

3. félévi beszámoló

Joó András Péter (a.joo@astro.elte.hu)

Csillagászat és Űrfizika PhD program

Témavezető: Dr. Tóth L. Viktor

A dolgozat címe:

Csillagközi anyag és csillagkeletkezés a Tejútrendszerben és más galaxisokban

Bevezetés

Doktori kutatómunkámban galaktikus és extragalaktikus csillagkeletkezési területeket vizsgálok archívumokból összeállított mintákon, kiegészítve szükséges mérésekkel és szimulációk eredményeinek a felhasználásával. Célom a csillagközi anyag csillagkeletkezésre gyakorolt hatásának és a Galaxison belüli körforgásának a vizsgálata, a csillagkeletkezés és a csillagközi anyag kozmikus fejlődésének a tanulmányozása, valamint releváns mérési célpontok meghatározása további vizsgálatokhoz.

A galaktikus csillagkeletkezés vizsgálatát a nemzetközi TOP-SCOPE együttműködéshez csatlakozva végzem (TOP: TRAO Observations of Planck cold clumps - SCOPE: SCUBA2 Continuum Observations of Pre-protostellar Evolution), a TOP200 elnevezésű minta, az északi féltekéről látható 200 legfényesebb Planck kompakt forrás (PCCS - Planck Catalogue of Compact Sources) elemzésével. Ehhez a James Clerk Maxwell teleszkóp SCUBA2 bolométerkamerája által készített szubmilliméteres felvételeket dolgozom fel, célom egy kompakt forrás katalógus összeállítása, amely a galaktikus síkon belüli és kívüli forrásokat egyaránt tartalmaz, lehetővé téve a területek összehasonlítását. A katalógus első verzióját a források pozíciójával, méretével és alakjával a mesterszakos szakdolgozatomban előállítottam, a doktori kutatásom keretében elvégzendő feladat a nem megbízható források kiszűrése, a források távolságainak a kiszámítása, majd azt is felhasználva a fizikai paraméterek meghatározása.

Az extragalaktikus csillagkeletkezési kutatómunkámat Dr. Tóth L. Viktor vezetésével, a csillagkeletkezést vizsgáló kutatócsoportjának tagjaként végzem az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Feladatom a távoli csillagkeletkezésre utaló hosszú gammafelvillanások (LGRB - Long Gamma Ray Burst) lehetséges anyagaxisainak keresése az Illustris TNG100 univerzum-szimulációban, valamint ütköző galaxisok vizsgálata az Illustris szimulációban és megfigyelések archív adatainak elemzésével. Emellett rendszeres konzultatív csoportmegbeszéléseken veszek részt a témában Balázs Lajos nagyenergiájú kutatócsoportjával (HEART - High Energy Astronomy Research Team).

Az aktuális félévben elvégzett kutatómunka ismertetése

Galaktikus csillagkeletkezés - TOP200

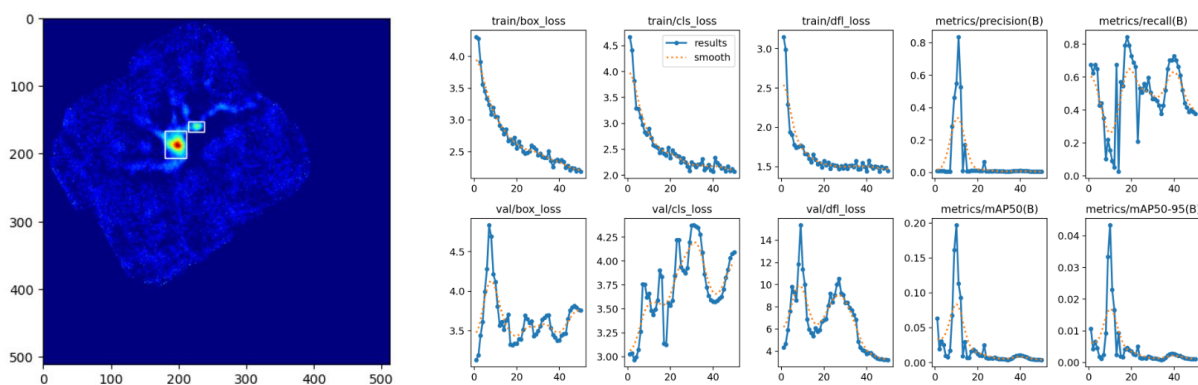
Előző félévben a szubmilliméteres pontforrások kvalitatív vizsgálata során úgy találtam, hogy a találatok megbízhatóságán lehetne javítani, ennek érdekében két erőfeszítést tettem ebben a félévben:

1.) A talált pontforrásokat három kategóriába osztottam: megbízható, fragmentum és kérdéses. A kategorizálásban segítségemre volt új témavezetetésem, Creusot Belian mesterszakos csillagász ELTE hallgató, aki TDK témának választotta a szubmilliméteres pontforrások osztályozását, és a felismerés megbízhatóságának javítását. Kidolgoztunk és teszteltünk közösen egy módszert, amivel hatékonyan tud a kvalitatív vizsgálattal haladni, ezt használva Belian kategóriába sorolta az 1636 talált pontforrást. Ez fontos eredmény, amivel a kutatás eredménye kiegészül, valamint további pontforrás-felismerő módszereknek képez kiindulási alapot (1. ábra).

# Filename	Object	RMS_map	SNR_Peak	Peak1 [dms]	Peak2 [dms]	Cen1 [dms]	Cen2 [dms]	Quality flag (o/f/q/m)	o-OK, f-Fragment, q-Questionable, m-Missing
jcmts20100312_00091_850_reduced001_obs_000	16293-2422	0.7150869757	147.375696	248°5'44	-24°28'22	248°5'41	-24°28'24	o	
jcmts20100312_00091_850_reduced001_obs_000	16293-2422	0.7150869757	5.849602528	248°7'12	-24°28'54	248°7'17	-24°28'50	q	
jcmts20110526_00052_850_reduced001_obs_000	M8E	0.3297238055	87.69664842	271°13'11	-24°26'39	271°13'16	-24°26'43	o	
jcmts20110526_00052_850_reduced001_obs_000	M8E	0.3297238055	16.41193063	271°12'9	-24°27'35	271°12'14	-24°27'37	o	
jcmts20110526_00052_850_reduced001_obs_000	M8E	0.3297238055	5.23858224	271°13'19	-24°25'43	271°13'39	-24°25'40	q	
jcmts20111216_00075_850_reduced001_obs_000	N2071IR	0.3610352955	125.3926446	86°46'9	0°21'51	86°46'10	0°21'54	o	
jcmts20120202_00021_850_reduced001_obs_000	HH1-2VLA	0.2421098649	40.56146018	84°5'46	-6°46'7	84°5'46	-6°46'13	o	
jcmts20120202_00021_850_reduced001_obs_000	HH1-2VLA	0.2421098649	19.40725965	84°4'46	-6°45'23	84°4'38	-6°45'36	o	
jcmts20120202_00021_850_reduced001_obs_000	HH1-2VLA	0.2421098649	8.838790138	84°6'18	-6°44'43	84°6'20	-6°44'47	o	
jcmts20120301_00051_850_reduced001_obs_000	2MASSJ18314556-0218408	0.1998843789	14.45056653	277°54'48	-2°16'57	277°54'48	-2°17'4	o	
jcmts20120301_00051_850_reduced001_obs_000	2MASSJ18314556-0218408	0.1998843789	13.81604616	278°1'12	-2°21'13	278°1'19	-2°21'16	o	
jcmts20120301_00051_850_reduced001_obs_000	2MASSJ18314556-0218408	0.1998843789	9.49239968	277°54'16	-2°15'17	277°54'16	-2°15'20	o	
jcmts20120301_00051_850_reduced001_obs_000	2MASSJ18314556-0218408	0.1998843789	7.781973946	277°58'32	-2°18'49	277°58'20	-2°18'52	f	
jcmts20120301_00051_850_reduced001_obs_000	2MASSJ18314556-0218408	0.1998843789	7.100316422	277°58'20	-2°19'17	277°58'27	-2°19'38	f	
jcmts20120301_00051_850_reduced001_obs_000	2MASSJ18314556-0218408	0.1998843789	5.37649817	277°56'24	-2°21'1	277°56'25	-2°21'4	o	

1. ábra. Részlet a pontforrások katalógusának munkaverziójából az osztályokba sorolással.

