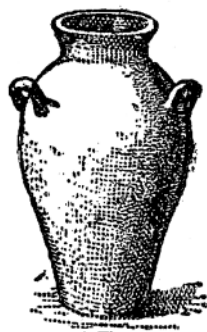


IRODALOM

- Aerts, Conny et al. (2008): The Current Status of Asteroseismology. *Solar Physics*. 251, 3–20.
- Butler, R. Paul et al. (2006): Catalog of Nearby Exoplanets. *Astrophysical Journal*. 646, 1, 505–522.
- Carroll, Bradley W. – Ostlie, Dale A. (1996): *An Introduction to Modern Astrophysics*. Addison-Wesley, Castelli, Vittorio et al. (2003): Stellar Evolutionary Models for Magellanic Clouds. *Astronomy and Astrophysics*. 404, 645.
- Gál János – Szatmáry Károly (1995): T Ursae Minoris: A Mira Star with Rapidly Decreasing Period. *Astronomy and Astrophysics*. 297, 461–464. <http://adsabs.harvard.edu/full/1995A&A...297..461G>
- Kiss László (2008): Válogatás a változócsillagászat új eredményeiből. In: Benkő József – Mizser Attila

(szerk.): *Meteor Csillagászati Évkönyv 2009*. MCSE, Budapest, 184–198.

- Kjeldsen, Hans et al. (2009): Measurements of Stellar Properties through Asteroseismology: A Tool for Planet Transit Studies. In: *Proceedings IAU Symposium No. 253*. Cambridge University Press, 309.
- Kroupa, Pavel (2002): The Initial Mass Function of Stars: Evidence for Uniformity in Variable Systems. *Science*. 295, 82–91.
- Salpeter, Edwin E. (1955): The Luminosity Function and Stellar Evolution. *Astrophysical Journal*. 121, 161–167. http://adsbit.harvard.edu/cgi-bin/nph-article_query?bibcode=1955ApJ...121..161S
- Schröder, Klaus-Peter – Connon Smith, Robert (2008): Distant Future of the Sun and Earth Revisited. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 386, 1, 155–163.



A CSILLAGÁSZAT AZ ŰRBE TELEPÜL – VAGY MÉGSEM?

Szabados László

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,
MTA KTM Csillagászati Kutatóintézet
szabados@konkoly.hu

A csillagászati megismerés elsősorban a távcsöves megfigyeléseken és az azok során kapott adatok megfelelő értelmezésén alapul. Az Univerzumot hatalmas és kimeríthetetlen laboratóriumként is felfoghatjuk. Csakhogy ebben a laboratóriumban a jelenségek adott körülmények között zajlanak le, amelyeket a megfigyelőnek nem áll módjában megváltoztatnia – ellentétben más tudományágak, például a fizika, kémia, biológia laboratóriumi kísérleteivel. Az Univerzum mint különleges laboratórium sajátosságai közé tartozik az is, hogy az anyag szélsőséges, földi laboratóriumokban esetleg nem is reprodukálható körülmények között vizsgálható. A csillagközi anyag sűrűsége például nagyságrendekkel kisebb, mint a Földön előállítható legritkább vákuumban. A csillagok belsejében uralkodó nyomást és hőmérsékletet sem tudjuk földi anyaggal tartósan megvalósítani.

Az égitestek és az Univerzumban előforduló jelenségek vizsgálatát az is nehezíti, hogy a nagy távolság miatt egészen gyenge a tőlük hozzánk érkező jel. A csillagásznak ezért természetes igénye az, hogy a megfigyeléshez használt távcső minél nagyobb átmérőjű legyen, az égbolt háttérfényessége pedig a lehető legalacsonyabb. Ez utóbbi szempont a civilizációs eredetű fényszennyezés elterjedé-

sével került előtérbe. A 19–20. században alapított csillagászati obszervatóriumok közül sokra (köztük a budapestire és a bécsire is) jellemző, hogy létesítésük idején még a város szélén vagy azon kívül voltak, de napjainkra belterületre esik a helyük, és a világvárosi fények erősen korlátozzák az ottani észlelési lehetőségeket.

