

# 사단법인 한국천문학회 학계보고서

경북대학교 천문대기과학과 .....	73
경희대학교 우주과학과 및 우주탐사학과 .....	74
고등과학원 .....	78
부산대학교 지구과학교육과 .....	80
서울대학교 물리·천문학부 천문학 전공 .....	82
세종대학교 천문우주학과 .....	90
연세대학교 천문우주학과 .....	95
울산과학기술원 .....	100
충남대학교 천문우주과학과 .....	102
충북대학교 천문우주학과 .....	104
한국천문연구원 .....	109



## 경북대학교 천문대기과학과

### 1. 인적사항

본 학과의 천문학 전공 교수는 박명구, 윤태석, 장현영, 김민진, 김재영 회원이다. 김재영 회원은 2022년 3월에 본 학과에 부임하였고, 황재찬 회원은 2021년 8월에 IBS로 이직하였다. 동교 사범대학 지구과학교육과의 심현진 회원도 대학원생 논문지도를 맡고 있다. 현재 구재림, 김태현, 정일교, 박대성 회원이 연구교수로, 한두환, 김용정 회원이 박사후연구원으로 본 학과에서 천문학 연구를 수행하고 있다.

본 학과 학부과정은 자연과학대학 지구시스템학부 천문대기과학전공이며 대학원과정은 천문대기과학과와 천문학과로 분리되어 있다. 2022년 3월에는 89명의 신입생이 수시 및 정시모집으로 지구시스템과학부에 입학하였고, 22명의 학생들이 2학년으로 올라오면서 천문대기과학전공으로 진입하였으며, 3명이 3학년으로 편입으로 들어왔다. 천문대기과학전공 학생은 천문학과 대기과학과목들을 자유롭게 선택하여 공부할 수 있다. 천문학전공 대학원에는 2022년 3월에 2명의 석사과정 학생, 1명의 박사과정 학생이 입학하여 현재 5명의 석사과정 학생과 6명의 박사과정 학생이 재학 중이다. 2021년 8월에는 김기범 회원(지도교수 장현영)이 'Astero seismic analysis of solar-like stars'로 박사학위를 취득하였다. 2022년 2월에는 오명환 회원(지도교수 박명구)이 'Accelerated proton produced by magnetic Penrose process in Sgr A\*'로, 성지연 회원(지도교수 김민진)이 'SDSS 시계열 분광자료를 활용한 특이 활동성 은하핵 탐색'으로, 박수환 회원(지도교수 김민진)이 'BOES CCD의 제어장치 업그레이드에 따른 시스템 성능 측정 연구'로 석사학위를 취득하였다.

### 2. 연구 및 학술활동

박명구 회원은 천문연구원의 김강민 회원, 박찬 회원, 이병철 회원, 한인우 회원, UST 최연호 회원 등과 외계행성투과스펙트럼에 최적화된 분광측광기 SPECTR를 개발 완료하여 관측에 활용하고 있다. 또한 경북대 구재림 회원, 박사과정 방태양 회원 및 천문연구원의 외계행성 연구팀과 BOES를 이용하여 외계행성 탐색 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 또한 박사과정 오명환 회원과는 블랙홀 자기권에서 가속되는 고에너지 우주선입자에 대한 연구, 경북대학교 한두환 회원과는 블랙홀 부착현상, 경북대학교 김태현 회원, 천문연구원 이윤희 회원, 부산대학교 안홍배 회원과는 막대은하에 대한 연구를 수행하고 있다.

윤태석 회원은 석사과정 오형일 회원, 경희대학교 이정은 회원 연구팀, 한국천문연구원 성현일 회원과 FU

Ori 형 별에 대한 가시광선-근적외선 영역에서의 분광학적 및 측광학적 관측 연구를, 박사과정 김수현 회원, 석사과정 오형일 회원, 한국천문연구원 성현일 회원과 공생별 및 Ia 형 초신성에 대한 가시광선 영역에서의 분광학적 관측 연구를 수행하고 있다. 이를 토대로, 백색왜성을 한 구성원으로 하는 상호작용쌍성(interacting binary stars)에 대한 연구로 발전시키고 있다. 그리고, 충남대학교 Tobias Hinse 회원과 식쌍성과 트랜짓 외계행성에 대한 연구를 공동 수행하고 있다.

장현영 회원은 태양 흑점과 표면 자기장의 공간 분포를 분석하여 태양 자기장 생성에 관한 연구를 수행하고 있고, 우주환경과 장주기 기후 변화의 관계를 연구하고 있다. 박사과정 조윤아 회원과 Kepler, TESS 위성 자료를 이용하여 항성 진화와 구조를 성진학적 관점에서 연구하고 있으며, 중국의 Zhibin Zhang 박사와 GRB의 모체 연구를 진행하고 있다.

김민진 회원은 경북대의 손지원 회원, 천문연구원의 정웅섭 회원, 양유진 회원 및 한국의 SPHEREx과학연구 그룹과 함께 적외선 자료를 이용한 활동성 은하핵 중심부의 구조의 특성에 관한 연구를 수행하고 있다. 경북대 손수연 회원과 Aaron Barth (UCIrvine), Luis Ho (KIAA) 등과 고에너지엑스선으로 찾은 활동성 은하의 허블 이미지를 이용해서 블랙홀과 모은하의 공진화에 관한 연구를 진행 중이다. 또한 손수연 회원과 공동으로 가까운 활동성 은하핵의 변광특성 연구를 수행하고 있다. 천문연구원의 변우원 회원, 신운경 회원 및 천문연구원 연구팀(김상철, 선광일, 박병권, 이준협, 정현진 회원)과 함께 KMTNet망원경을 이용하여 가까운 은하의 깊은 이미징 자료를 얻어서 은하의 바깥 영역에서의 물리적 특성에 대한 연구를 수행 중이다. Mar Mezcua (ISSC) 등과 중간질량블랙홀 후보의 분광학적 특성을 이해하고자 하는 연구를 수행 중이다. 김동찬, 윤일상 (NRAO), 메타스페이스의 김지훈 회원 등과 함께 블랙홀 병합에 의해서 탈출하는 블랙홀을 찾기 위한 연구에 참여하고 있다.

김재영 회원은 국내외 연구자들과 협동하여 활동성 은하핵 중심부 거대블랙홀들의 사건의 지평선 근방의 물질 강착, 제트방출, 고에너지 복사 방출 메커니즘 연구를 수행하고 있다. 국내 이상성, 손봉원, 정태현, 변도영 회원(천문연구원) 과 더불어 다수의 국제 연구자와 함께 KVN, VLBA, ALMA, 우주초장기선간섭계 RadioAstron 등을 이용하여 M87 등 최근접 전파은하들의 제트발생 및 TeV 감마선 생성지역을 직접 영상화 하는 연구를 수행중이며, G. Paraschos, T. P. Krichbaum (MPIfR), A. P. Marscher, S. G. Jorstad (Boston U.), 오정환, J. Hodgson 회원 (세종대) 등과 함께 근접 전파은하 3C84 제트기저부의 형태와 감마선 방출이 지난 수십년간 함께 변동해 온 양상을 연구중이다. 또한 I. Agudo (IAA), 이상성, 강신철 회원 (천문연구원) 과 함께 IRAM 30m,

KVN 등을 포함한 국제 블레이자 모니터링 관측망을 통한 감마선 폭발 블랙홀 천체 다수를 연구중이며, EHT 국제 공동연구단 및 EHT 다파장 연구단과 함께 M87 블랙홀 편광 측정, 다파장 제트 역학 및 감마선 발생기작 모델링, 3C 279를 비롯한 AGN jet 기저부 구조 영상화, 우리은하 중심블랙홀 Sgr A\* 데이터 분석 또한 수행중이다. 현재 차세대 EHT 망원경 건설과 관련한 Jet/Accretion Science WG 매니지먼트 역할을 M. Lister (Purdue U.), R. Narayan (CfA Harvard), C. M. Fromm (Univ. of Wuerzburg) 과 함께 맡고 있으며, 또한 SKA 망원경 건설추진을 위한 SKA 한국 과학자 모임 활동에 손봉원, 강현우, 김민선, 이민영 (천문연구원), 오세현 (세종대) 회원과 함께 기여하고 있다.

본 학과는 시민과 학생들을 위해 학기 중 매달 일반인을 위한 공개관측과 공개강연행사인 “밤하늘 이야기”를 열고 있으며 지역의 대표적인 과학 행사로 자리 잡았으나, 현재는 코로나 상황으로 인해 행사를 잠정적으로 중단한 상태이다.

### 3. 연구시설

본 학과는 계산 및 관측자료 처리를 위해 Intel server/cluster 및 다수의 워크스테이션을 운영하고 있다. 경북대 천문대에는 천체 관측 실습을 위한 31cm 뉴턴식 반사망원경이 설치되어 있으며 그밖에 H alpha 및 Ca K 태양망원경을 비롯하여 다수의 소형 반사 및 굴절 망원경 그리고 Fujinon 25x150 대형쌍안망원경 등을 교육 및 연구에 활용하고 있다. 또한 이동식 천체투영시스템도 교육에 활용하고 있다.

## 경희대학교 우주과학과 및 우주탐사학과

### 1. 인적사항 및 주요동향

1985년에 창립되어 2022년에 37주년이 되는 경희대학교 우주과학과는 현재 응용과학대학에 소속되어 있고 학사과정과 함께 대학원에 석사, 박사, 석박사 통합과정을 두고 있다. 2009년 WCU(세계수준의 연구중심대학) 사업의 일환으로 대학원에 신설된 우주탐사학과는 석사, 박사, 석박사 통합과정을 두고 있다.

경희대학교 우주과학과와 우주탐사학과에는 2022년 3월 현재 총 13명의 교수(김관혁, 김성수, 문용재, 박수종, 선종호, 이동훈, 이은상, 이정은, 전명원, 진호, 최광선, 최윤영, Tetsuya Magara)가 강의와 연구를 수행하고 있다. 2017년 정년 퇴임한 김상준 회원, 2019년 정년 퇴임한 김갑성 회원, 그리고 2021년 퇴임한 장민환 회원은 명예교수로 재직 중이다. 현재 우주과학과장은 이정은

회원이며, 우주탐사학과장은 최윤영 회원이 맡고 있다.

우주과학과는 경희천문대와 함께 매년 다수의 공개 관측회를 개최하여 본교 학생들뿐만 아니라 일반인들에게도 천문현상을 접할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 매년 하계방학 중, 우주과학과 학생회는 학과 및 천문대의 지원으로 중고생을 위한 우주과학캠프를 개최하여 청소년들에게 천문학 및 우주과학에 대한 체험의 기회를 부여하고 있다.

우주과학과 학부는 올해 41명의 신입생을 맞이했으며 약 171명이 재학 중이다. 대학원 우주과학과/우주탐사학과에는 총 27명의 대학원생(석사 13명, 석박통합 5명, 박사 9명)이 재학하고 있다. 우주탐사학과 대학원에서 2021년 8월 이후 다음과 같이 석사 5명, 박사 5명이 학위를 받았다.

#### \* 석사 졸업 - 5명

- 박우석 (21년 8월, 우주탐사학과 지도교수 이정은)
- 김철환 (22년 2월, 우주탐사학과, 지도교수 이정은)
- 박현후 (22년 2월, 우주탐사학과, 지도교수 진호)
- 신찬희 (22년 2월, 우주탐사학과, 지도교수 진명원)
- 장운호 (22년 2월, 우주탐사학과, 지도교수 진호)

#### \* 박사 졸업 -5명

- 이희원 (21년 8월, 우주탐사학과, 지도교수 이정은)
- 이효정 (21년 8월, 우주탐사학과, 지도교수 진호)
- 최지원 (21년 8월, 우주탐사학과, 지도교수 이동훈)
- 이강우 (21년 8월, 우주탐사학과, 지도교수 문용재)
- 윤형식 (22년 2월, 우주탐사학과, 지도교수 이정은)

### 2. 연구 및 학술 활동

#### 천체물리연구실

김성수 회원이 이끄는 천체물리연구실에서는 달 탐사, 월면에서의 우주풍화(space weathering), 지구 대기 중 미세먼지 및 수증기 탐지 등의 연구를 수행하고 있다. 김성수 회원은 2019년 3월부터 월면 우주풍화 현상에 대한 최초의 통합모형을 도출하는 5년 기간의 연구과제를 수행 중에 있다. 천체물리연구실이 과학 임무 개발에 참여한 KPL0/PolCam 기기가 올해 내내 달 궤도에 진입할 예정이며, CLPS/GrainCams 기기는 현재 한국천문연구원에서 개발 중에 있다. 지구 대기 중 미세먼지 및 수증기를 탐지 연구는 천문연구원 및 미국 NASA Langley 연구소와 공동으로 진행되는 연구로, 현재 12U 크기의 초소형 편광 카메라 개발이 진행되고 있다. 김성수 회원은 주소속을 2022년 1월부터 교내 교양학부인 후마니타스 칼리지로 변경하였으며, 대학원 우주탐사학과에서는 겸직교수로 연구와 교육을 계속 수행한다. 백길호 회원은 달 크레이터 벽면의 방향에 따른 우주풍화 양상을 통계적인 방법으로 연구하고 있다. 김진규 회원은 미국 Sierra Remote Observatory에 있는 원격 편광 망

원경을 이용하여 월면 표토에 대한 polarimetric speckle image 분석을 수행하고 있으며, 반사각이 매우 큰 경우에 대한 월면 편광 실험 연구도 병행하고 있다. 김세린 회원은 월면에서의 풍화 현상과 편광 특성에 대한 기초 연구를 수행 중에 있다.

### 태양우주기상연구실

문용재 회원이 이끄는 태양우주기상연구실(Solar and Space Weather Laboratory)은 태양 및 우주기상 연구를 수행하고 있으며 최근 딥러닝을 활용한 여러 연구 결과를 수행하고 있다. 2021년 8월에이강우 회원이 박사학위를 받았다. 2022년 3월 현재 연구교수 10인(신준호, 이진이, 성숙경, 박진혜, 조일현, 지은영, 강지혜, 유대중, 이하림, 장수정), 박사후 5인(박은수, 임다예, 로렌스, 나현욱, 이강우), 박사과정 7인(박종엽, 김진현, 전성경, 김태영, 정현진, 수미야, 손지현) 및 석사과정 4인(신승헌, 임진구, 이재원, 카리모프)이 연구를 함께 하고 있다. 신준호 회원은 '태양 플라즈마의 수직 구조 변화 연구', 이진이 회원은 '태양 분출 플라즈마의 질량 및 에너지 연구', 성숙경 회원은 '딥러닝을 이용한 고시간 분해능 동영상 생성 연구', 박진혜 회원은 '딥러닝을 이용한 태양풍 예보 연구', 조일현 회원은 '코로나에서의 태양풍 연구', 지은영 회원은 '딥러닝을 이용한 IRI 모델 개선 연구', 강지혜 회원은 '관측기반 시뮬레이션 모델을 통한 플레어/CME 기작 연구', 유대중 회원은 '코로나 플라즈마의 kink 파동 연구', 이하림 회원은 '딥러닝을 이용한 과거 흑점 자료 복원 연구', 장수정 회원은 '딥러닝을 이용한 코로나 밀도 산출 연구', 박은수 회원은 '딥러닝으로 생성된 영상을 이용한 태양 대기 DEM 결정 연구', 임다예 회원은 '딥러닝을 이용한 단기 플레어 예보 연구', 로렌스 회원은 '딥러닝을 이용한 코로나그래프 영상 생성 연구', 나현욱 회원은 'CME 콘 모형을 이용한 할로 CME 질량 결정 연구', 박종엽 회원은 'NASA 핵심 비행 시스템 응용 소프트웨어 개발', 이강우 회원은 '딥러닝 플레어 모델의 시각화 연구', 김진현 회원은 '태양 코로나그래프 광학 설계 및 검증 연구', 전성경 회원은 '딥러닝을 이용한 태양 자기장 영상 예보 연구', 정현진 회원은 '딥러닝 자료를 활용한 태양 3차원 자기장 외삽 연구', 수미야 회원은 '딥러닝을 이용한 태양 자기유체역학 수치모델 결과 산출 연구', 신승헌 회원은 '딥러닝을 이용한 Kp 예보 연구', 손지현 회원은 '딥러닝을 이용한 태양풍 예보 연구', 임진구 회원은 '딥러닝을 이용한 TEC 예보 연구'를 수행 중에 있다.

### 적외선실험실

박수중 회원이 지도하는 적외선실험실은 광학/적외선 천문기기의 제작과 천체관측 연구를 한다. 2022년 3월 현재 적외선 실험실에는 박사과정 지태근, 한지민, 안호재 회원, 석사과정 김창곤, 양민경 회원이 있다. 그리고

우주과학과 이수민, 김도훈, 전민규, 김교익, 정대한 회원이 학부 연구생으로 연구에 참여하고 있다.

본 적외선실험실은 2020년 8월 부터 5세대 SDSS (Sloan Digital Sky Survey) 의 관측기기 LVM (Local Volume Mapper) 연구에 참여하여 제어소프트웨어 개발을 담당하고 있다. LVM 기기는 미국 카네기천문대의 주도로, 텍사스 주립 대학, 와싱턴 주립대학, 아리조나 주립대학, 독일 막스플랑크 연구소, 호주 국립천문대, 칠레 라세레나 대학 등이 참여하고 있다. LVM 은2022년 말부터 칠레 라스캄파노스 천문대에서 우리은하와 가까운 은하의 전천 관측을 수행할 계획이다.

2014년 7월부터 시작한 미래창조과학부의 우주핵심기술개발사업 "우주 적외선 관측을 위한 알루미늄 비축 반사망원경의 시험모델 개발" 연구는 2019년 6월에 성공적으로 마무리하고, 2020년 6월부터는 무인이동체 원천 기술개발사업에 참여하여 무인이동체 임무장비 광학계 설계 및 분광영상 모델개발 연구를 시작했다. 본 연구에서는 스마트IT융합시스템연구단 장승혁 박사와 공동으로 개발한 비축반사망원경 설계, 제작, 조립기술을 적용하여 자유곡면 알루미늄 반사경 3장으로 유효구경 40mm 초점/구경 비 1.9인 선형비점수차가 제거된 비축반사망원경 (LAF-TMS, Linear Astigmatism Free - Three Mirror System)을 제작하고 조립 정렬 연구를 진행 중이다. 그리고 2020년 12월 부터는 연구재단의 한-프랑스 협력기반조성사업에 참여하여 파리천문대 David Valls-Gabaud 교수와 "우주의 최저 표면 밝기를 관측하는 MESSIER 탐사위성의 타당성 조사 연구"를 공동으로 수행하고 있다. 이 연구에서는 유효구경 400mm 초점/구경 비 3인 선형비점수차가 제거된 우주망원경을 설계하고 제작 타당성을 검토하고 있다.

그리고 2022년 1월 부터는 한국천문연구원원의 차세대 중력파 검출기 국제공동개발 참여를 위한 레이저 간섭계 첨단기술 개발 사업에 참여하여 위탁연구로 양자조임상태 광원의 모드매칭 기술연구를 시작했다.

### 우주과학탐재체연구실

선종호 회원이 지도하고 있는 우주과학탐재체연구실(Space Science Instruments Laboratory)은 근지구 우주과학을 연구하기 위해 인공위성 탐재체를 개발하고 있다. 2018년 8월 서훈규 회원이 박사학위, 2019년 2월 이훈 회원이 석사학위, 그리고 2020년 2월 신유철, 우주 회원이 박사학위 그리고 신승혁, 이현상 회원이 석사학위를 취득하였다.

