

Galaxisunk felmérése

Az utóbbi időben egyre többet hallani olyan újdonságokról, amelyeket nem specifikus programok, hanem „mindent megfigyelő” égboltfelmérések fedeztek fel. Valóban ennyire hatékonyá váltak az égboltfelmérések? Mi ennek a titka? A sorok írója a választ egy korábbi cikkben taglalta (Fizikai Szemle, 2006/12, 403.), illetve részletesen kifejtve visszatér rá majd a Meteor csillagászati évkönyv 2008-as kötetében. Nyilvánvaló, hogy a megfigyelő-módszerek és a számítástechnika fejlődése megsokszorozta az égboltfelmérési technikát. Bár az említett cikkekben ennek taglalására nem nyílt lehetőség, azt is látnunk kell, hogy korábban sem volt ez a megközelítés teljesen ismeretlen a csillagászatban. Jelen cikk ezeket a történelmi előzményeket mutatja be saját Galaxisunk megismerésével kapcsolatban; majd a második részben arra keresi a választ, hogy a Galaxis szerkezetéről miket tudtunk meg a legutóbbi időben az égboltfelmérések segítségével.

Történelmi megfigyelések

A csillagászat „klasszikus” vizsgálati módszere az egyedi objektumok minden részletre kiterjedő vizsgálatát jelenti. Ezzel szemben áll az égboltfelmérés, amikor nagyon nagy mennyiségű anyag egyidejű vizsgálatával nem csak megsokszorozzuk a kiértékelhető mérések számát, ami miatt pontosabb átlagokat kaphatunk, hanem az adatok egymással való összevetése minőségileg új lehetőségeket nyit meg, és addig még nem megfigyelhető jelenségek felismerését teszi lehetővé.

Ezt néhány csillagászat-történelmi példán keresztül lehet a legkönnyebben illusztrálni. Már a legkorábbi csillagászati megfigyelések is tartalmaztak olyan katalógusokat, amelyek a valamilyen szempont alapján kiválasztott égi objektumok teljes körű összefoglalására

vállalkozott. Az első jelentős, még szabad-szemes „égboltfelmérés” Hipparkhosz görög csillagász (Kr. e. 190–125) nevéhez köthető, aki az Alexandriából látható égbolton 850 csillag fényességét és pozícióját gyűjtötte össze. Katalógusát majdnem kétezer éven keresztül használták. Hipparkhosz a csillagok pozícióját korábbi mérésekkel összevetve azt tapasztalta, hogy hosszú idő alatt a tavaszpont – ami az Egyenlítő és a Föld pályásíkja égi vetületeinek egyik metszéspontja – kelet felé mozgott az ekliptikán. Ez a megfigyelés helyes, mivel a Föld precessziójából adódóan a forgástengely lassan elfordul, amit Hipparkhosz ezzel a felméréssel kísérletileg felfedezett.

A távcső feltalálásával kiderült, hogy a Galaxis számtalan csillagból áll. A Galaxis méretének és alakjának eldöntése céljából a XVIII. század végén William Herschel 684 égiterrületen számlálta meg a csillagokat. Majd feltételezve, hogy minden csillag egyforma fényességű, és „eltekintve” a csillagközi fényelnyeléstől, elkészítette a Galaxis térképét. Természetesen ez a térkép a Nap közeli környezetéből vett adatokra épül, és a csillagközi fényelnyelés miatt értelmezni sem könnyű: ám a rajzolt alakzaton jól azonosítható a Galaxis korong alakja. A Napot Herschel hibásan majdnem a Galaxis centrumába helyezte, de az a megfigyelés alapján véve helyes, hogy a Nap nem pontosan a Tejútrendszer középpontjában foglal helyet.

A XVIII–XIX. században 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 fényességtartományig. Ezen katalógus alapján született meg az első jelentős fotografikus égboltfelmérés, a csillagok szín-

képi vizsgálatára vállalkozó Henry Draper katalógus. Ebben a felmérésben több mint 225 000 csillag spektrumát vették fel több műszerrel. A teljes katalógus 1924-ben jelent meg, 1949-ig két újabb kiegészítéssel. A felmérés legfontosabb eredménye a csillagok színképosztályozásának megalkotása volt, ami egyenesen vezetett a csillagok modern asztrofizikai elméletéhez. A XX. század első felét tekintve meg kell még emlékezni a Hubble-törvény felfedezéséről, amely szerint a galaxisok által mutatott vöröseltolódás arányos a távolságukkal; vagyis az Univerzum „egyenletesen tágul”. Ez az eredmény Vesto Slipher vöröseltolódás-katalógusának és Hubble saját méréseinek összevetésével, vagyis részben égboltfelmérési technikával született meg.