A világtól távol, az Univerzumhoz közel

Egy-egy új obszervatórium helyének megválasztásánál ezért nemcsak a derült vagy felhőtlen éjszakák várható száma alapján döntenek, hanem az is lényeges szempont, hogy nagyvárosoktól és iparvidékektől minél távolabbra kerüljenek az érzékeny megfigyelőműszerek. Európában ma már nincs is megfelelő hely a kis felületi fényességű, ezért halvány galaxisok megfigyelésére. A 20. század utolsó évtizedeitől egyre gyakoribb, hogy az egyes országok nem saját területükön létesítenek csillagászati obszervatóriumot, hanem másutt – esetleg más kontinensen –, ahol a költséges távcsövek és az azokra szerelt detektorok hatékony működtetéséhez legkedvezőbb az asztroklíma.

Egy másik lényeges körülmény is amellel szól, hogy a távcsövek messzebbre kerüljenek. A csillagászat ugyanis a távcső feltalálását kö-

vető évszázadokban Európára és Észak-Amerikára koncentrált. Márpedig e kontinensekről a csillagos égnél egy tekintélyes része sohasem látható. Olyan fontos csillagászati objektumok vannak az égbolt déli félgömbjén, mint a két Magellán-felhő, a Tejútrendszer legfontosabb kísérőgalaxisai, magának a Tejútrendszernek a centruma, amelybe optikai hullámhosszakon nem lehet ugyan belátni (lásd *Ábrahám Péter és Kiss Csaba* tanulmányát e cikkgyűjteményben), de a centrum felé koncentrálnak a gömbhalmazok, galaxisunk lényeges alkotóelemei, egyben fejlődéstörténetének fontos információhordozói. Az egyedi objektumok közül csupán egyet, az Éta Carinae különleges csillagot, illetve az azt burkoló ködöt említtem: ez a nagy tömegű csillag (a közelmúltban bebizonyosodott, hogy kettőscsillag) az 1840-es évek elején bekövetkezett hirtelen kifényesedésével hívta fel magára a figyelmet.

Az égbolt déli felének alapos vizsgálata csakis az Egyenlítőnél délre telepített nagy távcsövekkel lehetséges. Elsőként a Harvard College Observatory létesített délen (Peruban) fiókállomást, a 19. század utolsó évtizedében. A 20. század végére pedig már nemcsak az vált természetessé, hogy a távcső más kontinensen van, mint az azt működtető anyaintézmény, hanem az is egyre gyakoribb, hogy több ország közösen létesít megfigyelőállomást, vagy új távcsövet helyez el már meglévő obszervatóriumban az Egyenlítőnél délre. Napjainkban már a világ vezető obszervatóriumának tekintik az Európai Déli Obszervatóriumot (ESO), amelyet 1962-ben kormányközi szervezetként alapított Belgium, Franciaország, Hollandia, az NSZK és Svédország, mára pedig tizennégy tagország (köztük Ausztria és a Cseh Köztársaság) csillagászai használhatják alanyi jogon a müncheni

központú ESO óriástávcsöveit, amelyek Chile több ezer méter magas fennsíkain található obszervatóriumokban működnek.

Az űrcsillagászat kialakulása és kiteljesedése

Az Univerzum megismerését, a csillagászat eredményességét hosszú ideig korlátozta az, hogy a megfigyelések csak a Föld felszínéről történhettek. A földi légkör ugyanis csak egy töredékét engedi át a kívülről érkező elektromágneses sugárzásnak: a nagyjából 19 nagyságrendet átfogó hullámhossztartományból a fél nagyságrendet sem kitevő (kb. 300–800 nm közötti hullámhosszú) látható fényt, valamint a milliméteres–méteres rádiósugárzást. Korlátozottan vizsgálható az infravörös tartomány egy része is, de csak olyan helyekről, amelyek felett a földi légkör vízgőztartalma elhanyagolható. E feltétel teljesüléséhez több ezer méter magas hegyekre kell telepíteni a mérőberendezéseket. Hasonlóképpen nagyon száraz az Antarktisz feletti levegőoszlop. A tengerszint feletti 4000–5000 m magasság és a tartós hideg egyaránt olyan egészségi kockázatot jelent az észlelők számára, amely szükségessé teszi az oda telepített csillagászati megfigyelőeszközök minél nagyobb fokú távirányíthatóságát, automatizálását vagy éppenséggel autonóm működését.

Az ember mint biológiai lény, és az egész élővilág számára kedvező körülmény, hogy a Föld légköre elnyeli a kozmikus eredetű röntgen- és gammasugárzást. A csillagászat szemszögéből nézve viszont ez azt jelenti, hogy az égitestek által kibocsátott, vagy a kozmikus jelenségek során létrejövő nagy energiájú sugárzás csakis az atmoszféra fölé juttatott műszerekkel vizsgálható.