2020년 9월 현재 연구교수 2인(채규성 박사, 나고은 박사)과 박사과정 1인(설우형), 석박통합과정 1인(이찬형)이 연구를 함께 하고 있다. 우주과학탐재체 연구실은 연구실 구성원들이 함께 탐재체를 개발하고 발사하여 우주 환경에서 관측된 데이터를 해석하고 물리현상을 연구함이 목적이다. 연구원들은 검출기 Analog/Digital 회로 개발, 입자물리 시뮬레이션, 기계구조 설계 및 테스트, 소

소프트웨어 개발, 우주관측 데이터 해석 등을 직접 수행한다.

우주과학탐재제연구실은 2018년 12월 4일에 미국 캘리포니아주 반덴버그 발사장에서 Falcon-9 에 실려 고도 약 570 km 태양동기궤도에 도착한 차세대 소형위성인 NEXTSat-1의 우주폭풍탐재체(ISSS) 중 하나인 Medium Energy Particle Detector (MEPD)와 2018년 12월 5일 발사된 정지궤도복합위성 2A의 부 탑재체인 우주기상탐재체(KSEM)를 성공적으로 개발 및 발사 운영을 수행하였다. MEPD는 동일한 두 개의 센서로 구성되어 있고, 이를 통해 20 ~ 400 keV 사이의 하전입자를 관측할 수 있으며 KSEM은 정지궤도의 우주방사선 측정 및 지구 자기장 계측, 위성 대전 감시를 수행한다.

우주과학탐재제연구실은 2020년 7월에 시작된 미국 NASA와 한국천문연구원과의 협력 사업인 한미 민간 달착륙선 탑재체 공동연구에 참여하여 달 표면에 입사하는 고에너지 하전입자 및 이차 입자를 관측하기 위한 Lunar Space Environment Monitor (LUSEM) 탑재체 개발을 진행하고 있다. LUSEM은 2024년 미국 NASA의 Commercial Lunar Payload Service (CLPS) 달착륙선에 탑재되어 광학적 특이점인 라이너감마 (Reiner Gamma, 7.5°N 59.0°W) 지역에서 운영될 예정이다. LUSEM은 2022년 현재 공학인증모델 (EQM)의 개발이 완료되어 환경시험을 진행중이고 같은해 비행모델(FM)의 제작도 완료할 계획이다.

#### 우주공간물리연구실

이동훈 회원이 이끄는 우주공간물리 연구실은 우주 플라즈마에서 발생하는 여러 섭동 현상에 대한 이론 및 수치 모델 연구와 위성 관측 연구를 진행하고 있다. 이동훈 회원은 주로 우주 환경에서 발생하는 여러 종류의 지자기 섭동 및 파동 등에 대한 모델 연구를 수행하고 있다. 현재 한국 COSPAR 천문연 박종욱 현 위원장 및 관련 회원들과 함께 노력하여 2024년 COSPAR 총회의 국내 유치에 기여하였으며 학술위원회(SPC) 위원장으로서 성공적인 개최를 위한 노력을 다하고 있다.

최지원 회원은 자기권에서 오랜 동안 미제로 남아 있던 poloidal mode의 연장 수명에 대한 이론적 근거를 제시하는 연구 성과로 박사학위를 받고 현재 박사후 연구원으로 재직 중이다. 이성환 회원은 자기권계면에서의 turbulence에 의한 자기권 섭동 과정에 대한 통계적인 연구를 수행하고 있으며 또한 Danish Naeem 회원은 전리권 및 실험실에서 발생하는 전자 파동에 대한 3-D 수치모델을 개발하여 전리권 교란시 플라즈마 전자 파동의 혼합 현상에 대한 수치실험을 수행하고 있다.

#### 우주플라즈마물리연구실

이은상 회원이 이끄는 우주플라즈마물리 연구실은 위성 관측 데이터 분석과 시뮬레이션을 이용하여 우주플라

즈마에서 발생하는 다양한 물리현상을 연구 중에 있다. 현재 3명의 석박통합 학생(이준현, 김희은, 고영경)과 1명의 석사과정 학생(이종훈)으로 구성되어 있다.

이준현 회원은 Van Allen Probes 위성 데이터를 분석하여 plasmopause 근처에서 수 십 eV에서 수 keV에 이르는 에너지를 갖는 이온의 특성을 연구하고 있다. 김희은 회원은 Cluster 위성 데이터를 분석하여 이온이 지구 bow shock을 통과할 때 발생하는 heating 과정에 대해 연구하고 있다. 고영경 회원은 hybrid 시뮬레이션을 이용하여 지구 bow shock을 통과하는 이온에서 발생하는 플라즈마 불안정성에 대해 연구하고 있다. 이종훈 회원은 입자 시뮬레이션을 이용해 lunar swirl에서 고에너지 플라즈마 입자의 운동에 대해 연구하고 있고, 그 결과를 선종호 회원이 개발 중인 LUSEM 관측 데이터 분석에 활용할 계획이다.

#### 별탄생연구실

이정은 회원이 이끄는 별탄생 연구실은 현재 3명의 박사 후 연구원, 2명의 박사과정 학생과 2명의 석박통합 학생, 그리고 1명의 석사학생이 별의 탄생과 관련된 다양한 연구를 진행 중이다. 이정은 회원은 Cycle 2부터 Cycle 8까지 ALMA를 이용하여 매년 관측을 수행해 왔다. Cycle 5에서 얻은 관측자료를 바탕으로 폭발 중인 원시성인 V883 Ori의 원시행성계원반에서 복잡한 유기분자를 검출하였고, 2021년 Cycle 7에서 후속 관측을 수행하여 더 많은 유기분자를 발견하여 분석 중에 있다. 또한 2021년 밝아진 원시성 HOPS 373에 대한 ALMA ToO 관측을 수행하고 데이터를 분석하여 그 결과를 곧 투고할 예정이다. 백기선 회원은 ALMA 데이터를 이용하여 고질량 별탄생영역에서 메탄올 메이저 방출과 유기분자 방출과의 상관관계를 분석하여 곧 논문을 투고할 예정이며, Cycle 7과 8에서 폭발하는 질량이 큰 원시별 S255IR NIRS3에 대해서 ALMA spectral survey를 수행하여 유기분자 분석을 위한 데이터를 확보하였다. 윤형식 회원은 TRAO Key Science Program인 TIMES 프로젝트를 통해 얻어진, Orion A 분자운과 Ophiuchus 분자운의 6개의 분자선 지도를 분석하여, 방대한 자료를 정리한 논문 2편을 2021년 발표하였고, 22년 2월 우수졸업논문 수상과 함께 박사 학위를 취득하였다. 현재는 경희대학교 박사후 연구원으로 재직 중이다. 이희원 회원은 JCMT Large Program에 참여하여, Orion 영역에 있는 Planck Galactic Cold Clumps를 SCUBA-2와 KVN으로 관측하여, 별탄생의 negative feedback에 대한 2편의 논문을 출판하여 2021년 8월에 박사학위를 취득하고, 현재 천문연구원 박사후 연구원으로 재직 중이다. 현재 천문연구원에서 전문연구요원으로 재직 중인 윤성용 회원은 IGRINS 레거시 프로젝트를 통해 관측한 원시성의 IGRINS 스펙트럼을 분석하여, Class I 원시성 중 FUOri 천체와 유사한 스펙트럼 양상을 보이는 천체를 발견하였고, Gemini 망원경을 이용하여 감도가 높은

IGRINS 스펙트럼을 얻어서 이를 분석하여 2021년 논문으로 출판하였다. 그리고, JCMT-Transient survey로부터 포착한, 변광하는 원시성 HOPS 373에 대해 Gemini/GNIRS를 이용해 관측한 분광관측 자료와 근적외선 측광자료, ALMA로 관측된 CO outflow 자료 등 다양한 관측자료를 병합하여 분석한 논문을 작성하였고, 2022년 2월 게재승인을 받았다. 이용희 회원은 JCMT Transient Survey에서 4년동안 관측된 천체들의 light curve의 periodogram 분석을 통해 변광 원시성들을 찾고 이들의 성격을 통계적으로 연구하여 논문을 2021년 10월에 출판하였고, 현재는 전문연구요원으로 재직 중이다. 박우석회원은 NEOWISE 데이터를 분석하여, 변광원시성을 동정하고 특성을 분석하여 2021년 8월 석사학위를 취득하였으며, 10월 논문으로 출판하였다. 김철환 회원은 천문연구원의 SPHEREx 프로젝트의 연구학생으로 참여하여, 성간얼음의 적외선분광선 분석을 위한 프로그램을 개발하였고, NEOWISE 시계열 관측자료와 ALMA 관측자료를 이용하여 원시성 B335의 변광과 그와 관련된 방출률을 분석하여 2022년 2월 석사학위를 취득하고, 3월 박사과정에 입학하였다. 석사과정 이시은회원은 이정은 원회과 함께 ALLWISE와 NEOWISE 데이터를 바탕으로 수 백일 주기로 pulsation하는 AGB 후보들을 동정하고, KVN 망원경으로 SiO와 H<sub>2</sub>O 메이저 관측을 수행하여, 그 결과를 2021년 8월 논문으로 출판하였다. 현재는 원시성에서 장주기와 단주기 변광의 특성을 NEOWISE와 YSOVAR survey 데이터를 이용하여 연구중이다. 박사후 연구원으로 재직 중이던 임범두 회원은 2022년 3월부터 공주대학교 사범대학의 교수로 임용되었고, 김미량 회원과 Carlos Pena Contrera 박사가 2021년 후반기에 박사후 연구원으로 팀에 합류하였다.

### 초기우주 연구실

전명원 회원이 이끄는 초기우주 연구실은 초기우주에서 생성된 첫 세대 별(first stars)과 은하(first galaxies)의 탄생과 진화, 특성, 그리고 초기 별들과 관련하여 근거리 우주에서의 왜소은하(ultra-faint dwarf galaxies in the Local Universe)의 특성에 대한 연구를 수행하고 있다. 본 연구실에서는 우주론적 시뮬레이션을 이용하여 이론연구를 수행하고, 다양한 관측 결과와 비교하는 방법을 사용하고 있다. 전명원 회원은 2021년 9월부터 왜소은하 형성에 미치는 초기 우주에서의 불균일 재이온화(patchy reionization) 효과를 연구하는 과제를 시작했다.

현재 초기우주 연구실에는 석사과정 회원 4인(신찬희, 이태용, 김재은, 정태봉)과 2명의 학부연구생이 초기 우주 연구를 진행 중이다. 2022년 2월 신찬희 회원은 석사학위를 취득하였고, '초기 별 탄생 시 초기질량함수(Initial Mass Function) 샘플링 방법이 초미광 왜소은하의 탄생과 진화에 미치는 영향'에 대한 연구를 수행하였다. 이에 대한 우주론적 수치계산 결과를 바탕으로 2021년 12월에

논문을 투고, 심사결과를 바탕으로 수정 중에 있다. 김재은 회원은 '왜소은하 형성에 미치는 초기 우주에서의 불균일 재이온화(patchy reionization) 효과', 이태용 회원은 '첫 세대 별이 남긴 강력한 초신성(hypernovae) 폭발의 흔적'에 대한 연구를 수행 중에 있다. 2022년 3월부터 새롭게 합류한 정태봉 회원은 제임스 웹 우주 망원경(James Webb Space Telescope)으로 발견할 첫 세대 은하(first galaxies) 특성에 대한 연구를 우주론적 시뮬레이션을 이용하여 수행 할 예정이다. 본 연구실은 2021년 연구수행을 위한 고성능 서버와 네트워크 시설을 보강하여 총 384개의 cpu로 이루어진 슈퍼컴퓨터 시설을 구축하였다.

### 태양권플라즈마연구실

최광선 회원이 이끄는 태양권플라즈마연구실(Heliospheric Plasma Physics Laboratory)은 태양으로부터 태양권계면(heliopause)까지 이르는 전 태양권 공간에 존재하는 플라즈마의 전자기적, 역학적 성질을 탐구하기 위해 설립되었다. 수년전부터는 태양권 밖의 천체에서 일어나는 플라즈마 물리 과정으로 연구 영역을 확대하였다. 이 연구실에서 다루는 주제들은 태양물리연구실과 공간물리연구실의 연구주제들과 밀접한 관련이 있기 때문에 이들 연구실과 연구 협력이 이루어지고 있다. 본 연구실에서는 플라즈마의 거시적 기술인 자기유체역학으로부터 미시적 기술인 입자운동론적 기술(kinetic theory)까지 다양한 방법을 사용하고 있다. 입자운동론적 연구에 있어서는 University of Maryland의 Peter H. Yoon 교수와 긴밀한 협력이 이루어지고 있으며 자기유체역학적 연구에 있어서는 Technical University of Berlin의 Joerg Buechner 교수 및 Max Planck Institute for Solar System Research의 Sami Solanki 교수와 협력하고 있다.

본 연구실의 이시백 회원(박사수료)과 최광선 회원은 어떤 곡면들이 poloidal-toroidal representation에서의 toroidal field surface가 될 수 있는지를 기하학적으로 밝혀 학술지에 논문을 발표하였다. 이시백 회원은 또한 자기유체역학적 시뮬레이션을 통하여 total magnetic helicity에 비해 twist number가 큰 구조가 나타나는 과정에 대해 연구하고 있다. 최근 연구실에 합류한 이민선 회원은 천체의 shear flow와 연계된 thermal instability를 해석적 방법으로 연구 중이다. 이종기 회원(박사수료)은 다차원(2, 3차원) 플라즈마 입자 시뮬레이션 코드를 collisionless magnetic reconnection에 적용하여 microscopic scale에서만 나타날 수 있는 dynamo 현상을 연구 중이다. 셋트랙아이에 재직 중인 박근석 회원(박사수료)은 달과 같은 자기장이 없는 천체와 태양풍의 상호 작용을 3차원 자기유체역학적 시뮬레이션을 통해 연구 중이다. 전홍달 회원(박사수료)은 태양과 자기권 등에서 발생하는 ballooning instability에 대한 연구를 수행 중이다. 연구실을 이끄는 최광선 회원은 Peter H. Yoon

교수와 함께 그간 미시적 스케일에서 쓰이던 weak turbulence theory를 거시적 자기유체역학과 확장된 자기유체역학에 적용하는 연구를 수행 중이며 관련 논문을 학술지에 발표하였다.

#### Solar Dynamics Laboratory Group

We aim to clarify the dynamical nature of the Sun represented by various kinds of active phenomena observed on it, such as the solar cycle, solar flares, solar winds, and coronal mass ejections. We investigate these phenomena by combining observational data analysis and theoretical modeling based on computer simulation. The members of the group are Dr. Tetsuya Magara (PI), Mr. Yeonwoo Jang, and Mr. Donghui Son. Our research targets are: I) dynamic recycling of magnetic fields in the solar interior II) dynamic transportation of magnetic fields through the solar convection zone to the solar atmosphere III) dynamic formation and diffusion of magnetic structures in the solar atmosphere IV) global eruption of magnetic fields toward the interplanetary space. We also collaborate with the space weather group with KASI to develop a state-of-the-art three-dimensional magnetohydrodynamic simulation model, which is used to explore the solar interior and exterior. We are currently conducting a medium-scale NRF project focused on the dynamic thermalization of a solar magnetized atmosphere (related to topic III mentioned above).

### 3. 연구시설

#### 경희천문대

경희대학교 천문대는 1992년 10월 동형 건물의 완공과 76cm 반사망원경의 설치를 기점으로 개관하여 1995년 9월 민영기 교수가 초대 천문대장으로 부임하였다. 1999년 1월에 김삼준 교수가 제 2대 천문대장으로 부임한 후, 2001년 3월에 인공위성 추적 관측을 위한 관측소를 설치하였다. 2003년 2월에 장민환 교수가 제 3대 천문대장으로 부임하였고, 2010년 3월부터는 박수중 교수가 제 4대 천문대장직을 수행하였다. 2012년 3월에 진호 교수가 제 5대 천문대장직에 부임한 후, 2013년 10월에 공식 명칭을 '우주과학교육관'에서 '경희대학교 천문대'로 변경하였고, 새롭게 홈페이지를 개선하였다. 2017년 3월부터 김관혁 교수가 제 7대 천문대장직을 수행하였고, 2020년 1월부터 이정은 교수가 제 8대 천문대장직을 수행하였다. 2021년 3월부터 현재 선종호 교수가 제 9대

천문대장직을 수행하고 있다. 경희대학교 천문대는 연구 및 교육 활동 외에 천문우주과학 대중화 사업을 적극적으로 진행해 오고 있다.

본 천문대는 2009년에 리모델링 공사를 통하여 각종 연구시설을 정비하였고, 76cm 반사망원경의 TCS를 교체하여 보다 효율적이고 정확한 관측이 가능하도록 하였다. 또한 2010년에는 Meade사의 16인치 리치크레티앙식 망원경과 Paramount ME 마운트를 도입하여 위성 추적 및 천체 관측 실습용으로 사용 중에 있으며, 2011년과 2012년에는 FLI 4K CCD와 FLI 1K CCD를 각각 도입하여 관측에 활용하고 있다. 2013년에는 대구경 쌍안경을 도입하여 과학문화 대중화에 활용하고 있다. 2012년 4월에는 기존의 전시장 공간에 연구실을 신설하는 공사와 영상실 조성 공사가 완료되었다. 2015년 2월과 2016년 2월에는 천체관측지원을 위하여 주망원경 돔을 보수하였다.

본 천문대는 다양한 체험학습 프로그램과 과학문화 대중화를 위한, 천문 및 우주과학을 주제로 하는 교육프로그램을 상시 진행하고 있다. 이를 통해 천문·우주과학에 대한 일반의 관심을 향상시키고, 중고생들에게 진공진로 방향을 제시하는 등, 경희대학교 천문대는 지역사회 및 일반 천문동호인들에게 중요한 교육 및 체험 현장으로서 새로운 위상을 정립하고 있다.

경희대학교 천문대에는 천문우주과학 관측기기 및 인공위성의 개발과 관련된 다수의 실험실들이 설치되어 있다. 실험 시설로는 전자장비 개발 및 시험 시설, 기계구조부 제작 및 시험 시설, 청정실 등이 있으며, 경희대학교 인공위성 지상국도 현재 천문대에 설치되어 운용되고 있다.

## 고등과학원 물리학과

The Astrophysics and Cosmology Group in Korea Institute for Advanced Study is headed by Prof. Changbom Park, and Research Profs. Juhan Kim and Ena Choi. Postdocs in the group include Drs. Hyunsung Jun, Jaehyun Lee, Yonghwi Kim, Junsup Shim, Yongmin Yoon, Jaehong Park, Fuyu Dong, Anki Singh, and Céline Guoin.

Prof. Park is carrying out the Korea Dark Energy Survey (KDES) program, which aims to uncover the nature of the dark energy component of the universe. As a member of Sloan Digital Sky Survey (SDSS) IV, he is analyzing the MaNGA and eBOSS survey data. He is also a member of the Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) consortium, which is carrying out a deeper redshift survey. He is leading the Horizon Run 5 (HR5)



collaboration. HR5 is a 1Gpc-volume high resolution (1pkpc) gravity/hydrodynamics simulation made by an international consortium of Korea, France, and U.K. He has also created a collaboration called Lyman Alpha Simulation and Observation Research (LASOR) with Purdue, Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI), and Rutgers to observe the Lyman- $\alpha$  objects at high redshifts ( $2 < z < 5$ ). The collaboration has started the survey in 2021 to find proto-clusters of galaxies and to reveal the expansion history of the universe at high redshifts. He has also formed, together with KASI, Seoul National University, and Macquarie University, a survey group called A-SPEC (All-sky Spectroscopic Survey of the nearby universe), which aims to make spectroscopic observation of nearby galaxies out to redshift of about 0.2 over the whole sky.