Az égboltfelmérések szempontjából 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. A kozmológia szempontjából azonban legalább ugyanennyire fontos a mikrohullámú háttérugárzás megfigyelése is.

Napjaink égboltfelmérései

A XX. század második felének első kiemelkedő jelentőségű felmérése a Palomar Observatórium Égboltfelmérés (POSS), amely az akkori idők legnagyobb, 122 cm-es Schmidt-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” hullámhossztartományt lefedő felméréssel. A felvételek digitalizálva szabadon elérhetők; számos égtérületen máig ez a felmérés szolgáltatja a legjobb határfényességű referenciát.

A kilencvenes években indult, és – elsődleges programját tekintve – napjaink-

ban fejeződött be a Sloan Digitális Égboltfelmérés (SDSS). Az elsősorban kozmológiai célú felmérés 2,5 méteres távcsővel dolgozott; az Arizonából látható teljes égbolt mintegy harmadrészét számos alkalommal végigmérte, 120 megapixeles kamerája 22 magnitúdós határfényességig mindent megörökített. Ötszín-fotometriai katalógusában mintegy félmilliárd forrás szerepel, amihez százezer csillag, százezer kvazár és egymillió galaxis spektroszkópiai vizsgálata is társul. Az SDSS-sel nagyjából egy időben váltak publikussá a Két Mikronos Égboltfelmérés (2MASS) adatai a közeli infravörös hullámhossztartományon; a felmérés adatai az egész eget lefedik. Határfényessége megközelíti az SDSS-t, ami jelentős teljesítmény, hiszen az éjszakai égbolt természetes, rekombinációs eredetű fénylése ebben a hullámhossztartományban minden további közvilágítási tevékenység nélkül is egy természetes nagyváros fényszennyezésével vetekszik. Ugyanekkor publikálták a 2dF galaxispektroszkópiai felmérés (205 ezer galaxis és kvazár radiális sebessége) adatait is, amely az Angol-Ausztrál Távcső (AAT) adataira épült.

Napjainkra az optikai tartományon kívül eső égboltfelmérések egyre inkább az űrbe helyeződnek át, aminek oka az eddig nehezen elérhető hullámhossztartományok előtérbe kerülése (pl. az éppen működő AKARI infravörös és GALEX ultrabolya égboltfelmérés). Két fontos spektroszkópiai felmérésről kell még megemlékeznünk, a Radiális Sebesség Kísérlet (RAVE) földi bázisú felmérés már üzemel, amely a galaktikus fősík kivételével lefedi az eget és ötvenmillió csillagról szolgáltat majd radiális sebesség adatokat. Az ESA GAIA műholdja előrehaladott állapotban lévő, tervezett űrtávcsöves program, amely nagyon pontos asztrometriát és fotometriát szolgáltat majd kb. 20 magnitúdós határfényességig az egész égboltról. A belátható jövőben több földi bázisú, nagy-távcsöves vagy óriástávcsöves kategóriába sorolható optikai program is indul: ezek közül a legígéretesebbek a Pan-STARRS és a Nagy Szinoptikus Égboltfelmérés (LSST),

amelyek az elkövetkező 15 év csillagászatában meghatározó szerepet tölthetnek be.

