

Az APOGEE spektroszkópai égboltfelmérő program

Mészáros Szabolcs

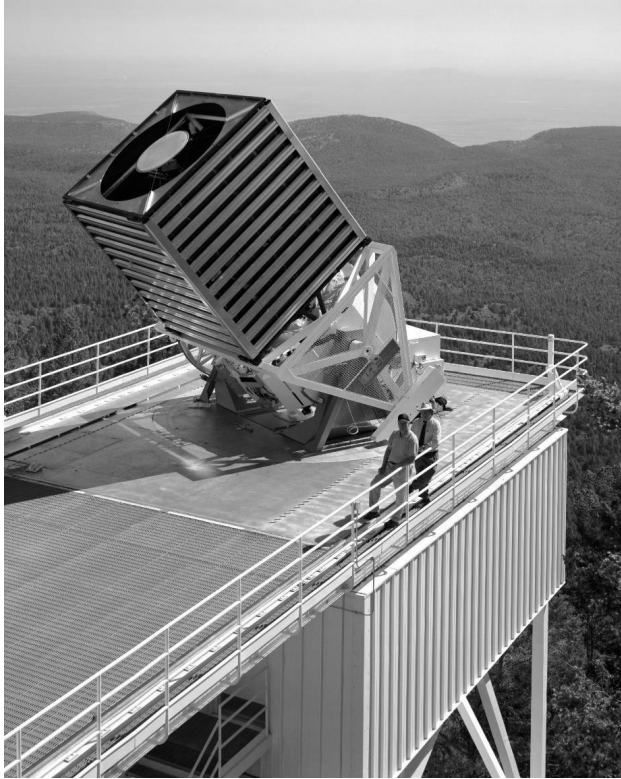
*ELTE Gothard Asztrofizikai Observatórium és Multidiszciplináris
Kutatóközpont, Szombathely, HUNGARY*

A spektroszkópia a csillagászat egyik leghasznosabb eszköze a Világegyetem megértésében. A 19. század vége óta a fejlődés bámulatos sebességű volt, és a 21. század elején újabb mérőműszerek érkeztek el a nagyfelbontású égboltfelmérő programok képében.

A 2010-es évek elején több egymással párhuzamos ilyen program indult, köztük jelen cikkünk tárgya az Apache Point Observatory Galaxy Evolution Experiment (APOGEE-1). Hasonlóan a többihez, az APOGEE-1 célja is a Tejútrendszerünk történetének feltárása a színképekből kinyerhető információ segítségével. Az APOGEE része az SDSS-III konzorciumnak és 2011 júliusa és 2014 júliusa között végezte méréseit az Apache Point Observatory (APO) 2,5 méteres teleszkópjára (1. ábra) szerelt multi-objektum spektrográffal. Céja az volt, hogy színképelemzés segítségével közel 100 000 csillag fizikai paramétereit meghatározza, köztük az effektív hőmérsékletet, a felszíni gravitációt, az átlagos fémtartalmat és 15 kémiai elem abundanciáját. Mindezen paramétereket összekötve a csillagok tejútrendszerbeli elhelyezkedésével és tőlünk mért távolságával következtetni tudunk Galaxisunk fejlődésére és komponensei összetételére.

Az APOGEE különlegessége az, hogy ellentétben a többi nagyfelbontású égboltfelmérő programokkal, nem az optikai tartományban végzi észleléseit, hanem infravörösben lévő H sávban 1.51 és 1.69 micron között. A 2. ábrán pár példaszpektrum látható ebből a tartományból. Az ábra tetején fehérrel jelölt spektrum az egyik legfémszegényebb gömbhalmazból, az M15-ből észlelt csillagról készült. Jól látható, hogy a színkép abszorpciós vonalakban szegényes, ami nem meglepő, hisz az M15 fémtartalma mindössze 0.5%-a a Napénak. Az abszorpciós vonalak erőssége azonban jelentősen megnő ahogy a fémtartalom megnövekszik és az effektív hőmérséklet csökken, egyre több információt szolgáltatva a csillag légkörének fizikájáról. Egy Napnál alig fémgazdagabb csillag esetében már (000+60) úgy tűnik mintha a spektrum nagyon zajos lenne, azonban erről szó sincs, pusztán csak az abszorpciós vonalak száma és erőssége növekedett meg drasztikusan. Ez a hullámhossz tartomány korábban feltérképezetlen maradt pedig több olyan elem koncentrációját lehet mérni az itt lévő abszorpciós vonalak segítségével, melyek csak nehezen érhetőek el az optikai tartományban, például a szén és a nitrogén. Az APOGEE adatok kiértékelésére kifejlesztett szoftver képes automatikusan kiértékelni az összes csillag színképét és elméleti spektrumokkal összehasonlítva meghatározni az említett fizikai paramétereket nagy pontossággal.