Individual members of the Astrophysics and Cosmology Group were active in their research in 2021. Research prof. Jearch Prof. Juhan Kim has worked on the galaxy stellar mass functions using the HR5 data to bridge the gap between the cold dark matter model predictions and the extragalactic observations. He is now developing the next-generation cosmological simulation code implementing gravity and hydrodynamics. This code will be used for the cosmological and galaxy formation studies, and will be run on the next-generation Korea Supercomputer, which will be installed and operated in 2023.

QUC research prof. Ena Choi investigated the formation and chemical evolution history of the outer halo of giant elliptical galaxies by analyzing high-resolution hydrodynamic simulations. She compared the stellar metallicity distribution functions (MDF) of simulated galaxies to the MDF of NGC 5128, the central giant elliptical in the Centaurus group. Even though the simulated galaxies have different merging histories and age distributions, all predicted MDFs are in good qualitative agreement with the observed ones. By tracking stellar particles in the simulations, she investigated the origin of the stars ending up in the outer halo field of simulated galaxies and found that most have an 'accreted' origin, formed in other small galaxies and later accreted in mergers.

Dr. Hyunsung Jun investigated the reason for finding a massive  $z=1.47$  quasar at the outskirts of a galaxy protocluster, awaiting spectroscopic confirmation and a followup study from a larger survey data. He has been collecting optical-IR light curves of interesting active galaxies to uncover their unresolved geometry and to understand unusually varying light curves. Based on extensive spectrophotometric variability monitoring, he finds a meaningful portion of a sample of highly IR-variable active galaxies to show varying galaxy classifications over timescales of years, to be interpreted comprehensively.

Dr. Yonghwi Kim has been working on a post-process of HR5+ which is the spin-off simulation of HR5, and generating halo and galaxy catalogs from these data as a first step for research using these cosmological simulations. He is investigating galactic evolution in the Hubble sequence and its environmental effects using local and global cosmological simulations. Recently, he has started to prepare the next generation of cosmological hydrodynamic simulations collaborating with researchers inside and outside of KIAS.

Dr. Jaehyun Lee has completed generating the galaxy and halo catalogues and the structure merger trees of HR5. He is now supporting the HR5 collaborators conducting a variety of studies using the catalogues as well as investigating the formation and evolution of proto-clusters in the early universe based on HR5. He has also examined the origin of molecular clouds and young stars found in the tails of ram pressure-stripped galaxies in cluster environments using radiation hydrodynamical simulations with a very high spatial resolution. This study shows that the gas content in a galactic disk is a primary parameter governing the tail properties of ram pressure-stripped galaxies.

Dr. Junsup Shim developed a new concept of defining cosmic voids as cluster-counterpart structures and showed that these cluster-counterpart voids can be successfully identified from galaxy density fields without using the initial information of the density field. He also has been working on developing a method to constrain the nature of dark energy by utilizing the

clustering of critical points of density fields as a standard ruler.

Dr. Yongmin Yoon analyzed the MaNGA integral field spectroscopic survey data to study rotation curves of galaxies and their dependence on morphology and stellar mass, and the impact of galaxy mergers on stellar kinematics of early-type galaxies. He also investigated the warped nature of the fundamental plane of early-type galaxies and its implications for evolution histories of early-type galaxies.

Dr. Jaehong Park has been working on modelling Lyman-alpha emitters (LAEs) in HR5. This modelling is one of the main projects in LASOR (Lyman-Alpha Simulation and Observation Research) collaboration to compare the properties of predicted LAEs from simulation with those observed from ODIN survey. To this end, he has computed the rest-frame UV luminosity functions and Lyman-alpha luminosity functions. Also, he finished a project to develop a methodology to conserve ionizing photons during the epoch of reionization for semi-numerical simulations based on the excursion-set approach.

Dr. Fuyu Dong has been worked on the Alock-Paczynski test using SDSS galaxy catalogues. After considering the non-linear evolution effect, she is now able to make cosmological constraints using the shape of two-point correlation function. She has also studied the CMB lensing effect using DESI galaxy catalogues and got nice results.

Dr. Ankit Singh is currently working on the impact of the large-scale environment on active galactic nuclei (AGN). He is also studying the effect of AGN on star formation rate estimation in infrared wavelength using Monte-carlo radiative transfer for galaxies in Horizon-Run 5 simulation. He has also been working on how the large-scale filament environment affects the properties of the galaxies residing in it at high redshift.

Dr. Gouin Celine joined the group in November 2021. She is currently working on the impact of large-scale cosmic web environment on the properties and evolution of galaxy clusters in HR5. She is also probing the cosmic web connectivity of galaxy clusters with the HeCSomnibus sample, built

from MMT/Hectospec observations and SDSS data.

## 부산대학교 지구과학교육과

### 1. 인적사항

본 학과에 재직하는 6명의 전임 교수 중 천문학 교육과 연구는 강혜성 교수와 김도형 교수가 담당하고 있다. 천문학 분야 대학원에는 석사과정에 정자희, 이수민, 정영주, 정석광, 임성훈 등 5명, 박사과정에는 서정빈 1명이 재학 중이다.

### 2. 연구 및 학술 활동

강혜성 교수는 UNIST에 설치된 “고에너지 천체물리 연구센터(CHEA)” 소속의 공동연구자들과 함께 은하단 물질(ICM)에서 발견되는 매우 약한 충격파에서 우주선 양성자와 진자의 가속과 비열적 복사에 관한 연구를 수행하였다. 2021년 11월 비대면으로 개최된 IPMU workshop on Particle Acceleration in the Plasma Universe에서 “Particle acceleration in high beta ICM shocks” 주제의 topical plenary talk을 발표하였다. 2022년 1월에 비대면으로 개최된 XXVIII Cracow EPIPHANY Conference on Recent Advances in Astroparticle Physics에서 “Particle Acceleration at Weak Shocks Induced by Mergers of Galaxy Cluster” 주제의 초청강연을 발표하였다.

김도형 교수는 서울대학교 “초기우주 천체 연구단” 소속의 공동 연구자들과 함께 은하 병합을 통한 은하 진화를 연구하고 있다. 특히 은하 병합을 겪은 지 얼마 되지 않은 것으로 추정되는 붉은 활동성 은하핵을 연구하기 위해, 먼지가 많은 활동성 은하핵의 블랙홀 활동성 측정법을 새롭게 개발했다. 해당 내용은 2022년 1월 영국 천문학회 학회지(Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, MNRAS)에 “Bolometric luminosity estimators using infrared hydrogen lines for dust obscured active galactic nuclei”란 제목으로 발표되었다. 그리고 후속 연구로 먼지가 많은 활동성 은하핵의 블랙홀 질량 측정법을 개발 중이며 해당 내용은 올해 미국 천문학회지에 제출될 예정이다.

박사과정의 서정빈은 상대론적 유체역학 시뮬레이션을 이용하여 AGN 전파 제트에서 형성되는 충격파와 난류의 성질을 분석하고, 초고에너지 우주선 입자의 가속 기작을 연구하였다. 서정빈은 2021년 6월에 비대면으로 개최된 European Astronomical Society Annual Meeting에서 “Properties of Shocks, Turbulence, and Velocity Shear in Relativistic Jets” 주제의 논문 발표

를 하였고, 10월 개최된 제104차 한국천문학회에서 “FR-II radio jets and the acceleration of UHECRs” 주제의 구두발표를 하였고, 11월에 비대면으로 개최된 362th IAU Symposium에서 “A New Code for Relativistic Hydrodynamics and its Application to FR II Radio Jets” 주제의 구두발표를 하였다. 석사과정의 정영주는 밀양천문대 표준화 연구를 그리고 정석광은 먼지가 많은 활동성 은하핵의 hot dust covering factor에 대한 연구를 진행하고 있다.

### 3. 연구 시설

본과의 천문대에는 16인치 반사 망원경과, 14인치 슈미트 카세인 망원경, 6인치 굴절 망원경이 각각 독립된 돔에 설치되어 있고, 부대시설로는 CCD 카메라가 있어 학생들의 실습에 사용되고 있다. 또한 4인치부터 8인치에 이르는 소형 망원경들이 있어 학부생들의 관측 실습에 사용되고 있다. 본과는 총 8기의 계산용 워크스테이션을 보유하고 있다.

### 4. 국내외 연구논문(2019~)

- Ha, J.-H., Ryu, D., & Kang, H. 2020, Gamma-Ray and Neutrino Emissions due to Cosmic-Ray Protons Accelerated at Intracluster Shocks in Galaxy Clusters, *ApJ*, 892, 86
- Kim, S., Ha, J.-H., Ryu, D., & Kang, H. 2020, Electron Firehose Instabilities in High- $\beta$  Intracluster Shocks, *ApJ*, 892, 85
- Lee, W., Jee, M., Kang, H. et al. 2020, Reconstruction of Radio Relics and X-Ray Tails in an Off-axis Cluster Merger: Hydrodynamical Simulations of A115, *ApJ*, 894, 60
- Wittor, D., Vazza, F., Ryu, D., & Kang, H. 2020, Limiting the shock acceleration of cosmic ray protons in the ICM, *MNRAS*, 495, L112
- Kang, H., 2020, Semi-Analytic Models for Electron Acceleration in Weak ICM Shocks, *JKAS*, 53, 59
- Ha, J.-H., Ryu, D., & Kang, H. 2021, Modeling of Cosmic-Ray Production and Transport and Estimation of Gamma-Ray and Neutrino Emissions in Starburst Galaxies, *ApJ*, 907, 26
- Ha, J.-H., Kim, S., Ryu, D., & Kang, H. 2021, Effects of Multi-scale Plasma Waves on Electron Preacceleration at Weak Quasi-perpendicular Intracluster Shocks, *ApJ*, 915, 18
- Kim, S., Ha, J.-H., Ryu, D., & Kang, H. 2021, Microinstabilities in the Transition Region of Weak Quasi-Perpendicular Intracluster Shocks, *ApJ*, 913, 35

- Seo, J, Kang, H. & Ryu, D., 2021, A Simulation Study of Ultra-Relativistic Jets - I. A New Code for Relativistic Hydrodynamics, *ApJ*, 920, 143
- Seo, J, Kang, H. & Ryu, D., 2021, A Simulation Study of Ultra-relativistic Jets - II. Structure and Dynamics of FRII Jets, *ApJ*, 920, 144
- Ha, J.-H., Ryu, D., Kang, H., & Kim, S. 2022, Electron Preacceleration at Weak Quasi-perpendicular Intracluster Shocks: Effects of Preexisting Nonthermal Electrons, *ApJ*, 925, 18
- Cho, H., Ryu, D., & Kang, H. 2022, Effects of Forcing on Shocks and Energy Dissipation in Interstellar and Intracluster Turbulences, *ApJ*, 926, 183
- Kang, H. 2021, Diffusive Shock Acceleration by Multiple Weak Shocks, *JKAS*, 54, 103
- Kim, D., Lee, D., Im, M., 2022, Bolometric luminosity estimators using infrared hydrogen lines for dust obscured active galactic nuclei, *MNRAS*, 509, 1147
- Im, M. et al., 2021, SomangNet: Small Telescope Network of Korea, *JKAS*, 54, 89
- Kim, Y. et al., 2021, The Infrared Medium-deep Survey. VIII. Quasar Luminosity Function at  $z \sim 5$ , *ApJ*, 904, 111
- Kim, D., Im, M., Kim, M., Ho, L. C., 2020, Gemini Multi-Object Spectrograph Integral Field Unit Spectroscopy of the Double-peaked Broad Emission Line of a Red Active Galactic Nucleus, *ApJ*, 894, 126
- Shin, S. et al., 2020, The Infrared Medium-deep Survey. VII. Faint Quasars at  $z \sim 5$  in the ELAIS-N1 Field, *ApJ*, 893, 45
- Lee, S.-K. et al., 2019, More connected, more active: galaxy clusters and groups at  $z \sim 1$  and the connection between their quiescent galaxy fractions and large-scale environments, *MNRAS*, 490, 135
- Kim, J. H. et al., 2019, The interplay between active galactic nuclei and star formation activities of type 1 active galactic nuclei probed by polycyclic aromatic hydrocarbon 3.3  $\mu\text{m}$  emission feature with AKARI, *PASJ*, 71, 25
- Kim, Y. et al., 2019, The Infrared Medium-deep Survey. VI. Discovery of Faint Quasars at  $z \sim 5$  with a Medium-band-based Approach, *ApJ*, 870, 86

## 서울대학교 물리·천문학부 천문학 전공

### 1. 인적사항

서울대학교 물리·천문학부 천문학전공에서는 구분철, 이형목, 이명균, 박용선, 채종철, 임명신, 김웅태, 이정훈, 우종학, Masateru Ishiguro, 윤성철, Sascha Trippe, 황호성 등 13명의 교수가 교육과 연구를 담당하고 있다. 천문전공 주임은 2021년 3월부터 우종학 교수가 맡고 있다.

2021년 1학기에는 이명균 교수, Masateru Ishiguro 교수 2학기에는 Masateru Ishiguro 교수가 연구년을 보냈다.

작년에 이어 임명신 교수는 서울대학교 천문우주연구센터 센터장을 맡고 있다. 윤성철 교수는 BK21 운영위원을 계속해서 맡고 있으며, 작년에 이어 자연과학대학 기획부학장 보직을 맡고 있다. 황호성 교수는 2021년 3월 신규임용 되었다. 이형목 교수는 2021년 8월 은퇴 후, 천문우주연구센터의 책임연구원으로 계십니다.

이성국 박사와 장서원 박사가 연구교수로 임용되었으며, 박사 후 연구원으로는 손동훈, Shu Wang, 이경선, 광한나, 정혜원, Tao yang, 최한길, Carlos Eduardo Contreras Pena, Amit Kumar Madal 박사가 신규임용 되었다.

2021년도에는 박사 2명, 석박통합과정 9명, 학부과정 14명이 입학하였고, 박사 11명, 석사 3명, 학사 11명을 배출하였다. 학위를 받은 학생은 아래와 같다.

#### 《 2021년 8월 학위 취득 》

##### ■ 박사

최창수(지도교수: 임명신) Supernova Progenitor System from Intensive Monitoring Survey of Nearby Galaxies

이방원(지도교수: 박용선) Development of cartridge receiver for combined ALMA Band7 and 8  
현민희(지도교수: 임명신) Study of High Redshift Galaxies at Different Environments with Multi-object Spectroscopic and Submm Observations

탁윤찬(지도교수: 임명신) Quasi-stellar Objects and Their Host Galaxies from a Mass-based Viewpoint using Gravitational Lensing and Spectral Analysis

박다우(지도교수: 이형목) Formation of Binary Black Holes in Dense Star Clusters by Dynamical Processes and Their Properties

김대원(지도교수: Sascha Trippe) The

Radio/Gamma-Ray Connection of Blazars

이준구(지도교수: 이형목) Reliable Application of Neural-Network to Astrophysical Problems: Generation of Gravitational Waveforms and Photometric Redshifts of Galaxies

김준호(지도교수: 임명신) Study of Energetic Astronomical Phenomena with Time-series Observation: Active Galactic Nucleus and Gravitational Wave Source

##### ■ 석사

이가인(지도교수: 김웅태) 가벼운 별 주변 원시행성계원반의 중력불안정

김유정(지도교수: 이명균)

Using Stellar Distance Indicators for Cosmology: Determination of the Local Hubble Constant and Satellite Luminosity Functions of Low-mass Galaxy Groups

##### ■ 학사

김진홍(지도교수: 임명신)

박형욱(지도교수: 우종학)

이승훈(지도교수: 윤성철)

#### 《 2022년 2월 학위 취득 》

##### ■ 박사

김은총(지도교수: 이명균) A Polarimetric Study of Lyman Alpha Blobs

강지수(지도교수: 이명균) Formation and Evolution of Massive Early-type Galaxies Traced by Globular Cluster Systems

양하늘(지도교수: 윤성철) Simultaneous multi-band monitoring observations of H<sub>2</sub>O and SiO masers toward the suspected symbiotic star V627 Cas

##### ■ 석사

오성아(지도교수: 이명균) 코마 은하단의 구상성 단계에 대한 광역 탐사 연구

##### ■ 학사

정영균(지도교수: 채종철)

임범후(지도교수: Masateru Ishiguro)

김경호(지도교수: 채종철)

강동협(지도교수: 박용선)

김진재(지도교수: 채종철)

김동화(지도교수: 우종학)

장연진(지도교수: 윤성철)

배장호(지도교수: 이명균)

## 2. 학술 및 연구 활동

김웅태 회원은 은하 원반과 행성 원반의 역학적 진화에 관한 연구를 계속하고 있다. 김웅태 회원은 문상혁 회원(석박사통합과정), 김창구 회원, Ostriker 교수(Princeton)와 함께 은하 중심부에 있는 핵고리(nuclear ring)의 별 형성률이 질량 유입률에 따라 어떻게 달라지는지 연구하였다. Hsieh 박사(Joint ALMA Observatory) 등과 함께 우리 은하 중심에 있는 고밀도 성간운에 대한 조석력의 효과를 연구하였으며, 한정호 회원 등과 함께 미세중력렌즈를 이용하여 행성의 물리량을 탐사하였다. 현재 김웅태 회원은 관측 분해능이 별 형성에 관한 여러 척도 관계식이 미치는 영향을 연구하고 있으며, 문상혁 회원과 함께 핵고리의 별 형성률에 대한 자기장의 영향을, 윤한결 회원(석박사통합과정)과 함께 원시행성원반에서 복사확산이 부력공명불안정에 미치는 영향을, 장다정 회원(석박사통합과정)과 함께 중앙 팽대부가 은하의 막대 형성에 미치는 영향을 연구하고 있다.

박용신 회원은 서울진파천문대 6미터 진파망원경을 이용한 VLBI 실험을 진행하고 있다. 2021년에는 국제 공동 관측이 없었다. 진파망원경의 성능을 향상하기 위한 계획의 하나로 새로운 1.3mm대역 수신기를 개발하고 있다. USB/LSB를 구분할 수 있도록 설계하였고 잡음도 이전 수신기에 비해 낮아질 것으로 기대하고 있다. 덩어리진 분자운에서의 복사전달 문제를 3차원 공간에서 풀지 않고 1차원 공간에서 간편하게 푸는 방법을 개발하였다. 3차원으로 접근하기가 어려운 조건 - 작은 덩어리가 매우 많이 있는 경우 - 예도 1차원적으로는 쉽게 문제를 풀수 있음을 보였다. 이 방법을 이용하여 분자운에서 나오는 암모니아 초미세선들을 간편하게 분석해서 물리량을 유도하는 방법을 개발하고 있다. 적응광학계를 개발하여 우주광통신에 응용하는 방법을 추진하고 있다.

우종학 회원은 3명의 박사학생과 1명의 방문 박사학생 및 3명의 박사후 연구원과 함께 질량 측정을 통한 블랙홀의 진화 연구를 장기 과제로 진행하고 있다. SNU AGN Monitoring Project (SAMP)로 6년간 진행한 측광 및 분광 모니터링 관측이 21년 여름에 끝났으며 현재 주요 결과들을 분석하여 발표할 예정이다. 이후 3년간 진행되는 SAMP II 는 1-2미터급 망원경과 8미터급 망원경을 함께 사용하도록 계획되었으며 최근에 모니터링을 시작하였다.