A Galaxis szerkezete

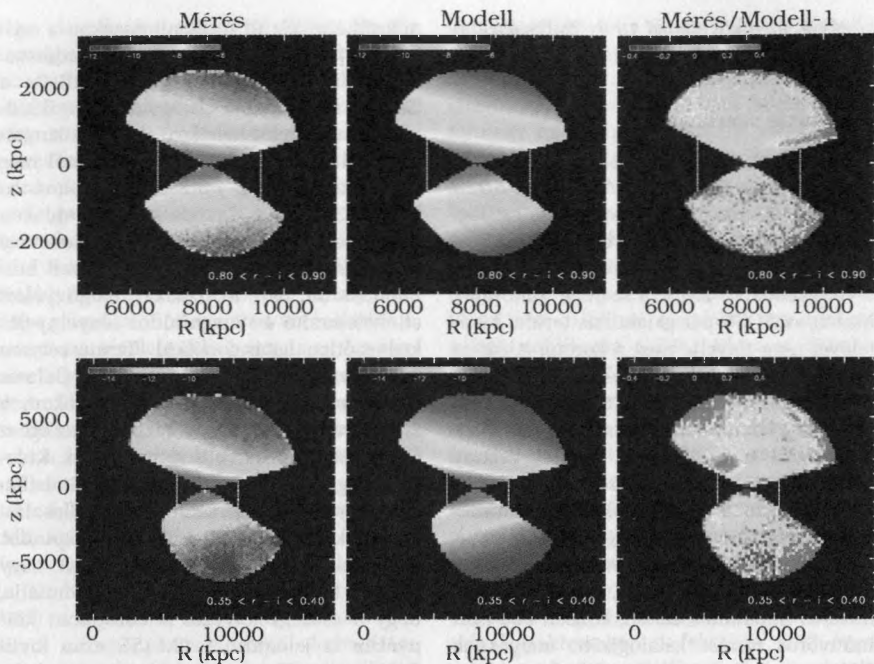
Galaxisunk nagy léptékű szerkezetét elsősorban az IRAS, a 2MASS és az SDSS tárta fel. A korong komponenseit csillagszámlálással, vagyis elsősorban az SDSS és a 2MASS adataival lehet feltérképezni. Ebben a vizsgálatban a 2MASS szerepe fontosabb, hiszen az SDSS pár galaktikus terület kivételével nem figyelte meg a korong síkjához egészen közeli tartományokat. Az eredmények megerősítették, hogy a Galaxis három fő korong-komponenst tartalmaz, a csillagkeletkezési területek által kijelölt vékony korongot, a csillagok nagy részét adó vastag korongot, illetve a csillagok környezetünkben mintegy 4%-át adó öreg korongot.

1983-ban az IRAS térképezte fel először a csillagközi anyagot a 15, 25, 60 és 100 mikrométeres hullámhosszakon, közben 500 ezer infravörös forrást katalogizált, melyeknek fele „saját felfedezés”. A csillagközi anyag különböző formáinak eloszlását jellemző skálamagasságokat meghatározva kiderült, hogy a csillagkeletkezési területek, illetve a hideg felhőmagok rajzolják ki a korong „leglaposabb”, mintegy 200 fényév magasságú komponensét. Ezzel megerősítést nyert, hogy a csillagok a Galaxisban – és minden bizonnyal a spirálgalaxisokban általában – a fősíkhoz közel jönnek létre, és csak később, különféle dinamikai hatások (csillag-csillag kölcsönhatás, csillag-spirálkar kölcsönhatás, galaxis-ütkezések stb.) következtében szóródnak ki a csillagok alkotta vastag korong komponensekbe. A másik jelentős felfedezés a galaktikus cirrus: a nagy galaktikus szélességeken megfigyelhető, nagy sebességgel mozgó meleg gázfelhők szövete. Ezek többsége valószínűleg szupernóva-robbanások környezetéből, a korongból dobódott ki. Az IRAS jelentőségét mutatja, hogy bár huszoneg éves adatok, nagyon sok megfigyelési területen ezek az adatok a mai napig a legfontosabb infravörös referenciát jelentik!

A közeli infravörös tartományban, a 2

mikrométer körüli hullámhosszakon a csillagközi por már majdnem teljesen átlátszó. Így a 2MASS felmérés megmutathatta a Galaxis legfiatalabb, „beágyazott” nyúlthalmazait, amelyek a keletkezésükben közrejátszó csillagközi anyag fényelnyelésétől még nem látszanak az optikai hullámhosszakon. A 2MASS a Galaxis középső vidékén megmutatta az egyedi csillagokat, lehetővé téve vizsgálatukat az optikaihoz közeli hullámhosszon, ám az optikai megfigyelést ellehetetlenítő 40 magnitúdós fényelnyelés kedvezőtlen hatásai nélkül. Természetesen már korábban is megfigyelték a Galaxis centrumát infravörös hullámhosszakon, a 2MASS adatai azonban a központot az egész Galaxisba illeszkedve is megmutatták. Kiderült, hogy a Galaxis központjában a csillagok nagyjából hengersizmetrikus eloszlást követnek, azaz Galaxisunk küllős spirális. A Galaxis középpontjában több fiatal, nagy tömegű halmazt fedeztek fel, ami mutatja, hogy a csillagkeletkezés a középpont környékén is jelentős. A 2MASS ezen kívül felfedezett több gömbhalmazt és a Lokális galaxishalmazhoz tartozó galaxisokat, amelyeket a látóirányba eső porfelhők addig eltakartak tőlünk.