Már a legelső mesterséges holdakon is voltak a csillagászok számára hasznos információkat szolgáltató mérőeszközök. Kifejezet-

ten csillagászati célú űrszondákat az 1960-as évektől kezdtek felbocsátani.

Mivel a detektálás az elektromágneses színek egy-egy tartományaiban egymástól eltérő módon történik, a csillagászati kutatószondák műszerezettségüktől függően meghatározott hullámhossztartomány(ok) vizsgálatára képesek. Az optikainál kissé rövidebb hullámhosszú ibolyántúli sugarak hagyományos távcsövekkel is leképezhetők, de a legnagyobb energiájú (azaz legrövidebb hullámhosszú) ultraibolya fotonokat már nem lehet az optikai teleszkópoknál bevált módon fókuszálni. Az extrém UV-tartományba eső sugárzást, miként a röntgensugarakat is, sűrű beeséssel (ún. Wolter-távcsövekkel) lehet visszaverődésre kényszeríteni (Patkós, 1995), és a távcső fókuszikájában keletkező képet is az optikaitól eltérő detektorokkal vizsgálják. A gammasugárzás fotonjai pedig olyan nagy energiájúak, hogy képalkotásra azokat egyelőre nem sikerül befogni. A gammafotonokat bizonyos anyagokban történő elnyeléssel detektálják, és egyenként számolják meg. Így a „gammatavcső” annál érzékenyebb, minél nagyobb térfogatú anyaggal tud kölcsönhatni a nagy energiájú gammasugárzás, ezért a gammasugárzást vizsgáló szondák tekintélyes tömegűek.

A látható fénytől a hosszabb hullámhosszak felé haladva az infravörös tartomány következik. A legrövidebb hullámhosszú, ún. közeli-infravörös sugarak még leképezhetők optikai távcsövekkel, de a képalkotáshoz speciális kamerák szükségesek, a kis fotonenergia miatt az optikai CCD-kamerák nem használhatók. A hosszabb hullámhosszú, azaz a távoli-infravörös színek tartományba eső sugárzást már a rádiócsillagászati kutatásoknál megszokott műszerekkel gyűjtik össze és vizsgálják (Kun, 1996).

Az 1990-es évek elejére a teljes elektromágneses színek tartományban sikerült áttekintést kapni az égboltról, bár nem egyforma részletességgel. Meglepő módon, az ultraibolya színek tartományban csak a 2003-ban felbocsátott GALEX mérései alapján született meg az első részletes égbolttérkép. A gammasugárzás tartományában az érzékelés említett sajátossága miatt a detektált fotonok beérkezési irányát csak pontatlanul lehet meghatározni, ezért nem egyszerű a kozmikus gammaforrások azonosítása. Ezen úgy lehet segíteni, hogy a gammasugárzást vizsgáló űrszondák röntgendetektorokat is elhelyeznek, mert a kozmikus gammaforrások általában nagy energiájú röntgenfotonokat is kibocsátanak, ebben a tartományban pedig már viszonylag jó a detektorok irányérzékenysége. Sőt, a 2004 óta működő Swift űrszonda fedélzetén a gamma- és röntgenérzékelőkön kívül optikai teleszkóp is van, amelynek segítségével egészen pontosan azonosítható, milyen irányból érkezik a gammasugárzás, esetleg konkrétan melyik égitest bocsátotta ki azt.

A minél tágabb hullámhossztartományban végzendő megfigyelésekre azonban nemcsak a források azonosítása miatt van szükség. Ahhoz, hogy bármely égitest, kozmikus objektum vagy jelenség viselkedését megértjük, tulajdonságait meghatározzuk, lehetőleg a teljes elektromágneses színekét ismerni kell. Például a Tejútrendszer centrumát és annak környezetét egyáltalán nem lehet látni optikai hullámhosszakon az abban az irányban koncentráló csillagközi anyag fényelnyelő hatása miatt, de az infravörös és röntgentartomány kárpótol a hiányzó optikai információért. Egészen más jellegű példa a Nap után legerősebb kozmikus röntgenforrás (Sco X-1) esete, amelyet egy 12 magnitúdós (tehát a szabad szemmel még éppen láthatónál több

mint százszor halványabb) csillaggal (V818 Scorpii) azonosítottak. Egy vagy két hullámhossztartományban tapasztalt viselkedésből többnyire nem lehet megbízhatóan következtetni arra, hogy más tartományokban milyen lehet a szóban forgó objektum színképe – azt észlelések alapján kell megállapítani. Azután a rendelkezésre álló összes információból kell megfelelő magyarázatot adni a tapasztalt energiaeloszlásra és egyéb színképi sajátosságokra, valamint azok esetleges időbeli változásaira.

