

Az M46 nyílthalmaz és planetáris köde (?)

A téli éjszakák népszerű távcsöves célpontja a Monoceros (Egyszarvú) csillagképben az M46 nyílthalmaz és a „benne ülő” NGC 2438 jelű planetáris köd. Ez a szép köd látszólag a nyílthalmaz csillagai között helyezkedik el. De vajon tényleg kapcsolatban van egymással a két objektum?

A nyílthalmazok és planetáris ködök fizikai kapcsolata potenciálisan nagyon érdekes kérdés, mert halmaztag planetárisokra kiterjeszthetők a csillaghalmazok vizsgálataiban alkalmazott módszerek, pl. kor- és távolságmeghatározás a szín-fényesség diagram analízisével. A kis és közepes tömegű csillagok fejlődésének végét markánsan jelző planetáris ködök távolsága az esetek túlnyomó többségében nagyon bizonytalanul ismert, ami miatt a központi csillag fehér törpék és az ionizált gázfelhők paraméterei is csak nagy hibahatárokkal becsülhetők meg. Míg gömbhalmazokban ismerünk néhány planetárist (M15, M22, Pal 6 és NGC 6441), nyílthalmazban mindeddig még senki nem azonosított teljes bizonyossággal oda tartozó planetáris ködöt. Mindezt jórészt meg lehet magyarázni azzal, hogy a nyílthalmazok sokkal fiatalabb csillagrendszerek, mint az idős gömbhalmazok, azaz bennük csak jóval nagyobb tömegű csillagokból keletkező planetáris ködöket észlelhetnénk, ezek azonban sokkal ritkábbak, mint a gömbhalmazokban jelenleg látható planetárisok kistömegű szülőcsillagai.

Az elmúlt egy-két évben megújult a szakma érdeklődése a nyílthalmazokhoz tartozó planetáris ködökkel kapcsolatban. Két friss tanulmány is összegyűjtötte az égen egymáshoz nagyon közel látszó ködök és halmazok párpait, összesen kb. 30-at, s a független vizsgálatok kutatói részletesen körbejárták minden egyes esetben a fizikai összetartozás valószínűségét. Ehhez össze kell vetni minél több független paramétert az égitestekről, s ha azok hibahatáron belül megegyeznek, jó



Az NGC 2438 planetáris köd és az M46 nyílthalmaz Pizskés-tetőről. Kiss László, Mészáros Szabolcs és Kovács Dénes felvétele a pizskés-tetői

60 cm-es Schmidt-távcsővel készült 3 perc expozícióval, Photometrics CCD-kamerával

eséllyel következtethetünk az összetartozásra. Ilyen paraméter a távolság, csillagközi vörösödés, radiális sebesség, esetleg átlagos összetétel, melyeknek mind egyezniük kell összetartozó halmazokra és planetáris ködökre. Mindkét vizsgálat (Majaess és munkatársai, 2007; Bonatto és munkatársai, 2008) arra jutott, hogy a közel 30, egymás közelében látszó köd-halmaz párból csak az NGC 2438/M46 és a PK 167-01/New Cluster 1 jutott át a rostán, mint esetleges valódi jelöltek. (A New Cluster 1 Bonatto és munkatársai által felfedezett új nyílthalmaz, melyet a jelölés alapján nem kívántak saját magukról elnevezni...)

Az NGC 2438 jól ismert kör alakú planetáris köd az M46 nyílthalmaz peremén, mindössze 8 ívperce a halmaz központjától. A halmaz 6 magnitúdós összfényessége ellenére meglepően kevésbé tanulmányozott objektum, 1941 és 1981 között egyetlen vizsgálat sem foglalkozott vele, s azóta is csak egy-kettő. Becsült távolsága 1,5–1,7 kiloparsek, kora 220–250 millió év, szín-fényesség diagramjának elfordulási pontja jelenleg

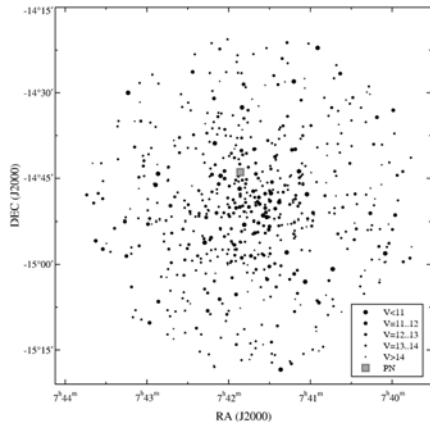
3–3,5 naptömegű csillagokat tartalmaz.