2.) A pontforrások azonosítására megpróbáltam neurális hálót betanítani (2. ábra). A szükséges ismeretek megszerzéséhez felvettem a Statisztikus Fizika, Biológiai Fizika és Kvantumrendszerek Fizikája doktori programban oktatott Adatbányászat és gépi tanulás c. tárgyat.



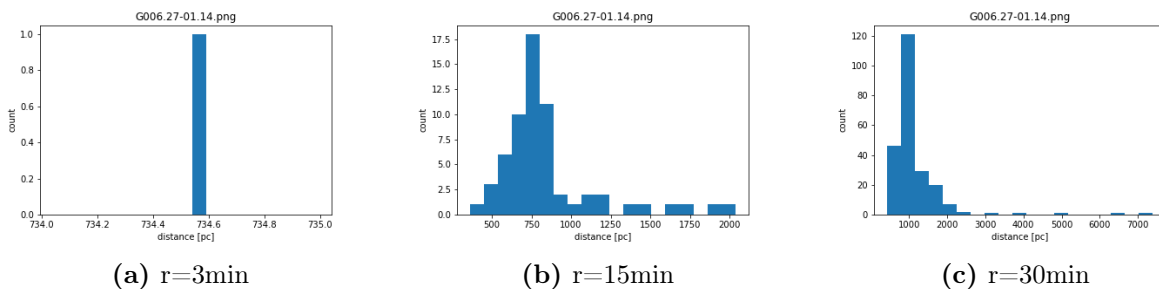
2. ábra. Balra: minta az alakzatfelismerő neurális háló tanításához előállított adathalmazból, JCMT szubmilliméteres felvétel alapján. Jobbra: a tanítási algoritmus eredménye.

Sajnos, mint azt a félév során megtapasztaltam, az alakzatfelismeréshez szükséges minta elemszáma nem az alakzatok száma, hanem az alakzatokat tartalmazó képek száma, ami esetemben mindössze 144 darab. Az 1536 darab pontforrás számosságában esélyt

adott volna egy neurális háló sikeres betanítására, de 144 kép töredéke a szükséges minta elemszámának. Így a módszert felkutattam, megtanultam implementálni, és teszteltem, eredményt azonban egyelőre nem tudtam elérni vele. A módszerről készítettem egy részletes dokumentációt, ami alapján később is könnyen implementálható. Tervezem a Dave et al. 2019 által készített mérési adatokkal is megpróbálni a módszert, a SCOPE felmérésben végül összesen 1235 felvétel elemzése készült el, amelyen 3528 azonosított pontforrás található. Az 1235 elemű minta ismét esélyt adhat a neurális hálónak.

A pontforrások megbízhatósága mellett a PCCS katalógusból származó Planck kompakt forrásaim távolságmeghatározásával is tovább haladtam. Itt két módszerrel dolgoztam:

1.) Az előző félévben kidolgozott YSO-módszert témavezetőm javaslatára újravittam a források középpontja körül nagyobb keresési sugarakkal, az akkori 3 ívperces után most jóval nagyobb, 0.25 és 0.5 fokos sugárral. A Planck kompakt források átlagos mérete a Planck kollaboráció publikációja alapján 8 ívperc (Planck Collaboration et al. 2016), így a nagyobb keresési sugár magában foglalhat ugyanabba a HI zónába ágyazott, asszociált csillagkeletkezési területeket is. Ennek eredményeképp jóval több fiatal csillag jelenik meg a találatokban, amelyek csoportosulásai szerencsés esetben kirajzolják a tartalmazó zónák távolságát és kiterjedését, amivel a vizsgált kompakt forrás távolsága jól becsülhető. A nagyobb sugarak közül a 0.25 fokos bizonyult a jobban használhatónak (**3.** ábra).



