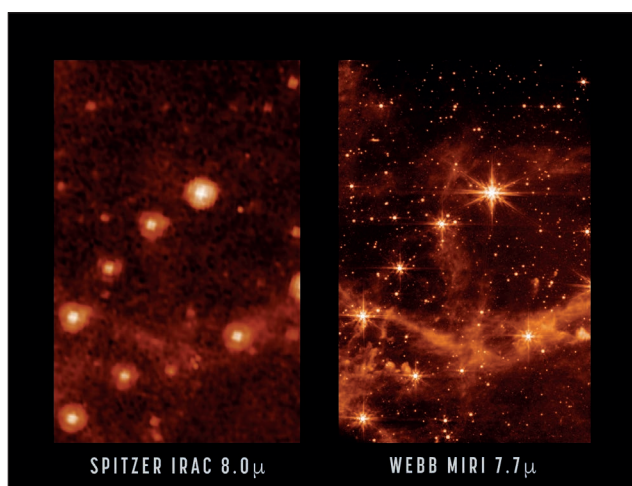
A James Webb már elérte az  $L_2$  pontot, a távcső minden alkotóeleme kinyílt, és helyére került. A tükörszegmenseket beállították (szakszóval jusztyírozták), így tüéles képet alkotnak. (14. ábra)

A beüzemelés során egy mikrometeoroid ütése rázta meg a távcsövet. A mérések azt mutatják, hogy egyetlen tükörszegmenst talált el, amely várhatóan nem fogja észrevehetően befolyásolni a teleszkóp teljesítményét. A távcső és a műszerek lehűltek az üzemi hőmérsékletükre, a tudományos műszerek készen állnak a bevetésre, az előzetes információk szerint minden műszer nominálisan, a terve-





14. ábra. A James Webb űrtávcső tökéletes képalkotását demonstráló foto [9]



15. ábra. A 80 cm-es főtükrű Spitzer és a 6,5 méteres főtükrű James Webb képalkotásának összehasonlítása. Mindkét felvétel ugyanazt az égbolterületet mutatja, a James Webb tesztüzeműben készült felvétele látványosan jobb felbontású és sokkal élesebb [10]

zettek megfelelően (vagy jobban!) működik. Mindezt sok-sok teszt és kalibrációs mérés után jelenthetjük ki. Ezek már sejtetni engedik az új űrteleszkóp (1. és 15. ábra) hihetetlen teljesítményét. Jelen sorok írásakor már nyilvánosak az első demonstrációs célú, tudományos minőségű képek, amelyeket a NASA tett közzé.

### ÖSSZEFOGLALÁS

A bevezetőben említett, űrtávcsövekkel kapcsolatos hírbőséget Magyarországon még egy tényező fokozza, ez pedig a hazai szakemberek részvétele a küldetések tudományos, vagy éppen a mérnöki feladataiban, a nemzetközi együttműködésekben. A Kepler/K2/TESS missziókban magyar csillagászok munkacsoportot vezetnek, valamint részt vettek a TESS előzetes adatfeldolgozó szoftverének fejlesztésében. A Gaia-ban az adatfeldolgozó és klasszifikáló munkacsoportokba kapcsolódtak be. Az elmúlt években több Hubble űrtávcsöves mérésben is részt vettünk, ilyen például az üstökösök magjának megfigyelése. A James Webb űrtávcső igénybevételére pedig több távcsövidő-pályázatunk is nyert: egy saját vezetésű, több pedig nagyobb

nemzetközi konzorciumban. Mindemellett a MIRI nevű műszer elektronikai fejlesztéséért felelős Detre Örs mérnök, aki az űrtávcsőirás beüzemelési periódusában a Magyarország – Németország – Egyesült Államok háromszögben ingázott.