Az M46 és az NGC 2438 radiális sebességeit már Cuffey (1941) és O'Dell (1963) is összevetette, akik egyöntetűen kb. 30 km/s-os sebességkülönbséget mértek a két égitest között. 1996-ban azonban ellentmondásos eredmények jelentek meg Pauls és Kohoutek tollából, akik szerint a korai mérések nagy hibával terheltek voltak, s szerintük a halmaz és a köd sebessége hibahatáron belül megegyezik (néhány halmaztagnak gondolt csillag mérése alapján). Mind Majaess és társai, mind Bonatto és társai azt javasolták, hogy mielőbb szükséges lenne megmérni a halmaz minél több csillagának egyedi sebességét, hogy azok átlagát össze lehessen vetni a planetáris köd sebességével, ugyanis a 30 km/s különbség kizárja az összetartozást, a megegyező sebesség pedig alátámasztaná (a ködre vonatkozó független távolságbecslések (1,2–2,1 kpc) a halmaz közelébe esnek, de meglehetősen bizonytalanok, így pusztán a távolság alapján nem lehet kijelenteni az összetartozást).

A fenti ellentmondásos helyzetet jól ismerve e sorok írója régóta felvette az M46-ot az észlelendő objektumok listájára. Az alkalom 2008 februárjában érkezett el, amikor Balog Zoltánnal (University of Arizona) és Szabó Gyulával (SZTE Kísérleti Fizikai Tanszék) négy éjszakát az Angol-Ausztrál Teleszkópon töltöttünk. A használt műszer az AAOmega multiobjektum-spektrográf volt, a fő célpont pedig az NGC 2451A és B dupla nyílthalmaz (két, különböző korú nyílthalmaz egy irányban, de eltérő távolságban, így csak a csillagok egyedi sebességei alapján válogatható szét egyértelműen a két halmaz). A harmadik éjszakán szűk három óra erejéig az M46 került a távcső primér fókuszába, s az adatok vizsgálatával elért eredményeket jelen cikkben mutatjuk be röviden.

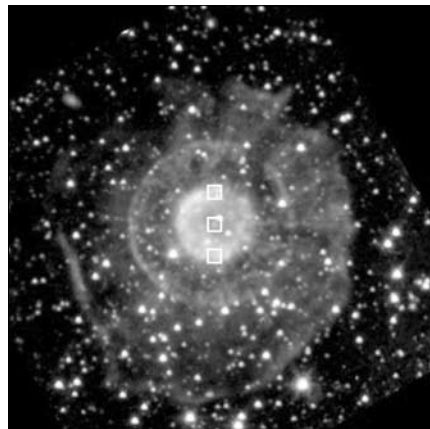
Kozmikus traffipax az AAOmegával

2008. február 17-én meglehetősen nyugodt, a helyi körülményekhez képest átlagos éjszaka szállt alá Siding Spring-ben, 1,5–2"-es seeing-gel és felhőmentes éggel. Mérésein-

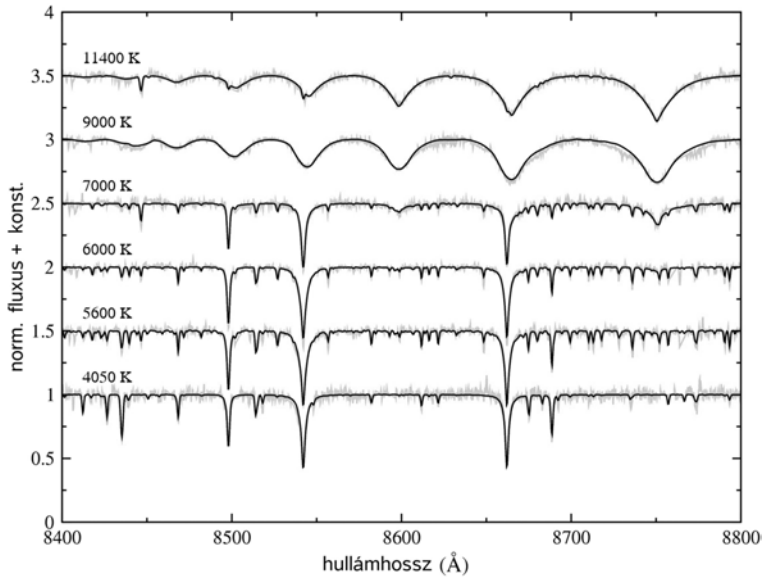


Az AAOmegával észlelt csillagok égi pozíciói. A kis szürke négyzet az NGC 2438-at jelzi