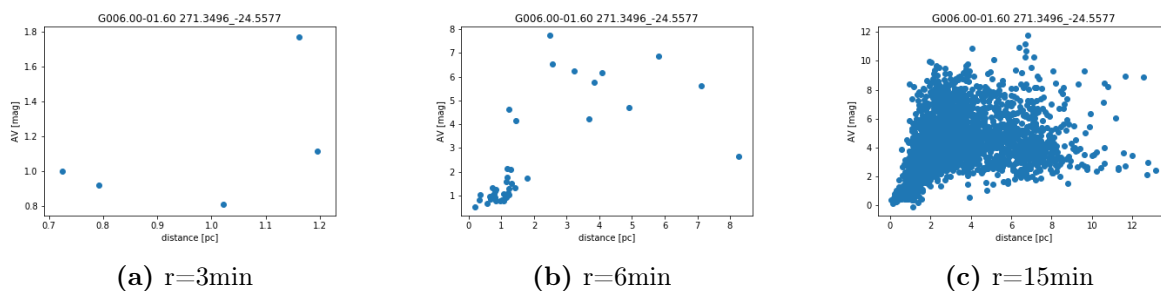
3. ábra. Fiatal csillagok (YSO-k) a G006.27-01.14 Planck kompakt forrás irányában a forrás középpontjától különböző sugarakon belül. A 3 ívperces sugárhoz (**3a**) képest a 0.25 fok (**3b**) már egy illeszthető eloszlást ad, míg a 0.5 fok (**3c**) feleslegesen növeli a minta elemszámát, valószínűleg forráson kívüli YSO-kkal.

2.) Az idei félévben kidolgoztam a Gaia adatokon alapuló második távolságszámítási módszeremet, az extinkciós módszert. A Planck kompakt források irányában lekértem Gaia források extinkciós értékeit, és a hozzájuk tartozó távolságot. Azt várjuk, hogy azon a távolságon, ahol a Planck kompakt forrás található, élesen megnövekszik az extinkció, szerencsés esetekben a háttércsillagok jól elkülönülnek az előtércsillagoktól, és ezek távolságából a kompakt forrás távolsága becsülhető.

Itt is elvégeztem az adatok lekérését 3 perces és 0.25 fokos sugárral a forrás középpontja körül, hasonló okokból, mint a YSO módszer esetében. Ezúttal azonban a 0.25 fokos sugár már jelentős problémát jelentett az adatbázisok használatánál, milliárdnyi rekordot kellett megvizsgálnia a futtatott lekérdezésnek. Ehhez megfelelő saját erőforrás hiányában TAP protokollal próbálkoztam, és végül azt a megoldást találtam, hogy a Gaia táblákat a Vizier szolgáltatásán keresztül kérdezem le, az, úgy tűnik, több erőforrást biztosít a TAP lekérdezésekre. A keresztkorrelációt a Planck forrásokra szintén a lekérdezés részeként

futtattam, saját forrástábla feltöltésével, amelynek a formátumára a Vizier meglehetősen kényes, erre a megoldást megfelelő dokumentáció hiányában kellett megtalálnom (VOTable konverzió CSV-ből a TOPCAT szoftver használatával, amelyből a TAP lekérdezéseket is futtattam.)

A 3 ívperc és 0.25 fok sugarakkal végzett keresések eredményeiben nagyon nagy volt az eltérés, a 0.25 fok túl sok, valószínűleg a Planck kompakt forráson kívüli Gaia forrást talált meg, ezért megpróbáltam egy 6 ívperces szűrést rajta. Az 4. ábra mutat egy olyan esetet, ahol a 6 ívperces sugárral végzett keresés pontosabbá teszi a távolság becslését a 3 ívpercesnél, a 0.25 fokos pedig gyakorlatilag használhatatlan erre a célra.



4. ábra. Gaia források extinkciója a Planck kompakt források irányában, a középponttól különböző távolságokra. A 6 ívperces sugárral végzett keresés (4b) pontosabb távolságbecslést tesz lehetővé, mint a 3 ívperccsel végzett (4a), a 0.25 fokos pedig távolságbecslésre alkalmatlan.