A bemutatott, űrbe telepített csillagászati eszközök utódai már a tervezőasztalon, és az űripari vállalatok gyártóüzemeiben vannak. A Kepler/K2 és a TESS bolygókereső távcsövek munkáját az Európai Űrügynökség PLATO [11] küldetése várhatóan 2026-27-től veszi át, szintén magyar részvétel mellett. Nemrégiben Kína is bejelentkezett egy „szuper Kepler” űrtávcső-konceptióval, amit egyszerűen csak Earth 2.0-nak neveztek el [12]. Az Egyesült Államok szakemberei az eddigieknél is nagyobb, leginkább exobolygók részletes analizését lehetővé tevő távcsövek megalkotásán gondolkodnak [13]. Akárhogyan is alakul ennek az izgalmas tudományterületnek a jövője, a már működő eszközök nagy mértékben hozzájárultak az univerzumról szerzett ismereteinkhez, a megszerzett tudás pedig további vizsgálatokat és űrbe telepített újabb csillagászati távcsöveket igényel.

### HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] NASA – WFIRST Project és Dominic Benford [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wfirst\\_beauty1\\_prores\\_1920x1080.mov\\_00\\_00\\_17\\_16.still003\\_crop.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wfirst_beauty1_prores_1920x1080.mov_00_00_17_16.still003_crop.jpg) (Letöltve: 2022.07.04.);
- [2] NASA és Ball Aerospace [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/kepler/multimedia/images/kepler-focal-plane-assembly.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/kepler-focal-plane-assembly.html) (Letöltve: 2022.07.04.);
- [3] NASA/Kepler mission [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/kepler/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/main/index.html) (Letöltve: 2022.07.04.);
- [4] NASA TESS <https://www.nasa.gov/tess-transiting-exoplanet-survey-satellite> (Letöltve: 2022.07.04.);
- [5] ESA/Gaia/DPAC [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2018/04/Gaia\\_s\\_sky\\_in\\_colour](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/04/Gaia_s_sky_in_colour) (Letöltve: 2022.07.04.);
- [6] Forrás: Wikipedia/Pline [https://en.wikipedia.org/wiki/Gaia\\_\(spacecraft\)#cite\\_note-focalplane-36](https://en.wikipedia.org/wiki/Gaia_(spacecraft)#cite_note-focalplane-36) (Letöltve: 2022.07.04.);
- [7] Flickr account for NASA's James Webb Space Telescope <https://www.flickr.com/photos/nasawebbtelescope/albums/72177720300469752> (Letöltve: 2022.07.04.);
- [8] NASA/ESA/Hubble Heritage Team (STScI/AURA) /J. Hester, P. Scowen (Arizona State U.) [https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2015/07jan\\_pillarsofcreation](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2015/07jan_pillarsofcreation) (Letöltve: 2022.07.04.);
- [9] NASA/STScI <https://universemagazine.com/en/the-key-stage-of-james-webbs-mirror-alignment-has-been-completed/> (Letöltve: 2022.07.04.);
- [10] NASA/JPL-Caltech /Spitzer/, NASA/ESA/CSA/STScI /James Webb/ <https://globalnews.ca/news/8823501/james-webb-space-telescope-new-images-large-magellanic-cloud/> (Letöltve: 2022.07.04.);
- [11] Rauer, H., Catala, C., Aerts, C. és mtsai: *The PLATO Mission*, *Experimental Astronomy* 38. 2014. pp. 249-330.;
- [12] Ge, J., Zhang, H., Zang, W. és mtsai: *ET White Paper: To Find the First Earth 2.0*, arXiv:2206.06693, 2022. DOI:10.48550/arXiv.2206.06693;
- [13] <https://www.nationalacademies.org/our-work/decadal-survey-on-astronomy-and-astrophysics-2020-astro2020> (Letöltve: 2022.07.04.).