A Galaxis halóját a horizontális ági csillagok segítségével lehet a legkönnyebben vizsgálni. Ezek II. populációs óriás csillagok, az RR Lyrae változók is e csoportból kerülnek ki. Szerencsés, hogy e csillagok színindexei kissé eltérnek az I. populációs óriáscsillagok színétől (az $u-g$ szín a felszíni gravitációra érzékeny, a $g-r$ a hőmérsékletre), így egyszeri fotometriai vizsgálattal is nagy hatékonysággal azonosíthatók. Ha ilyen változócsillagot találunk, az nyilvánvalóan RR Lyrae változó, vagyis abszolút fényességét elég pontosan ismerni lehet. Már az SDSS első adataiban sikerrel alkalmazták ezt az eljárást, több mint 3500 RR Lyrae jelöltet azonosítva az 500 négyzetfokos területen. Nyilvánvalóvá vált, hogy ezzel a technikával 250 ezer fényévig feltérképezhető a Tejútrendszer halója, ide értve a kísérőgalaxisokhoz vezető hidak szerkezetét is. Az eddigi eredmények alapján a halóban a csillagsűrűség a távolság



A galaktikus halóban a modell levonása után jól láthatóvá válnak az elnyelt törpegalaxisok

harmadik hatványával fordított arányban változik, ám a lokális szubstruktúrák hatása igen nagy, mintegy 40%. A szerkezet tökéletes értelmezése még várat magára, ám nagyon valószínű, hogy a nagy mértékű inhomogenitások korábban elnyelt törpegalaxisok szétszórt csillagaiból származnak – azaz a Tejútrendszer halója nagyrészt akkréciós eredetű. Ez azt is jelenti, hogy valójában a Galaxis számos tartományában vannak olyan lokális inhomogenitások, amiket az elnyelt törpegalaxisok szétszórt csillagai okoznak. Így tehát a „galaktikus kannibalizmus” valójában nem elszigetelt jelenség, hanem inkább olyan folyamat, amely a nagy tömegű galaxisok kialakulásában kulcsfontosságú lehet.

A galaxisok kialakulása kétféle módon mehetett végbe: vagy nagyobb formák lebomlásával, vagy kisebb építőkövek (törpegalaxisok) összeolvadásával. A kozmológiai fejlődés elmélete alapján a struktúraformálódás kezdeti szakaszában egy nagy

„homogén massa” széttöredezéséből alakultak ki kisebb alkotóelemek, a galaktikus kannibalizmus megfigyelt számos példája alapján a csillagászati közelmúltban viszont a „lentől fel” építkezés, a kisebb szerkezetek nagyobbá összeállása a jellemző.

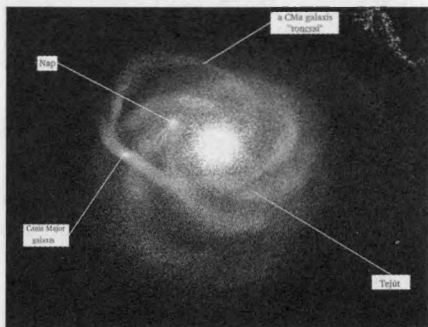
A Galaxis környezete

A Galaxis nagy tömege miatt számos törpegalaxis kering körülötte: a Tejútrendszer a környezetével a Lokális galaxishalmazon belül saját alrendszerként alkot. A mai napig 15 kísérőgalaxist ismerünk, melyek közül a legkorábban felfedezett kettő a két Magellán-felhő, melyeket 1519-ben fedeztek fel a Magellán-expedíció során, a két legutóbbi pedig 2006-os felfedezés. Figyelemre méltó, hogy ezek majdnem mindegyikét égbolttelmérésekkel találták meg. A már említett Magellán-felhőkön kívül a Sculptor és a Fornax törpegalaxisok jelentenek kivételt: ezeket Shapley 1938-ban egy dél-afrikai expedíció