Az elemzésem eredményeiről elkezdtem írni egy publikációt, amit gyakorlatvezetőmmel egyeztetve a The Astrophysical Journal Supplement Series (APJs) folyóiratba szánunk, ahol a nemzetközi együttműködés is rendszeresen publikál a témában. Elkészítettem az első vázlatot, és megosztottam az együttműködésben részt vevő kutatókkal, hogy minél hamarabb kaphassak visszajelzést, és megindulhassanak a szükséges együttműködések a cikk írásában. Ezt a vázlatot a nagyenergiás kutatócsoporttal is megosztottam, ahol többben is dolgoztak Planck források elemzésével korábban, tőlük is várom a visszajelzéseket.

Extragalaktikus csillagkeletkezés

Az extragalaktikus témában ebben a félévben két nagy fejlemény történt:

1.) A kutatócsoportom csehországi IBWS konferencián bemutatott extragalaktikus eredményei publikálásra kerültek a Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, referált folyóirat konferenciához tartozó különszámában. Itt két cikkben dolgoztam, egyik egyben első, másikban második szerzőként.

2.) A HEART nagyenergiás kutatócsoportnak végzett elemzőmunkám a legközelebbi, csoportosulást mutató GRB-k anyagaxisainak a tulajdonságairól bekerült a csoport legújabb publikációjába, ami nemrég a Monthly Notices of the Royal Astronomical Society folyóiratban meg is jelent. Ebben az elemzésben megállapítottam, hogy mindegyik GRB egyértelműen a hosszú csoportba sorolható (35 és 365 másodperc közötti T90 idővel), valamint a rendelkezésre álló adatok az anyagaxisokban magas csillagkeletkezést és a Nap fémességénél alacsonyabb fémességet mutatnak, ami alátámasztja a GRB-k eredetére a magösszeomlásos szupernóva elméletet. Mindazonáltal, azt is megjegyeztem, hogy sajnos nem mindegyik galaxistról található megfelelő mérési eredmény, és a GRB észlelő

GRB Coordinates Network jelentéseiben eltérő fémvonalakat jeleznek, amit érdemes lenne további mérésekkel megvizsgálni.

Publikációk

A félév során a kutatócsoportom két korábban elkészített publikációja jelent meg, egyikben első szerzőként, másikban másodikként dolgoztam. Ezen kívül a HEART nagyenergiás kutatócsoport legújabb MNRAS publikációjára is felkerült a nevem a legközelebbi, csoportosulni látszó GRB-k anyaggalaxisainak az elemzésével.

(1) Joó, A.P.; Koncz, B.; Pichler, E.: Investigating star formation in nearby interacting galaxies, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, vol. 53, no. 4, p. 164-174.

(2) Koncz, B.; Joó, A.P.; Pintér, S.: Investigating star formation in Illustris TNG galaxy mergers, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, vol. 53, no. 4, p. 153-163.

(3) Horvath, Istvan; Bagoly, Zsolt; Balazs, Lajos G.; Hakkila, Jon; Horvath, Zsuzsa; Joo, Andras Peter; Pinter, Sandor; Tóth, L. Viktor; Veres, Peter; Racz, Istvan I.: Mapping the Universe with gamma-ray bursts, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 527, Issue 3, pp.7191-7202

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben

(1) FIZ/5/031 Az intersztelláris anyag fizikája I., 6 kredit

(2) dsminingf20vm Adatbányászat és gépi tanulás, 6 kredit

Konferenciák az aktuális félévben

A félév előtti nyári időszakban részt vettem az Európai Csillagászati Társaság (EAS) éves nagygyűlésén. A releváns előadások meglátogatása és kapcsolatépítés mellett két posztert mutattam be: az első szerzős poszterem a galaktikus csillagkeletkezés témában és Koncz Bendegúz kutatócsoport-beli kollégám poszterét az extragalaktikus vonalon, Illustris szimuláció adataiban összeolvadó galaxisok kereséséről, amelyben Bendegúzzal van együttműködésünk is.