윤성철 회원은 초신성과 초신성의 모체성에 관한 연구를 주로 진행해왔다. 정무건 회원은 Ib/Ic형 초신성 모체성의 항성진화모델로부터 예측되는 대기의 특성을 항성 대기진화코드를 사용하여 모체성의 광학적 특성이 질량 손실율에 따라 어떻게 달라지는지를 분석하였다. 수소선이 강하게 보이는 II형 초신성에 비해 Ib/Ic형 초신성의 경우 모체성이 직접 관측된 사례가 적는데 예외적으로

광학적으로 매우 밝기에 관측이 된 세 개의 사례(iPTF13bvn, SN2017ein, SN2019yvr)는 모체성의 폭발 직전의 질량 손실의 급격한 증가로 설명할 수 있음을 제시하였다. 정용제 회원은 IIb형 초신성 모체성의 표면 온도 및 화학적 분포, 그리고 표면 중력이 수소 포피층의 질량에 어떻게 의존하는지를 분석하였고 이를 관측과 비교할 수 있는 방식을 연구 중에 있다. 박성현 회원은 IIb형 초신성의 폭발 중 발생하는 레일레이터일러 불안정에 따른 화학적 조성비의 변화가 초기 초신성 광도 곡선에 미치는 영향을 분석하였다. 특히 SN 1993J에서와 같이 초기 광도가 매우 밝은 초신성의 진화 양상이 수소와 헬륨 간의 섞임에 따라 민감하게 변할 수 있음을 밝혔고 이것이 관측된 IIb형 초신성에 암시하는 바를 연구 중에 있다. 이현철 회원은 무거운 별의 쌍성계 진화 중 Case A 질량 전달이 발생하는 시스템에서 발생할 수 있는 초신성의 다양성을 분석하였다. 장혜은 회원은 APGEE의 근적외선 분광 데이터와 IGRINS를 활용한 추후 관측을 통해 외계행성의 모체성의 함량비 분포를 살피는 연구에 착수하였다. 아울러 정재홍 회원이 새롭게 그룹에 합류하여 경희대 이정은 교수와 공동으로 지도를 받으며 별 탄생 영역의 알마 관측 연구를 시작하였다.

이명균 회원은 강지수 회원과 함께 무거운 밀집타원은하(MCEG)의 구상성단계 특성을 조사하여 가까운 우주에 있는 무거운 밀집타원은하가 먼 우주에서 보이는 red nugget 은하의 화석임을 밝혔다. 장인성 회원, Freedman(University of Chicago) 등의 공동연구자와 함께 TRGB/SN Ia를 이용하여 허블상수값을 측정하는 연구를 수행했다. 고유경 회원 등의 공동연구자와 처녀자리은하단에 대하여 MMT/Hectospec 분광탐사를 이용한 구상성단계 연구를 수행했다. 김은총, 양유진 회원, Zabludoff(University of Arizona) 등의 공동연구자와 함께 MMT/SPOL 편광 관측을 통해 라이만알파성운의 기원을 조사하는 연구를 수행했다. 이정환, 문재연, 강지수, 조브라이언 회원과 함께 먼 우주에서 보이는 Jellyfish galaxies에 대한 GMOS관측을 통해 은하단특성이 별형성에 미치는 효과를 밝혔다. 김유정, 강지수, 장인성 회원과 함께 Subaru/Hypersuprime Cam으로 관측한 왜소 은하에 적용할 수 있는 표면밝기요동방법을 표준화하였다. 그리고 이를 적용하여 NGC 4437 은하군에 있는 은하에 대하여 거리를 측정하고 은하단 구성원을 선별한 후, IllustrisTNG 모의실험자료를 분석하여 가장 밝은 은하와 두 번째 밝은 은하의 등급차이(magnitude gap)가 은하단형성과정을 밝히는 데 효과적임을 밝혔다. 문재연, 황호성, 정애리, 윤혜인, 이종철 회원 등의 공동연구자와 함께 처녀자리은하단에서 총차압에 의해 기체를 잃어버리는 은하들의 별생성활동을 연구했다.

이정훈 회원은 1명의 석사과정 학생과 함께 스피래쉬백 질량함수에 관한 연구를 진행했고 또한 연세대학교의 문준성, 윤석진 회원과의 공동연구로 은하 스핀축의 조

석장과 정렬되는 현상에 미치는 바리온 효과를 연구했다. 한 편의 제1저자 논문과 한 편의 교신저자 논문을 미국천체물리저널에 발표했다.

임명신 회원은 퀘이사, 원시은하단, 타원은하, 중력파 천체, 감마선 폭발, 초신성 등 다양한 주제에 관한 연구를 수행하였다.

-중력파우주연구단 출범: 이형목 회원과 함께 2021년 7월부터 과학난제도전융합연구개발사업, “중력파우주연구단”을 이끌게 되었다. 중력파우주연구단은 중력파 사건의 전자기파 대응천체를 신개념 망원경과 인공지능기법을 활용하여 신속하게 찾고, 이를 활용하여 허블상수 값등과 같은 우주론 난제를 풀고자 하는 연구과제이다. 이형목, 임명신, Arman Shafieloo, 김정리, 엄정휘, 정재훈 회원 등이 주축이 되어 연구를 진행하고 있다. 임명신 회원은 이 과제의 제2세부과제 책임자로, 7차원적 망원경(7-Dimensional Telescope, 7DT)라는 새로운 다중망원경 시스템을 개발하고 이를 활용한 중력파 천체의 전자기파 대응천체의 관측을 준비하고 있다. 7DT는 7차원적 우주담사(7-Dimensional Sky Survey, 7DS)라는 탐사관측도 수행하여, 광시야 시계열 분광 우주탐사라는 분야를 개척할 예정이다. 7DS는 우주론, 은하진화, 거대질량블랙홀, 태양계소천체, 항성종족, 돌발천체, 다중신호 천문학 등 천문학 여러 분야에 새로운 자료를 제공할 것으로 기대된다.

-다중신호천문학 연구: 중력파 사건에 대한 후속관측과 관련하여, 임명신 회원은 최창수, 임구, 김준호, 김소피아, 황성용, 백승학, 정만근 회원 등과 함께 중력파 천체 후속 관측을 위한 관측을 LIGO O3 run 동안 수행한 연구 결과를 정리하는 연구를 수행하였고, 또한 백승학, 장서원, 정재훈 회원 등과 함께 인공지능을 도입하여 전자기파 천체를 찾기 위한 연구를 수행하고 있다. 그리고, 황성용 회원과 고에너지 뉴트리노 발생원인 TXS 0506+056이라는 블레이자 천체를 중대역 필터로 관측하였고, 이 블레이자가 기존에 알려진 BL Lac이 아닌 Flat Spectrum Radio Quasar(FSRQ)에 가깝다는 사실을 알아냈다.

-퀘이사/활동은하핵 연구: 임명신 회원이 수행해왔던 Infrared Medium-deep Survey(IMS) 자료를 바탕으로 김용정, 신수현 회원과 함께 초기우주 퀘이사 후보들에 대한 선별 및 분광관측 확인 연구를 진행하여 어두운 초기우주 퀘이사를 다수 발견하였고, 적색이동 5에 위치한 퀘이사의 광도함수를 확립하였다. 김도형 회원과는 근적외선 수소선을 이용한 bolometric correction을 구하여, 성간먼지에 가려 붉게 보이는 AGN의 bolometric luminosity를 계산하는 방법론을 새로이 개발하였다. 전현성 회원과는  $z=1.42$ 에 있는 극단적으로 무거운 블랙홀(Extremely Massive Black Hole, EMBH)의 환경을 연구하여, 활동적으로 성장하고 있는 EMBH가 은하단 중심이 아닌, 은하단 인근 지역에서 탄생하였음을 보였다. 탁윤찬 회원과 함께, 퀘이사가 렌즈로 작용하는 중력렌즈

시스템 후보에 대한 분광관측 연구도 수행하였다. 김준호, 황성용 회원과 함께 중대역 필터 관측자료를 활용한 활동은하핵 reverberation mapping(RM) 연구를 수행하여 중대역 필터가 RM에 유용함을 보였다.

-은하진화 연구: 현민희 회원과 함께 JWST Time-Domain Field에 대한 JCMT submm 관측을 수행하여, 이 field에 있는 submm source 약 100개를 선제적으로 발견하였으며, 이성국, 현민희, 백인수, 김재우, 박보미 회원과 함께 IMS 은하단 분광관측 연구를 수행하고 있다. 황지은 회원과 함께, 적색이동이 작은 은하(500 Mpc 이하)의 별형성율을 GALEX UV 자료로부터 도출하기 위한 연구도 수행하고 있다.

-탐사관측/돌발천체 연구: 김준호, 정만근, 박보미, 장서원 회원과 함께 KMTNet Synoptic Survey of Southern Sky(KS4)라고 하는 광시야 탐사관측 수행하여, 현재 이 탐사관측 자료에 대한 분석을 진행 중이다. 목표했던 자료의 약 60%에 해당하는 자료를 획득하였다. 또한, 최창수 회원, 임구 회원, 김소피아 회원, 백승학 회원, 정만근, 최현호 회원 등과 함께 이상각 망원경의 SNUCAM-II, 미국의 0.8-m 망원경, 레온산 1-m 망원경, 우리나라 소백산 천문대 0.6-m 망원경, 덕흥천문대 1-m 망원경, 우즈베키스탄 1.5-m 망원경, 칠레 참눈 망원경, RASA36 망원경 등을 이용하여 가까운 은하의 monitoring 관측 연구를 수행하였다. Intensive Monitoring Survey of Nearby Galaxies (IMSNG)라고 명명된 이 연구는 초신성 폭발 순간의 light curve를 확보하여 초신성 원형별의 특성을 규명하기 위한 연구이다. 2021년도에도 monitoring 대상 60개 은하 중 여러 개의 은하에서 초신성 폭발이 발생하여 초신성 초기광도 곡선을 획득할 수 있었다.

-소망넷 연구: 김용기, 윤요나, 박수종, 강원석, 김태우, 이희원, 심현진, 성현일, 이충욱, 이성국, 장서원, 김도형 회원 등과 함께 소형망원경 네트워크 사업을 시작하여 우리나라 소형망원경을 활용한 연구를 수행 중이다. 2021년도에는 소망넷을 통해 태양계 소천체, 뉴트리노 발생 블레이자 천체 등에 대한 6편의 논문이 발표되었다.

-기타 활동: 임명신 회원은 2021년 동안 한국천문학회 광학천문분과 위원장, 한국천문올림피아드 위원, 한국천문학회 이사, K-GMT 과학기기자문위원회 위원장, 서울대학교 천문학과 시설위원회 위원장, 서울대학교 천문우주연구센터(SNU Astronomy Research Center) 센터장으로 활동하고 있다. 서울대학교 평창캠퍼스에 새로이 60cm 광학망원경을 설치하기 위한 사업도 수행하고 있다.

채종철 회원이 이끄는 태양천문학 그룹에는 2021년 12월 말 기준으로 채종철 교수, 이경선 박사, 조규현 박사, 곽한나 박사, 정혜원 박사, 박사과정 이겨레, 강수상 학생이 있다. 2021년 2월 박사과정 곽한나 학생과 석사과정 김다나 학생이 각각 박사, 석사 학위를 취득했다.

곽한나 박사는 서울대학교에서 연수연구원으로 취업했고, 김다나 석사는 우주전파센터에 계약직으로 취직했다. 정혜원 박사는 2021년 8월부터 연수연구원으로 그룹에 합류했으며, 이겨레 학생은 군복무 마치고 9월부터 학업에 복귀했다. 채종철 회원은 한국연구재단의 지원을 받아 태양 흑점 지역의 자기유체 알펜파를 검출하는 연구를 수행하고 있다. 분광학적인 방법을 써서 최초로 알펜파를 검출하는데 성공하였으며, 이 방법을 확장하여 알펜파에 대한 체계적인 조사 연구를 수행하고 있다. 기초과학연구원 선임연구원 이경선 박사는 딥러닝 기계 학습법을 활용한 플레어 스펙트럼 분류 기법 및 고속 분광역치 (fast spectra inversion) 기법을 성공적으로 개발하였다. 한국연구재단의 지원을 받아 태양 코로나에서 이온화에너지가 낮은 원소들의 비정상적 증가 (fractionization of low FIP element)와 알펜파에 의한 폰더모티브힘의 관계에 대한 관측 연구를 수행하고 있다. 연수 연구원 조규현 박사는 연구재단의 지원을 받아, 3분 진동의 진원 위치를 활용한 흑점의 하부 구조 연구를 성공적으로 수행하여 논문으로 발표하였다. 연수 연구원 곽한나 박사는 정온지역의 알펜파 검출에 대한 연구를 수행하고 있다.

황호성 회원은 지도학생들과 함께 관측과 수치모의실험 자료를 활용하여 은하 및 우주 구조 형성에 관한 연구를 수행하고 있다. 한국천문연구원, 고등과학원과 함께 국내 주도의 전천 은하 분광 탐사인 A-SPEC(The All-sky SPECTroscopic survey of nearby galaxies)을 위한 다천체 분광기를 개발 중이고, 특히 김동국 회원(석박사통합과정)과 함께 Metrology system 구축 및 mock 자료 준비를 하고 있다. 이가인 회원(박사과정)과는 우주론적 유체역학 수치 모의실험 중 하나인 IllustrisTNG 자료를 분석해서 주로 암흑 물질로만 이루어진 은하의 특성을 살펴보고 있다. 한상현 회원(석박사통합과정)과는 암흑물질 대신 Emergent gravity로 은하의 회전 곡선 및 다양한 은하 특성 관계식을 설명하는 방법에 대해서 연구하고 있다. 임상혁 회원(석박사통합과정)과는 The One Hundred-square-degree DECam Imaging in Narrowbands (ODIN) survey 공동연구팀에 참여해서 우주 거대 구조 연구를 진행 중인데, 특히 고등과학원에서 수행한 우주론적 유체역학 수치 모의실험인 Horizon Run 5의 mock 자료를 분석하고 있다. 박형욱 회원(석박사통합과정)과는 SPHEREx 전천 탐사 자료를 활용한 은하단 연구를 수행하기 위해서 Planck에서 찾아진 은하단 후보를 Gemini로 분광 탐사해서 전천 은하단 목록을 제작하는 연구를 수행중이다. 정다운 회원(석박사통합과정)과는 은하 회전 곡선의 다양성에 대한 물리적 기작을 이해하기 위해서 IllustrisTNG 자료를 분석 중이다.

Masateru Ishiguro 회원의 연구팀에서는 태양계의 기원과 진화를 관측 및 이론적 측면에서 조사하고 있다. 특히 2021년도에는 DESTINY+ 탐사 임무(JAXA, 2024년

발사 예정)에 관련한 과학적 연구를 진행함으로써 해당 탐사의 과학적 의의를 견고히 하는데 일조했다. 우선 홋카이도 대학 부속 천문대에서 탐사 후보 천체 중 하나인 소행성 (155140) 2005 UD를 편광관측 하였다. 이 관측을 운석 시료 실험 결과를 비교분석하여 2005 UD가 가열-탈수 과정을 거친 탄소질 소행성임을 밝혔다 (Ishiguro et al. 2022). 또, 니시하리마 천문대와 히가시히로시마 천문대에서 DESTINY+의 0순위 탐사 천체인 소행성 (3200) Phaethon을 편광 관측하였다. 이 관측 분석 결과 Phaethon도 태양 근처에서 가열-탈수 과정을 거치고 있는 것으로 추정된다. 한편 2021년 10월에 Phaethon의 엄폐(occultation)현상이 예정되어 있었으므로 전라남도의 관측 최적지를 탐사하였고, 관측에 성공하여 Phaethon의 크기 추정 캠페인에 일조하였다. 이론적 측면에서는 Bach, Yoonsoo 회원이 중심이 되어, 소행성 표토의 열적 복사에 의한 복사압력으로  $\mu\text{m}$  크기의 먼지입자들이 방출될 수 있음을 이론과 계산으로 증명하였다 (Bach & Ishiguro, 2021). 소행성 Phaethon의 경우  $\mu\text{m}$  크기의 먼지 입자가 방출된다는 것이 관측적으로는 알려져 있었으나, 하필 그 크기의 먼지만 방출되는 기작이 명확히 알려지지 않고 있던 상황이었다. 열 복사에 의한 질량 방출 기작을 제창한 것은 본 연구그룹이 세계 최초이다. 또 서울대학교천문대(SAO) 1m 망원경에 분광기를 설치하여 소행성 (203) Pompeja의 반사스펙트럼이 내태양계 소행성들 중 가장 붉다는 점을 발견하였다. 이를 통해 이 소행성은 태양계 외곽에서 소행성대로 이동한 사례로 추정하였다 (Hasegawa et al. 2021). Geem, Jooyeon 회원이 중심이 되어 행한 "혜성궤도 소행성"의 편광관측 연구는 혜성/소행성을 판별하는 새로운 기법을 제안하였다 (Geem et al. 2022). 이러한 연구들 외에도 지난 1년 간 하야부사 2 탐사 (JAXA) 데이터에 의한 연구 성과가 다수 발생하였다.

Prof. Trippe's group at Seoul National University studies the properties of the relativistic jets of active galactic nuclei, especially blazars, to understand the physical mechanisms of the ejection, collimation, and propagation of the jet plasma. The group currently comprises five graduate students. They perform radio astronomical observations using data from various radio telescopes and interferometers, including KVN, KaVA, VLBA, and ALMA. The group is part of the East Asia VLBI Network and Event Horizon Telescope collaborations, and part of the BK21+ program. Key results in 2021 were:

- Optical intensity interferometry, developed in the 1950s, is a simple and inexpensive method for achieving angular resolutions on microarcsecond scales. Its low sensitivity has limited intensity interferometric observations to bright stars so far.

Substantial improvements are possible by using avalanche photodiodes (APDs) as light detectors. We performed laboratory measurements with a prototype astronomical intensity interferometer using two APDs observing an artificial star in continuous ('linear') detection mode with an electronic bandwidth of 100 MHz. We find a photon-photon correlation of about  $10^{-6}$ , as expected from the ratio of the coherence times of the light source and the detectors. In a configuration where both detectors are on the optical axis (zero baseline), we achieve a signal-to-noise ratio of  $\sim 2700$  after 10 min of integration. When measuring the correlation as a function of baseline, we find a Gaussian correlation profile with a standard deviation corresponding to an angular half-width of the artificial star of 0.55 arcsec, in agreement with the estimate by the manufacturer. Our results demonstrate the possibility to construct large astronomical intensity interferometers using linear-mode APDs.

- 3C 84 (NGC 1275) is the radio source at the centre of the Perseus cluster and exhibits a bright radio jet. We observed the source with the Global Millimeter VLBI Array (GMVA) between 2008 and 2015, with a typical angular resolution of  $\sim 50$  microarcsec. The observations revealed a consistent double nuclear structure separated by  $\sim 770$  gravitational radii assuming a black hole mass of  $3.2 \times 10^8$  solar masses. The region is likely too broad and bright to be the true jet base anchored in the accretion disc or black hole ergosphere. A cone and parabola were fit to the stacked (time averaged) image of the nuclear region. The data did not strongly prefer either fit, but combined with a jet/counter-jet ratio analysis, an upper limit on the viewing angle to the inner jet region of  $< 35$  deg was found. This provides evidence for a variation of the viewing angle along the jet (and therefore a bent jet) within  $\sim 0.5$  pc of the jet launching region. In the case of a conical jet, the apex is located  $\sim 2400$  gravitational radii upstream of the bright nuclear region and up to  $\sim 600$  gravitational radii upstream in the parabolic case. We found a possible correlation between the brightness temperature and relative position angle of the double nuclear components, which may indicate rotation within the jet.