ket a 3,9 m-es Angol-Ausztrál Teleszkóppal végeztük, ami Ausztrália legnagyobb távcsöveként nagyon hatékony spektroszkópiai műszer. Az alkalmazott AAOmega spektrográf a maga nemében egyedi a világon: hatalmas, 2 fokalátómezőben egyszerre négyszáz optikai szállal képes tetszőleges objektumokról színképet felvenni, ami a gyakorlatban jellemzően 330–340 csillagot (vagy galaxist) jelent egy expozíció alatt, a többi száll pedig vezetőcsillagok és az égi háttér fényét vezeti el a megfelelő műszerekhez



Közelkép az NGC 2438-ról a Spitzer infravörös űrteleszkóppal. A kis fehér négyzetek a három optikai szál pozícióját jelzik



Észlelt (szürke vonal) és elméleti (fekete vonal) spektrumok összevetése. Balra a becsült hőmérsékletek láthatók, s jól látszik a spektrumvonalak átalakulása a csillagok hőmérsékletének emelkedésével

(utóbbi a spektrumok korrekciójához fontos). Az észlelés általában egy-másfél óras expozíciókkal történik (pl. 3x20 perc, 5x20 perc egyedi integrációkkal), melyek alatt a távvezérlésű pozicionáló robot a következő konfiguráció 400 optikai szálát készíti elő. Egy észlelés végén a szálak végét rögzítő fémlemez átfordul, s a másik oldalára már időközben előkészített pozíciójú szálak képesek azonnal a megfelelő helyről elvezetni a fényt a következő észleléshez – így elvben a távcső átváltoztatásától eltekintve egyetlen pillanat észlelési időt sem veszítünk az éjszaka során.

Az M46-ról két konfigurációval vettünk fel színeképeket, összesen 586 csillagról 1 fokban látómezőben, a planetáris köd központi csillagáról, valamint a köd északi és déli pereméről. A cél a halmaz és a köd átlagos sebességének minél pontosabb megmérése volt, ehhez minden egyes színeképre meghatároztuk a laboratóriumi hullámhosszhoz viszonyított Doppler-eltolódást, ami könnyedén átváltható látóirányú sebességre.