Szintén a nyári időszakban elvégeztem a VLTI és a CSFK által közösen szervezett, 11. VLTI Interferometria nyári iskolát. Az összesen 40 órás tanfolyam magában foglalta az infravörös interferometria alapjait, képfeldolgozási gyakorlatokat, valamint a VLTI-re való távcsőidőpályázat benyújtásának technikai részleteit. Az iskola egy záróvizsgával zárult, amelyet 70%-os eredménnyel sikeresen abszolváltam.

A félév során később már előadóként nem vettem részt konferencián, próbáltam a kutatásommal kapcsolatos közvetlen teendőkre koncentrálni, elsősorban cikkírással. De emellett is felkészítettem a TDK témavezetett diákjaim - Koncz Bendegúz, Creusot Belían és Varga Nóra - a TTK kari TDK előadásaikra, majd témavezetőként részt vettem a dec. 8-i konferencián. Bendegúz versenyelőadásával első helyet szerzett, a két másik hallgató

rövid témabemutató előadással jelezte részvételi szándékát a következő megmérettetésen. Az előadásokról feljegyzést készítettem, majd a csoporttal közös elemzés során igyekeztem hasznos visszajelzéssel ellátni az előadókat a fejlődésük érdekében.

- (1) VLTI 11th Interferometry School, 2023. jún. 12-17., Budapest, Magyarország
- (2) EAS Annual Meeting, 2023. júl. 10-14., Krakko, Lengyelország
- (3) ELTE TTK kari TDK forduló, 2023. dec. 8., Budapest, Magyarország

Oktatási tevékenység az aktuális félévben

Ebben a félévben is folytattam a Csillagászati Észlelési Gyakorlatok oktatását, ezúttal a tárgy utolsó, 4. kurzusát, amelynek elsődleges célja az alapszakos államvizsgára, és a mesterszakos felvételre való felkészítés, az ott kapott gyakorlati feladatok megoldásainak oktatása és gyakorlása. A kurzusom volt annyira népszerű, hogy a BSc végzős fizikus hallgatók is beültek, akiknek órarendjük szerint nem kötelező a tárgy hallgatása. A félév során házi feladatokkal igyekeztem az órán megszerzett ismereteket elmélyíteni, és önálló gondolkodásra készíteni a hallgatóságot számosságában nem sok, de összetettebb feladatokkal. Emellett egy félév végi zárthelyivel teszteltük, hogy éles vizsgaszituáció alkalmával is képesek-e felidézni a megjegyzendő képleteket, módszereket. A hallgatóság nagyon szépen teljesített, a legtöbb jegy jeles, és mindenki sikeresen teljesítette a tárgyat, államvizsgára, felvételre késznek látom őket.

A feladatmegoldás mellett minden félévben nagy hangsúlyt fektetek arra, hogy akár együttműködések útján, de mindenképp szervezzek gyakorlati észlelést, vagy azzal kapcsolatos foglalkozást a diákoknak. Ebben a félévben a Gyulai Napfizikai Observatórium támogatásával Gyulára, az obszervatórium épületébe látogattunk, ott töltöttünk egy éjszakát, tartottunk előadást napfizikáról és a mérési folyamatról, adatfeldolgozásról, valamint a hallgatók megnézhatték a mérőeszközöket és betekintheztek az észlelők mindennapjaiba.

- (1) Csillagászati észlelési gyakorlatok 4. (cseszlgyk4g17ga), 3 kredit, heti 2 óra gyakorlat - 15 fő, államvizsga és MSc felvételi előkészítő, féléves házik + ZH

Szakmai közéleti tevékenység

Az egyetem publikus rendezvényein a Fizikai Intézet, illetve a Csillagászati Tanszék felkérésére igyekszem lehetőségeimhez mértén megjelenni. Ebben a félévben a Kutatók Éjszakáján tartottam planetáriumi előadást, majd esti távcsövezést doktori kollégák, valamint asztrofotózásban is jártas, észlelési gyakorlatos hallgatóim segítségével. Valamint a TTK nyílt napon népszerűsítettem a csillagász képzésünket, és tartottam az érdeklődőknek planetáriumi előadást.

- (1) Kutatók éjszakája, 2023. szept. 29., planetáriumi előadás, távcsöves észlelés
- (2) TTK nyílt nap, 2023. dec. 12., planetáriumi előadás