### 3. 발표논문

Bach, YP; Masateru Ishiguro, 2021, "Thermal radiation pressure as a possible mechanism for losing small particles on asteroids", *Astronomy & Astrophysics*, vol.654

Chae Jong chul, 2021, "Ionization of Hydrogen in the Solar Atmosphere", *Journal of Astronomy and Space Sciences*, vol.38, Issue 2, pp.83~92

Chae, Jongchul and Litvinenko, Yuri E, 2021, "Electric resistivity of partially ionized plasma in the lower solar atmosphere", *Research in Astronomy and Astrophysics*, vol.21, Issue 9

Chae, Jongchul; Cho, Kyuhyoun; Kang, Juhyung; Lee, Kyoung-Sun; Kwak, Hannah; Lim, Eun-Kyung, 2021, "Multilayer Spectral Inversion of Solar H alpha and Ca II 8542 Line Spectra with Height-varying Absorption Profiles", *Journal of the Korean Astronomical Society*, vol.54, Issue 5, pp.139~155

Chae, Jongchul; Cho, Kyuhyoun; Nakariakov, Valery M; Cho, Kyung-Suk and Kwon, Ryun-Young, 2021, "Spectroscopic Detection of Alfvénic Waves in the Chromosphere of Sunspot Regions", *Astrophysical Journal Letters*, vol.914, Issue 1

Chen, Bo Han; Sascha Trippe, 2021, "An active galactic nucleus recognition model based on deep neural network", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*

Cho, HJ; Woo Jong-Hak; Treu, T; Williams, PR; Armen, SF; Barth, AJ; Bennert, VN; Cho, WJ; Filippenko, AV; Gallo, E; Geum, J; Gonzalez-Buitrago, D; Gultekin, K; Hodges-Kluck, E; Horst, JC; Hwang, SH; Kang, W; Kim, MJ; Kim, T; Leonard, DC; Malkan, MA; Remigio, RP; Sand, DJ; Shin, J; Son, D; Sung, HI; Vivian, U, 2021, "H alpha Reverberation Mapping of the Intermediate-mass Active Galactic Nucleus in NGC 4395", *Astrophysical Journal*, vol.921, Issue 2

Cho, Kyuhyoun; Chae, Jongchul; Madjarska, Maria S, 2021, "Investigation of the subsurface structure of a sunspot based on the spatial distribution of oscillation centers inferred from umbral flashes", *Astronomy & Astrophysics*, vol.656

Chung, Haeun; Park, Changbom Park and Park, Yong-Sun, 2021, "Point-spread Function Deconvolution of the IFU Data and Restoration of Galaxy Stellar Kinematics", *Astrophysical Journal Supplement Series*, vol.257, Issue 2

Cui, Yu-Zhu; Sascha Trippe, 2021, "East Asian VLBI Network observations of active galactic nuclei jets: imaging with KaVA+Tianma+Nanshan", *Astrophysical Journal*



- Goddi, Ciriaco; Sascha Trippe, 2021, "Polarimetric Properties of Event Horizon Telescope Targets from ALMA Show affiliations", *Astrophysical Journal Letters*
- Han, C; Udalski, A; Kim, D; Jung, YK; Lee, CU; Bond, IA; Albrow, MD; Chung, SJ; Gould, A; Hwang, KH; Kim, HW; Ryu, YH; Shin, IG; Shvartzvald, Y; Zang, WC; Yee, JC; Cha, SM; Kim, DJ; Kim, SL; Lee, DJ; Lee, Y; Park, BG; Pogge, RW; Kim, CH; Kim, WT; Mroz, P; Szymanski, MK; Skowron, J; Poleski, R; Soszynski, I; Pietrukowicz, P; Kim Woong-Tae, 2021, "KMT-2019-BLG-1715: Planetary Microlensing Event with Three Lens Masses and Two Source Stars", *Astrophysical Journal*, vol.161, Issue 6
- Han, Cheongho; Udalski, Andrzej; Lee, Chung-Uk; Albrow, Michael D; Chung, Sun-Ju; Kim, Woong-Tae, 2021, "KMT-2018-BLG-1025Lb: microlensing super-Earth planet orbiting a low-mass star", *Astronomy & Astrophysics*, vol.649
- Hasegawa, Sunao; Marsset, Michaël; DeMeo, Francesca E; Bus, Schelte J; Geem, Jooyeon; Masateru Ishiguro; Im, Myungshin; Kuroda, Daisuke and Vernazza Pierre, 2021, "Discovery of Two TNO-like Bodies in the Asteroid Belt", *Astrophysical Journal Letters*, vol.916, Issue 1, pp. L6
- Hirabayashi, M; Mimasu, Y; Sakatani, N; Watanabe, S; Tsuda, Y; Ishiguro, M, 2021, "Hayabusa2 extended mission: New voyage to rendezvous with a small asteroid rotating with a short period", *Advances in Space research*, vol.68, Issue 3, pp. 1533~1555
- Hodgson, Jeffrey A; Rani, Bindu; Oh, Junghwan; Marscher, Alan; Jorstad, Svetlana; Mizuno, Yosuke; Park, Jongho; Lee, S. S; Sascha Trippe and Mertens, Florent, 2021, "A Detailed Kinematic Study of 3C 84 and Its Connection to  $\gamma$ -Rays Show affiliations", *Astrophysical Journal*
- Hodgson, Jeffrey A; Sascha Trippe, 2021, "A Detailed Kinematic Study of 3C 84 and Its Connection to Gamma-Rays", *Astrophysical Journal*
- Hong, Sungwook E; Jeong, Donghui; Hwang, Ho Seong and Kim, Juhan, 2021, "Revealing the Local Cosmic Web from Galaxies by Deep Learning", *Astrophysical Journal*, vol.913, Issue 1
- Horne, K; De Rosa, G; Peterson, BM; Barth, AJ; Ely, J; Fausnaugh, MM; Kriss, GA; Pei, L; Bentz, MC; Cackett, EM; Edelson, R; Eracleous, M; Goad, MR; Grier, CJ; Kaastra, J; Kochanek, CS; Krongold, Y; Mathur, S; Netzer, H; Proga, D; Tejos, N; Vestergaard, M; Villforth, C; Adams, SM; Anderson, MD; Arevalo, P; Beatty, TG; Bennert, VN; Bigley, A; Bisogni, S; Borman, GA; Im Myungshin, 2021, "Space Telescope and Optical Reverberation Mapping Project. IX. Velocity-Delay Maps for Broad Emission Lines in NGC 5548", *Astrophysical Journal*, vol.907, Issue 2
- Hoyt, Taylor J; Beaton, Rachael L; Freedman, Wendy L; Jang, In Sung; Lee, Myung Gyoon; Madore, Barry F; Monson, Andrew J; Neeley, Jillian R; Rich, Jeffrey A and Seibert, Mark, 2021, "The Carnegie Chicago Hubble Program X: Tip of the Red Giant Branch Distances to NGC 5643 and NGC 1404", *Astrophysical Journal*, vol.915, Issue 1
- Hsieh, Henry H; Ishiguro, M; Knight Matthew M, 2021, "The Reactivation of Main-belt Comet 259P/Garradd (P/2008 R1)", *Planetary Science Journal*, vol.2, Issue 2, pp. 62
- Hsieh, PY; Koch, PM; Kim Woong-Tae; Martin, S; Yen, HW; Carpenter, JM; Harada, N; Turner, JL; Ho, PTP; Tang, YW; Beck, S, 2021, "The Circumnuclear Disk Revealed by ALMA. I. Dense Clouds and Tides in the Galactic Center", *Astrophysical Journal*, vol.913, Issue 2
- Huang, TC; Matsuhara, H; Goto, T; Santos, DJD; Ho, SCC; Kim, SJ; Hashimoto, T; Ikeda, H; Oi, N; Malkan, MA; Pearson, WJ; Pollo, A; Serjeant, S; Shim, H; Miyaji, T; Hwang Ho Seong; Durkalec, A; Poliszczuk, A; Greve, TR; Pearson, C; Toba, Y; Lee, D; Kim, HK; Toft, S; Jeong, WS; Enokidani, U, 2021, "Optically detected galaxy cluster candidates in the AKARI North Ecliptic Pole field based on photometric redshift from the Subaru Hyper Suprime-Cam", *Monthly Notices of the Royal Astronomical society*, vol.506, Issue 4, pp.6063~6080
- Hwang, S; Im Myungshin; Taak, YC; Paek, I; Choi, C; Shin, S; Lee, SY; Ji, TG; Pak, S; Lee, HI; Ahn, H; Han, J; Kim, C; Marshall, J; Johns-Krull, CM; Gibson, CA; Schmidt, L; Prochaska, T, 2021, "Medium-band Observation of the Neutrino Emitting Blazar, TXS 0506+056", *Astrophysical Journal*, vol.908, Issue 1
- Hwang, YH; Wang, WH; Chang, YY; Lim, CF; Chen, CC; Gao, ZK; Dunlop, JS; Gao, Y; Ho, LC; Hwang Ho Seong; Koprowski, M; Michalowski, MJ; Peng, YJ; Shim, H; Simpson, JM; Toba, Y, 2021, "Revisiting the Color-Color Selection: Submillimeter and AGN Properties of NUV-r-J Selected Quiescent Galaxies", *Astrophysical Journal*, vol.913, Issue 1
- Im Myungshin; Kim, Y; Lee, CU; Lee, HW; Pak, S; Shim, H; Sung, HI; Kang, W; Kim, T; Heo, JE; Hinse, TC; Ishiguro, M; Lim, G; Ly, CTK; Paek, GSH;

- Se, J; Yoon, JN; Woo, JH; Ahn, H; Cho, H; Choi, C; Han, J; Hwang, S; Ji, TG; Lee, SKJ; Lee, S; Lee, S; Kim, C; Kim, D; Kim, J; Kim, S, 2021, "SomangNet: Small Telescope Network of Korea", Journal of the Korean Astronomical Society, vol.54, Issue 3, pp.89~102
- Jang, In Sung; Hoyt, Taylor J; Beaton, Rachael L; Freedman, Wendy L; Madore, Barry F; Lee, Myung Gyoon; Neeley, Jillian R; Monson, Andrew J; Rich, Jeffrey A and Seibert, Mark, 2021, "The Carnegie-Chicago Hubble Program. IX. Calibration of the Tip of the Red Giant Branch Method in the Megamaser Host Galaxy, NGC 4258 (M106)", Astrophysical Journal, vol.906, Issue 2
- Janssen, Michael; Sascha Trippe, 2021, "Event Horizon Telescope observations of the jet launching and collimation in Centaurus A", Nature Astronomy
- Jin, Harim; Yoon, Sung-Chul and Blinnikov, Sergei, 2021, "The Effect of Circumstellar Matter on the Double-peaked Type Ic Supernovae and Implications for LSQ14efd, iPTF15dtg, and SN 2020bvc", Astrophysical Journal, vol.910, Issue 1
- Jun, Hyunsung D; Im, Myungshin; Hyun, Minhee; Yoon, Yongmin; Eisenhardt, Peter R. M; Hong, Jueun; Jeon, Yiseul; Kim, Duho; Kim, Jae-Woo; Kim, Ji Hoon and Park, Changbom, 2021, "The Galaxy Environment of Extremely Massive Quasars. I. An Overdensity of H alpha Emitters at  $z=1.47$ ", Astrophysical Journal, vol.920, Issue 2
- Kang, Jisu and Lee, Myung Gyoon, 2021, "Globular Cluster Systems of Massive Compact Elliptical Galaxies in the Local Universe: Evidence for Relic Red Nuggets?", Astrophysical Journal, vol.914, Issue 1
- Kang, S; Lee, S.-S; Hodgson, J; Algaba, J.-C; Lee, J. W; Kim, J.-Y; Park, J; Kino, M; Kim, D; Trippe, S, 2021, "Interferometric monitoring of gamma-ray bright AGNs: Measuring the magnetic field strength of 4C +29.45", Astronomy & Astrophysics
- Kim, E; Hwang Ho Seong; Jeong, WS; Kim, SJ; Burgarella, D; Goto, T; Hashimoto, T; Jo, YS; Lee, JC; Malkan, M; Pearson, C; Shim, H; Toba, Y; Ho, SCC; Santos, DJ; Ikeda, H; Kim, HK; Miyaji, T; Matsuhara, H; Oi, N; Takagi, T; Wang, TW, 2021, "The evolution of merger fraction of galaxies at  $z < 0.6$  depending on the star formation mode in the AKARI NEP-Wide Field", Monthly Notices of the Royal Astronomical society, vol.507, Issue 3, pp. 3113~3124
- Kim, J; Im Myungshin; Paek, GSH; Lee, CU; Kim, SL; Chang, SW; Choi, C; Hwang, S; Kang, W; Kim, S; Kim, T; Lee, HM; Lim, G; Seo, J; Sung, HI, 2021, " GECKO Optical Follow-up Observation of Three Binary Black Hole Merger Events: GW190408\_181802, GW190412, and GW190503\_185404", Astrophysical Journal, vol.916, Issue 1
- Kim, Minjin; Jeong, Woong-Seob; Yang, Yujin; Son, Jiwon; Ho, Luis C; Woo, Jong-Hak; Im, Myungshin; Byun, Woowon, 2021, "Simulations of Torus Reverberation Mapping Experiments with SPHEREx", Journal of the Korean Astronomical Society, vol.54, Issue 2, pp.37~47
- Kim, Yongjung and Im, Myungshin, 2021, "Pure Density Evolution of the Ultraviolet Quasar Luminosity Function at 2 less than or similar to  $z$  less than or similar to 6", Astrophysical Journal Letters, vol.910, Issue 1
- Kim, Yoo Jung and Lee, Myung Gyoon, 2021, "Calibration of Surface Brightness Fluctuations for Dwarf Galaxies in the Hyper Suprime-Cam gi Filter System", Astrophysical Journal, vol.923, Issue 2
- Kitazato, K; Milliken, R. E; Iwata, T; Ishiguro, M, 2021, "Thermally altered subsurface material of asteroid (162173) Ryugu", Nature Astronomy, vol.5, pp. 246~250
- Kocherlakota, Prashant; Rezzolla, Luciano; Falcke, Heino; Sascha Trippe, 2021, "Constraints on black-hole charges with the 2017 EHT observations of M87\*", Physical review D
- Kuroda, D; Ishiguro, M; Naito, H, 2021, "(85989) 1999 JD6 : a first Barbarian asteroid detected by polarimetry in the NEA population", Astronomy & Astrophysics, vol.646, pp. A51
- Kuroda, Daisuke; Geem, Jooyeon; Akitaya, Hiroshi; Jin, Sunho; P.Bach, Yoonsoo; Masateru Ishiguro, 2021, "Implications of High Polarization Degree for the Surface State of Ryugu", Astrophysical Journal Letters, vol.911, Issue 2, pp. L24
- Lee, Jong Chul; Hwang, Ho Seong; Song, Hyunmi, 2021, "Searching for Mg II absorbers in and around galaxy clusters", Monthly Notices of the Royal Astronomical society, vol.503, Issue 3, pp. 4309~4309
- Lee, Jounghun; Moon, Jun-Sung; Ryu, Suho and Yoon, Suk-Jin, 2021, "Detection of the Mass-dependent Dual Type Transition of Galaxy Spins in IllustrisTNG Simulations", Astrophysical Journal, vol.922, Issue 1
- Luo, Rongxin; Woo, Jong-Hak; Karouzos,

- Marios; Bae, Hyun-Jin; Shin, Jaejin; McConnell, Nicholas; Shih, Hsin-Yi; kim, Yoo Jung and Park, Songyoun, 2021, "Unraveling the Complex Structure of AGN-driven Outflows. V. Integral-field Spectroscopy of 40 Moderate-luminosity Type-2 AGNs", *Astrophysical Journal*, vol.908, Issue 2
- Madjarska, MS; Chae Jong chul; Moreno-Insertis, F; Hou, ZY; Nobrega-Siverio, D; Kwak, H; Galsgaard, K; Cho, K, 2021, "The chromospheric component of coronal bright points: Coronal and chromospheric responses to magnetic-flux emergence", *Astronomy & Astrophysics*, vol.646
- Moon, Sanghyuk; Kim, Woong-Tae; Kim, Chang-Goo and Ostriker, Eve C, 2021, "Star Formation in Nuclear Rings with the TIGRESS Framework", *Astrophysical Journal*, vol.914, Issue 1
- Mun, Jae Yeon; Hwang, Ho Seong; Lee, Myung Gyoon; Chung, Aeree; Yoon, Hyein; Lee, Jong Chul, 2021, "Star Formation Activity of Galaxies Undergoing Ram Pressure Stripping in the Virgo Cluster", *Journal of the Korean Astronomical Society*, vol.54, Issue 1, pp. 17~35
- Narayan, Ramesh; Palumbo, Daniel C. M; Sascha Trippe, 2021, "The Polarized Image of a Synchrotron-emitting Ring of Gas Orbiting a Black Hole", *Astrophysical Journal*
- Oh, Junghwan; Sascha Trippe, 2021, "A persistent double nuclear structure in 3C 84", *Monthly Notices of the Royal Astronomical society*
- Oh, Junghwan; Wagner, Jan; Sascha Trippe; Lee, Taeseok; Lee, Bangwon; Kim, Chang Hee, 2021, "SIRIUS: a prototype astronomical intensity interferometer using avalanche photodiodes in linear mode", *Monthly Notices of the Royal Astronomical society*
- Park Young-Sun, 2021, "One-dimensional Treatment of Molecular Line Radiative Transfer in Clumpy Clouds" *Journal of the Korean Astronomical Society*, vol.54, Issue 6, pp. 183~190
- Poliszczuk, A; Pollo, A; Malek, K; Durkalec, A; Pearson, WJ; Goto, T; Kim, SJ; Malkan, M; Oi, N; Ho, SCC; Shim, H; Pearson, C; Hwang Ho Seong; Toba, Y; Kim, E, 2021, "Active galactic nuclei catalog from the AKARI NEP-Wide field", *Astronomy & Astrophysics*, vol. 651
- Rho, J; Evans, A; Geballe, T. R; Banerjee, D. P. K; Hoefflich, P; Shahbandeh, M; Valenti S; Yoon, S.-C, 2021, "Near-infrared and Optical Observations of Type Ic SN 2020oi and Broad-lined Type Ic SN 2020bvc: Carbon Monoxide, Dust, and High-velocity Supernova Ejecta", *Astrophysical Journal*, vol.908, Issue 2
- Ryu, Suho and Lee, Jounghun, 2021, "The Diffusion Coefficient of the Splashback Mass Function as a Probe of Cosmology", vol.917, Issue 2
- Sakatani, N; Tanaka, S; Okada, T; Fukuhara, T; Riu, L; Sugita, S; Ishiguro, M, 2021, "Anomalously porous boulders on (162173) Ryugu as primordial materials from its parent body", *Nature Astronomy*, vol.5, pp766~774
- Santos, DJD; Goto, T; Kim, SJ; Wang, TW; Ho, SCC; Hashimoto, T; Huang, TC; Lu, TY; On, AYL; Wong, YHV; Hsiao, TYY; Pollo, A; Malkan, MA; Miyaji, T; Toba, Y; Kilerci-Eser, E; Jeong, WS; Shim, H; Pearson, C; Poliszczuk, A; Chen, BH; Mack, K; Hwang Ho Seong, 2021, "Environmental effects on AGN activity via extinction-free mid-infrared census", *Monthly Notices of the Royal Astronomical society*, vol.507, Issue 2, pp. 3070~3088
- Shin, Jaejin; Woo, Jong-Hak; Kim, Minjin and Wang Junfeng, 2021, "Revisiting the Complex Kinematics of Ionized Gas at the Central Region of NGC 1068: Evidence of an Additional Active Galactic Nucleus?", 2021, *Astrophysical Journal*, vol.908, Issue 1
- Shin, Jaejin; Woo, Jong-Hak; Nagao, Tohru; Kim, Minjin and Bahk, Hyeonguk, 2021, "Strong Correlation between Fe ii/Mg ii Ratio and Eddington Ratio of Type 1 Active Galactic Nuclei", *Astrophysical Journal*, vol.917, Issue 2
- Sohn, Jubee; Geller, Margaret J; Hwang, Ho Seong; Diaferio, Antonaldo; Rines, Kenneth J and Utsumi, Yousuke, 2021, "The HectoMAP Cluster Survey: Spectroscopically Identified Clusters and their Brightest Cluster Galaxies (BCGs)", *Astrophysical Journal*, vol.923, Issue 2
- Takahashi, J; Masateru Ishiguro; Itoh, Y; Matsuo, T; Oasa, Y; Bach, YP, 2021, "Polarimetric signature of the oceans as detected by near-infrared Earthshine observations", *Astronomy & Astrophysics*, vol.653
- Tatsumi, E; Sugimoto, C; Riu, L; Sugita, S; Nakamura, T; Hiroi, T; Morota, T; Popescu, M; Ishiguro, M, 2021, "Collisional history of Ryugu's parent body from bright surface boulders", *Nature Astronomy*, vol.5, pp. 39~45
- The EHT MWL Science Working Group, Sascha Trippe, 2021, "Broadband Multi-wavelength Properties of M87 during the 2017 Event Horizon

Telescope Campaign”, *Astrophysical Journal Letters*  
 The Event Horizon Telescope Collaboration;  
 Akiyama, Kazunori; Sascha Trippe, 2021, “First M87  
 Event Horizon Telescope Results. VIII. Magnetic  
 Field Structure near The Event Horizon”,  
*Astrophysical Journal Letters*

## 세종대학교 물리천문학과 (천문우주학과 대학원)

### 1. 인적사항

세종대학교 물리천문학과에는 천문학을 전공하는 전임 교수로 이희원, 이재우, 채규현, 김성은, M. van Putten, G. Rossi, 오세현, Jeffrey Hodgson, Benjamin L’Huillier 회원이 재직하고 있으며, 박사후 연구원으로 김학섭 박사, Maryam Aghaei, Michael Michaux 연구원이 재직하고 있다. 2021년 8월 박혜진 회원이 석사 학위를 취득하였고, 이영민 회원과 장석준 회원이 박사 학위를 취득하였다. 2022년 2월 김신나, 김신정 학생이 석사 학위를 취득하였으며, 현재 박사과정에는 이경민 회원과 David Gil Fernandez 학생이 석사과정에는 김민수, 최현용, 문정인 학생이 재학하고 있다.

