

Bírálati vélemény

Kóspál Ágnes

„Fiatal eruptív csillagok és szerepük a csillagkeletkezésben”

c. akadémiai doktori értekezéséről

Témaválasztás

A Naphoz hasonló fősorozatbeli csillagok keletkezésének és fejlődésének megértése régóta a csillagászok egyik központi problémája. A 2000-es évektől kezdve a megfigyelési lehetőségek ugrásszerű fejlődésével (földi óriástávcsövek, rádiótávcsövek, űrszondák bekapcsolódásával) nagyban kibővült a jelenleg születőben levő csillagok száma és ezekről rengeteg új információ áll rendelkezésre.

Kóspál Ágnes kissé szokatlan módon, 9 évvel ezelőtt megvédett PhD disszertációja után ugyanabból a témából, a fiatal eruptív csillagok vizsgálatából készítette el akadémiai doktori értekezését. Az új eredmények mennyisége és minősége azonban igazolja a választást. A nagy nemzetközi együttműködésekben végzett, sok esetben általa kezdeményezett és vezetett kutatások, amelyeket itthon, egy Lendület csoport vezetőjeként folytat tovább, az MTA CsFKI több mint 30 éves hagyományait követik és igen sok új eredménnyel gazdagították a fiatal eruptív csillagokra vonatkozó tudásunkat és közelebb vittek a megfigyelések megértéséhez.

A dolgozat szerkezete, nyelvezete

A 181 oldal terjedelmű értekezés rendkívül esztétikus kiállítású, szépen szerkesztett, sok színes és fekete-fehér, általában jól áttekinthető ábra gazdagítja. Az ábrákon lévő szöveg ritka kivételtől eltekintve jól olvasható, a szerző mindenütt lefordította az eredeti angol feliratokat.

Az értekezés jó stílusban íródott, lehetőleg magyar nyelvű kifejezéseket használ, aránylag kevés elírás vagy értelmetlen fogalmazás van benne. A közölt anyag igen sok megfigyelési információt tartalmaz, igen részletes, nem állítja könnyű feladat elé a nem szakember olvasót. Néhol megnehezíti a megértést a csak szűkebb körben használatos betűszavak gyakori használata, de ez gyakori probléma.

Az előszó és a 24 oldalas bevezetés után a dolgozat 127 oldalt kitevő 4. a Jelölt saját eredményeit tartalmazó érdemi fejezetre oszlik, melyeket a tézisek összefoglalása, köszönetnyilvánítás és irodalomjegyzék követ. A Bevezetés aránylag rövid, de informatív, csak a modellek tárgyalása lehetne bővebb. Az ezt követő, 4 fejezet majdnem azonos felépítésű, az alfejezetek a téma más-más aspektusait mutatják be. Az ezeken belüli al-alfejezetek egy mintát pontosan követnek, mely az adott kutatás motivációjával kezdődik, majd részletezi az észleléseket. Ezt követi az adott témára vonatkozó eredmények és analízis bemutatása, illetve az eredmények értelmezése, az alfejezeteket végül az összefoglalás és következtetések zárják le. Ez utóbbi részekben tárgyalja a megoldásra váró kérdéseket is. Az egységes tárgyalásmód igen hasznos, jól tagoltá teszi a nagy anyagot, segíti a keresést, egyes témák közötti közlekedést, az egyes tárgyalt objektumok jellemzőinek összehasonlítását.

A 2. fejezet egy standardnak választott, az eruptív csillagok prototípusának tekinthető EX Lupit és annak kitörését mutatja be igen részletesen, külön alfejezetben tárgyalva a csillag körül forró gázt, a radiális sebesség változásait és az akkréciós korong hideg molekuláris gázát. Kimutatja, hogy feltehetően minden fiatal csillag átmegy eruptív időszakon és az epizodikus akkréció a fejlődés legfontosabb folyamatának tekinthető. A 3. fejezet egy kiválasztott, nemrég kitört eruptív csillagot vizsgál, kiemelve annak fontosságát, hogy a felfénylést minél több hullámhosszon megfigyeljük. A 4. fejezet kiszélesíti a vizsgálódást 4 egymáshoz hasonló, a FUorok közé tartozó csillagra, azok gáz- és porkörnyezetét elemezve.

Az 5. fejezet ismét egy csillagra, az FUor típusú V346 Nor kitörésére koncentrál, kimutatva az anyagfelhalmozódást az akkréciós korongban.