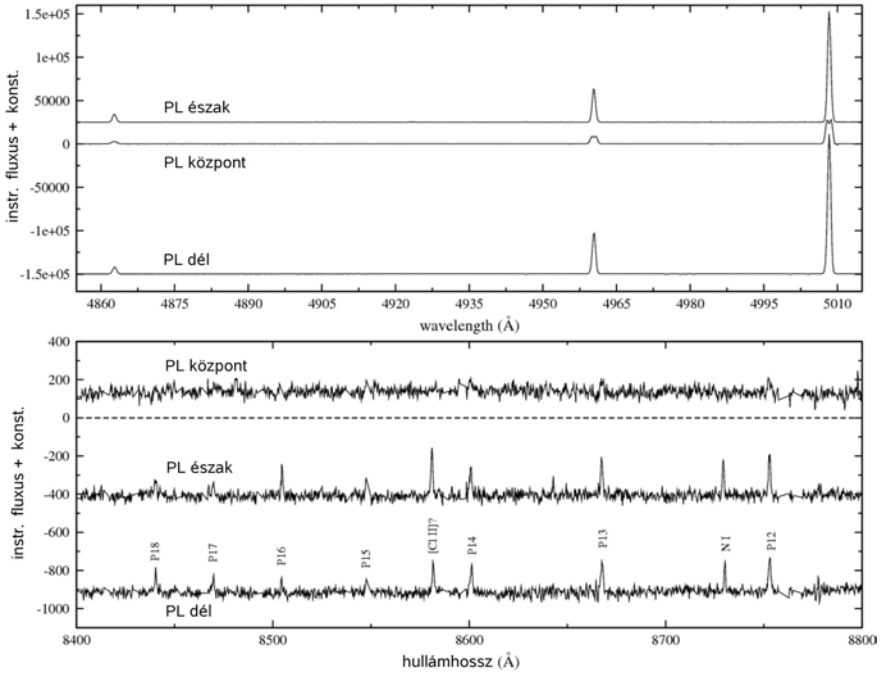
Ez ugyan meglehetősen egyszerűen hang-

zik, ám gyakorlati megvalósítását több tényező is megnehezítette. A legnagyobb gondot a halmaz fiatal kora, s emiatt a benne keveredő forróbb és hidegebb csillagok jelenléte okozta. A sebességméréshez felvett színeképek a 840 és 880 nm-es közeli infravörös tartományba estek, ahol hideg csillagokban a kalcium három vonala a legerősebb, forró csillagokban viszont a hidrogén Paschen-sorozatának vonalai dominálnak.

Azaz a sebességmérést kombinálni kellett a színeképek konkrét elméleti modellekkel való illesztésével, majd a legjobban illeszkedő modellspektrumok alapján határoztuk meg a Doppler-eltolódást a közel 600 egyedi színeképre (természetesen megfelelő számítógépes programokkal ez egyáltalán nem nehéz feladat).

Eredmények

A planetáris köd spektruma teljesen átlagos, az AAOmegával egyszerre felvehető kék és vörös oldali színeképek egyaránt tipikus ködszíneképek erős és éles emissziós



Az NGC 2438 kék (felül) és infravörös (alul) spektrumai

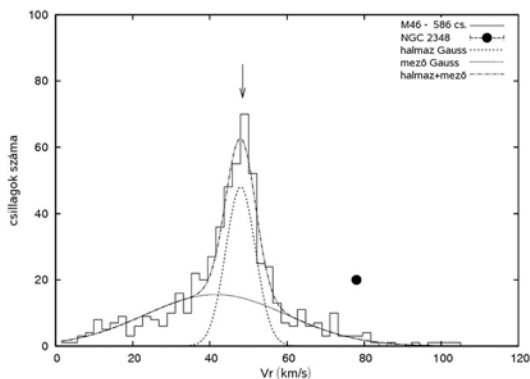
vonallakkal. A kék tartományban a H-béta vonal mellett a 495,9 és 500,7 nm-es tiltott oxigénvonalak a legerősebbek, a központi csillag pozícióját mintavételező színekben a valóságban gömbszimmetrikus köd tágulásának eredményeként felhasadnak két komponensre. Ezek sebességeinek átlaga a köd átlagos sebességét, különbsége pedig a tágulási sebesség kétszeresét adja, szám szerint 78 ± 2 km/s-ot, illetve $42 \pm 0,2$ km/s-ot (azaz a tágulási sebesség 21 km/s). Mindkét érték hibahatáron belül megegyezik az irodalomban található értékekkel (magát a ködöt már sokan vizsgálták).

Az 586 csillag sebességeit egy hisztogramon ábrázolva kirajzolódik a halmazhoz tartozó csillagok hasonló sebességeinek csúcsa, illetve a galaktikus mező csillagainak széles tartományon szóródó sebességeloszlása. A teljes hisztogram jól illeszthető két Gauss-görbével, melyek közül az élesebb púp középpontja megadja a halmaz átlagos sebességét,

szélessége pedig a halmaztagok sebesség-szórását. Mint az az ábránkra pillantva azonnal kiderül, a számadatok teljes mértékben kizárják, hogy jelenleg a halmaz tagja lenne a planetáris köd: az M46 átlagos sebessége 49 ± 1 km/s, ami szinte pontosan azt a 30 km/s-os sebességkülönbséget mutatja, mint amit a korai vizsgálatok már évtizedekkel korábban kimérték egy-két tucat halmaztag csillag alapján. Azaz munkánk teljes bizonyossággal cáfolja Pauls és Kohoutek állításait, az M46 és az NGC 2438 jelenleg csak látszólag tartozik össze.