során fedezte fel. 1950-ben és 1954-ben a Palomar Observatóriumban fedték fel a Leo I, Leo II, Draco és Ursa Minor törpegalaxisokat, melyek abszolút fényessége -9 és -12 magnitúdó közötti. Érdekes, hogy ezek a galaxisok többé-kevésbé kisebb távcsövekkel is látszanak, mégis elkerültek a vizuális mélyég-vadászok figyelmét. Bár ez nem kivételes példa: a Palomar Égboltfelméréshez 12 gömbhalmaz felfedezése is köthető, melyek legfényesebbjei szintén könnyű távcsöves célpontok. A második Palomar-felmérés segítségével találták meg a Carina törpegalaxist 1977-ben. Az UK Schmidt távcsővel végzett égboltfelmérés, az UKST az 1990-es évek elején két kísérőgalaxis felfedezéséhez vezetett. A Sextans törpegalaxist tőlünk 320 ezer fényévre 1990-ben találták meg, ez már az előzőeknél halványabb, -8 magnitúdó abszolút fényességű objektum. 1994-ben került sor aztán a harmadik legfényesebb kísérőgalaxis, a Sagittarius-törpe felfedezésére. Az UKST alapján kiválasztott vörös óriáscsillagok radiálissebesség-mérését végezték az Angol-Ausztrál Távcsővel, amikor nyilvánvalóvá vált, hogy a Tejút korongjába „fűrődő” alakzatban a csillagok jellegzetesen együtt mozognak. A területet a csillagközi fényelnyelés és a Tejút korongja miatt nehéz tanulmányozni; pedig kár, hiszen egy -15 magnitúdó abszolút fényességű galaxist láthatnánk arrafelé, a Galaxis korongjának túlsó „peremén”.

Egy évtized szünet után, 2003-ban kapott új lendületet a kísérőgalaxisok felfedezése. Ekkor a 2MASS adataiban találtak egy jellegzetes csillagpopulációt, amely egy kisebb, a CMa területén található csomóból és az ebből kinyúló nagyon hosszú csápkából áll. Itt egy, a korong körül keringő galaxisroncs szétszóródásának lehetünk szemtanúi; az árapálysavok valójában több rotációra lemaradva is követhetőek a Canis Major irreguláris törpegalaxis mögött. 2005-ben egy újabb galaxist fedeztek fel: a tőlünk 360 ezer fényévre keringő, mindössze $-6,8$ magnitúdó abszolút fényességű Ursa Major törpegalaxist. Ez a felfedezés egyben az SDSS első törpegalaxisát jelenti.

2006-ban aztán két újabb kísérőgalaxissal „lettünk gazdagabbak”, szintén az SDSS-nek köszönhetően. Mindkét galaxis rekorder: az egyik esetben a legtávolabbi, a másikban viszont a legközelebbi kísérőgalaxisról van szó! A Canes Venatici törpe tőlünk 720 ezer fényévre kering, abszolút fényessége $-7,9$ magnitúdó. A legközelebbi galaxis, a Bootes törpe mindössze $-5,8$ magnitúdóval, azaz egy elég szerény gömbhalmaz fényteltjesítményével „ragyog”, tőlünk nem egészen 200 ezer fényévre.



A Canis Major törpegalaxis történetét jól mutatja a leszakadó roncsok nyomvonala

Láthatjuk, hogy a Galaxis komponenseinek megismerésében és a kísérőgalaxisok felfedezésében milyen fontos szerepet játszottak és játszanak az égboltfelmérések. A közeljövőben még várható, hogy a frissen befejezett programok (2MASS, SDSS) adataiból előkerül egy-két kiemelkedő újdonosság. Ezután kb. 2009-ig kell majd várni, hogy a következő, új generációs égboltfelmérések, a Pan-STARRS és (2012 után) az LSST működésbe lépjenek, és általuk az elődeikhez hasonló fontosságú eredményekkel legyünk ismét gazdagabbak.

Szabó M. Gyula

(A cikk a Magyar Zoltán Felsőoktatási Közalapítvány támogatásával készült.)