

nek. Három égitest került a törpebolygók közé: a Ceres, a Plútó és az Eris (4. ábra). Árulkodó jel, hogy ezeket a döntés szerint a kisbolygók között kell nyilvántartani, nem lesznek külön katalogizálva...

A döntés utóélete

A döntést az IAU mintegy tízezres tagságából körülbelül háromszázan rögtön kifogásolták, jelezve, hogy nem értenek egyet a fenti definícióval. Az aláírók mind egy nemzetből származnak – a következtetéseket a petíció szövege ismeretében mindenki vonja le maga [4]. Még tüntetésekre is sor került a Plútó nagybolygó státusban maradása érdekében – ez kevéssé tudományos érv a Plútó nagybolygókénti osztályozása mellett.

A csillagászok többsége biztosra veszi, hogy 2009-ben a Rio de Janeiro-i közgyűlésen a vita folytatódik – mivel

ez a definíció sok csillagászt így nem elégít ki. Amíg a döntés érvényben van, izlelgessük a törpebolygó fogalmát. Ahogy *Mike Brown*, az Eris törpebolygó felfedezője mondta: „... tekintve ezt az egész őrült cirkuszt, valahogy a helyes válaszba botlottunk. (...) A tudomány nyilvánvalóan önjavító módon működik, még ha néha erős érzelmelek vannak is benne.” [5]

Irodalom

1. KISS CSABA, ÁBRAHÁM PÉTER: *Az infravörös égi báltér* – in: Csillagászati Évkönyv 2004, 216–233.
<http://www.konkoly.hu/evkonyv/infra/infra.html>
2. CSIZMADIA SZILÁRD: *Meteorcsillagászat* – in: Meteorcsillagászati évkönyv 2004, 249–273.
<http://www.konkoly.hu/evkonyv/meteor/meteor.html>
3. BOTH ELŐD – *Természet Világa* 2006/10 (2006) 455
4. http://hirek.csillagaszat.hu/pluto/20060907_pluto_134340_2.html;
KISS L., SÁRNECZKY K.: *Nagybolygóból törpebolygó: (134340) Pluto* – *Meteor* 2006/10 (2006) 3
5. *New York Times*, 2006. aug. 24.

NAGY ÉGBOLTFELMÉRÉSEK A CSILLAGÁSZATBAN

Szabó M. Gyula
SZTE Kísérleti Fizikai Tanszék

Bár a laboratóriumi fizika és az asztrofizika ugyanazt a tudományos alapot és nagyjából ugyanazt a tárgyalásmódot használja, megfigyelő módszereik gyökeresen különböznek egymástól. Ennek oka egyszerű: egy ideális laboratóriumban pontosan ismert és hangolható körülmények között elvileg tetszőleges számú kísérlet végezhető, az asztrofizikai megfigyelések alapja viszont azon szörványosan és véletlenszerűen bekövetkező jelenségek összessége, amelyeknek a pontos körülményeit is a jelenség lefolyásából kell kikövetkeztetnünk. Sőt, a megfigyelés szempontjából elegendően gyors lefolyású folyamatok a csillagászatban ritkák. Ezért nem egy esetben fontosabb lehet a megfigyelt jelenség körülményeinek jellemzése, mint magának a jelenségnek a pontos leírása.

Nyilvánvaló, hogy ehhez a kiszemelt jelenség igen sok bekövetkezését kell vizsgálnunk. A megfigyelt jelenségeket rendszerbe állítva fejleszthetjük tovább világképünket. Ennek két különböző módszertani megvalósítása:

1. *válogatott egyedi objektumok részletes vizsgálata*, beleértve a jelenséget befolyásoló paraméterek és a teljes környezet minél pontosabb megfigyelését és értelmezését;

2. *nagyszámú objektum áttekintő jellegű vizsgálata* egyetlen fontos, jól megfigyelhető tulajdonság segítségével. Mivel a második típusú vizsgálatok igen nagy éterület, nemritkán az egész látható égbolt előre meghatározott terv szerint való „végigszelését” jelentik, e stratégiát szokás a *nagy égboltfelmérés* fogalmával jelölni.