Az, hogy az űrből végzett megfigyelések nélkülözhetetlenek a csillagászati kutatások számára, a Földről nem észlelhető hullámhossztartományok esetében teljesen nyilvánvaló, de optikai távcsövek is működtek-működnek űreszközökön. Miért van szükség ilyen költséges megoldásra, ha az égboltot a látható fény tartományában a földfelszínről is lehet vizsgálni?

Az űrteleszkópokkal végzett optikai észlelések szükségességét is a légkör viselkedése indokolja. A földi távcsöveknél az atmoszféra kedvezőtlen hatásai közül az kevésbé zavaró, hogy a kozmoszból érkező fény egy része elnyelődik a légkörön való áthaladás közben. Sokkal fontosabb a légkör nyugtalansága, ami a leképezést nagymértékben lerontja. Szabad szemmel nézve az eget ez a csillagok sziporkázásában nyilvánul meg. A légköri turbulencia miatt a távcső által alkotott kép pillanatról pillanatra kissé változik, és mivel az égitestek felől érkező alacsony fotonfluxus miatt a csillagászok nem pillanatfelvételeket készítenek, a percekig vagy néha órákig tartó expozíció során a kép elmosódik. Számítógép segítségével lehet ugyan korrigálni a légkör képtorzító hatását, de ez az ún. alkalmazkodó optikával történő képjavítás csak a távcső optikai tengelyének irányában, azaz a távcső

látómezejének közepe körüli szűk tartományban hatásos. A légkörön kívül észlelő optikai távcsövek felbontóképességét (az egymástól még megkülönböztethető képrészletek közötti szögtávolságot) viszont nem a légkör, hanem a fizikai optika törvényei szabják meg, tehát űrtávcsövekkel az elvileg elérhető legjobb felbontású képet lehet kapni. A közvélemény erről leginkább a Hubble-űrtávcső páratlanul részletes felvételeire tekintve győződhet meg (*1. ábra*). A közel két évtizede működő Hubble-űrtávcső ugyanakkor nem csupán optikai űrtávcső, mivel a teleszkóp fókuszába helyezett műszereivel a közeli-infravörös és ultraibolya színképtartományt is vizsgálja.

A képalkotáson kívül az optikai hullámhosszakon alkalmazott és asztrofizikai szempontból nagyon fontos másik vizsgálati módszer a *photometria*, azaz az égitestek fényességének pontos mérése. Egy-egy fényességadat önmagában még nem jelent lényeges információt, de az időben változó fényességű



1. ábra • A V838 Monocerotis csillag robbanását követően megfigyelhető fényechó a csillagot körülvevő anyagban a Hubble-űrtávcső felvételén (NASA/STScI/ESA/H. Bond)

csillagok és a Naprendszer kis égitestjeinek fényességváltozását nyomon követve olyan fizikai jellemzőket is meg lehet állapítani, amelyek más módon nem vagy csak sokkal körülményesebben (például csupán nagy átmérőjű távcső igénybevételével végzett spektroszkópiai mérések alapján) deríthetők ki. A csillagok között pedig nagyon gyakoriak azok, amelyeknek fényessége időben változik. Napjainkban már kb. egymillió az ismert változócsillagok száma. Fényességváltozást okozhat a csillag pillanatnyi fejlődési állapotára jellemző instabilitás által kiváltott pulzáció, a csillag felszínének egyenetlen fényessége (például csillagfoltok), ami a csillag tengely körüli forgása miatt jár fényességváltozással. Vannak továbbá tipikusan kettőscsillagokra jellemző fényváltozások. Az ún. kataklizmusos változócsillagok mindegyike olyan *kettőscsillag*, amelyben anyag jut át az egykor kisebb tömegű (ezért lassabban fejlődő) komponensről a már nagy átlagsűrűségű, kompakt csillaggá (fehér törpévé, neutroncsillaggá vagy fekete lyukká) vált társára. Ez a tömegátadási folyamat nem egyenletesen zajlik, és a kompakt objektum forró környezetére jellemző körülmények miatt a rendszer összfényessége különféle módokon változik, a néhány perces időskálájú, enyhe fényesség-ingadozástól kezdve a néhány évezredes időközönként bekövetkező nóvakitörésekig.