## JEGYZETEK

- 1 Nancy Grace Roman (1925. május 16. – 2018. december 25.) amerikai csillagász, a NASA csillagászatért felelős vezetője az 1960-as és '70-es években. A „Hubble édesanyjának” is neveztek, hiszen nevéhez fűződött a NASA csillagászati űrprogramjának kidolgozása. Aktív ismeretterjesztő, és a nők szerepének fontosságát hangsúlyozó kutató volt, a tervezett WFIRST teleszkópot 2020. május 20-án nevezték el róla Nancy Roman Grace űrtávcsőnek.
- 2 A Lagrange-pont a csillagászatban a tér azon pontja, amelyben egy kis test két nagyobb test együttes gravitációs vonzásának hatására azokhoz képest közelítőleg nyugalomban maradhat. Joseph-Louis Lagrange (Toríno, 1736. január 25. – Párizs, 1813. április 10.) itáliai születésű francia matematikus, a matematikai analízis és az égitestek mechanikája területén elért eredményeiről híres. Az ilyen pontok létezését ő vezette le 1772-ben.
- 3 A 2017. évi fizikai Nobel-díj felét Rainer Weiss, míg a másik felét megosztva Barry C. Barish és Kip Thorne amerikai fizikusok kapták. Mindhárman a LIGO/Virgo gravitációs hullámdetektor-konzorcium tagjai, akik elévülhetetlen érdemeket szereztek a gravitációs hullámok elméleti vizsgálataiban és a felfedezést lehetővé tévő detektor évtizedekig tartó megépítésében.
- 4 William J. Borucki (1939. Chicago, USA –) űrtudós, 1962-ben csatlakozott a NASA-hoz és az Ames Kutatóközpontban dolgozva megtervezte az Apollo-program űrhajóinak hővédő pajzsát. Később a villámítás természetét tanulmányozta műholdak segítségével, majd a Naprendszeren kívüli bolygók tranzit módszerrel történő észleléséhez szükséges fotométerek kifejlesztésén dolgozott. (A szerk.)
- 5 A tranzit szó a bolygó áthaladására utal a csillag korongja előtt.
- 6 2019-ben Michel Mayor és Didier Queloz svájci csillagászok megosztva kapták a fizikai Nobel-díj felét az első extraszolári bolygó felfedezéséért, míg a díj másik felét James Peebles amerikai fizikusnak ítélték korszakalkotó elméleti kozmológiai vizsgálataíért.
- 7 Johannes Kepler (1571. december 27. – 1630. november 15.) német matematikus és csillagász. Nevéhez fűződik a Mars bolygó pályájának pontos meghatározása, és a bolygómozgás törvényeinek felfedezése.
- 8 Cape Canaveral ad otthont a NASA John F. Kennedy Space Centernek, rövidítve (KSC) amely a NASA egyik legfontosabb űrközpontja Florida államban. (A szerk.)
- 9 A Schmidt-távcsövek kifejezetten fotografikus megfigyelésekre és égboltfelmérésekre készülnek, ugyanis látszólag ellentmondásos tulajdonságot egyesítenek: az igen fényerős műszer nagy látómező mellett ad hibátlan leképezést. Természetesen ennek megvan az ára: a fókuszfelület görbült, és a tubus belsejében helyezkedik el, továbbá a gömb fóttükör mellett szükséges egy speciális felülettel rendelkező korrekciós lemez alkalmazása is. (A szerk.)
- 10 A szerző utalása a Csillagok háborúja (Star Wars) fiktív univerzumában létező Tatuin (angolul Tatooine) bolygóra, amelynek két napja van, a Tatu 1 és Tatu 2, amelyek egymástól nem túl nagy távolságra keringenek egymás körül, így fizikai kettőscsillag-rendszert alkotnak. (A szerk.)
- 11 Az emberi szem is hasonlóan lát térben: a bal és jobb szemünk kissé eltérően látja az előttünk lévő tárgyakat, vagyis itt a bázisvonal a két szemünk távolsága.
- 12 Asztrometria: a legősibb csillagászati mérés, hiszen a távcső előtti időkből csak a csillagok pozícióját tudták meghatározni.
- 13 Edwin Powell Hubble (Marshfield, Missouri, 1889. november 20. – San Marino, Kalifornia, 1953. szeptember 28.) amerikai csillagász, felfedezte, hogy a galaxisok nem a Tejútrendszer részei, valamint felfedezte a kozmikus vöröseltolódást. Az elsők között értelt emellett, hogy a távoli galaxisok vöröseltolódását a világegyetem tágulása okozza.