A csillagászati vizsgálatok e két megközelítése, az egyedi objektumok részletes megfigyelése és az égboltfelmérés, természetesen nem kizárja, hanem kiegészíti egymást. Min-

dig lesznek kérdések, amelyekre nem lehet égboltfelméréssel válaszolni, és mindig lesznek olyan problémák is, amelyeket *csak* égboltfelméréssel lehet megoldani. A két módszer közti különbség elsősorban ott érhető tetten, hogy az égboltfelmérések gyakran általánosságban fölvethető kérdésekhez és általános összefüggések fölismeréséhez vezetnek, a kérdésekre a részletes válaszokat viszont az egyedi objektumok vagy jelenségek részletes vizsgálatától, és minden megfigyelhető paraméterre kiterjedő, módszeres összehasonlításától várhatjuk. A jelenkor legnagyobb égboltfelmérési vállalkozását, az LSST (Large Synoptic Survey Telescope) üzembe állítását irányító *Željko Ivezić* hasonlatával élve: egy égboltfelmérés olyan, mint a házi orvos: áttekint a „leleteket”, abból következtet az általános állapotra, és a speciális folyamatokat is a „nagy egész” szempontjából értékeli. A diagnosztikai gyanút megfogalmazza, és a beteget szakorvoshoz küldi. Ahogy nyilvánvaló, hogy a beteg megfelelő ellátáshoz mindkét szakember munkájára szükség van, ugyanúgy van szükség a nagy fölmérések és a részletes kutatások együttes alkalmazására a modern csillagászat módszertanában.

E cikk célja, hogy áttekintést adjon az égboltfelmérések módszereiről, a jelen és a jövő programjairól, és ezeken keresztül bemutassa a mai csillagászati kutatások néhány kiemelkedő jelentőségű eredményét.

Az égboltfelmérések tervezése

Az égboltfelméréseket technikailag néhány paraméterrel össze lehet foglalni. Ezek közül a legjellemzőbb a felmérés *bullámhossza*. Ez általában egy közepes vagy széles $\lambda \pm \Delta\lambda$ hullámhossztartományt jelent, a vizsgált elektro-

Az OTKA T042509 és a Magyar Zoltán Felsőoktatási Közalapítvány támogatásával.

mágneses tartomány relatív szélessége $\Delta\lambda/\lambda \sim 5\text{--}30\%$. Minden színképtartomány egyformán fontos, ám a vizuális (pontosabban a látható fény hullámhosszához közel eső, nagyjából 300–1000 nm közötti) tartomány, hosszú történeti előzménye és könnyű elérhetősége miatt, kiemelkedő jelentőségű. A csillagok legnagyobb része ebben a tartományban a legfényesebb, és szinte ez az egyetlen hullámhossztartomány, ahol a földi légkör minden „derült” megfigyelőhelyről többé-kevésbé stabilan átlátszó, a magaslégkör rekombinációs eredetű fénylése pedig még elfogadhatóan kis mértékű. A vizsgált hullámhossztartomány alapján ily módon megkülönböztetünk vizuális (POSS, SDSS, LSST stb.), infravörös (IRAS, 2MASS), mikrohullámú (COBE, WMAP), rádió (GB6, NORTH6cm stb.), ultraibolya (GALEX), röntgen (ROSAT) és gamma (EGRET) égboltfelméréseket.

A *lefedett égtérület* a másik fontos paraméter, különösen azon égboltfelmérések esetében, amelyek válogatás nélkül mindent rögzítenek, ami a képen egyáltalán látható. Bizonyos felmérések az egész égre kiterjednek, más vizsgálatok csak egy kisebb égtérületre, és vannak felmérések, amelyeknek a célpontja esetleg egyetlen látómező.

Sok égboltfelmérés kizárólag egy adott típusú objektum megfigyelésével foglalkozik. Ezt, mivel nem figyel meg mindent az égbolton, észlelőhálózatnak is nevezhetjük, ha több távcső vesz benne részt. Ezek általában a vizuális hullámhosszon működnek. Például kizárólag galaxisok és kvazárok színképének megfigyelésével foglalkozik a 2dF. Néha egy adott célterületen figyelnek meg minden objektumot, hogy abban bizonyos jelenségeket (például Tejútrendszerünk halójához tartozó objektumok gravitációs lencsézését, más naprendszerekben keringő bolygók csillagjuk előtti átvonulásait (tranzit) [1], nagyszámú csillag kis amplitúdójú mikropulzációs változását) figyeljenek meg. Ilyen programok például a MACHO, OGLE, a magyar tervezésű HAT, az űrbéli üzemre tervezett CoRoT- és Kepler-távcsövek, amelyek exobolygókat keresnek, és, mintegy melléktermékként, rengeteg változócsillagot is megfigyelnek.

Észleléstechnikai szempontból fontos a látható leghalványabb objektum jellemzése. Egy égboltfelmérés *határfényességén* annak a leghalványabb objektumnak a fényességét értjük, amely még 90%-ot meghaladó valószínűséggel (gyakorisággal) azonosítható a képen. A detektálás hatékonyságát háromféleképpen lehet növelni. Nagyobb apertúrájú távcső alkalmazásával, illetve az expozíciós idő növelésével több fényt gyűjthetünk össze, jobb kvantumhatásfokú detektor használatával pedig az összegyűjtött fény nagyobb hányada hasznosulhat a képrögzítési eljárás során. Mivel a fluxus (W/m^2) az objektum távolságával négyzetesen csökken (nem kozmológiai távolság esetén), kétszer messzebb lévő objektum megfigyeléséhez négyszer hatékonyabb fénygyűjtésre, például kétszer nagyobb apertúrájú távcső használatára van szükség.

A határfényesség és a megfigyelt terület inkább a műszerre jellemző adat. A felmérés e két paramétert együtt tekintve jellemezhető a *térfogatával*. Ennek mértéke a megfigyelt objektumok darabszáma, normálva az objektumtípus térbeli sűrűségével. (A definíció alapján termé-

zetesen a térfogat függ az elért objektumok típusától, tehát minden előnye ellenére is csak tájékoztató jellegű adat.) Ilyen értelemben lehet mondani egy felmérésről, hogy térfogata például $10^9 pc^3$. Ez durva közelítéssel azt is jelenti, hogy azok az objektumokat jelennek meg az adatokban, amelyek egymilliárd köbparseknyi térfogatú környezetünkben vannak.

A felmérés technikai részleteit az egy éjszakára eső adatok mennyisége, a *végző adatmennyiség* és az adatstruktúra jellemzi. Az adatkezelés problémáit szemléletesen mutatja be a *Fizikai Szemle*ben idén augusztusban megjelent cikk [2].

Égboltfelmérések a múltban és ma

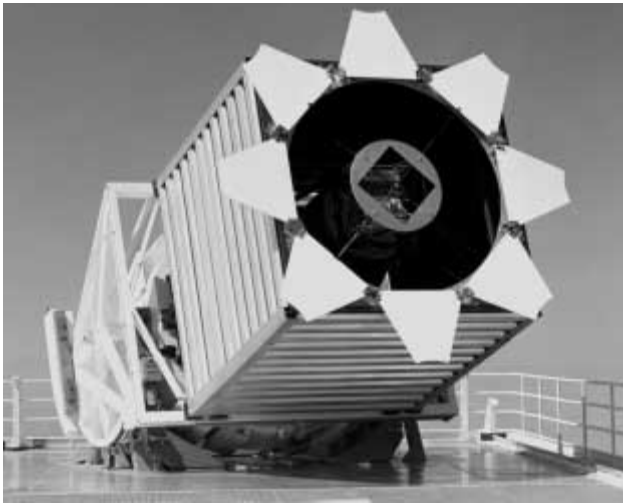
Történelmi jelentőségű égboltfelmérések

Az első jelentős, még szabadszemes égboltfölmérés *Hipparchosz* görög csillagász (Kr. e. 190–125) nevéhez köthető, aki az Alexandriából látszó égbolton 850 csillag fényességét és pozícióját gyűjtötte össze. Katalógusát majdnem kétezer éven keresztül használták. Hipparchosz megfigyelései rögtön szolgáltak is olyasfajta tudománytörténeti jelentőségű fölfedezéssel, amely az égboltfelmérések jellegzetes sajátja. A csillagok pozícióját korábbi mérésekkel összevetve azt tapasztalta, hogy hosszú idő alatt a tavaszpont – ami az Egyenlítő, valamint a Föld pályasíkja égi vetületeinek egyik metszéspontja – kelet felé mozgott az ekliptikán. Ez a megfigyelés helyes, a Föld precessziójából adódóan a forgástengely lassan elfordul, amit Hipparchosz ezzel a felméréssel kísérletileg fölfedezett.