Ha a két csillag pillanatnyi fejlődési állapota nem jár tömegátadással, akkor is bekövetkezhet fényességváltozás, mert a komponensek alakja egymás közelében eltorzul a társcsillag gravitációs hatására. Az ellipszoid alakú csillagok pedig a keringésük és a tengely körüli forgás során változó nagyságú és hőmérsékletű felülettel fordulnak a földi megfigyelő felé, ami természetesen időben változóknak látszó fényességet eredményez. Ha

pedig a kettőscsillag keringésének pályasíkja a látóirányba esik (vagy azzal csak egészen kis szöveget zár be), a komponensek felváltva eltakarják egymást, ami periodikusan ismétlődő átmeneti fényességcsökkenéssel jár. Az ilyen fedési kettőscsillagok fényességváltozásának nyomon követésével kapott fénygöréből a komponensek olyan jellemzőire is lehet következtetni, amelyek kísérő nélküli csillagok esetében csak nagy távcsővel végzett színképi vizsgálatok alapján állapíthatók meg.

Fényességcsökkenéssel járó fedéshez vagy átvonuláshoz azonban nem szükséges, hogy a rendszer két csillagból álljon, egy megfelelő pályán keringő bolygó is ugyanilyen jellegű, csak természetesen kisebb mértékű hatást okoz. Egy Naphoz hasonló csillag körül keringő bolygót először 1995-ben fedeztek fel, jelenleg pedig már négyszázhoz közelít az ismert *exobolygók* száma. Újabban egyre több exobolygót fedeznek fel fotometriai úton, a bolygó átvonulását észlelve a csillag korongja előtt. Az űrbe telepített fotometriai távcsövek esetében két-három nagyságrenddel pontosabb a fényességmérés a legjobb földi mérések hibájához viszonyítva.

A 2009 márciusában felbocsátott Kepler-űrtávcsővel végzett fotometriai mérések során a fényesség egymilliomodnyi csökkenése is érzékelhető, és ezzel lehetővé válik a Föld méretű exobolygók kimutatása a fotometria módszerével. A 95 cm átmérőjű tükröt tartalmazó Kepler-űrszondán kívül jelenleg két másik fotometriai célú űrtávcső is működik: a kanadai MOST (főtükre mindössze 15 cm átmérőjű) és az alapvetően francia, de európai közreműködéssel készült CoRoT (tükörátmérő: 27 cm). A CoRoT és a Kepler tudományos programjában magyar kutatók is részt vesznek. Az exobolygók kimutatása mellett a másik fő vizsgálati irány a különféle csillagok-

ban bekövetkező oszcillációk kimutatása. A csillagrezgések frekvenciájából és amplitúdójából ugyanis következtetni lehet a csillag másképpen nem vizsgálható belső szerkezetére. Ez az *asztroszeizmológia* mára önálló kutatási területté vált az asztrofizika fontos részeként. A Nap – amely a hozzánk legközelebbi csillag – esetében több millió egymástól független pulzációs módus észlelhető. A Naphoz hasonló távolabbi csillagoknál is valószínűleg rengeteg rezgési frekvencia van gerjesztve, csak a kis amplitúdó miatt lehetetlen azok kimutatása földi távcsövekkel végzett fotometriai mérésekből. Az űrtávcsöveknek tehát az optikai hullámhossztartományban is van létjogosultságuk.

Együtműködés az eredményesség záloga

A földi csillagászati obszervatóriumokat azonban mégsem fenyegeti a bezárás veszélye. Egyrészt azért, mert optikai méréseket végző űrtávcsövből csak kevés van, és azok is kis átmérőjűek a Földön jelenleg működő legnagyobb, 8–10 m átmérőjű teleszkópokhoz viszonyítva. Másrészt pedig azért, mert a más hullámhossztartományokat vizsgáló űrszondák méréseinek értelmezéséhez folyamatosan szükség van kiegészítő optikai észlelésekre. Az ilyen észleléseknél nem lehet a Földön kívül működő optikai távcsövekre számítani azok kis mérete és előre meghatározott tudományos programja miatt. A Hubble-űrtávcső (HST) e tekintetben az egyetlen kivétel, mert a megfigyelési programját szükség esetén megváltoztatják az időközben szükségessé vált magasabb prioritású észlelések végrehajtása érdekében. De a Hubble-űrtávcső más tekintetben is kitűnő példa az észlelések összehangolására. A HST ugyanis nemcsak kész segíteni a hiányzó észlelési adatok összegyűjtésébe, hanem egyszersmind igényli a földi