Új eredmények

A disszertáció alapján megállapítható, hogy a jelölt a PhD fokozat megszerzése óta igen komoly eredményeket ért el, jelentősen hozzájárulva az eruptív csillagok fizikájának megértéséhez. A tézisfüzetben felsorolt pontok mindegyikét elfogadom új tudományos eredményként, 6 pontba sűrítve:

1. Sikeresen magyarázta az EX Lupi fiatal eruptív csillag 2008-as kitörését magnetoszférikus akkrécióval. Megállapította, hogy a kitörés során forró CO gáz keringett a csillag körül. A színek monitorozásával valószínűsítette, hogy a csillagnak barna törpe kísérője van, vagy a csillaggal akkréciós oszlopok forognak együtt. Meghatározta EX Lup körüli hideg molekuláris gázból álló korong tömegét és a gázkiürülés mértékét.
2. Megállapította, hogy a V2492 fiatal eruptív csillag a kitörése előtt I. osztályú protocsillag volt. A nagy amplitúdójú fényváltozásokat egy, a belső korongban keringő hosszú élettartamú porcsomó által előidézett változó extinkcióval magyarázta. Kiderítette, hogy a csillag egy csillagközi felhő csúcsán helyezkedik el. A csillag hosszú kitörése azt mutatta, hogy az az EXorok és FUorok közti állapotot képvisel.
3. Megállapította, hogy a HBC 722 a kitörése előtt T Tauri csillag volt, a kitörés elején a felfénylést a belső korongban felhalmozódott anyagnak a csillagra való gyors ráhullása okozta. Elsőként detektálta a csillag CO korongját és megmutatta, hogy a környező csillagokkal együtt egy sűrű, hideg gázfelhőbe vannak beágyazva. Azt találta, hogy a csillag a szokásosnál kisebb tömegű FUor és ebből arra következtetett, hogy feltehetően minden fiatal csillag átesik megnövekedett akkréciójú periódusokon.
4. A V960 Mon-ról megmutatta, hogy nyugalmi állapotában átlagos T Tauri volt, a kitörés alapján idősebb FUor aránylag ritka burokkal. A kitörés utáni elhalványodásában felfedezett egy oszcillációt, amelyet egy kettőscsillag keringésével magyarázott. A V582 Aur-ról szintén kimutatta, hogy korábban T Tauri volt. A kitörése utáni spektroszkópia FUor-ra utalt, de az elhalványodásból arra következtetett, hogy a csillag egyben UXor típusú változó.
5. 8 déli és egyenlítői FUor CO méréseiből meghatározta a csillagok hideg molekuláris gáz burkának tömegét és hőmérsékletét és ezek között fordított arányosságot talált. Másik 4 FUorra is meghatározta a csillagkörüli burkok méretét és tömegét.
6. Rekonstruálta a V346 Nor fiatal eruptív csillag fénygörbéit, megmutatta, hogy hasonló a fiatal eruptív csillagok egy csoportjához, amelyekben akkréciós és extinkciós változások is zajlanak. Nagy felbontású milliméteres ALMA megfigyelésekkel feltérképezte a csillag környezetének por- és gáz kibocsátását, megmutatta, hogy a csillag a 0/I. osztályú protocsillagok (fiatal, beágyazott FUorok) közé tartozik. Spektro-asztrometriai analízissel meghatározta a csillag tömegét, a burokról a korongra történő behullási rátát és ezt nagyobbban találta az akkréciós rátánál.

Kérdések

Két általánosabb kérdésem van.

- 1) Hol van az EXorok és FUorok helye a T Tauri csillagok között, hogyan sorolhatók be a 0. / I. / II. osztályba, ill. a kor szerinti eloszlásba? Mennyire folytonosan követhető az eruptív csillagok fejlődése a nagy tömegű hideg burokból beágyazottaktól a burok nélküliekig? Valószínűsíthető-e, hogy minden T Tauri átmegy eruptív fázison? Ha igen, akkor mennyi ideig tarthat ez az állapot a fejlődésben?

2) A dolgozatban többször történik említés a tárgyalt csillagok mágneses teréről, esik szó a magnetoszférikus csonkolási sugárról is és tudjuk, hogy a T Tauri csillagok erős mágneses térrel rendelkeznek. Össze tudná foglalni a mágneses tér szerepét az eruptív csillagok fejlődésében röviden vázolva a T Tauri csillagok magnetoszférikus akkréciós modelljét?

Megjegyzések, további kérdések

A dolgozat 13. oldalán a 1.1 ábra aláírásában érdemes lett volna feltüntetni, hogy a függőleges tengelyen szereplő λF_λ a spektrális energiasűrűség.

