

2. 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 féltékről 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).

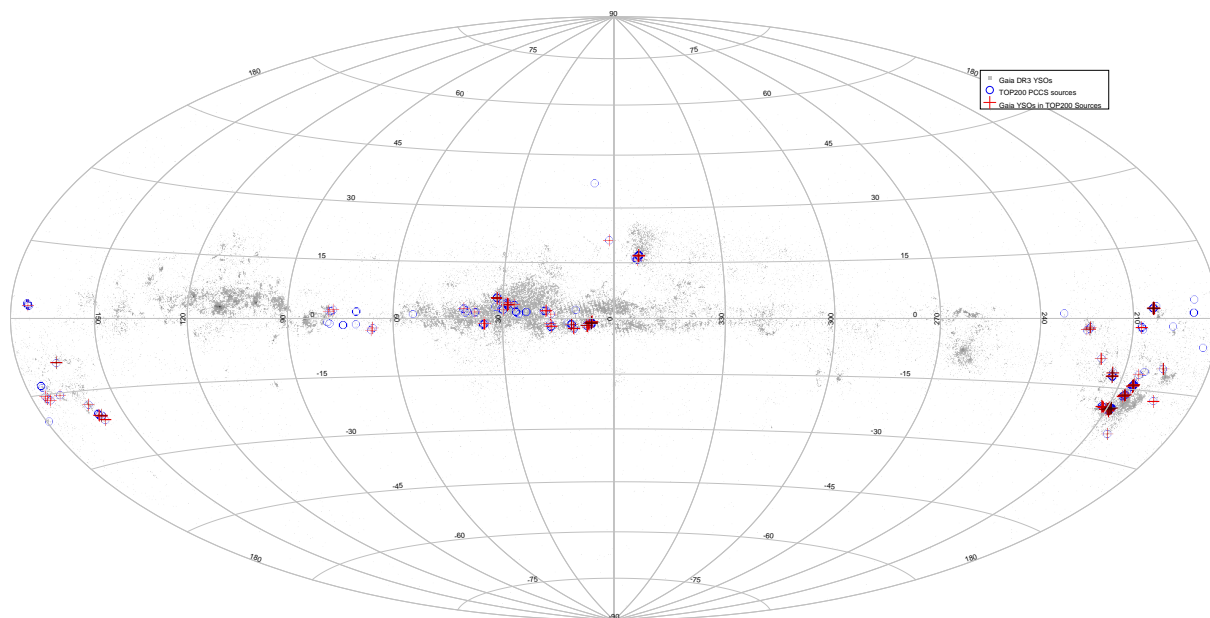
Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése:

Galaktikus csillagkeletkezés - TOP200

A szubmilliméteres képfeldolgozáshoz előző félévben kidolgozott zajszámítási módszerem, és az azzal újrafuttatott kompakt forrás keresés eredményeként előállt frissített katalógusom a kutatást végző nemzetközi kutatócsoport által véleményezésre és elfogadásra került. David Eden, a módszer megalkotója, a TOP200-at megelőző korábbi kompakt forrás publikáció szerzője személyesen is ellenőrizte az intenzitástérképekből alkotott hisztogramjaimat, az azokra illesztett Gauss eloszlásokat és az abból számolt zaj értékeket. A módszert megbízhatónak értékelte.

A képek kvalitatív vizsgálata során azonban az új módszer alkalmazása mellett is találtam hibát, leginkább fel nem ismert csomókat. Úgy gondolom, lehet még hatékonyabb módszert találni a jelenleg alkalmazott csomókeresési algoritmusnál (CLUMPFIND) az előre megadott paraméterekkel. Megterveztem egy új módszert, amely a csomókeresés paramétereit a vizsgálandó kép tulajdonságaihoz alakítja, úgy mint az intenzitás eloszlása, minimuma és maximuma, valamint a számított zaj érték. Ennek a módszernek az implementálását és tesztelését elvégzendő feladatnak tűztem ki a következő félévre. Emellett következő szemeszterben gépi tanulás kurzust veszek fel az egyetemen, és a megszerzett ismeretek birtokában tesztelek gépi tanuláson alapuló mintafelismerő módszereket is a csomókeresésre.

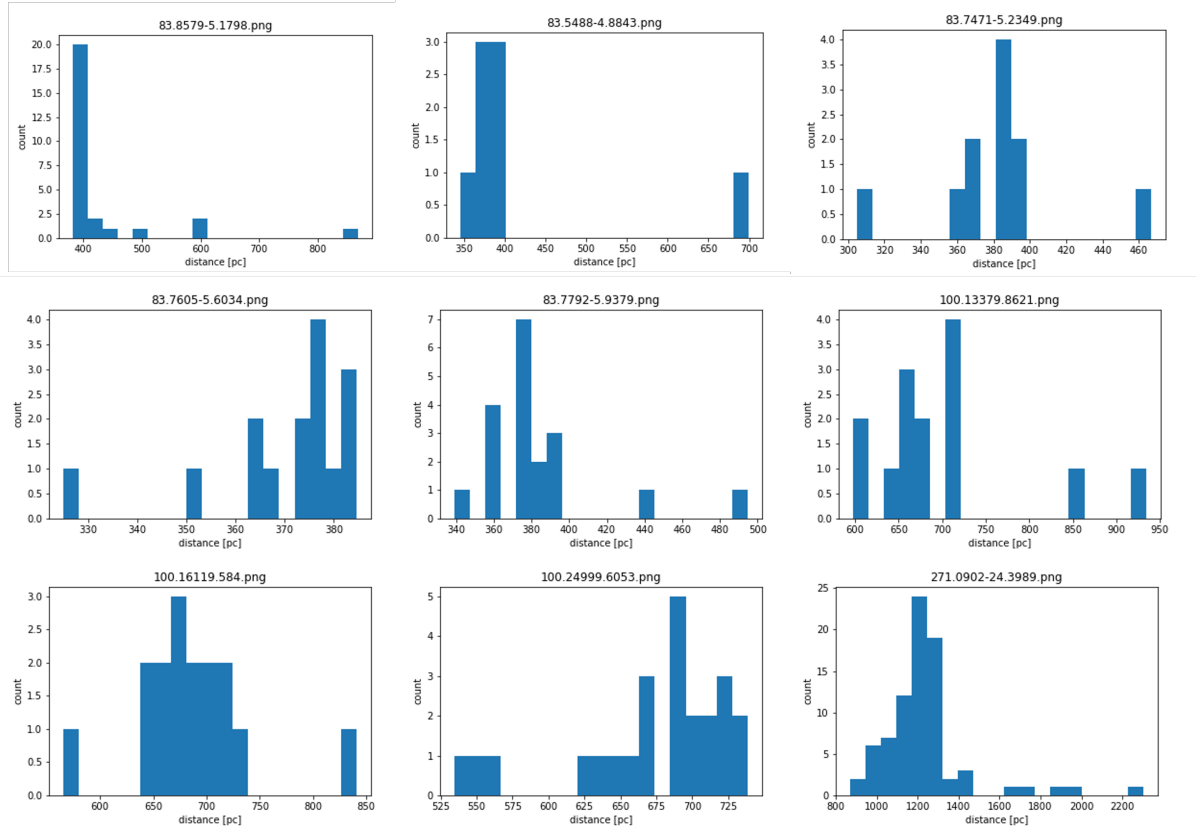
Kidolgoztam a vizsgált forrásaim első távolságbecslési módszerét Gaia adatok használatával. Ehhez a Gaia YSO (proto- és fiatal csillag) katalógus forrásainak távolságát vizsgáltam a forrásaim irányában. A 1. ábrán látható a találatok eloszlása: 763 Gaia YSO objektumot találtam 122 TOP200 forrásban.



1. ábra. Gaia YSO célpontok piros kereszttel jelölve a TOP200 forrásaim irányában, melyeket kék kör jelöl.

A találatoknak területenként előállítottam a hisztogramjait, távolság függvényében a

talált darabszámot, amin meg lehet vizsgálni, hogy látni-e valahol egyértelmű sűrűségváltozást, ami azt jelzi, hogy egy távolság körül csoportosulnak adott irányban a csillagkezdemények. Ha egy TOP200 forrás irányában egy darab csoportosulást találunk, az erős jele annak, hogy a forrás abban a távolságban található.



2. ábra. Gaia YSO források eloszlása TOP200 források irányában, jól azonosítható csoportosulásokkal.

A 2. ábrán példákat mutatok olyan eloszlásokra, amelyeken jól azonosíthatóak fiatal csillagok csoportosulásai. Ezek Gaia távolságait használhatom a valószínűsíthetően asszociált SCUBA2 szub-mm-es források távolságbecslésére.

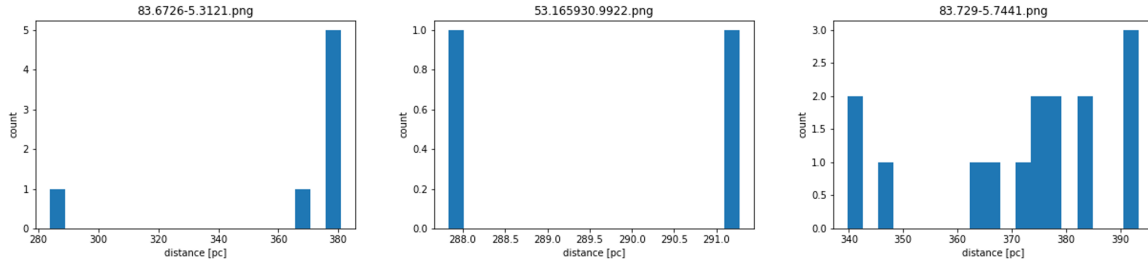
A 3. ábrán mutatok három példát olyan eloszlásokra, amelyek nem egyértelműen jeleznek csoportosulást, ám vagy olyan bináris eloszlások, melyek egyik fele sűrűbb, ezért az kijelölhető a csillagkeletkezési terület valószínűbb elhelyezkedésére, vagy a talált csillagkezdemények az eloszlás alakjától függetlenül, valójában közel helyezkednek el egymáshoz.

A 4. ábrán pedig olyan példákat mutatok eloszlásokra, melyek távolságbecslésre alkalmatlanok.

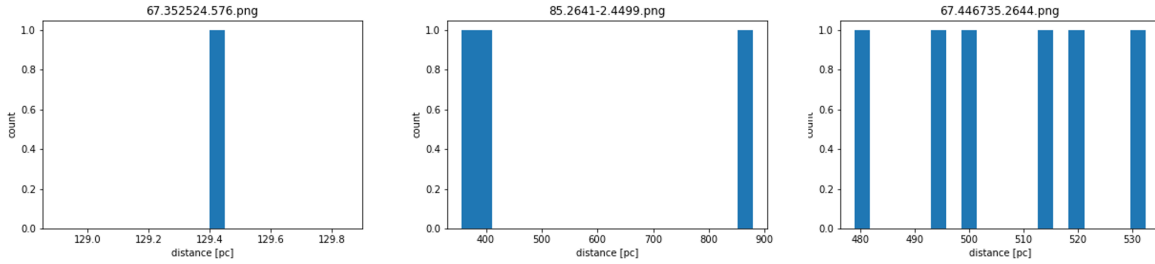
A jól azonosítható eloszlásokra Gauss görbe illeszthető, amely középértéke meghatározza a becsült távolságot.

Extragalaktikus csillagkeletkezés - Kölcsönható galaxisok

Személyes kontribúcióm az extragalaktikus projekthez ebben a szemeszterben az M51 és az Arp 84 kölcsönható galaxispárokban a csillagkeletkezési aktivitás és a csillagközi anyag



3. ábra. Gaia YSO források eloszlása TOP200 források irányában, kérdéses eloszlásokkal, melyek talán hasznosíthatóak.



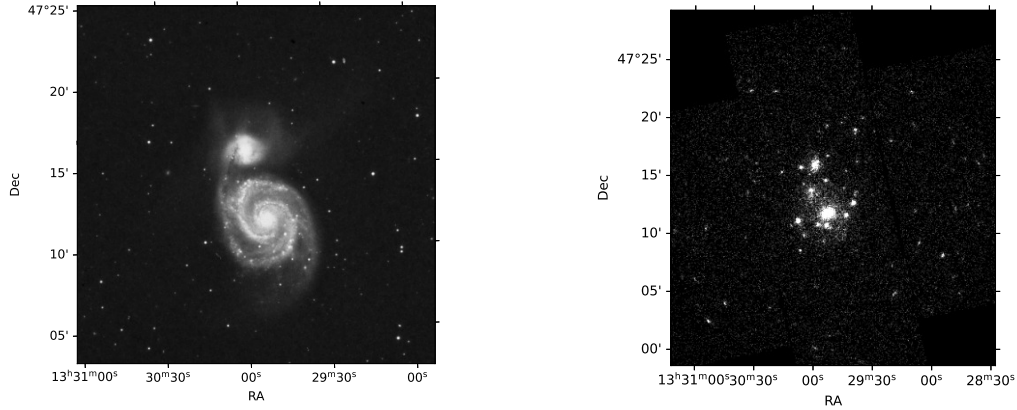
4. ábra. Gaia YSO források eloszlása TOP200 források irányában, távolságbecslésre alkalmatlan eloszlásokkal.

fémességének a vizsgálata volt.

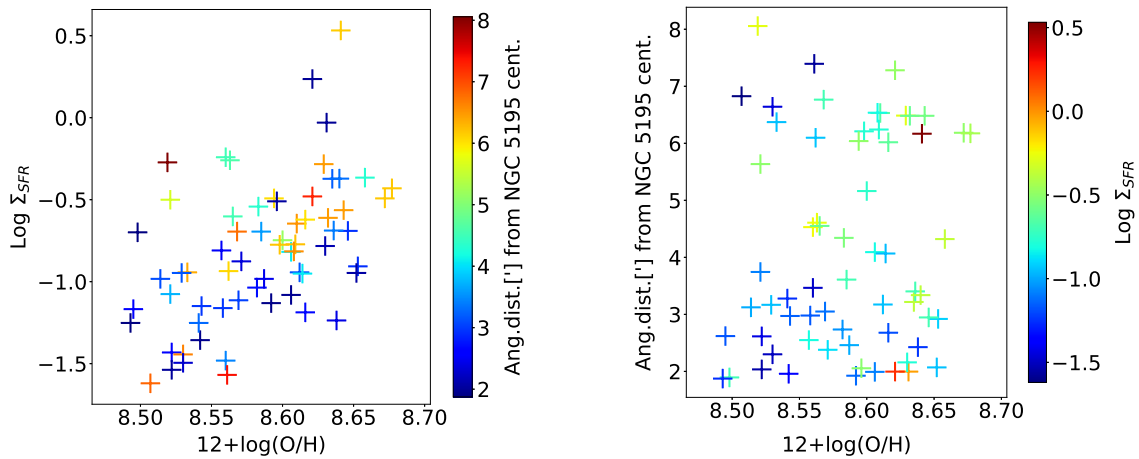
Az M51 galaxispárról (a központi galaxis NGC 5194 és kisebb kísérője NGC 5195, **5. ábra**) irodalomban és archívumban található adatokat dolgoztam fel, elsősorban Wei et al. 2020-as publikációjában bemutatott csillagkeletkezési területek számított fizikai paramétereiből kiindulva.

Korrelációanalízist végeztem a felületi csillagkeletkezési ráta sűrűség (Σ_{SFR}), a fémesség, és az elhelyezkedés között, ez utóbbit a kölcsönhatásban résztvevő kisebb galaxis, az NGC 5195 középpontjától mért távolsággal vizsgálva. Az eredményeim röviden bemutatom a **6. ábrán**. Lineáris korrelációt találtam Σ_{SFR} és a fémesség között $PCC = 0,51$ Pearson korrelációs együtthatóval (Pearson Correlation Coefficient), valamint a paramétertérben az adatok két csoportját azonosítottam, melyek a kisebb kölcsönható galaxishoz közelebb, illetve távolabb találhatóak, a közelebbi csoportban arányában több alacsonyabb csillagkeletkezési aktivitással rendelkező területtel.

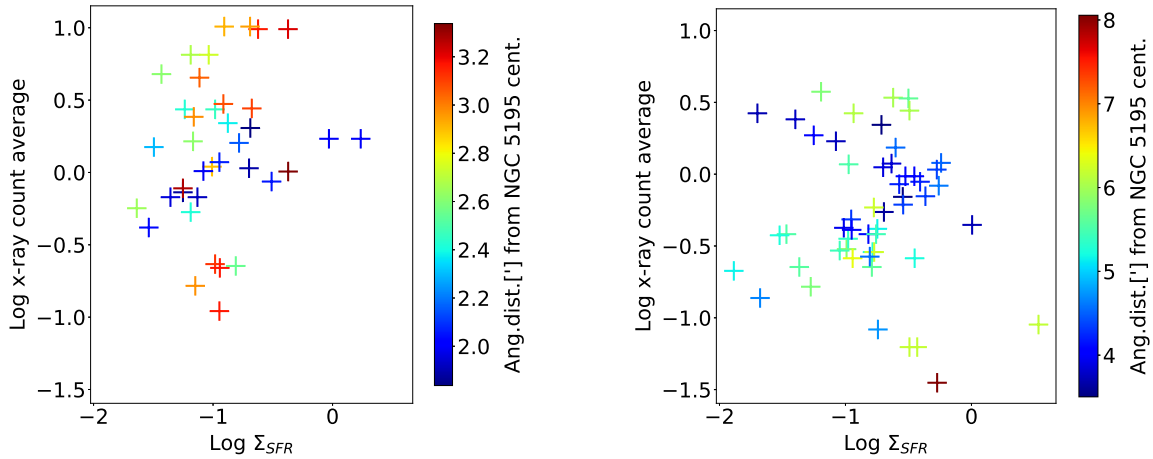
Az irodalmi adatok elemzése mellett röntgentartományú mérési adatokat is feldolgoztam az M51 galaxisról, az XMM Newton archívumából, és ezek korrelációanalízisét is elvégeztem. A röntgenképeken a Wei et al. (2020) által kijelölt területek mindegyikén integráltan a mért röntgenfluxust a háttérből számított zajt levonva, és az így kapott értéket tudtam a publikált tulajdonságokhoz hasonlítani. Az eredményeim röviden bemutatom a **7. ábrán**. A röntgen fluxus és a csillagkeletkezési ráta között gyenge lineáris korrelációt találtam $PCC = 0,11$ együtthatóval, és a paramétertérben két különböző trenddel bíró csoportot azonosítottam. Ezek: (1) a kölcsönható régió - **7.a** ábra; és (2) az ezeken kívüli területek az NGC 5194 galaxisban - **7.b** ábra.



5. ábra. M51 galaxispár: az NGC 5194 (M51a) spirálgalaxis és kisebb kísérője, az NGC 5195 (M51b). **a)** Balra: látható tartományú kép, Palomar Observatórium, **b)** Jobbra: röntgentartományú kép, XMM Newton



6. ábra. Wei et al. (2020) által kiválasztott 75 pc átmérőjű területek számított paramétereinek közötti összefüggések elemzése. **a)** Balra: Σ_{SFR} a fémesség függvényében. A színskála az NGC 5195 (a kisebb galaxis) középpontjától vett távolságot jelzi. Lineáris korrelációt látunk 0,51 Pearson korrelációs együtthatóval. **b)** Jobbra: Szögtávolság a fémesség függvényében. A színskála a Σ_{SFR} -t jelöli. Az NGC 5195 középpontjához közelebb nagyobb arányban találunk alacsonyabb Σ_{SFR} értékeket.



7. ábra. Átlagos instrumentális röntgenfluxus a Wei et al. (2020) által kiválasztott területeken, a Σ_{SFR} függvényében. A színskála az NGC 5195 középpontjától vett távolságot jelzi. Két csoportot tudunk elkülöníteni. Balra: az NGC 5195 középpontjához közelebbi területek, nagyrészt a kölcsönható régióban. Jobbra: nagyrészt a kölcsönható régió kívüli területek az NGC 5194 galaxisban. Az azonos színskála más értékeket jelöl a két ábrán.

Publikációk:

- (1) A. P. Joó, B. Koncz, E. Pichler: Investigating star formation in nearby interacting galaxies, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso*, 2023, submitted.
- (2) B. Koncz, A.P. Joó, S. Pintér: Investigating star formation in Illustris TNG galaxy mergers *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso*, 2023, submitted.

Konferencia részvétel:

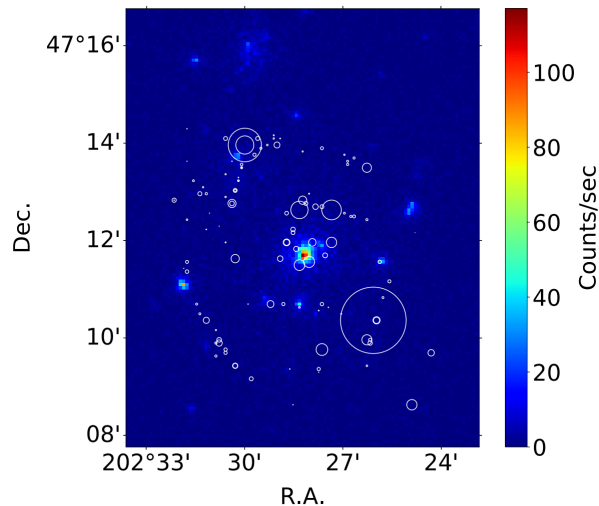
A félév során több nemzetközi konferencián vettem részt sikeres részvételi pályázattal. Az Olympian Symposium konferenciára emellett részfinanszírozást is sikerült elnyernem az ELTE Tehetség gondozási Tanács utazási pályázatán.

A TOP200 projektben elvégzett munkámat két helyen is bemutattam (HERA Workshop Garching, Olympian Symposium Paralia), és számos visszajelzést sikerült begyűjtenem posztdoktor valamint senior kutatóktól is. Alapvető elismerés mellett több javaslatot kaptam azt illetően, hogy többféle hullámhosszon mért adatokra lenne szükség a vizsgált területeim átfogóbb karakterizálása érdekében. Emellett a kompakt forrás kereső algoritmus hatékonyságának a növelését célzó javaslatokat is kaptam, más algoritmusokra tippet, és elsősorban gépi tanulási módszerek használatát. A kapott javaslatokat beépítettem a következő féléves munkatervembe, és előkészítettem a doktori iskolában egy külsős tantárgy felvételét, amely keretében magas szinten oktatnak gépi tanulást, elméleti és gyakorlati foglalkozásokkal egyaránt. Az ott oktatott ismereteket azonnal hasznosítani tervezem a kutatásomban.

Emellett az Olympian konferencián két kutatási együttműködésben is megállapodtam nemzetközi kutatókkal. (1) Dana Alina kazah egyetemi professzorral az általam vizs-

gált csillagkeletkezési területek filamentumainak vizsgálatában terveztünk együttműködni. Ezek a filamentumok a kompakt források mellett általában jelen vannak az általam feldolgozott felvételeken, és vizsgálatuk értékes információkkal szolgálhat mindkettőnk kutatása számára, akár a professzor publikációjában való közös szereplés lehetősége is felmerült. (2) Jakub Nadolny tenerifei posztdoktor csoportja szintén az Illustris TNG aklatógusadatainak a feldolgozásával foglalkozik, vele GRB anyaggalaxisminták összeállításában beszéltünk meg együttműködést. A céloom ezzel az általuk alkalmazott módszerek megismerése és azok által a saját kutatásomban használt módszerek fejlesztése.

Poszterrel vettem részt az IBWS konferencián, ahol személyesen nem tudtam jelen lenni. A poszteren a kölcsönható galaxisok csillagkeletkezési területeinek vizsgálatát mutattam be, a kollégáim kontribúciójával együtt, elsősorban egy példára, az M51 galaxispárra fókuszálva. Az irodalmi adatok elemzése mellett kiemeltem az archívumból származó röntgen tartományú mérési eredmények feldolgozását és korrelációanalízisét, amivel a munkánk elsődlegesen kapcsolódott a konferencia egyik témájához, a nagyenergiás asztrofizikához. Az erről szóló ábránkat röviden bemutatom a 8. ábrán.



8. ábra. Csillagkeletkezési területek elhelyezkedése az XMM űrteleszkóp EMOS1 kamerájának röntgenfelvételén. A színskála az instrumentális röntgenfluxust jelöli, a körök nagysága pedig a csillagkeletkezési ráta felületi sűrűségével arányos.

Végül sikeresen pályáztam az idei EAS (European Astronomical Society - Európai Csillagászati Társaság) éves kongresszusára, két poszter bemutatási lehetőséget nyertem, egyet a TOP200 és egyet Illustris összeolvasó galaxisai vizsgálatával. Az idén több, mint 1500 részvevővel bíró konferencia a két szemeszter között, július 10-től 14-ig kerül megrendezésre Krakóban, Lengyelországban. A jelentkezés előtt sikeresen igényeltem junior tagságot az Európai Csillagászati Társaságba, amellyel - más előnyök mellett - az éves kongresszusra való kedvezményes regisztrációra lettem jogosult. Emellett utazási pályázatot is be fogok nyújtani az őszi szemeszter elején, visszamenőleges támogatás reményében.

A Konferenciák tételese:

(1) IAU S377 Early Disk Galaxy Formation - Kuala Lumpur, Malajzia, 2023.febr.06-10.

- Online részvétel IAU támogatással
 - ePoszter: András Péter Joó, Bendegúz Koncz, L. Viktor Tóth - Investigating galaxy mergers in the IllustrisTNG universe simulation
- (2) HERA Galaxy Evolution Workshop - Garching, Németország, 2023. febr.27.-márc.3.
- Előadás: Andras Peter Joo, David Eden, Liu Tie, Sarolta Zahorecz, L. Viktor Tóth - TOP200 Survey of pre- and protostellar cores in the 200 brightest Planck compact sources
 - Visszajelzés a kompakt forrás kereső algoritmus hatékonyságára, javaslat másik algoritmus kipróbálására.
- (3) IBWS 17th Bart/Integral Workshop - Karlovy Vary, Csehország, 2023.máj.22-26.
- Poszter delegáció: András Péter Joó, Bendegúz Koncz, Enikő Pichler, L. Viktor Tóth - Investigating star formation in nearby interacting galaxies
- (4) The Olympian Symposium 2023 - Paralia Katerini, Görögország, 2023.máj.27.-jún.2.
- Elnyert utazási résztámogatás az ELTE Tehetséggondozási Tanácsa pályázatán
 - Poszter és poszterbemutató előadás: András Péter Joó, David Eden, Liu Tie, Sarolta Zahorecz, L. Viktor Tóth - TOP200: Catalogue of pre- and protostellar cores in the 200 brightest Planck compact sources
 - Visszajelzések az adatmezőre és kompaktforráskereső algoritmusra
 - Együttműködés indítása korai csillagkeletkezési területek vizsgálatára Dana Alina kazah egyetemi docenssel. Filamentumok vizsgálata a csomók mellett.
 - Együttműködés indítása Jakub Nadolny tenerifei posztdoktorral Illustris TNG szimulációban GRB anyagaxisok összeállítása témakörben.

Tanulmányi tevékenység:

- (1) FIZ/5/010 Rádiócsillagászat II., 6 kredit
- (2) FIZ/5/006 Adatbányászat a csillagászatban, 6 kredit
- (3) FIZ/5/016 Infrared Astronomy II., 6 kredit
- (4) FIZ/5/031 Az intersztelláris anyag fizikája I., 6 kredit

Oktatási tevékenység:

cseszlgk3g17ga Csillagászati észlelési gyakorlatok 3., 3 kredit, heti 2 óra gyakorlat

Tehetséggondozás:

Az extragalaktikus projektben témavezetett hallgatóm, Koncz Bendegúz, a 2023. évi Országos Tudományos Diákköri Konferencián a Fizika, Földtudományok és Matematika Szekcióban (36. OTDK FIFÖMA) második helyezést ért el. Ez a szemeszter végén beadott ÚNKP pályázatában nagy szereppel bír. Emellett segítettem neki felkészülni az IBWS konferenciára, valamint az ELTE Tehetséggondozási Tanácsa kiutazási támogatás pályázatában.