távcsövekkel való együttműködést is. A földi optikai csillagászati megfigyeléseket ugyanis a más hullámhosszakon végzett kutatások nem nélkülözhetik. A csillagászatban talán még fontosabb az együttműködés, mint más tudományágakban. Az Univerzum és a benne található égitestek vizsgálata során a különböző földi obszervatóriumok és űrtávcsövek nem egymás vetélytársai, hanem partnerek a kutatások sikere érdekében.

A Hubble-űrtávcsővel kapcsolatos alábbi példa is igazolja ezt a hozzáállást. Az amerikai NASA jelenleg is működő három nagy űrobzervatóriuma, az 1990-ben pályára állított HST, a röntgentartományt vizsgáló Chandra (felbocsátása: 1999) és a kozmikus infravörös sugárzást érzékelő Spitzer (2003) az Európai Déli Obszervatóriummal együttműködve indította a GOODS- (Great Observatories Origins Deep Survey) projektet, amelynek célja az Univerzum, a galaxisok, a csillagok és bolygórendszerek kialakulásának megértése a lehető legrészletesebb megfigyelések alapján. A projekt elnevezésében szereplő *deep survey*, amely magyar fordításban *mélyvizsgálat* néven terjedt el, ugyancsak a Hubble-űrtávcső kapcsán került a köztudatba. A mélyvizsgálati képek készítésével eredetileg „csak” azt akarták megnézni a HST páratlan lehetőségeit kihasználva, hogy milyen messzire lehet ellátni az Univerzumban, és a legtávolabbi objektumok, amelyeket a fény véges terjedési sebessége miatt a jelenlegi jóval fiatalabb állapotukban észlelünk, mennyire térnek el a közelebbi társaiktól. A pusztán kíváncsiság hajtotta észlelési program sikere minden várakozást felülmúlt: rengeteg érdekességet tárt fel a galaxisok természetéről és fejlődéséről. Ám a mélyvizsgálattal kapcsolatos eredmények elérésében földi távcsövek is jutott szerep. A mélyvizsgálati képekből

ugyanis csak a galaxisok és galaxishalmazok alakja, fényessége, esetleg színe állapítható meg, a távolságuk nem. Márpedig ahhoz, hogy a látszó fényességéből következtetni lehessen a sugárzási teljesítményre, ismerni kell a vizsgált objektum távolságát. A tőlünk nagyon messzire levő objektumok távolságának meghatározására bevált módszer az objektum színképében levő vonalak hullámhossz-eltolódásának mérése (kozmológiai vöröseltolódás), majd a vöröseltolódásból a Hubble-törvény alapján megkapható a keresett távolság. A mélyvizsgálati mezők halvány galaxisainak színképét földi óriásteleszkópokra szerelt spektrográfokkal vették fel.

A földfelszíni csillagászat lépést tart

Hosszasan lehetne sorolni az arra vonatkozó példákat, hogy milyen konkrét tudományos eredmények születtek földi és űrtávcsövek együttműködéséből. A csillagászatban kevésbé jártas olvasó számára azonban érdekesebb lehet azoknak a témáknak a felsorolása, amelyek művelésénél továbbra is főként földi távcsövekre lehet számítani. Ilyenek például a teljes eget lefedő megfigyelési programok, akár kis, akár nagy átmérőjű távcsövekkel. Ezek céljai közé tartozik a Földet veszélyesen megközelítő kisbolygók felfedezése és pályájuk meghatározása, a nagy energiájú gamma-kitörések optikai utófényének észlelése, extragalaktikus szupernóva-robbanások megfigyelése minél nagyobb számban, hogy statisztikai célra alkalmas nagyságú mintából lehessen kozmológiai és csillagfejlődési következtetéseket levonni, továbbá csillagpozíciókat tartalmazó katalógusok létrehozása. Az optikai tartományban az eddigi legátfogóbb katalógus az US Naval Observatory *Br.0* jelű katalógusa, amely 1 milliárd 46 millió csillag pontos égi pozícióját, sajátmozgását és fényes-

ségét tartalmazza 21 magnitúdós határfényességig (a hazai legnagyobb távcsővel ezt a határfényességet el sem lehet érni). A legújabb égboltfelmérések közül a Pan-STARRS és az LSST ismertetése szerepel Szabó M. Gyula e cikkgyűjteményben közölt tanulmányában.