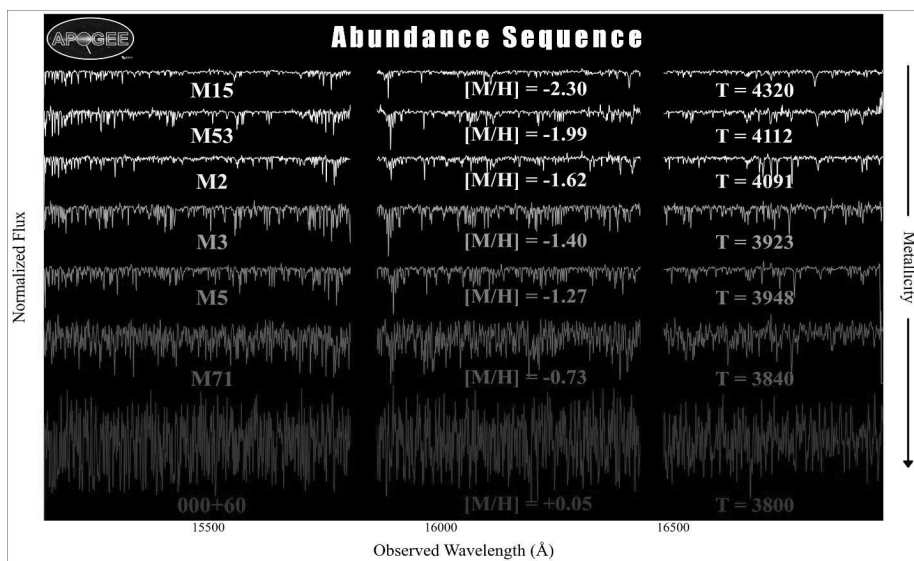
Az első három év észlelései máris számtalan új tudományos eredménnyel gazdagították tudásunkat. Jelen cikk szerzője az APOGEE tagjaként a gömbhalmazok



1. ábra. Az Apache Point Observatory 2,5 méteres távcsöve, amelyhez az APOGEE spektrográfját csatolták. (APO)

tanulmányozásával foglalkozik, így ezen objektumok első tudományos eredményeinek összefoglalásával folytatjuk.

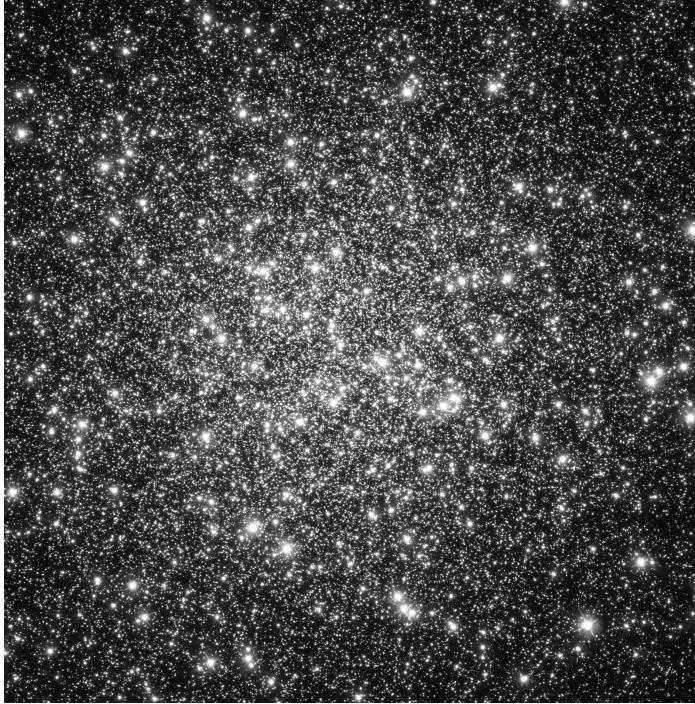
Mivel korábban nem létezett egységes spektroszkópai mérésorozat az északi gömbhalmazokról, az APOGEE mérések fontos eredményeket szolgáltatnak ezen objektumokról. Egészen a 20. század végéig úgy gondoltuk, hogy a gömbhalmazok összetétele egységes és mérési hibán belül ugyanaz. Azonban számos kutató felfedezte, hogy bizonyos könnyű elemek abundanciája, mint például a szén, nitrogén, oxigén, nátrium, magnézium és alumínium erősen változhat egy halmazon belül. Mivel korábban úgy gondoltuk, hogy a gömbhalmazokban lévő csillagok egy időben keletkeztek, így a fejlődési modelleket felül kellett bírálni. A mai modern elméletek szerint a gömbhalmazokban nem egy, hanem legalább kettő, időben több százmillió évvel egymással eltérő, csillagkeletkezés zajlott le. A fiatalabb csillagok légkörében mért elemek gyakorisága magában hordozza a korábbi generáció által termelt atomokat, melyek az idős csillagok halálakor a csillagközi térbe kerülnek. Mivel a csillagok különböző helyen és időben keletkeztek a halmazon belül, kémiai összetételük jelentősen eltérhet egymástól.