### 2. 연구 및 학술 활동

이희원 회원은 공생별과 행성상성운에서 나타나는 라만 산란광과 초기 우주의 라이먼 알파 방출 천체와 활동성 은하핵의 주변 두꺼운 수소 지역에서 되는 산란광의 원자 물리학과 복사 전달을 연구하고 있다. 이희원 회원은 장석준 회원, 이영민 회원, 최보은 회원과 김미경 회원을 지도하였으며 현재 최현용 회원을 지도하고 있다. 장석준 회원은 초기 우주의 라이먼 알파 방출 천체에서 라이먼 알파선의 복사 전달을 한국천문연구원, 양유진 회원, 선광일 회원, Arizona 대학의 Zabludoff 교수와 함께 연구하고 있으며 수소 원자의 정확한 산란단면적 계산을 적용하여 초기 우주의 재이온화 과정과 관련된 복사 전달 연구를 수행하고 있다. 장석준 회원은 grid-based Monte Carlo 기법의 복사 전달을 기술하는 ‘Sejong Radiative Transfer through Raman and Rayleigh Scattering (STaRS)’ 코드를 개발하여 <http://github.com/csj607/STaRS>에 공개하였다. 장석준 회원은 2021년 8월에 박사 학위를 받았으며, 2022년 2월부터 Max Planck Institute, Garching에서 박사후 연구원직을 수행하고 있다. 이영민 회원은 한국천문연구원의 김효선 회원의 지도를 받으면서 FLASH 코드를 사용하여 공생별에서 각각 원반 형성 과정의 유체역학 연구를 수행하였으며 2021년 8월에 공생별의 복사 전달과 각각 원반 연구를 주제로 박사 학위를 받았다. 최보은

회원은 행성상성운의 두꺼운 중성 수소 지역에서 He II의 라만 산란선 형성 과정을 연구하였으며 BOES 고분산 분광 관측으로부터 NGC 6886과 NGC 6881에 Raman-scattered He II 6545 feature를 발견하여 *Astrophysical Journal Letters*에 결과를 출판하였다. 최보은 회원은 2021년 2월에 석사 학위를 수여 받았으며, 2021년 9월부터 University of Washington의 박사 과정에 진학하였다. 최현용 회원은 위상 공간에서 톰슨 산란광의 선운동과 편광 형성 과정의 기초 연구를 수행하고 있으며 공생별에서 나타나는 강한 원자외선 방출선의 톰슨 산란에 의한 날개 형성의 시뮬레이션을 수행하고 있다.

이재우 회원은 지난 10년간 칠레의 세로토롤로 국립천문대 망원경을 이용한 남반구 구상성단 확장 스트림그렌 협대역 측광 전천 탐사 관측을 종료하였으며, 2017년 WIYN consortium의 공식 파트너로 참가하여 북반구 구상성단에 대한 가시광 전천 탐사 관측을 새로이 시작하였다. 기존에 수행하였던 CaII H&K를 포함하는 확장 스트림그렌 측광계와 세계 최초로 고안한 JWL34, JWL39, JWL43 필터시스템을 포함하는 “JWL 측광계”를 확립하였다. JWL34, JWL39, JWL43 필터는 각각  $NH \lambda 3360 \text{ \AA}$ ,  $CN \lambda 3883 \text{ \AA}$ , 그리고  $CH \lambda 4300 \text{ \AA}$  분자대 흡수선의 세기를 측정하며, 이론적으로 계산한 합성측광인자와의 비교를 통하여 중금속 함량 이외에 탄소와 질소의 함량을 도출할 수 있다. 이재우 회원이 개발한 측광 인자들은 허블우주망원경으로부터 얻은 결과들보다 우수하며, 구상성단 거성계에 대한 완결한 다중종족 샘플을 확보할 수 있다. 2021년 상반기에 Gemini GMOS용 JWL 필터를 제작 완료하여, 칠레에 위치한 Gemini-South GMOS에 장착 완료하였다. 이를 이용한 관측은 2021년 12월부터 시작하였다. 대마젤란은하에 있는 구상성단인 NGC2257에 대한 JWL측광을 수행하였으며, 모은하가 구상성단 다중종족의 형성에 미치는 영향을 연구하고 있다. 2019년 “적외선 JWL 측광계”를 새로이 개발하였으며, 2020년부터 보현산 천문대의 KASINICS를 사용한 구상성단의 다중종족에 적외선 관측 연구를 진행하고 있다. 2021년 상반기에는 기존에 개발하였던 JWL2.5를 대체하는 JWL2.3필터를 개발하였다. 적외선 JWL측광계는 가시광선 JWL측광계와 함께 사용하여 탄소, 질소 이외에 산소함량을 측광학적으로 측정할 수 있다. 본 연구는 세종대의 김학섭 회원 및 천문연구원의 성현일 회원과 함께 연구를 수행하고 있으며, 새로운 적외선 관측자료는 구상성단 다중종족의 기원 및 진화를 이해하는데 가장 중요한 CNO함량에 대한 중요한 정보를 제공할 것으로 기대하고 있다. 한편, SYNTH와 MOOG를 사용하여 대규모 항성 진화 모형에 대응하는 합성스펙트럼을 계산하였으며, 자외선부터 적외선 JWL측광계에 대한 측광인자 계산을 완료하였다. 이 계산 결과를 사용하면, JWL측광계를 사용한 측광 관측자료로부터 매우 개별 별들에 대한 정밀한 중금속 함량, 탄소, 그리고 질소 함량을 측

정할 수 있다. 이재우 회원은 우리은하의 대표적인 구상성단 M3이 왜소은하 환경에서 두 개의 구상성단이 병합된 후 우리은하에 유입된 특이 성단임을 발견하였으며, 이 결과를 *Astrophysical Journal*에 발표하였다. 또한 구상성단 M5의 생성과정에 대한 논문을 *Astrophysical Journal Letters*에 발표하였는데, 이 논문은 미국천문학회에서 발간하는 NOVA에 주목할 만한 연구성과로 선정되었다.

채규현 회원은 2020년에 검출한 나선은하에서의 외부 중력장 효과에 대한 연구를 계속 하였다. 외부 중력장 효과는 수정중력에 대한 증거이기 때문에 2020년에 얻은 결과를 계속 검증하는 것은 매우 중요했다. 먼저는 2020년에 모델링한 은하들 주변 환경을 살펴보았다. 외부 중력장 효과가 올바른 해석이라면, 회전속도곡선이 은하 외곽에서 감소하는 정도가 은하 주변 환경과 어느 정도의 연관성을 보여줄 것이기 때문이다. 채규현 회원은 Harry Desmond (현 소속: Carnegie Mellon U), Federico Lelli (INAF, 이태리), Stacy McGaugh (Case Western Reserve U), 그리고 James Schombert (U of Oregon)와 함께 2MASS와 SDSS 은하 데이터 베이스를 사용하여 은하 주변 환경을 조사하였다. 그 결과 우리는 외부 중력장 효과의 예측과 부합하는 회전속도곡선 형태와 외부 환경 사이의 상관관계를 얻었다. 외부 중력장 효과 연구에서 다른 중요한 이슈는 은하 회전속도곡선을 모델링하는데 있어서 수정중력의 비선형방정식의 정확한 수치해를 구해서 적용하는 것이었다. 2020년 초기 논문에서는 1차원 근사에 기초한 해석적 해를 사용하였다. 이 문제점을 보완하기 위해서 채규현 회원은 원반은하에 대한 수정중력 비선형방정식의 수치해를 이스라엘의 Mordehai Milgrom 교수와 함께 구하였다. Milgrom 교수는 1983년에 수정뉴턴역학 이론을 제안한 인물이다. 이 수치해를 사용한 새로운 모델링 결과는 현재 출판 진행 중에 있다.

김성은 회원은 세종대학교 테라헤르츠 및 전파 천문 연구실 소속 연구원들과 함께 다파장 관측 자료를 분석하여 테라헤르츠 및 서브밀리미터 파장대역에서 두드러지게 나타나는 천체들의 천체물리학적 특성을 규명하고자 하였다. 본 연구에서 각 대상 천체들이 속한 우주 내 적색편이 분포와 별 형성을 밀도를 파악하고 상대론적 우주에서 각각의 병합과정으로 인해 발생하는 은하원시운들의 질량 변화 추이를 이해하고자 하였다. 테라헤르츠 파장대역에서 주로 전자기파를 방출하는 은하들 및 천체들을 관측한 자료로부터 약 5447개의 은하들이 주로 분포한 적색편이 영역에서의 별 형성을 밀도를 구하였고, 병합나무코드를 활용하여 우주 내 암흑 헤일로 밀도 변화와 별 형성을 밀도 변화와의 상관관계를 도출하고자 하였다. 한편, 측광학적 적색편이를 측정하기 위해 사용된 HYPERZ, ZEBRA 코드 등을 분석하여 측광학적 적색편이의 오차 범위에 관해 재조명하였다. 이 중

1752 개의 은하들에 관한 결과를 *Astrophysics and Space Science* 국제 학술지에 발표하였다. 적색편이에 따른 별 형성을 밀도 분포 양상과 별 형성을 밀도의 최대 값이 관측되는 적색편이 영역이 Madau and Dickinson (2014) 결과와 차이가 있음을 발표하였다. 한편, 신은주 회원과 함께 대한여성과학기술인회가 주최하는 BIEN 2021 국제 융복합학술대회에서 Analysis Tool for the Millimeter and Submillimeter Observations에 대해 발표하였다. 분자운에서 방출되는 고분자 천이선들의 세기 비로부터 적색편이 2인 은하들에서 적색편이 5.5에 속하는 은하들의 분자운 밀도 및 온도에 대해 계산하고 비교한 결과를 발표하였다.

Maurice van Putten's research group on cosmology, gravitation, and exoplanets includes postdoctoral researcher Dr. Maryam A. Abchouyeh, Ph.D. student Lee Gyeong-Min and M.Sc. graduates Choi Bo-Eun, Kim Shin-Jeong, Kim Shinna and Park Hye-Jin. We are a member of CHEA/UNIST, the gravitational-wave experiment KAGRA (recently joined with LIGO-Virgo), the GRB satellite mission THESEUS (Italy) and the Laser Interferometric Space Antenna (LISA). Van Putten received a 연구 우수교수상 (2021) from Sejong University. H0-tension between  $\Lambda$ CDM and the Local Distance Ladder and associated  $q_0$ -tension in the deceleration parameter is apparent in a  $qQ$ -diagram, where  $Q$  is the derivative of  $q(z)$ . A nonlocal dark energy (NDE)  $\Lambda = g(1-q)H^2$  derives from gauge fixing of total phase in the propagator of low-energy quantum cosmology. It predicts  $H_0 = (73.37 \pm 0.54)$  km/s/Mpc and  $q_0 = 2(q_0 - \Lambda\text{CDM})$  (van Putten, 2021, PLB, 832, 136737) with observational support from  $H_0 = (73.30 \pm 1.04)$  km/s/Mpc (Riess et al. 2021, arXiv:2112.04510v2) and  $q_0 = -1.08 \pm 0.29$  (Camarena & Valerio, 2020, Phys. Rev. Res., 2, 013028.) For the first time, it hints at the fine-structure constant  $\alpha$  in the cosmological background, here in gravitational coupling  $g = 1 - \alpha/2$  of NDE, the origin of which remains unknown. For LIGO-Virgo-KAGRA in the planned O4 observational run, we developed a search pipeline for transient emission from mergers and central engines of gamma-ray bursts (GRBs) and core-collapse supernovae (CC-SNe) in the Local Universe - a collaborative effort with Prof. Massimo Della Valle (INAF, Italy) and, previously, the BeppoSAX group at the University of Ferrara (Italy). Notably, the sensitivity to transient durations exceeding one second ("long bursts") approaches the ideal limit of matched filtering, realizing equal

sensitivity to mergers such as GW170817 and post-merger signals from spin-down of a black hole against surrounding high-density matter. Probability of False Alarm is formulated in consistency conditions across two (or more) detectors by Boolean stochastic variables. Our formulation has the power to identify candidate signals at probabilities of false alarm in excess of five sigma (under review). With Dr. M. Abchouyeh, we studied unparticle cosmology and discovered evidence of holography in confrontation with late-time Hubble parameter data (Abchouyeh & van Putten 2021); and developed a novel multi-tab audio-visual GWXplorer App to access to and explore public LIGO data (in prep.). With Kim Shin-Jeong, Kim Shinna and Park Hye-Jin, we studied the problem of stellar binary progenitors of black hole binaries (BBH) in the GWTC-2 catalogue of LIGO-Virgo runs O2-O3a. Specifically, we studied their mass-function in relation to the Salpeter Initial Mass Function (IMF) (in prep.). Anticipating James Webb Space Telescope (JWST) observations in 2022, with Choi Bo-Eun, we performed a new study on the dynamical stability of exoplanets in elliptical orbits around non-equal mass stellar binaries as a condition for habitability (in prep.). Lee Gyeong-Min is deriving high-resolution rotation curves from SDSS and 2MASS, focused on the CO-galaxy dynamics transition across the de Sitter scale of acceleration  $a_d S = cH$  (van Putten 2017).

Graziano Rossi 회원은 은하와 퀘이사에 대한 통계적 분포 연구, 수치 시뮬레이션, 중성미자, 그리고 암흑 에너지에 대한 연구를 수행하고 있다. SDSS-IV eBOSS 팀과 함께 지금까지 존재했던 우주지도보다 훨씬 큰 우주지도 (DR16)에 대한 폭넓은 연구 분석 결과를 정리한 주요 논문발표들에 크게 기여했다. eBOSS Collaboration 논문에 SDSS 망원경을 운용한 20년간의 노력을 정리해 놓았다 (eBOSS Collaboration et al. 2021). Rossi 회원이 이끄는 Sejong Cosmology 그룹은 Mock Challenge (Rossi, Choi, Moon, et al. 2021)를 통해 은하 클러스터링 연구에 크게 기여했다. Mock challenge는 데이터 분석 방법의 타당성을 평가하고, 우주론에서 중요한 값들의 오차를 정량화하는 데 쓰이면서 eBOSS DR16 최종 연구 결과에 기여했다. 또한, Rossi 회원과 Sejong Cosmology 그룹은 cross-correlation을 통한 HI constraints, 우주 초기의 non-Gaussianity 확인, 우주론적인 스케일에서의 일반상대성 이론 확인 등에 대한 연구도 수행했다. SDSS-IV eBOSS 시뮬레이션 그룹을 이끌었고, 미국 국가에너지 연구 과학 컴퓨팅센터 (NERSC)의 장비들과 계산시간 등을 eBOSS

collaboration을 위해 관리했다. SDSS-IV eBOSS survey의 공식적인 종료 이후로 Rossi 회원은 DESI Collaboration에 적극적으로 참여하고 있다. 현재 문정인 회원과 함께 초기 DESI 데이터를 테스트하고 분석하는 것에 주요한 역할을 하고 있다. 유호균 학생은 DESI 관측 shift에 참여하고 있고 최근 Michael Michaux 연구원이 박사후연구원으로 Sejong Cosmology 그룹에 함께 하게 되었다. Rossi 회원은 DESI Meetings Committee의 일원으로서 두 Collaboration 학회를 조직해 아시아 친화적인 세션들의 중요성에 대해 소개를 했고, 국제학회에서 상기 연구 결과들을 발표했다.

오세현 회원은 고분해능 중성수소 선 스펙트럼 관측을 통해 외부은하들의 가스 동역학이 성간 물질의 구조와 은하 내 물질분포 및 별 생성에 미치는 영향과, 궁극적으로 이들이 은하 형성과 진화 과정에서 어떤 역할을 하는지 연구하고 있다. 이를 위해, 호주와 남아프리카공화국에서 운용 중인, Square Kilometre Array (SKA) Pathfinders (ASKAP-호주, MeerKAT-남아프리카 공화국)를 사용한 고분해능 외부은하 중성수소 관측 프로젝트들 (WALLABY, MHONGOOSE 등)에 참여해오고 있다. 오세현 회원은 호주의 ASKAP 전파 간섭계를 사용한 남반구 외부은하 중성수소 전천탐사 프로젝트인 WALLABY에서 "국부 우주에 위치하는 외부은하들에 대한 과학 연구" 분과의 공동의장을 맡고 있으며, ASKAP 초기 관측으로부터 얻어진 외부은하들의 가스 동역학 및 성간물질의 특성 연구를 수행해오고 있다.

Jeffrey A. Hodgson 회원은 공동연구자들과 함께 BL Lacs의 43 GHz VLBA 관측과 86 GHz GMVA 관측 데이터를 활용하여 BL Lacs 내 블랙홀로부터 5 pc 떨어진 지점에서의 제트 확장 profile의 변화가 Bondi 반경에서의 외부 압력의 변화로 설명될 수 있음을 보였다. 상기 연구 결과는 Astronomy & Astrophysics 국제 학술지에 게재되었다. 한편, KVN과 호주에 위치한 MOPRA 안테나를 간섭계로 연결하여 시험 관측을 수행하였으며, 곧 정상적인 운용 준비를 하고 있다.

Benjamin L'Huillier 회원은 최신 우주론 데이터에 첨단 통계 방법을 적용하여 우주론의 Concordance 모형의 여러 측면을 테스트하고 있다. DESI Collaboration에서는 코드 비교 프로젝트인 GOTPM을 이끌고 있다.

### 3. 연구 및 교육시설

세종대학교가 교육과 연구 목적으로 보유하고 있는 관측시설은 곤지암에 설치된 76cm 반사망원경과 40cm 반사망원경이 있으며, 캠퍼스에 여러 소형 망원경을 관측실습 및 공개 행사에 사용하고 있다. 세종대학교 물리천문학과는 외국의 천문대 공동 운영에도 참여하고 있다.

이재우 회원은 WIYN Consortium의 공식 파트너로 참여하여 WIYN 0.9m 천문대의 공동 운영 및 관측 장비를 이용한 구상성단 다중 종족에 대한 연구를 수행하고 있다. Maurice van Putten 회원은 중력파 관측 프로젝트인 KAGRA의 멤버로서 중력파 관측 자료를 이용한 연구를 수행하고 있다. Graziano Rossi 회원은 슬론 디지털 천천 탐사 (SDSS)의 파트너로 참여하여 대규모 관측자료를 이용한 우주론 연구를 수행하고 있다. 학부생들의 관측실습으로 주로 교내 영실관 옥탑의 간이 관측소에 설치되어 있는 11인치 반사망원경 및 다수의 소형 굴절 망원경을 이용하고 있으며, SRT 소형 전파망원경으로 사용하여 전파관측 실습을 하고 있다. 학부생 및 대학원생들의 컴퓨터 교육을 위해 천문계산실에 총 18대의 PC를 구비하고 있으며, Linux/Windows 운영환경을 제공하고 있다. 학부생의 취미 및 장래 진로를 위해 학과 내에 천문관측동아리 AJA와 컴퓨터 프로그래밍 동아리 ASC가 학생들의 자발적인 활동으로 활발하게 유지·운영이 되고 있으며, 졸업생들의 취업에 기여해 왔다.

#### 4. 연구논문

Heo, Jeong-Eun; Lee, Hee-Won; Angeloni, Rodolfo; Palma, Tali; Mille, Francesco Di, 2021, ApJ, 915, 105, "Raman-scattered O VI Features in the Symbiotic Nova RR Telescopii"

Lee, J.-W. 2021, ApJL, 918, L24, "Formation of Multiple Populations of M5 (NGC 5904)"

Lee, J.-W. & Sneden, C. 2021, ApJ, 909, 167 "Multiple Stellar Populations of Globular Clusters from Homogeneous Ca-CN-CH-NH Photometry. VI. M3 (NGC 5272) Is Not a Prototypical Normal Globular Cluster"

Chae, K.-H., Harry Desmond, Federico Lelli, Stacy S. McGaugh, and James M. Schombert 2021 ApJ 921 104 "Testing the Strong Equivalence Principle. II. Relating the External Field Effect in Galaxy Rotation Curves to the Large-scale Structure of the Universe"

Pengfei Li, Federico Lelli, Stacy McGaugh, James Schombert, and Kyu-Hyun Chae 2021, A&A 646, L13 "A cautionary tale in fitting galaxy rotation curves with Bayesian techniques. Does Newton's constant vary from galaxy to galaxy?"

Jo, J.U., Youn, S.Y., Kim, S., Park, Y., Hwang, J., Lee, J., and Kim, G. 2021, "Star Formation Rate Density Across the Cosmic Time", Astrophysics and Space Science, 366, 18

Hong, C., & van Putten, M.H.P.M., 2021, Stability of P-type orbits around stellar binaries: An extension to counter-rotating orbits, NewA, 84, 101516

van Putten, M.H.P.M., 2021, Evidence of the fine-structure constant in H0-tension, PLB, 832, 136737

Abchouyeh, M.A., & van Putten, M.H.P.M., 2021, Late-time Universe, H0-tension, and unparticles, PRD, 104, 083511

Abbott, R., et al., (LVK Collaboration), 2021, Searches for Continuous Gravitational Waves from Young Supernova Remnants in the Early Third Observing Run of Advanced LIGO and Virgo, 2021, ApJ, 921, 80

Abbot, R., et al., (LVK Collaboration), 2021, Constraints from LIGO O3 Data on Gravitational-wave Emission Due to R-modes in the Glitching Pulsar PSR J0537-6910, ApJ, 922, 71

Abbott, R., et al., (LVK Collaboration), 2021, Diving below the Spin-down Limit: Constraints on Gravitational Waves from the Energetic Young Pulsar PSR J0537-6910, ApJ, 913, L27

Abbott, R., et al., (LVK Collaboration), 2021, Observation of Gravitational Waves from Two Neutron Star-Black Hole Coalescences, ApJ, 915, L5

Abbott, R., et al., (LVK Collaboration), 2021, Constraints on Cosmic Strings Using Data from the Third Advanced LIGO-Virgo Observing Run, PRL, 126, 241102

Akutsu, T., et al., (KAGRA Collaboration), 2021, Overview of KAGRA: Calibration, detector characterization, physical environmental monitors, and the geophysics interferometer, PTEP, 05A102

Akutsu, T., et al., (KAGRA Collaboration), 2021, Vibration isolation systems for the beam splitter and signal recycling mirrors of the KAGRA gravitational wave detector, Class. Quant. Gravity, 38, 065011

Abbott, R., et al. (LVK Collaboration), 2021,

All-sky search in early O3 LIGO data for continuous gravitational-wave signals from unknown neutron stars in binary systems, PRD 103, 064017

Abbott, R., et al. (LVK Collaboration), 2021, Upper limits on the isotropic gravitational-wave background from Advanced LIGO and Advanced Virgo's third observing run, PRD 104, 022004

Abbott, R., et al. (LVK Collaboration), 2021, Search for anisotropic gravitational-wave backgrounds using data from Advanced LIGO and Advanced Virgo's first three observing runs, PRD 104 022005

Abbott, R., et al. (LVK Collaboration), 2021, All-sky search for long-duration gravitational-wave bursts in the third Advanced LIGO and Advanced Virgo run, PRD 104 022001

Abbott, R., et al. (LVK Collaboration), 2021, All-sky search for short gravitational-wave bursts in the third Advanced LIGO and Advanced Virgo run, PRD 104 022004

Cioffi, R., et al., 2021, Multi-messenger astrophysics with THESEUS in the 2030s, Exp. Astron., 52, 245

Rossi, G., Choi, P.D., Moon, J., et al., 2021, MNRAS, 505, 377, "The Completed SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: N-Body Mock Challenge for Galaxy Clustering Measurements"

Moon, J, Rossi, G., Choi, P.D., 2021, SDSS Collaboration Meeting 2021, Johns Hopkins University, August 11-16, 2021, "The Challenge of Mock Challenges: Validating Data Analysis Pipelines for the Completed SDSS-IV eBOSS LRG Sample"

Rezaie, M., ... Rossi, G., et al., 2021, MNRAS, 506, 3439, "Primordial non-Gaussianity from the Completed SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey I: Catalogue Preparation and Systematic Mitigation"

Merz, G., ... Rossi, G., et al., 2021, MNRAS, 506, 2503, "The clustering of the SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey quasar sample: Testing observational systematics on the Baryon Acoustic Oscillation measurement"

Alam, S., ... Rossi, G., et al., 2021, MNRAS, 504,

4667, "The Completed SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: N-body Mock Challenge for the eBOSS Emission Line Galaxy Sample"

Zhao, G., ... Rossi, G., et al., 2021, MNRAS, 504, 33, "The Clustering of the SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey DR16 Sample: a Multi-Tracer Analysis in Fourier Space for Measuring the Cosmic Structure Growth and Expansion Rate"

Zhao, C., ... Rossi, G., et al., 2021, MNRAS, "The Completed SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: One Thousand Multi-Tracer Mock Catalogues with Redshift Evolution and Systematics for Galaxies and Quasars of the Final Data Release"

Alam, S., ... Rossi, G., et al., 2021, PhRvD, 103, 083533, "The Completed SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Cosmological Implications from two Decades of Spectroscopic Surveys at the Apache Point Observatory"

de Mattia, A., Rossi, G., et al., 2021, MNRAS, 501, 5616, "The Completed SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: measurement of the BAO and growth rate of structure of the emission line galaxy sample from the anisotropic power spectrum between redshift 0.6 and 1.1"

Zhang, Y., ... Rossi, G., et al., 2021, MNRAS, 501, 1013, "Testing General Relativity on Cosmological Scales at Redshift  $z \sim 1.5$  with Quasar and CMB Lensing"

Raichoor, A., ... Rossi, G., et al., 2021, MNRAS, 500, 3254, "The completed SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: large-scale structure catalogues and measurement of the isotropic BAO between redshift 0.6 and 1.1 for the Emission Line Galaxy Sample"

Hou, J., ... Rossi, G., et al., 2021, MNRAS, 500, 1201, "The completed SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: BAO and RSD measurements from anisotropic clustering analysis of the quasar sample in configuration space between redshift 0.8 and 2.2"

Bautista, J., ... Rossi, G., et al., 2021, MNRAS, 500, 736, "The Completed SDSS-IV Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Measurement of the BAO and Growth Rate of Structure of the Luminous Red Galaxy Sample from the Anisotropic Correlation Function between Redshifts 0.6 and 1"

du Mas des Bourboux, H., ... Rossi, G., et al.,



2021, Astrophysics Source Code Library - ASCL Code Record Code - Bibcode: 2021ascl.soft06018D - "picca: Package for IGM Cosmological-Correlations Analyses"

Shun Wang, Jing Wang, Bi-Qing For, Bumhyun Lee, Tristan Reynolds, Xuchen Lin, Lister Staveley-Smith, Li Shao, O. Ivy Wong, Barbara Catinella, Paolo Serra, Lourdes Verdes-Montenegro, Tobias Westmeier, Karen Lee-Waddell, Baerbel S. Koribalski, Chandrashekar Murugesan, Ahmed Elagali, Dane Kleiner, Jonghwan Rhee, Frank Bigiel, Albert Bosma, Benne Holwerda, Se-Heon Oh, Kristine Spekkens, 2021, "WALLABY Pre-Pilot Survey: The effects of tidal interaction on radial distribution of color in galaxies of the Eridanus supergroup", *Astrophysical Journal* 927, 66

Jing Wang, Lister Staveley-Smith, Tobias Westmeier, Barbara Catinella, Li Shao, T.N. Reynolds, Bi-Qing For, Bumhyun Lee, Ze-zhong Liang, Shun Wang, A. Elagali, H. Denes, D. Kleiner, Baerbel S. Koribalski, K. Lee-Waddell, S-H. Oh, J. Rhee, P. Serra, K. Spekkens, O. I. Wong, K. Bekki, F. Bigiel, H.M. Courtois, Kelley M. Hess, B.W. Holwerda, Kristen B.W. McQuinn, M. Pandey-Pommier, J.M. van der Hulst, L. Verdes-Montenegro, 2021, "WALLABY Pilot Survey: The Diversity of Ram Pressure Stripping of the Galactic H I Gas in the Hydra Cluster, *Astrophysical Journal* 915, 70

O. Ivy Wong, A.R.H. Stevens, B.-Q. For, T. Westmeier, M. Dixon, S.-H. Oh, G.I.G. Jozsa, T.N. Reynolds, K. Lee-Waddell, J. Roman L. Verdes-Montenegro, H.M. Courtois, D. Pomarède, C. Murugesan, M.T. Whiting, K. Bekki, F. Bigiel, A. Bosma, B. Catinella, H. Denes, A. Elagali, B.W. Holwerda, P. Kamphuis, V.A. Kilborn, D. Kleiner, B.S. Koribalski, F. Lelli, J.P. Madrid, K.B.W. McQuinn, A. Popping, J. Rhee, S. Roychowdhury, T.C. Scott, C. Sengupta, K. Spekkens, L. Staveley-Smith, B.P. Wakker, 2021, "WALLABY pre-pilot survey: Two dark clouds in the vicinity of NGC 1395", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 507, 2905

T.N. Reynolds, B. Catinella, L. Cortese, T. Westmeier, G.R. Meurer, L. Shao, D. Obreschkow, J. Roman, L. Verdes-Montenegro, N. Deg, H. Dene s, B.-Q. For, D. Kleiner, B.S. Koribalski, K. Lee-Waddell, C. Murugesan, S.-H. Oh, J. Rhee, K.

Spekkens, L. Staveley-Smith, A.R.H. Stevens, J.M. van der Hulst, J. Wang, O.I. Wong, B.W. Holwerda, A. Bosma, J.P. Madrid, K. Bekki, 2021, "WALLABY Pilot Survey: HI gas disc truncation and star formation of galaxies falling into the Hydra I cluster", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 510, 1716

Hodgson, J. et al., 2021, "A Detailed Kinematic Study of 3C 84 and Its Connection to  $\gamma$ -Rays", *ApJ*, 914, 43

H.E.S.S. collaboration et. al., 2021, "H.E.S.S. and MAGIC observations of a sudden cessation of a very-high-energy  $\gamma$ -ray flare in PKS 1510-089 in May 2016", *A&A*, 648, 23

Casadio, C. et. al. 2021, "The jet collimation profile at high resolution in BL Lacertae", *A&A*, 649, 153

Kang, S., Lee, S.-S., Hodgson, J. et. al. 2021, "Interferometric monitoring of gamma-ray bright AGNs: Measuring the magnetic field strength of 4C +29.45", *A&A*, 651, 74

Cui, Z.-H. et. al. 2021, "East Asian VLBI Network observations of active galactic nuclei jets: imaging with KaVA+Tianma+Nanshan", *RAA*, 21, 205

H. Koo, A. Shafieloo, R. E. Keeley, and B. L'Huillier 2021, "Model selection and parameter estimation using the iterative smoothing method." *J. Cosmology Astropart. Phys.* 2021, 034

R. Calderón, R. Gannouji, B. L'Huillier, and D. Polarski 2021, "Negative cosmological constant in the dark sector?". *Phys. Rev. D* 103, 023526

## 연세대학교 천문우주학과

### 1. 인적사항

본 학과의 교수진은 2022년 3월 현재, 12명의 교수(이영욱, 변용익, 김용철, 김석환, 박상영, 손영종, 윤석진, 이석영, 정애리, 박찬덕, 지명국, 김태선)와 3명의 명예교수(나일성, 천문석, 최규홍)로 구성되어 있다. 학부와 대학원은 박사 후 전문 연구원 4명, 대학원 석박사 통합과정 32명, 박사과정 20명, 석사과정 17명, 그리고 학부생

183명으로 구성되어 있다. 학부 1학년 신입생들은 연세대학교의 정책에 따라 송도의 국제캠퍼스에서 1년간 기숙사 생활을 하면서 Residential College 교육을 받고 있다.

학과 교수진의 활동을 요약하면 다음과 같다. 이영욱 회원은 연세대학교 대학교부설연구소로 설립된 은하진화연구센터의 센터장직을 수행하고 있다. 박상영 회원은 교내 항공우주전략연구원 부원장과 초소형위성센터의 센터장을 맡고 있다. 손영종 회원은 2022년부터 한국우주과학회 부회장으로 활동하고 있다. 윤석진 회원은 연세대학교 천문우주학과 학과장과 한국천문학회 이사직을 수행 중이며, 한국천문학회 IAUGA2022 유치위원회 위원, 운영위원회 위원을 거쳐 현재 조직위원회 위원으로 활동하고 있다. 이석영 회원은 천문학회 이사, 천문학회지와 천문학 논총의 편집위원으로 활동하고 있으며, 연세대학교 천문대장직을 수행하고 있다. 정애리 회원은 IAUGA2022 조직위원으로 활동하고 있으며, 2021년 3월부터 2년 임기로 연세대학교 이과대학 기획부학장직을 수행하고 있다. 지명국 회원은 한국 대형광학망원경 과학기기위킹그룹 위원, 미국 Vera C. Rubin Observatory(구 LSST) DESC 회원 심의위원, Gemini North Adaptive Optics 과학위원으로 활동하고 있다. 김태선 회원은 한국천문학회 학술위원과 천문학 논총의 편집위원으로 활동하고 있다.

본 학과는 5명의 연구교수(Dr. Sanjaya Paudel, 박기훈, 임성순, 정철, 조혜전)와 학과 및 천문대 소속의 박사후 연구원(윤미진, Ryan Jackson, 문준성)이 활발한 연구 활동을 펼치고 있다. 안성호 박사후 연구원은 3월 1일부로 대구대학교 지구과학교육과에 부임하였다. 본 학과는 역량있는 천문우주학 전공 박사들을 배출해내는 교육기관의 책임을 다하고 있다. 2021년 2월에는 Kyle Finner 회원(지도교수 지명국), 2021년 8월에는 안성호 회원(지도교수 윤석진)과 문준성 회원(지도교수 윤석진)이, 2022년 2월에는 김진협 회원(지도교수 지명국)과, 백준현 회원(지도교수 정애리)이 박사학위를 받았다.

## 2. 연구 및 학술 활동

이영욱 회원은 초신성우주론의 핵심가정과 달리 Ia형 초신성의 표준화된 광도가 항성종족의 나이와 유의미한 상관관계를 보인다는 강력한 증거(4.6 시그마)를 발견하고 현재 노벨상 수상자들을 포함한 국제학계와 치열한 논쟁을 펼치고 있다. 특히, 정철, 박승현, 손준혁 회원과 함께 Ia형 초신성의 광도 표준화 과정의 핵심인 Width-Luminosity Relation이 세페이드 변광성의 주기-광도 관계와 유사하게 항성종족의 나이에 따라 심한 영점 이동을 보인다는 충격적인 사실을 발견하였다. 이 효과를 보정할 경우 초신성우주론에서 제시된 우주속팽창의 증거가 대부분 사라진다. 또한, 정철, 안승현, 박승현,

손준혁 회원과 함께 다양한 적색편이 구간에 있는 초신성 호스트은하의 측광학적 항성종족 나이 측정 및 Ia형 초신성의 광도 표준화 재정립 등 여러 후속 연구를 수행하고 있다. 우리은하 별지의 구조와 형성기원에 대해서도 홍승수 회원과 함께 우리은하 별지 red clump 항성들의 제미니 저해상도 분광관측/분석 및 DES 측광자료 분석을 수행 중이며 이를 통해 연구팀이 제시한 다중항성종족 모델의 타당성을 증명하는 관측적 증거를 계속 추가하고 있다. 최정운 회원과는 헬륨 및 CNO 함량이 증가된 다중항성종족의 효과가 포함될 경우 구상성단의 절대나이 측정에 어떤 영향이 있는지를 우주론적 테스트 관점에서 조사하고 있다.

변용익 회원은 24시간 화구 및 유성체를 관측하는 전천카메라시스템을 전국에 설치하여 운영 중이다. 초당 25 프레임의 고해상도 시계열 관측이 끊임 없이 이루어지며, 야간에는 4등급 이상의 유성 현상 검출이 가능하다. 점차 더 어두운 인공/자연 우주물체의 검출이 가능하도록 또 기계학습을 이용한 자동분류가 이루어질 수 있도록 성능개량을 할 예정이다. 2021년 말 현재 인제, 화천, 춘천, 청주, 세종, 광주, 부안, 영양, 울산, 고흥에 시범 설치되었으며, 다른 지역으로의 확장이 계획 중이다.

김용철 회원은 생성 초기 항성의 내부구조와 활동성 연구, 항성표면 복사유체 수치모사연구, 그리고 등연령곡선 제작 등의 3가지 연구를 진행하고 있다. 항성에서 관측되는 활동성(activity)의 관측 자료와 상세한 내부구조의 이론적 모형을 함께 연구하여 항성구조와 항성 자기활동성의 인과관계를 체계적으로 이해하고자 하는 것이 활동성 연구의 궁극적 목표이다. 박기훈 회원과 함께 수행하고 있는 항성표면 복사유체 수치모사연구는 복사와 유체의 상호 작용을 고려한 항성표면 수치모사를 통해 항성대기와 분광 스펙트럼합성을 수행하고, 이로 부터 분광 자료 분석의 이론적 체계를 정립하는 것이 연구의 목표이다. 그리고 등연령곡선 연구는 다양한 개별 원소의 영향이 성단 색 등급도에 어떻게 나타나는지를 체계적으로 설명하는 연구를 수행하고 있으며, 외계 행성계의 모항성에 대한 표준 모형을 구축하는 연구는 박기훈 회원의 주도로 진행되고 있다.