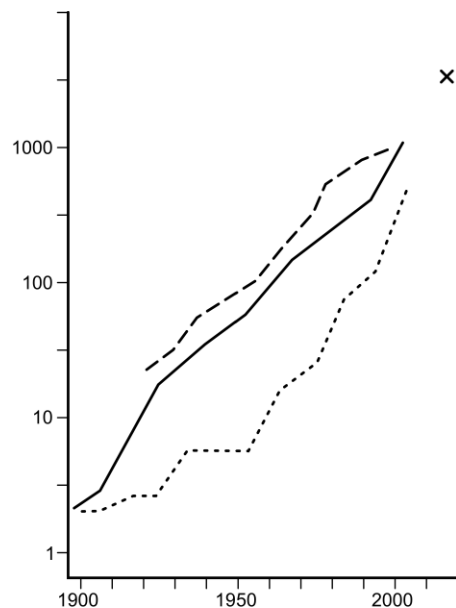
2009 nyarán indult a Palomar Transient Factory nevű felmérés, amely a Palomar-hegyi 1,2 m átmérőjű Schmidt-távcsőre szerelt, 8 négyzetfokos látómezejű CCD-kamerával különféle időskalájú optikai tranzienseket keres. Az öt éves időtartamú projekt eredményeit és tanulságait az LSST kidolgozásakor és működtetése során is figyelembe veszik.

Az optikai égboltfelméréseket általában automatizált teleszkópokkal végzik. A kapott fotometriai adattömeg pedig a megfelelő előfeldolgozás után kiválóan alkalmas fedési exobolygók keresésére, különféle pulzáló változócsillagok asztroszeizmológiai vizsgálatára stb. Az ezredforduló legnagyobb szabású égboltfelmérése, a Sloan Digital Sky Survey (SDSS) több hullámhosszon mért fényességadataiból pedig az extragalaktikus objektumok vöröseltolódásának (így távolságának) meghatározására is sikerült hatékony módszert kidolgozni – magyar kutatók meghatározó szerepével.

A megfigyelési módszerek közül említésre méltó még az interferometria, amely kis területek nagyon nagy szögfelbontású vizsgálatát teszi lehetővé. A rádiócsillagászatban már évtizedek óta alkalmazott módszert a sokkal rövidebb hullámhosszú optikai sugárzás tartományában csak számos technikai nehézség leküzdése után, napjainkban sikerült kipróbálni csillagászati távcsövek sugármenetének egyesítésével. Az optikai csillagászati interferometria várhatóan a földi távcsövekkel végzett kutatások egyik legeredményesebb területe lesz a következő évtizedekben.

A rádiócsillagászati kutatás is elsősorban földi műszerekkel folyik tovább, de a mérésekbe a Földön kívülre telepített rádiótávcsövek is „besegítenek”, mert így tovább lehet növelni a rádiótartományban végzendő interferometrikus mérések alapvonalát, ami a szögfelbontás további javulását eredményezi. A szubmilliméteres–milliméteres hullámhosszak földi bázisú csillagászata pedig most kezd kiteljesedni: tizenhét ország együttműködésével megvalósulóban van az ALMA projekt, melynek antennáit 5000 m magasra, a chilei Atacama-sivatag egyik fennsíkjára telepítik.

A földi csillagászati obszervatóriumok napjai egyáltalán nincsenek megszámlálva. Ezt jól érzékelteti a 2. ábrán bemutatott diagram is. Az ábrán látható alsó görbe az Európában működő optikai csillagászati távcsövek négyzetméterben kifejezett gyűjtőfelületének 20. századi növekedését mutatja, a középső a Föld valamennyi optikai távcsövére vonatkozó ugyanilyen összesítés, a legfelső vonal pedig a csillagászok száma tízzel osztva (a könnyebb ábrázolhatóság kedvéért). A jobbra fent látható x az európai óriástávcső (ELT) üzembe helyezésekor várható állapotot jelöli (Fűrész 2008). Az ábrából az is kitűnik, hogy a csillagászok létszámának növekedése



2. ábra • Az optikai távcsövek összesített gyűjtőfelületének és a csillagászok számának növekedése a 20. században. (L. Woltjer alapján)

a 20. század végén megtorpant, de maga az optikai csillagászat töretlenül fejlődik.