A távcsöves megfigyelések időszakában egyre több vizuális technikával összeállított csillagkatalógus született. Ezek közül a legkiemelkedőbb a fotográfia elterjedése előtti utolsó nagy vizuális katalógus, az 1859–1862 között összeállított *Bonner Durchmusterung*, amely az északi égbolt 324 188 csillagát tartalmazza 9 magnitúdó fényesség-tartományig. Ezen katalógus alapján született meg az első jelentős fotografikus égboltfelmérés, a csillagok színképi vizsgálatára vállalkozó *Henry Draper*-féle katalógus. Ebben a felmérésben több mint 225 000 csillag spektrumát vették föl több műszerrel. Az első egy 8 hüvelyk apertúrájú, 6 fokos törőszögű objektívprizmákkal szerelt távcső volt. E műszerrel a fölmérés első részét *E.C. Pickering* irányította a Harvard Egyetemen (1886–1889), majd kisebb észleléssűrűséggel a perui Arequipában folytatták 1923-ig. (Ma a történelmi jelentőségű, igazán szép kiállítású távcső a lengyelországi Toruńban, a rádiócsillagászati obszervatórium muzeális gyűjteményében látható.) A teljes katalógus 1924-ben jelent meg, 1949-ig két újabb kiegészítéssel. A fölmérés legfontosabb eredménye a csillagok színképosztályozásának megalkotása volt, ami egyenesen vezetett a csillagok modern asztrofizikai elméletéhez.

Napjaink égboltfelméréseinek eredményeiből

Terjedelmi korlátok miatt ebben a fejezetben az optikai és az ahhoz közeli hullámhosszon végzett égboltfelméréseket tekintjük át. Nem lenne tanulságok nélküli a rádió-



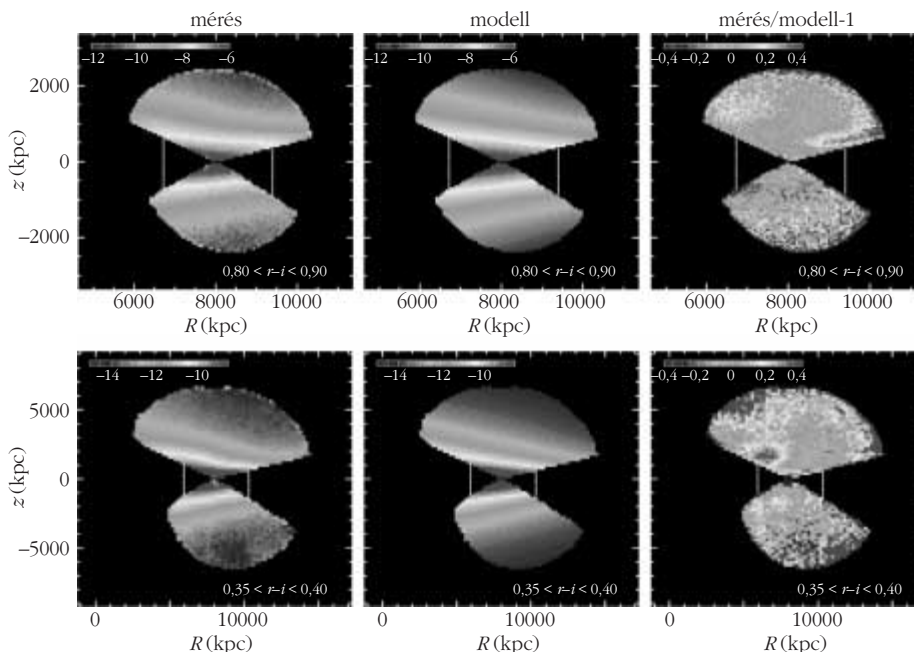
1. ábra. Az SDSS felmérés főműszere

vagy röntgenhullámhosszakon elért eredményeket is bemutatni, ám fő célunk nem a kimerítő technikai vagy tudományos leírás, hanem a „módszertan” ismertetése. Erre pedig, könnyebb érthetőségük miatt is, a bemutatandó égboltfelmérések a legalkalmasabbak.

A 20. század második felének első kiemelkedő jelentőségű felmérése a Palomar Observatórium Égboltfelmérése (POSS), amely az akkori idők legnagyobb, 5 méteres távcsövével készült. Az első fotografikus felmérést 1950–1957 között végezték, amely a nyolcvanas évek közepén kiegészült egy jobb (változó, jellemzően 20,5 magnitúdó körüli) határfényességű, „kék” és „vörös” hullámhossz tartományt lefedő felméréssel. A felvételek digitalizálva szabadon elérhetőek. Számos égterületen máig ez a felmérés szolgáltatja a legjobb határfényességű referenciát.