2. ábra. APOGEE spektrumok fémtartalom szerint sorba rendezve. (Gail Zasowski)

APOGEE mérési programjában az összes nagyobb északi égboltról elérhető gömbhalmaz szerepelt, így lehetőségünk nyílt 10 fényes halmaz összetételének egységes tanulmányozására. A mérési programban szereplő M15, M92, M53, NGC 5466, M13 (3. ábra), M2, M3, M5, M107, és M71-es halmazok Magyarországról is jól láthatók. Ezen gömbhalmazokban több mint 400 csillag kémiai összetételét határoztuk meg és egyértelműen ki tudtuk mutatni mindegyikben a két különböző időpontban keletkező csillagok populációját.

A populációk legjobban alkalmazható nyomjelzői a magnézium és alumínium koncentrációja. Bár korábbi megfigyelések is erősen utaltak rá, az APOGEE észleléseiből sikerült először egyértelműen kimutatni az úgynevezett Mg-Al antikorrrelációt. A Mg-Al antikorrreláció lényege, hogy azon csillagok amelyek légkörében magas a magnézium abundanciája alacsony alumínium koncentrációval rendelkeznek (1. populáció), és azok a csillagok amelyekben kevés a magnézium pedig magas alumínium abundanciával párosul (2. populáció). Ennek oka a csillagok fejlődésében keresendő. Az 1. populáció csillagai nem sokkal az Ősrobbanás után keletkeztek ezért még magukban hordozzák az első szupernóva robbanások által dúsított elemeket, például a magnéziumot. A jelenlegi modellek szerint, ma már nem létező nagy tömegű csillagok belsejében, 60-70 millió K hőmérsékleten beindul a Mg-Al ciklus. Ezen ciklus során is a hidrogén alakul át héliummá és az termeli az energiát, a Mg és Al mint katalizátor szerepel a termonukleáris reakció közben. A folyamat során azonban egyre több Al keletkezik a Mg rovására, mely felkeveredik a felszínre ahonnan erős csillagszelek hatására kikerül a csillagközi térbe. Ennek következményeként a 2. populáció már olyan csillagközi felhőből keletkezik amelyben sok az Al, de kevés a Mg.



3. ábra. Az M13-as gömbhalmaz, az észlelési program része. (ESA/Hubble/NASA)

Az APOGEE adataiból egyértelműen ki tudtuk mutatni a Mg szegény, de Al gazdag csillagok populációját ezzel bizonyítva Mg-Al ciklus meglétét a Világegyetem fiatal korában létező nagytömegű csillagok belsejében. Kutatásaink azonban még nem fejeződtek be, hiszen hasonló antikorrreláció figyelhető meg a szén és nitrogén esetében is, melynek részletes értelmezéséhez még pontosabb mérésekre van szükség. Ha ez sikerül, akkor a közeljövőben még azt is meg fogjuk tudni állapítani, hogy melyik csillag milyen fejlődési állapotban van, ezzel is pontosítva a gömbhalmazok fejlődésének megértését.

Bár 2014 júliusában az APOGEE-1 befejezte észleléseit, a programnak nincs vége. Az SDSS-IV részeként APOGEE-2 néven folytatódik 2014 augusztusától, azonban most már két spektrográf segítségével. Bár APOGEE-1 az első három évben több mint 100 000 csillag spektrumát vette fel, van egy alapvető hiányossága: a déli égbolt csillagait nem éri el. Ezért az SDSS-IV részeként először a chilei Las Campanas Observatórium bekapcsolódik az APOGEE-2 észleléseibe a 2.5 méteres du Pont teleszkópjára szerelt második spektrográffal, amely egyébként az ikertestvére az APO-ban található műszernek. Ezzel a kiterjesztett programmal APOGEE-2 már hozzá fog férni a teljes égbolthoz és közel félmillió csillagot fog észlelni, így az összes spektroszkópiai égboltfelmérő program közül először a Tejútrendszer Földről látható összes komponensét képes lesz vizsgálni.