## Két jóbarát – Dwa bratanki Kézzelfogható hadtörténelem

Lengyel, magyar – két jó barát a kezdősora annak a rímbe szedett közmondásnak („Polak, Węgień, dwa bratanki, i do szabli, i do szklanki” – „Lengyel, magyar – két jó barát, együtt harcol, s issza borát”), amelyet Lengyelországban és Magyarországon csaknem mindenki ismer, és amely a két nép történelmi barátságát példázza. A Zrínyi Kiadó által gondozott Kézzelfogható hadtörténelem című sorozat nyolcadiként megjelent dobozkönyve – dr. Ravasz István szerkesztésében – a két nép ezeréves barátságának egyetlen szeletét, az 1914 és 1914 közötti időszakot eleveníti fel.

A Galícia közepén található Przemysl az Osztrák–Magyar Monarchia legfontosabb erőrendszere. Az orosz haderő 1914 őszén visszavonulásra készítette az addig sikeresen harcoló osztrák–magyar 3. és 4. hadsereg csapatait. A visszavonulási hullám szeptember 13-án érte el Przemyslt, akkor került a városba a magyar királyi szegedi 23. honvéd gyaloghadosztály, amely a védősereg gerince lett. A különleges, magyar–lengyel kétnyelvű kötet számos archív fotó és mellékleteként közre adott, kézbe vehető dokumentummásolat segítségével érzékletesen mutatja be Przemysl mindennapjait. Az érdeklődők hírt kapnak a korabeli ellátási viszonyokról, a nehézségekről és a nélkülözésekről, valamint az egészségügyi viszonyokról. Ez utóbbit jól jellemzi, hogy a vár kórházaiban eredetileg 8000 férőhely volt, amelyet előbb 12 000-re, majd 25 000-re emeltek.

Lengyelország 123 év elteltével, 1918-ban nyerte vissza függetlenségét, de határait még hónapokig nem sikerült véglegesítenie. A folyamatos konfliktusok közül a szovjet támadás bizonyult a legerőteljesebbnek. Az összetűzés elkerülhetetlen volt. 1920 augusztusában, két hónappal a trianoni döntés után Magyarország egyetlen európai országgént sietett Lengyelország segítségére. A magyar lőszer- és fegyverszállítmány hozzájárult a lengyel hadsereg győzelméhez; a varsói csatában győzelmet tudtak aratni Szovjet-Oroszország felett.

1939-től ismét összefonódott a két nép történelme, amikor Magyarország nagy létszámban fogadott be hazájukból elmenekült lengyel polgári és katonai személyeket. A katonák jelentős mennyiségű hadianyaggal (repülőgépekkel, gépjárművekkel, tüzérségi anyagokkal és fegyverzettel) érkeztek hazánkba.

**A magyar–lengyel kétnyelvű kiadvány 175 fotóval, számos térképpel és 34 korhű dokumentum faksimile másolatával, 68 oldalon ismerteti az első és második világháborús lengyel–magyar katonai kapcsolatok alakulását. 13 900 Ft-os áron kapható a könyvesboltokban, illetve megvásárolható közvetlenül a Zrínyi Kiadónál 30% helyszíni kedvezménnyel 9730 Ft-ért. Cím: 1024 Budapest, Fillér utca 14. (tel.: 06 1-459-5373, e-mail: cinti@hmzrinyi.hu), valamint a Zrínyi Kiadó webshopjában is (<https://shop.hmzrinyi.hu/>), szintén 30% kedvezménnyel. (R. A.)**