A kilencvenes években indult, és – elsődleges programját tekintve – napjainkban fejeződött be a Sloan Digi-

2. ábra. Balra: az SDSS által mért csillagsűrűség a Nap környezetében, a fősíkra merőlegesen, a galaktikus haló irányában. Középen az eloszlásra illesztett sima modell. Jobbra: a modelltől való eltéréssel láthatóvá válnak az elnyelt törpegalaxisok [3].



tális Égboltfelmérés (SDSS), amely azonban újabb programokkal még évekig tovább fog üzemelni (1. ábra). Az SDSS tervezésében és az adatok feldolgozásában számos magyar asztrofizikus játszik fontos szerepet, többek között Szalay A. Sándor, az MTA tagja és a Johns Hopkins University professzora. Az elsősorban kozmológiai célú felmérés az Arizonából látható teljes égbolt mintegy harmadrészét számos alkalommal végigméri, 120 megapixeles kamerája 22 magnitúdós határfényességig mindent megörökít. Ötszín-fotometriai vizsgálataiban mintegy félmilliárd forrás szerepel, amihez százezer csillag, százezer kvazár és egymillió galaxis spektroszkópiai vizsgálata is társul. Egy öntanuló algoritmus a különféle típusú galaxisok fölismerése alapján már az ötszín-fotometriai adatsorból is meg tudja becsülni a vöröseltolódást (kb. 20% hibával), s így nemcsak a százezres nagyságrendű spektroszkópiai galaxis- és kvazárkatalógusra lehet távolságot meghatározni, hanem az összes további megfigyelt galaxisra és kvazárra is, lehetővé téve a Világegyetem nagyléptékű szerkezetének az eddiginél jóval részletesebb tanulmányozását.

A közelmúlt felméréseinek eredményét érdemes az SDSS szempontjából értékelni, hiszen ez számos ponton kapcsolódik a korábbi és a későbbi optikai felmérésekhez is. Az adatok alapján sikerült újrajalibrálni a POSS lemezeket (ami a fotografikus technika erős nemlinearitása miatt volt szükséges). Ezáltal a POSS ötször pontosabb, 0,08 magnitúdós fotometriai hibájú felméréssé „vált”, a pozíciómérés pontossága is hasonló mértékben javult, 0,1 ívmásodperc értékűre.

Az SDSS képeire körülbelül 200 ezer (nem végleges adat) kisbolygó és üstökös került. Nyilvánvalóvá vált, hogy a kisbolygók dinamikai családjainak nagyobb része a családra jellemző anyagú égitestből áll, ami közös eredetre utal. A Jupiter trójai kisbolygói (a Jupiter Nap körüli keringési pályájának L4 és L5 Lagrange-pontjában található testek) között pedig alcsaládok létezésére utalnak jelek. Kiderült, hogy kisebb kisbolygóból kevesebb van, mint korábban gondoltuk, így a Föld-kisbolygó ütközések kockázatát az SDSS a korábbi érték mintegy tizedére csökkentette. Felfedezték, hogy a kisbolygók felszínén gyakran található nagy kiterjedésű színes felületek, amelyek legalább két eltérő folyamat eredményeképpen jöttek létre. Kutatók vizsgálják a kisbolygók alakjának statisztikáját is.

Az SDSS segítette a Galaxis peremvidékeinek feltérképezésében. A Galaxis által bekebelezett törpegalaxisok roncsait, szétszórt csillagait fedezték föl a galaktikus halóban (2. ábra). Új spektrálosztályú csillagokat

fedeztek föl (L, T, C), amelyek egyrészt a kis tömegű lítium- és metántörpéket, másrészt a „szénscillagokat” tartják. A spektroszkópiai adatok elemzése mintegy megkettőszerezte az ismert kataklizmikus kettőscillagok számát, a fényváltozás alapján hasonlóan növelte az ismert RR Lyrae változócsillagok számát.

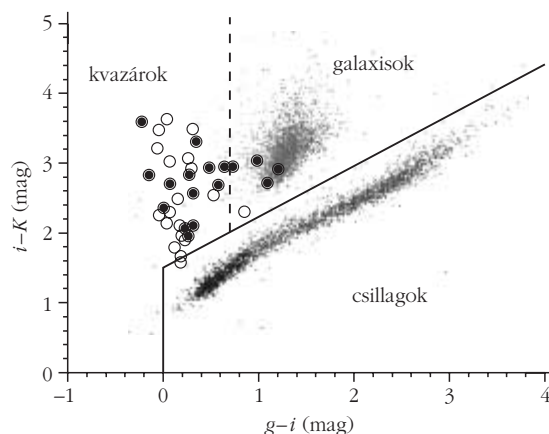
A Galaxisból kitekintve kiderült, hogy az extragalaxisoknak kétféle osztálya létezik, egy „kék” és egy „vörös” típusú, amelyek térbeli eloszlása sem egyforma. Az Univerzum nagyléptékű szerkezetéről megerősítették, hogy a galaxisok „szivacsos” szerkezetbe rendeződnek, és a legnagyobb, 150 millió fényéves léptéken megtalálták a korai Univerzumban még majdnem egyenletesen eloszló anyag apró lokális csomósodásainak, „akusztikus hullámainak” ma látható nyomát. A program jelenleg az Univerzum történetével, összetételével (sötét anyag, sötét energia, sötét sugárzás) kapcsolatos kutatásokat végez, távoli galaxisokban felrobbanó szupernóvákat keresve és követve.