A 1.2 és az 1.3 ábrán a karakterek nehezen olvashatók.

21.o. 1.7 ábra - hogyan történik az akkréciós ráta meghatározása (infravörös vonalerősségből vagy hőmérsékletmérésből – a 3.1 egyenlet alapján)?

A 25. oldal 1.3.5 pontja tárgyalja kitörési modelleket, ez a pont kissé elnagyolt, hasznos lett volna őket részletesebben, a fizikai alapokat megmutatva tárgyalni, mivel később sokszor hivatkozik rájuk.

A 26-33. oldalon részletesen bemutatja a felhasznált kísérleti eszközöket, jó információs forrás, de kissé túlrészletezettnek tűnik, főleg az előző ponttal összehasonlítva (esetleg táblázat hasznos lett volna).

34.o. mi a kis tömegű beágyazott csillagok említett luminozitásproblémája?

37.o. az infravörös vonalak erőssége az akkréciós ráta függvénye; fel lehet-e állítani egy akkréciós ráta – luminozitás összefüggést?

38.o. a 2.3 ábrán melyik modellel magyarázható legjobban a 0,05 CsE-n belüli lyuk és mitől függ a belső lyuk mérete?

44.o. a spektrál asztrometriai jelből hogyan határozta meg a tengely ferdeségét?

47.o. mi a korotációs sugár definíciója? Megegyezik a pormentes zóna határával?

51.o. az emissziós vonalak radiális sebessége sem igazán szinuszos – próbálta-e korreláltatni az abszorpcióssal?

57.o. 2.14 ábra: elképzelhető-e más $i - v \sin i$ kombináció, ha a korong síkja nem merőleges a csillag forgástengelyére? Lehet-e akár 20 fok lehet az eltérés?

59.o. hol és hogyan alakul ki az akkréciós korong magnetoszférikus csonkolása?

63.o. hogyan határozta meg a korong kémiai összetételét? (csak utalás van egy cikkre)

64.o. 2.18. ábra az x tengelyen a $M_{\text{disk}}/M_{\text{Sun}}$ arány van.

71.o. alulról 8. sor: nem 2012-es, hanem 2010-es maximumban.

72.o. milyen törvény írja le az extinkcióhoz kapcsolódó intersztelláris vörösedést?

74.o. 3.4 ábra: a nyugalmi pontok mikor történt mérésekből származnak?

74.o. a kitörési spektrum nem jellemezhető egyetlen hőmérséklettel – egy fekete test spektrumhoz képest hol van eltérés az infravöröst nem számítva? Meg lehetne mutatni a 3.4 ábrán? Nemcsak a korongból származik többlet, esetleg egy forró vagy hideg folt okozhatja?

75.o. sok betűszó szerepel, nem mindegyik közismert. Pl. mi az optikában használt PSF (point spread function) definíciója?

75.o. a 3.6 ábrán ki lehet találni, hogy az y tengely 0-tól indul, de nincs odaírva.

78.o. mi az említett vörösedési út?

93.o. történt-e a HBC722-re talált maximális 18 évhez és az ebből levezetett legfeljebb 100 kitöréshez hasonló becslés más eruptív csillagra?

102.o. a 3.20 ill. 3.22 ábra alapján miért áll le kb. 80 nap után az oszcilláció, ha helytálló a kettőscsillag magyarázat?

104.o. mennyire lehet folytonos a kitörések időskálája az EXorok hónapos és a FUorok több 10 éves hosszúságú kitöréseit tekintve?

119.o. milyen időskálán lehet stabil a V582 Aur körül feltételezett porcsomó?

Publikációk, tudománymetria

A dolgozatban tárgyalt eredményeket a Jelölt 18 lektorált, magas impakt faktorú nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos cikkben publikálta, melyek közül 13-ban első szerző. Összes tudományos cikkeinek független idézettsége meghaladja az 900-at, a tézisekben felsorolt cikkekre ez a szám az MTMT szerint 201.

Értékelés

A doktori értekezés és a tudományos tevékenység alapján is megállapítható, hogy a jelölt a téma nemzetközileg elismert szakértőjévé vált, és az értekezésben közzétett eredeti és önállóan elért tudományos eredmények messzemenően teljesítik az “MTA doktora” cím megszerzéséhez szükséges feltételeket. Ennek alapján javaslom a dolgozat nyilvános vitára bocsátását és sikeres védelem esetén az MTA doktora cím odaítélését.

Budapest, 2018. augusztus 4.

Kecskeméty Károly
az MTA doktora
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont