

Opponensi vélemény

Dr. Mészáros Szabolcs

Csillagok kémiai analízise: út a gömbhalmazok többszörös csillagpopulációinak megértéséhez

című, az MTA doktora cím elnyerésére benyújtott dolgozatáról

A dolgozat ismertetése

A dolgozat a bevezetésen, a köszönetnyilvánításon és az irodalomjegyzéken túl hét fő fejezetet tartalmaz. Az első, bevezető jellegű fejezet röviden ismerteti a csillagszínképek keletkezési elméletét, az APOGEE spektroszkópiai égboltfelmérő programot, amellyel kapcsolatosak a dolgozat legfőbb eredményei, illetve a gömbhalmazokban előforduló többszörös csillaggenerációk problémáját. A fejezet jól felépített, tömör, informatív, a továbbiakban ismertetett eredmények megalapozását jól szolgálja. Éppen ezért sajnálatos, hogy az 1.5. ábrán a színek, ill. szimbólumok jelentése nincs megmagyarázva, és ez csak a hivatkozás visszakeresésével található meg.

A következő hat fejezet ismerteti a jelölt új tudományos eredményeit a hat tézispontban megfogalmazottaknak megfelelően.

Elméleti spektroszkópia címmel ismerteti az APOGEE-ATLAS modellatmoszféra-rács megalkotásának részleteit, amellyel azután több százezer csillag fizikai és kémiai paramétereit határozták meg. Ezek jelentek meg az APOGEE egyes adatközléseiben. A jelölt az általa kifejlesztett APOGEE-ATLAS-rácsra alapozva létrehozta a BOSZ-rácsot, amely a jelenkori csillagászat egyik csúcsműszerének, a James Webb űrtávcső fluxuskalibrációjának alapjául szolgált.

Az APOGEE atmoszferikus paramétereinek kalibrálása fejezet és tézispont a rácsok alkalmazását mutatja be: hogyan tudjuk az előre meghatározott elméleti spektrumainkat a mért csillagszínképekkel összevetni. Az egyik legfontosabb nemtriviális kérdés itt az elméleti rácsban való interpolálás, amelyre a jelölt jól működő algoritmusokat dolgozott ki.

Az 1980-as évekig az volt a közvélekedés a csillagászatban, hogy a gömbhalmazok csillagai jó közelítéssel együtt keletkeztek, vagyis egykorúak. Később kezdtek szaporodni az olyan megfigyelések, amelyek ezt a képet árnyalták. A jelöltnek a 4-7. fejezetben ismertetett eredményei ehhez a kérdéshez kapcsolódnak.

A 4. fejezet az északi ég 10 gömbhalmazának egységes kémiai analízisét ismerteti, amelyben kilenc elem gyakoriságát vizsgálta az APOGEE DR10 adatai alapján. A 6. fejezet ennek a munkának a kiterjesztését ismerteti, amelyben a jelölt a teljes ég 31 gömbhalmazának 2283 csillagát elemezte egységes módon, és ezzel ez a mindeddig publikált legteljesebb ilyen jellegű vizsgálat. A kémiai elemgyakoriság alapján a halmazok zömében két csillaggenerációt talált, illetve, a kiterjesztett vizsgálatok során három halmaz esetén több generáció meglétét sikerült kimutatnia. A két fő csillaggeneráció eloszlása egyes halmazokban bimodális, míg másoknál folytonos. Az egyes generációk eltérő fémtartalmának jellemzői azt az elképzelést támasztják alá, hogy elsősorban közepes tömegű AGB-csillagok csillagszele „szennyezte be” azt az anyagot, amelyből a második generációs csillagok keletkeztek.

Az 5. fejezet a gömbhalmazok (pszeudo)-szín--fényesség-diagramjának, és -- az Al-Mg antikorréláción keresztül --, kémiai összetételének kapcsolatát vizsgálja. Ezek során megoldotta a

korábban sok fejtörést okozó Na-gazdag második generációs aszimptotikus óriásági csillagok hiányának problémáját. Továbbá Al-tartalmuk alapján sikerült azonosítania első és második generációs csillagokhoz tartozó vörös óriás ágakat.

A 7. fejezet az ω Cen gömbhalmaz többszörös csillagpopulációinak vizsgálatáról szól. A nagy méretű, különleges gömbhalmaz nagyszámú csillagászati vizsgálat célpontja. Jelenleg úgy gondolják a kutatók, hogy egy Tejútrendszer által befogott törpegalaxis magja lehet, de fejlődése, befogódása részletei még nem teljesen ismertek. Ezek tisztázásához járult hozzá jelölt is az itt ismertetett munkájával. Négy különböző fémességű csillaggenerációt talált a halmazban. A vastag koronghoz hasonló eloszlású legfémgazdagabb populáción nagyobb $[Mg/Fe]$ és $[O/Fe]$ -elemgyakoriságokat mért, mint a Tejútrendszer vastag korongjában ismeretes értékek, így több II-es típusú szupernóva-robbanást kellett feltételeznie a halmazban, mint a vastag korongban, és ez arra utal, hogy az ω Cen még azelőtt elnyelhetett egy törpegalaxist, mielőtt a Tejút halójába került.

Mindezek a vizsgálatok, azon túl hogy a többszörös csillaggenerációk meglétét magyarázó elméletek közötti választást segítik, olyan, a nukleáris asztrofizikában fontos kérdésekhez is észlelési megismeréseket adnak, mint az AGB-csillagokban történő elemkeletkezés, vagy a felkeveredés folyamata.

Tartalmi értékelés

A dolgozat minden, egymáshoz szorosan kapcsolódó témája időszerű, a jelenlegi tudomány élvonalába tartozik. Ezt jól jelzi, hogy a disszertáció alapjául szolgáló cikkek mindegyike Q1-es referált folyóiratban jelent meg, továbbá hasznosságukat mutatja a rájuk eddig kapott több mint 2000 hivatkozás. (A jelölt összes hivatkozásszáma egyébként meghaladja a 19 000-t.) A saját és társszerzők szerepét mindenütt világosan szétválasztja, ez a tézispontokból és a dolgozattól is egyértelmű. A tézisek mindegyikét önálló új tudományos eredménynek elfogadom.

Formai értékelés

A szöveg pontos, általában jól érthető, és bár itt-ott előfordulnak benne nehézkes megfogalmazások, ezek érdemben nem befolyásolják a megértést. A szerző törekszik a magyar szakkifejezések használatára. A helyesírás nagyon jó, minimális elütést találtam csak. Az ábrák szépek, az ábrafeliratok, ábrabeírások jól olvashatók, megfelelő méretűek. Kár, hogy zömük angolul szerepel. Egy magyar nyelvű dolgozatban ez nem elegáns. Ettől függetlenül a dolgozat formailag minden szempontból megfelel az elvárásoknak.

Javaslom az MTA doktora cím megadására benyújtott kérelem elfogadását, és az értekezés nyilvános vitára bocsátását.

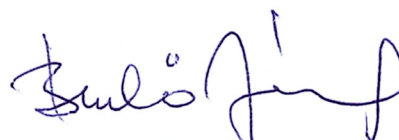
A dolgozattal kapcsolatos kérdéseim

1. A dolgozat 77. oldalán az Al-Mg-antikorrreláció erősségét akkor tekintette szignifikánsnak, ha a $\Delta = \langle Mg/Fe \rangle_1 - \langle Mg/Fe \rangle_2 > 2 \sigma$. Mi indokolja ennek a kritériumnak használatát, és miért nem a csillagászatban megszokott 3σ -t használta?
2. A korrelációk és antikorrrelációk statisztikus szignifikanciája többször csak említés szintjén szerepel. Egyes helyeken megjelenik a p és r paraméter számszerű értéke is, ami arra utal, hogy végzett statisztikai szignifikanciavizsgálatokat, de ezek sehol nincsenek kifejtve a dolgozatban. Kérem tegye meg, hogy röviden összefoglalja, hogyan győződött meg az egyes korrelációk és antikorrrelációk statisztikus szignifikanciájáról különös tekintettel a

tudományban az elmúlt évtizedben nagy figyelmet kapott metodikai vitájára a p paraméterrel kapcsolatban.

3. Elsősorban az 5. fejezettel kapcsolatban kérdezem, de általánosabban is igaz a kérdésem: mi indokolja a folytonos eloszlású gömbhalmazok felosztását első és második generációs csillagokra? Nem inkább egy folytonos keletkezést látunk itt?
4. A 135. oldalon azt írja, hogy az ω Cen gömbhalmaz többszörös populációinak meghatározásánál egy K-közép algoritmust használt, amely hasonló Gratton és társai (2011) módszeréhez. Amennyiben az eljárás csak hasonló, és nem azonos, pontosan miben tér el ez Gratton és társai algoritmusától?

Budapest, 2024. május 7.



Dr. Benkő József
az MTA doktora