Érdekes kérdés, hogy mit állíthatunk a két objektum múltbéli összetartozásáról. Elképzelhető-e, hogy az M46 szülőcsillaga a nyílthalmazból dobódott ki, pl. többszörös csillagok kölcsönös szoros elhaladása következtében? A mért 30 km/s körülbelül megfelel a kidobódási folyamatok során nyert sebességnek, s ténykérdés, hogy ismerünk is olyan, ún. szökevény (runaway) csillagokat,

melyek valószínűleg az Orion-köd fiatal halmazából dobódtak ki gravitációs kölcsönhatás révén (pl. AE Aur). Noha teljességgel nem lehet kizárni a lehetőséget, nem tartjuk valószínűnek a következők miatt. Amennyiben a szülőcsillag társa szupernóvaként robbant volna fel, s ez vezetett volna a kidobódáshoz, akkor a jelenségnek legalább 170–200 millió évvel ezelőtt be kellett volna következnie (ez nem más, mint a halmaz korából levonva a legkisebb tömegű és II-es típusú szupernó-



Az M46 csillagainak sebesség-hisztogramja, illetve az NGC 2438 átlagos sebessége (fekete körrel). Vékony vonalakkal az illesztett két Gauss-görbe és összegük látható

vához vezető csillagok élettartama). Ennyi idő alatt viszont 30 km/s sebességgel már 5–6 kpc látóirányú távolságra el kellett volna jutnia az NGC 2438-nak, ami nem képzelhető el a ködre és a halmazra vonatkozó független adatok fényében. Amennyiben kettős-kettős kölcsönhatás dobta volna ki a halmazból a szülőcsillagot, annak viszonylag nemrégiben kellett volna bekövetkeznie, ami viszont nem valószínű, mert az M46 csillagai már egyáltalán nincsenek annyira összezsúfolva, hogy a szoros közelítés valószínű legyen halmaztag kettőscsillagokra. Így végkövetkeztetésünk szerint nemcsak a jelenlegi, hanem a múltbéli összetartozás is nagyon nagy valószínűséggel kizárható.

Egy másik érdekes kérdés, hogy mire utal a halmaz sebességeloszlása. A fenti hisztogramra pillantva jól látszik, hogy a halmaztagok közel 20 km/s szélességű tartományba

esnek, ami nyílthalmazokra nagyon nagy szórás (az egyedi pontok hibája 2–5 km/s, azaz nem mérési hiba a nagy sebességszórás). Erre vonatkozóan legfőbb következtetésünk az, hogy a mért csillagok nagy hányada valójában kettőscsillag lehet, ahol a közös tömegközéppont körüli keringés sebessége véletlenszerű zajként hozzáadódik a látóirányú sebességekhez. Ez nem teljesen megalapozatlan állítás: korábbi vizsgálatok arra utaltak, hogy a szín-fényesség diagramon a fősorozat jelentősen kiszélesedett, amit szintén okozhat a kettősség, hiszen a kísérők fényessége hozzáadódik a fényesebb főkomponensek fényéhez, így az összfényesség nem fogja követni a halmaz átlagos szín-fényesség-eloszlását. Kétfonális spektroszkópiai kettősökre utaló jeleket nem sokat találtunk a színképekben (minden vonal kétszer), de ez egyáltalán nem zárja ki, hogy az infravörösben sokkal halványabb kísérőkről lenne szó.

Összefoglalva: az M46 és NGC 2438 nagyon látványos pár, érdemes felkeresni őket bármely derült, sötét éjszakán, de pusztán a véletlen eredménye, hogy egymás mellett látszanak. Mindennek biztos kiderítéséhez és a szakirodalomban létező ellentmondások tisztázásához mindössze három órányi távcsőidőre volt szükség az Angol-Ausztrál Teleszkópon, ami nagyon szépen illusztrálja a modern műszerek félelmetes hatékonyságát.

Kiss, L.L. és munkatársai (2008, MNRAS 391, 399) cikke alapján:

Kiss László

Planetáris ködökről a Meteorban

Berkó Ernő: Planetárisok között. Meteor 1999/3., 47. o.

Kiss László: Csillaghalál: planetáris ködök közelről. Meteor 2000/7–8., 3. o.

Szabó M. Gyula: A hónap Messier-objektuma: az M46. 2003/12., 68. o.