Az SDSS-hez a közeli infravörös oldaláról csatlakozik a Kétmikrométeres Felmérés (2MASS), amelynek segítségével beláthatunk a csillagkeletkezési tartományokba és a Tejútrendszer optikailag gyakorlatilag átlátszatlan felhőkbe burkolt középponti régiójába. Az adatok másfélmillió kiterjedt forrást és 471 millió csillagot tartalmaznak. A felmérés föltérképezte a Galaxis középpontját, nagyon nagy tömegű csillagokból álló csillaghalmazokat fedezett föl, és megerősítette, hogy a Galaxis küllős típusú galaxis, azaz a magvidéke háromtengelyű ellipszoid alakú. Az adatokban igen sok fiatal, laza csillaghalmaz vált láthatóvá, amelyek még a csillagkeletkezés forrásául szolgáló ködbe vannak beágyazva. Ezek a halmazok a köd „eloszlásával” általában gyorsan szétszóródnak, ezért korábban nem sok ilyet ismerhettünk.

A távoli galaxisok apró, csillagszerű objektumoknak látszanak, a legjobb távcsövekkel is nehéz megkülönböztetni a képüket a „valódi” csillagokétól. A csillagok és galaxisok szeparációját tovább nehezíti, hogy mind a csillagok, mind a galaxisok igen sokfélék, ezért változatos színképi megjelenésük lehet. Az SDSS és a 2MASS adatainak összevetésével azonban mindezek ellenére a csillag-galaxis szeparáció gyakorlatilag tökéletessé tehető (3. ábra). Ennek alapja az a meglepő és máig megmagyarázatlan megfigyelés, hogy a galaxisok sokféle spektruma szinte teljesen jellemezhető egyetlen paraméterrel. Például, az ibolya és zöld hullámhosszakon mért fluxusok aránya („szín”, u-g színindex) alapján 20%-os hibával jósolható a színkép 1–2,5 mikrométer körüli részének „színe” (i-K színindex) [3].

Az SDSS-hez az ultraibolya felől kapcsolódik a GALEX műholdas felmérés. Az összevetéssel derült ki, hogy a GALEX próbaüzemben hamis pontforrásokat is detektált, ezt a hibát azóta már kijavították. A program még a kezdeti szakaszában jár, de bizonyos, hogy a forró csillagok, az aktív galaxisok, a „csillagontó” galaxisok és a kvazárok vizsgálata területén számos újdonsággal szolgál majd.

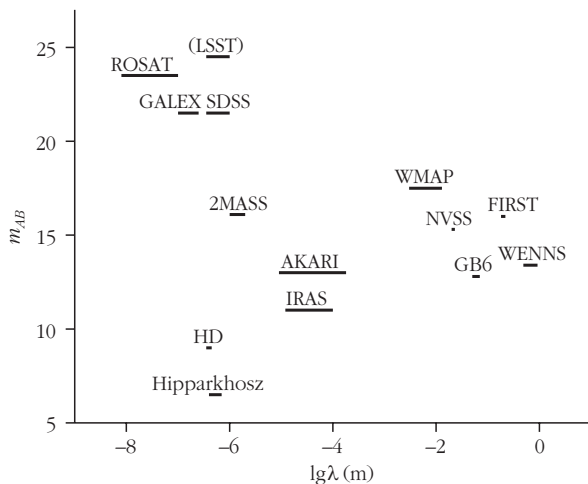
Az optikai felmérések kapcsán föltétlenül meg kell említeni a szupernóvákat és exobolygókat keresésére irányuló felméréseket, amelyek válogatott égitestek folyamatos fotometriai megfigyelésére vállalkoznak. A szupernó-



3. ábra. Csillagok, galaxisok és kvazárok elkülönítése 2MASS-SDSS kétszíndiagramon – jelenleg „kétárnyalat-diagramon” [3].