Kulcsszavak: *optikai csillagászat, űrcsillagászat, távcső, fotometria, égboltfelmérés, tudományos együttműködés*

IRODALOM

- Fűrész Gábor (2008): ELT tervezett távcsövek. In: Benkő József – Mizser Attila (szerk.): *Meteor csillagászati évkönyv 2009*. MCSE, Budapest, 287–332.
 Kun Mária (1996): Rádiócsillagászat. *Magyar Tudomány*, 103, 1, 12–18.
 Kun Mária – Szabados László (2004): A Tejútrendszer változó arca. *Magyar Tudomány*, III, 6, 722–731.

- Patkós László (1995): Röntgencsillagászat. *Magyar Tudomány*, 102, 9, 1093–1106.
 Szabados László (2004): Közelebb hozni a távot. *Magyar Tudomány*, III, 6, 678–688.
 Szatmáry Károly – Szabados László (2008): Űrtávcsövek. In: Benkő József – Mizser Attila (szerk.): *Meteor Csillagászati Évkönyv 2009*. MCSE, Budapest, 333–362.

LEHET-E SZÁZ ÉV MÚLVA IS CSILLAGÁSZAT NEMZETKÖZI ÉVE?

Kolláth Zoltán

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,
 MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet
 kollath@konkoly.hu

A Csillagászat Nemzetközi Évének megtartására a távcső csillagászati használatának négy-száz éves évfordulója ad okot. Galilei első megfigyeléseinek ötszáz éves jubileuma nyilván ismét megfelelő alkalom lesz az ünneplésre. Ha azonban a mostani jubileumi év fő célkitűzését nézzük, akkor sajnos már kevésbé lehetünk biztosak a jövőben. Amit Galilei látott mai szemmel már kezdetleges távcsövével, még mindig nem jutott el mindenkihez. Az emberek jelentős része nem látta még saját szemével, távcsövön keresztül a Hold krátereit vagy éppen a Jupiter holdjait. A Csillagászat Nemzetközi Évének egyik fő feladata éppen az, hogy ezt a Galilei-élményt minél több emberhez eljuttassa. A Hold és a bolygók látványának elvesztésétől nem kell tartanunk, hiszen azok fényes égitestek. Ám már napjainkra elértük azt, hogy a népszerű jelentős részének ismeretlenek az égbolt halványabb jelenségei, melyek száz évvel ezelőtt még természetesen voltak mindenki számára. Egy nagyobb területet érintő áramkimaradás után tanult emberek is meglepődve érdeklődtek, hogy mi az a fényes sáv az égbolton, amit korábban nem láthattak. A Tejút eltűnt a városlakók szeme elől. Az ok a *fényszennyezés*, az égbolt mesterséges fénylésének növekedése. Meddig folytatódhat ez a folyamat, milyen

fényességhatárig csökken az égitestek láthatósága a Föld felszínéről? Sürgősen tenni kell az aggasztó kilátások ellen.

Fényszennyezés és zavaró fények

Sajnos a fényszennyezés problémájának súlyosságát még ma is kevesen érzékelik. A természet- és környezetvédelemnek számos fontos feladatot kell megoldania. Egyiket sem lehet elhanyagolni pusztán azért, mert másokat mindenek fölé emelnek... A fényszennyezés problémáját a legtöbb országban annyira bagatellizálták, hogy igazából még a megfelelő szakmai/jogi kifejezések sem alakultak ki. A hazai jogrendszer sem ismeri megfelelő szabotossággal a jelenségkör – mert nem is igazán beszél róla. Egyedüli kivételként említhető országos hatókörű szabályozása a nemrég kihirdetett, a természet védelméről szóló 1996. évi LIII. törvényt (is) módosító 2008. évi XCI. törvény, amelynek 19. §-a áttörésnek tekinthető a fényszennyezéssel kapcsolatos hazai jogi szabályozás történetében. Megszületett az első hazai jogszabály, amely foglalkozik a kérdéssel, és lehetővé teszi a fényszennyezés korlátozását, legalább védett természeti területen. A törvény így rendelkezik: „... Védett természeti területen a helyhez kötött kültéri mesterséges megvilágítást kül-