va-kereső programokról jó áttekintést nyújt *Vinkó József* cikke [4]. A Nagytömegű Kompakt Haló Objektumok (MACHO) és az Optikai Gravitációs Lencsézési Kísérlet (OGLE) a Kis és Nagy Magellán-felhő valamint saját Galaxisunk központja felé tekintve keresi a kompakt objektumok által keltett gravitációs-lencse-hatást és bolygók tranzitjait. A nagy mennyiségű adat emellett a változócsillagok kutatására is bőséges lehetőséget ad. A Magyar Automata Távcső (HAT) elnevezésű projekt Arizonában, Hawaii-n és Izraelben elhelyezett 11–16 cm-es távcsövek hálózatára épülő felmérés, amely az égbolt egy-egy 69 négyzetfokos területét figyelni nagyságrendileg fél éven keresztül. A programot *Bakos Gáspár*, a Harvard Egyetemen dolgozó honfitársunk irányítja. Az elsődleges cél távoli bolygók tranzitjának azonosítása, azonban változócsillagokról is rengeteg pontos fotometriai adat gyűlik. A felmérés az utóbbi időben a médiába is bekerült, az „első magyar fölfedezésű bolygó”, a HAT-P-1 kapcsán. A HAT-hez hasonló program több is fut párhuzamosan, eddig a TReS és a WASP fedezett föl „saját” bolygót.

A tágan értelmezett látható tartományon kívül eső égboltfelmérések bemutatása legalább egy önálló cikket érdemelne. Ezek a röntgen- és a mikrohullámú tartományban végzett űrbeli megfigyeléseket jelentenek, leírásukat jól összefoglalva a hazai irodalomban is föl lehet lelni [5]. Csak utalásképpen említjük meg a ROSAT katalógusát, amely majdnem megszázszorozta az ismert röntgenforrások számát. A mikrohullámú tartományon egy évtized különbséggel működtek a kozmikus háttérsugárzás mérésére fölbocsátott COBE és WMAP műholdak, amelyek megerősítették a háttérsugárzás feketetestjellegét, kimutatták anizotrópiáját és így közvetlenül a korai Univerzumban még homogén módon eloszló anyag kis egyenetlenségeit (akusztikus hullámain). Ezek a megfigyelések részét képezték annak a kutatásnak, amiért a 2006-os fizikai Nobel-díjat odaítélték. Az összes felmérés részletes elemzése helyett a 4. ábrán foglaljuk össze a jelen cikkben említett nagy égboltfelmérések működési tartományát és határfényességét. Az ábra a fényességet a minden hullámhossztartományon értelmezhető AB magnitúdóban tünteti föl, amelynek definíciója $m_{AB} = -2,5 \cdot \lg F \text{ (erg/cm}^2\text{/s/Hz)} - 48,57$, ahol F az objektum spektrális fluxussűrűségé.



4. ábra. A nagy égboltfelmérések határfényessége Hipparkhosz ókori katalógusától a tervezett LSST-távcsőig.

Tervek a közeljövőre

A jövőben számos űrbeli felmérés indul. A Kepler- és CoRoT-távcsöveket még ebben az évtizedben pályára állítják. A Nap–Föld rendszer külső Lagrange-pontjában üzemel majd az európai irányítású GAIA-távcső, amely spektroszkópiai és asztrometriai műszer lesz egyben. A várakozások szerint a 15–20 magnitúdónál fényesebb csillagokról 20–200 mikroívmásodperc nagyságrendi pontosságú pozíciómérést és radiális sebesség-mérést végez. Ezzel egymilliárd csillag távolságát és térbeli sebességét fogja megmérni. A műszer indítását 2011-ben tervezik.

A tervezett földi csillagászati felmérések kiemelkedő vállalkozása az amerikai Nagy Szinoptikus Felmérés (LSST). 8,5 méteres távcsövére ember méretű, 3500 megapixeles kamerafejet szerelnek, amely relatíve rövid expozíciókkal 24,5 magnitúdóig (összegezve 27,5 magnitúdóig) megörökíti az eget. A műszer látómezeje óriási, 10 négyzetfokos lesz, ennek köszönhetően az egész eget háromnaponta végig tudja majd mérni! Az összes adat az elkészülte pillanatában teljes elérésű lesz, ami szintén újdonság. Egyetlen éjszaka 35 TByte adat keletkezik majd! A várakozások szerint az LSST föl fogja fedezni a Földre veszélyes összes kisbolygót, a főövben lévő kisbolygókat 500 méter átmérőig, az összes RR Lyrae változócsillagot 1,4 millió fényéven belül, évente fölfedez és kimér 10 000 szupernóvát. Az üzembe helyezést 2012–2014 között tervezik. Az LSST előtt állítják üzembe a Pann-STARRS felmérést, amely 4 távcsővel dolgozik majd az LSST-vel összemérhető hatékonysággal, és hetente méri majd végig a teljes égboltot. A Pann-STARRS a megvalósulás végső fázisába lépett, a távcsövek prototípusa 2006 júliusa óta üzemképes.

Következtetések

Az égboltfelmérés nem mai találmány, a csillagászat tulajdonképpen minden korban élt az egész égre kiterjedő tömeges megfigyelés módszereivel. Ami igazán feltűnő, az napjaink lendületes fejlődése és az eredményesség ugrászerű növekedése: a csillagászati felmérések nyilvánvalóan

fényes jövő előtt állnak. Ennek elsődleges oka a digitalizált technikák (automatizált működés és katalogizálás, digitális tárolás) elterjedése és az adatkezelés hatékonyvá válása. Ezek a technikák – hosszas előzetes munka után – minimális emberi beavatkozással rengeteg adatot állítanak elő. Az adatok kiértékelése digitális képfeldolgozáson alapul, algoritmikusan kell szétválasztani az érdemi információt a képen tárolt zajtól és műtermékektől. Ennek módszerei (detektálás statisztika, maximum entrópia, maximum likelihood, Bayes-módszerekre alapuló képfeldolgozás, adattömítési technikák stb.) manapság érték el a „nagykorúságot”. A legújabban kifejlesztett algoritmusok már „adatlimitált” eljárások: azonos adatból kiindulva azonos eredményre jutnak, és gyakorlatilag ténylegesen kinyerik az összes, a képből elméletileg kinyerhető információt. (Az általában alacsony jelszint, a csillagászati kalibráció bonyolultsága és a képtorzítások miatt ez egyáltalán nem triviális.) A felmérések terjedésének másik oka sokkal prózaibb: a városi fényszennyezés exponenciális ütemű növekedése (ötévente megkétszereződik) is kikényszerítette, hogy a csúcstechnikájú távcsövek adattermelését optimalizálják, ami egyenesen vezet az égboltfelmérésekhez.

Azonban a jövőben is megmarad az egyedi objektumok megfigyelésének jelentős szerepe, mert a közeljövő felmérései sem tudják három napnál sűrűbben megfigyelni az egész eget. A belátható jövőben is egyedileg kell majd vizsgálni a néhány napos vagy annál rövidebb időskálájú folyamatokat. A felmérések ezentúl is gyakran kerülnek a nagy felbontású spektroszkópiai vizsgálatot, ismételt színeképi megfigyelésről pedig egyáltalán nem lehet még beszélni. Ezért a spektroszkópiának, különösen a változó folyamatok spektroszkópiájának is kiemelkedő szerepe marad a jövőben. A keskeny hullámhossztartományra terjedő képrögzítéssel vagy spektrofotometriával kapcsolatban ugyanezt mondhatjuk el.

Az emberi közreműködésre azonban folyamatosan nagy igény lesz. A kalibrációk (és hibalehetőségeik) zöme alól mentesítheti a kutatót egy égboltfelmérés, de a lehetséges összefüggések kihámozása az elérhető égboltfelmérések darabszámával körülbelül négyzetesen növekvő munkát igényel. (Itt grafikonok elkészítéséről, fizikai modellek teszteléséről és interpretálásáról stb. beszélhetünk.) Az adatok értelmezését és közzétételét a jövőben sem lehet automatizálni. Mindig nagy szükség lesz az emberi kreativitásra: akár egyedi objektumokkal, akár nagy égboltfelmérésekkel dolgozunk.

Irodalom

1. SZATMÁRY K.: *Exobolygók* – Magyar Tudomány 2006/8 (2006) 968
2. CSABAI I., PAPP G.: *eSCIENCE* – Fizikai Szemle 56/8 (2006) 288
3. Ž. IVEZIĆ és munkatársai: www.astro.washington.edu/aipw/talks/Dub06_ivezic.pdf
4. VINKÓ J.: *Távolságmérés szupernóvákkal: tények és talányok* – Fizikai Szemle 56/7 (2006) 221
5. SZABADOS L.: *Közelebb hozni a távot* – Magyar Tudomány, 2004/6 (2004) 678

Internet-ajánlat:

- POSS: <http://archive.stsci.edu/dss/>
SDSS: <http://www.sdss.org>
2MASS: <http://www.ipac.caltech.edu/2MASS>
Magyar Virtuális Observatórium: <http://hvo.elte.hu>
Amerikai Virtuális Observatórium: <http://us-vo.org>