김석환 회원이 운영하는 우주광학연구실은 아리조나대학교 (University of Arizona, USA)의 교수 및 연구진들과 국제적인 광 해석 기업인 Breault Research Organization과 함께 위성 광학시스템 및 대구경 광학시스템의 성능 해석, 가공 제작, 조립, 정렬, 성능 측정과 3차원 지구 광학모델과 통합적 광선추적 기법을 사용한 외계행성관측 분야에서 다양한 공동연구들을 수행하고 있다. 그 밖에도 특별히 국방과학연구소, 한화탈레스, LIG 넥스원 등과 같은 대규모 방산 기업들을 포함하는 다양한 국내외 기업들과 긴밀한 공동연구를 수행하고 있다. 이와 같은 국제적 수준의 연구 활동을 통해 다수의

졸업생들이 해외 우수 대학에 유학에서 유학 중이거나 국내외 국책연구소 및 대기업 연구소로 활발히 진출하고 있다.

박상영 회원이 지도하는 우주비행제어 연구실(Astrodynamics and Control Lab)은 편대비행 위성의 궤도 결정 및 제어, 자세결정 및 제어, 위성 자세제어 하드웨어 시뮬레이터, 편대비행 설계 및 최적화, 상대우주 항법에 관한 연구를 꾸준히 수행하고 있으며, 편대위성들의 우주항법을 검증하기 위한 하드웨어 시스템도 개발하고 발전시키고 있다. 2기의 큐브위성으로 우주에서 인공일식을 구현하여 태양의 코로나를 관측하는 우주미션(CANYVAL-C)을 개발하였으며 2021년 3월에 발사하였다. 또한 미세먼지를 모니터링하는 정보를 제공하는 MIMAN 우주 미션에 필요한 초소형 위성을 개발하고 있으며, 2022년 우리나라 발사체인 누리호에 실려 발사될 계획이다. 위성간 도킹과 랑데부 등의 근접 운영 알고리즘도 개발하고 있으며, 우주감시에 필요한 정밀궤도 결정과 소행성 탐사에 대한 연구도 꾸준히 추진하고 있다. 이러한 연구성과를 바탕으로 2018년에 초소형위성센터를 설립하였으며, 교내 여러 연구실과 함께 초소형 위성에 필요한 본체/탑재체/영상분석에 관한 연구를 선도적으로 진행하고 있다. 더 나아가, 국방과학연구소의 지원을 받아 광통신을 시현하는 편대비행 위성을 개발하고 있다.

손영중 회원의 관측천문학연구실(YOAL)에서는 근거리 은하에 대한 정밀한 관측적 연구를 통한 은하 내에서의 별의 형성 및 은하 자체의 형성과 진화 특성에 대한 연구를 진행 중이다. 또한, 국제 공동 연구 Astrosat/UVIT legacy survey of Globular Clusters (GlobULeS) 프로젝트에 참여하여, 2016년 이후 지금까지 구상성단들에 대한 UVIT 자외선우주망원경 FUV 관측 연구를 진행하고 있다. 한편, KMTNet CTIO 망원경으로 관측된 소행성들의 griz 및 BVRI 영상 자료를 분석하고, 이로부터 얻은 소행성들의 측광학적 특성에 대한 2차원 또는 3차원 색지수 분석을 통한 taxonomy 분류 및 소행성들의 궤도요소 분석을 통한 공간 분포와 형성 기원에 대한 연구를 시행하고 있다.

윤석진 회원은 (a) 한상일 회원, 김학섭 회원, 이상운 회원과 함께 Subaru 8m 및 CTIO 4m 망원경을 이용한 은하 및 성단의 측광과 분광 관측 연구를, (b) 정철 회원, 이상운 회원과 함께 항성진화 종족합성 이론을 이용한 Yonsei Evolutionary Population Synthesis (YEPS) 모델 개발 연구와 외부은하 성단계의 '색분포 양분이론'을 이용한 초기우주 은하형성 연대기 규명 연구를, (c) 문준성 회원, 지용배 회원, 김명훈 회원과 함께 GALEX 우주망원경 관측자료 및 SDSS 관측자료를 이용한 은하의 Recent Star Formation History 연구와 이웃 은하의 영향에 대한 연구를, (d) 윤기운 회원, 문준성 회원, 김지우 회원과 함께 N-body 및 Hydro Simulation을 이

용한 은하군 및 은하단 역학 연구 및 Disk Warp 현상에 대한 연구를, (e) Sanjaya Paudel 박사, 문준성 회원과 함께 은하들 간의 중력적 상호작용이 은하의 Star Formation Rate과 Scaling Relations에 미치는 영향에 관한 연구를, (f) 문준성 회원, 김은택 회원과 함께 우주론적 다체 및 유체 시뮬레이션을 이용하여 초기우주 은하형성 기본단위의 기원을 규명하는 연구, (g) 이효준 회원과 함께 고천문학 연구를 수행하고 있다. 연구실 출신의 안성호 박사는 3월 1일부로 대구대학교 지구과학교육과에 부임하였다.

이석영 회원이 이끄는 은하진화연구실(GEM)에서는 주로 RAMSES 코드를 이용하여 여러 물리 현상이 포함된 우주론적 수치모사 실험(YZiCS, NewHorizon)을 수행하여 다양한 환경에서 은하형성을 연구하고 있다.

정애리 회원은 Interstellar Medium and Galaxy Evolution (IM&GE)의 구성원들과 함께 성간물질과 은하진화의 상관관계를 규명하기 위한 다양한 연구를 수행 중이다. ALMA 및 JVLA 자료를 이용하여 성간 가스의 비율이 매우 높은 은하의 특성으로부터 은하의 성장 과정을 연구하고 있다. 한편 은하단 환경이 다양한 물리적 상태의 성간 가스 및 별형성 활동에 미치는 영향을 규명하기 위하여 ram pressure를 겪은 은하의 특성과 시뮬레이션 및 이론적 계산을 비교하는 연구를 수행 중이다. 또한 전파 관측자료를 토대로 은하단 내에 형성되는 큰 규모의 cooling flow가 어떠한 과정을 통해 은하단 중심에 자리한 초거대질량블랙홀 주변, 작은 규모까지 도달하여 활동성은하핵의 특성에 영향을 미칠 수 있는지 연구하고 있다.

지명국 회원은 Yonsei Observable UNiverse Group (YOUNG)을 운영하고 있다. 현재 1. 암흑물질의 정체를 규명하기 위한 충돌은하단 연구, 2. 초기은하단의 질량함수 결정을 위한 중력렌즈 연구, 3. 우주론 파라미터를 정밀하게 결정하기 위한 Cosmic Shear연구, 4. Large Synoptic Survey Telescope (LSST)의 자료처리 알고리즘 연구를 수행하고 있다.

김태선 회원은 복사유체 수치실험을 이용하여 거대분자운과 은하의 진화, 그리고 우주의 재이온화 연구를 진행하고 있다. 무거운 별로부터 기인하는 피드백 과정을 이해하여 우주에서 관측되는 은하의 동역학적 특성을 이해하는 것이 본 연구팀의 궁극적인 목표이다. 강천수 회원과 함께 sink particle을 활용한 우주론적 수치실험을 수행 중이며, 최지영 회원과 함께 항성 다양한 항성 피드백의 효과가 은하 특성에 미치는 연구에 착수하였다. 최수현 회원과 함께 은하 내 강한 방출선의 탐구, 송현미/유태화 회원과 함께 초기 은하에서 라이먼 연속선과 알파선의 탈출률을, 이재현 회원과 함께 은하 환경에 따른 RAM 압력 효과를, 그리고 한다니엘 회원과 함께

구상성단의 형성에 관한 다양한 연구를 수행 중이다.

### 3. 교육 및 연구 시설

천문우주학 교육 시설로서 천문대 소속의 일산 관측소 61cm 반사 망원경, 교내 관측소 40cm 반사 망원경, 4대의 10인치 미드 망원경, 다수의 소형 망원경들을 확보하여 학생들의 관측 실습에 활용하고 있다. 신촌 캠퍼스 내에 설치되어 있는 KVN 전파망원경은 전문 연구자들의 관측과 함께 학부 및 대학원 학생들의 교육에도 기여하고 있다. 또한, 정밀 연구를 위해 해외 대형 망원경을 적극적으로 활용하고 있다.

우주비행제어연구실은 과학과 국방에 필요한 초소형위성들을 개발하고 있다. 우주광학연구실은 대구경 우주광학 시스템 개발을 위한 다수의 설계 및 해석 S/W와 정렬 및 조립 성능 평가를 위한 각종 간섭계 및 광학 측정 장비를 운영하며 연구 및 프로젝트 형 교육기법에 활용하고 있다.

### 4. 국내외 연구논문

D. Lim et al., "Difference in Chemical Composition between the Bright and Faint Red Clump Stars in the Milky Way Bulge", *Astrophys J*, vol. 907, no. 1, Jan 2021.

K. I. Seon et al., "Space missions for astronomy and astrophysics in Korea: past, present, and future", *J Korean Phys Soc*, vol. 78, no. 10, pp. 942-971, May 2021.

P. K. Nayak et al., "UVIT-HST-Gaia-VISTA study of Kron 3 in the Small Magellanic Cloud: a cluster with an extended red clump in ultraviolet", *Mon Not R Astron Soc*, vol. 503, no. 4, pp. 5291-5309, Jun 2021.

S. Hong, D. Lim, C. Chung, J. Kim, S. I. Han, and Y. W. Lee, "New Subgrouping of Multiple Stellar Populations in NGC 2808 Based on Low-resolution Spectroscopy", *Astron J*, vol. 162, no. 4, Oct 2021.

S. Jang et al., "Integrated Photometry of Multiple Stellar Populations in Globular Clusters", *Astrophys J*, vol. 920, no. 2, Oct 2021.

S. Rani, G. Pandey, A. Subramaniam, C. Chung, S. Sahu, and N. K. Rao, "AstroSat Study of the Globular Cluster NGC 2298: Probable Evolutionary

Scenarios of Hot Horizontal Branch Stars", *Astrophys J*, vol. 923, no. 2, Dec 2021.

S. S. Ali, R. De Propriis, C. Chung, S. Phillipps, and M. N. Bremer, "Evolution of the Ultraviolet Upturn at  $0.3 < z < 1$ : Exploring Helium-rich Stellar Populations", *Astrophys J*, vol. 923, no. 1, Dec 2021.

Y. Eun, S.-Y. Park, T. Lee, and G.-N. Kim, "Experimental Validation of Positive Adaptive-Control Approach for Spacecraft Proximity Maneuvers," *Journal of Aerospace Engineering*, vol. 34, no. 6, p. 04021096, 2021.

G.-N. Kim et al., "Development of CubeSat systems in formation flying for the solar science demonstration: The CANYVAL-C mission," *Advances in Space Research*, vol. 68, no. 11, pp. 4434-4455, 2021.

P. Kim, S.-Y. Park, S. Cho, and J. H. Jo, "A Preliminary Impulsive Trajectory Design for (99942) Apophis Rendezvous Mission," *Journal of Astronomy and Space Sciences*, vol. 38, no. 2, pp. 105-117, 2021.

E. Lee, J. Son, and S.-Y. Park, "Relative navigation technique with constrained GNSS data for formation-flying CubeSat mission, CANYVAL-C," *NAVIGATION, Journal of the Institute of Navigation*, vol. 68, no. 3, pp. 559-575, 2021.

Y.-K. Park, G.-N. Kim, and S.-Y. Park, "Novel Structure and Thermal Design and Analysis for CubeSats in Formation Flying," *Aerospace*, vol. 8, no. 6, p. 150, 2021.

J. Shin, S.-Y. Park, J. Son, and S.-C. Song, "Design of Regional Coverage Low Earth Orbit (LEO) Constellation with Optimal Inclination," *Journal of Astronomy and Space Sciences*, vol. 38, no. 4, pp. 217-227, 2021.

Y. Song, S.-Y. Park, S. Lee, P. Kim, E. Lee, and J. Lee, "Spacecraft formation flying system design and controls for four nanosats mission," *Acta Astronautica*, vol. 186, pp. 148-163, 2021.

K. Xia, Y. Eun, T. Lee, and S.-Y. Park, "Integrated Adaptive Control for Spacecraft Attitude

and Orbit Tracking Using Disturbance Observer," *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, vol. 22, no. 4, pp. 936-947, 2021.

J. S. Moon, S. H. An, and S. J. Yoon, "Living with Neighbors. III. The Origin of the Spin-Orbit Alignment of Galaxy Pairs: A Neighbor versus the Large-scale Structure", *Astrophys J*, vol. 909, no. 1, Mar 2021.

P. Di Cintio, M. Pasquato, H. Kim, and S. J. Yoon, "Introducing a new multi-particle collision method for the evolution of dense stellar systems: Crash-test N-body simulations", *Astron Astrophys*, vol. 649, May 5 2021.

S. H. An, J. Kim, J. S. Moon, and S. J. Yoon, "Living with Neighbors. IV. Dissecting the Spin-Orbit Alignment of Dark Matter Halos: Interacting Neighbors and the Local Large-scale Structure", *Astrophys J*, vol. 914, no. 2, Jun 2021.

S. Paudel, S. J. Yoon, and R. Smith, "A Corotating Group of Dwarf Galaxies around NGC 2750 as a Centaurus A Analog", *Astrophys J Lett*, vol. 917, no. 2, Aug 2021.

S. Kim, S. J. Yoon, S. Y. Lee, C. Chung, and S. T. Sohn, "Nonlinear Color-Metallicity Relations of Globular Clusters. X. Subaru/FOCAS Multiobject Spectroscopy of M87 Globular Clusters", *Astrophys J Suppl S*, vol. 256, no. 2, Oct 2021.

J. Lee, J.-S. Moon, S. Ryu, and S.-J. Yoon, "Detection of the Mass-dependent Dual Type Transition of Galaxy Spins in IllustrisTNG Simulations," *The Astrophysical Journal*, vol. 922, no. 1, p. 6, 2021.

P. Di Cintio, M. Pasquato, A. Simon-Petit, and S.-J. Yoon, "Introducing a new multi-particle collision method for the evolution of dense stellar systems-II. Core collapse," *Astron Astrophys*, vol. 659, p. A19, 2022.

J. Lee, J.-S. Moon, and S.-J. Yoon, "How Do the Galaxy Stellar Spins Acquire a Peculiar Tidal Connection?," *The Astrophysical Journal*, vol. 927, no. 1, p. 29, 2022.

C. Foster et al., "The MAGPI survey: Science

goals, design, observing strategy, early results and theoretical framework," *Publications of the Astronomical Society of Australia*, vol. 38, 2021.

K. Gridale et al., "Predicting the observability of population III stars with ELT-HARMONI via the helium 1640 Å emission line," *Mon Not R Astron Soc*, vol. 501, no. 4, pp. 5517-5537, 2021.

R. Jackson et al., "Dark matter-deficient dwarf galaxies form via tidal stripping of dark matter in interactions with massive companions," *Mon Not R Astron Soc*, vol. 502, no. 2, pp. 1785-1796, 2021.

R. Jackson et al., "The origin of low-surface-brightness galaxies in the dwarf regime," *Mon Not R Astron Soc*, vol. 502, no. 3, pp. 4262-4276, 2021.

D. J. Khim et al., "Star-Gas Misalignment in Galaxies. II. Origins Found from the Horizon-AGN Simulation," *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 254, no. 2, p. 27, 2021.

G. Martin et al., "The role of mergers and interactions in driving the evolution of dwarf galaxies over cosmic time," *Mon Not R Astron Soc*, vol. 500, no. 4, pp. 4937-4957, 2021.

M. J. Park et al., "Exploring the origin of thick disks using the NewHorizon and Galactica simulations," *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 254, no. 1, p. 2, 2021.

H. Jeong, K. Oh, S.-J. Joo, and S. K. Yi, "Early-type galaxies with recent star formation have low metallicities-evidence for star formation triggered by external processes?," *Mon Not R Astron Soc*, vol. 509, no. 1, pp. 550-558, 2022.

T. Brown et al., "VERTICO: The Virgo environment traced in CO survey," *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 257, no. 2, p. 21, 2021.

J. Y. Mun, H. S. Hwang, M. G. Lee, A. Chung, H. Yoon, and J. C. Lee, "Star Formation Activity of Galaxies Undergoing Ram Pressure Stripping in the Virgo Cluster," *arXiv preprint arXiv:2101.07472*, 2021.

T. Scott, C. Sengupta, P. Lagos, A. Chung, and O. I. Wong, "Resolved H I in two ultra-diffuse galaxies from contrasting non-cluster environments," *Mon Not R Astron Soc*, vol. 503, no. 3, pp. 3953-3964, 2021.

M. W. Smith et al., "The HASHTAG Project: The First Submillimeter Images of the Andromeda Galaxy from the Ground," *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 257, no. 2, p. 52, 2021.

C. Kim et al., "Determining star formation rates of active galactic nuclei host galaxies based on SED fitting with sub-mm data," *arXiv preprint arXiv:2202.10044*, 2022.

## UNIST 물리학과

### 1. 인적사항

본 학과에 현재 류동수, 광규진, Sandro Tacchella 등 3명의 천문학 전공 교수가 재직 중이다. 본과의 선도연구센터(SRC)인 고에너지 천체물리 연구센터(Center for High Energy Astrophysics) 소속으로 김선정, 김영민 2명의 연구교수가 천문학 연구를 수행하고 있다. 학과 및 센터 소속으로 조현진, 신복균, 성광현, 이혜승, Ayan Bhattacharjee 5명의 박사후연구원, 그리고 하지훈, 이은유, 이남욱, 이지운, 윤정관, 정기현, 성광연, 김선호, 김종훈, 최정운, 손창희 11명의 대학원생 및 학부생이 천문학 연구를 수행 중이다. Sandro Tacchella 교수는 2021년 6월부터 합류하였다.

### 2. 연구 및 학술 활동

고에너지 천체물리 연구센터의 연구 주제인 고에너지 천체물리학은 열적·비열적 고에너지 입자들이 방출하는 전파, X-선,  $\gamma$ -선 등 전자기파와 중성미자, 중력파 등의 관측에 기반을 두어, 이를 방출하는 천문학 현상의 물리 기작을 연구하는 분야이다. 센터에는 이론·시뮬레이션을 중심으로 하는 천체물리를 천문 관측 및 실험 천체물리와 결합하여, 은하단과 밀집천체에서 고에너지 천체물리 현상에 대한 연구를 수행하고 있다.

류동수 교수와 은하단 연구 그룹에서는 은하단과 우주 거대 구조에서의 난류, 자기장, 충격파, 그리고 우주선(cosmic ray), 중성미자의 특성 및 기원에 대한 연구를 수행 중이다. 자기유체역학, PIC(Particle-in-Cell), 등의 다양한 시뮬레이션 기법, 선형 및 준선형(quasi-linear) 분석 기법, 실험 천체물리 등을 활용하여 은하단 전파, X-

선, 우주선, 중성미자 등으로 관측되는 고에너지 천체 현상을 연구하고 있다.

광규진 교수와 밀집천체 연구 그룹에서는 블랙홀, 중성자별과 같은 밀집천체 주변에서 발생하는 고에너지 천체 현상의 특성 및 기원에 대한 연구를 수행하고 있다. 중성자별의 구조 및 표면에서 발생하는 고에너지 천체 현상은 핵물리학과 밀접한 관련이 있어 이와 관련한 연구도 병행하고 있다.

Sandro Tacchella 교수는 은하 형성 및 진화 연구를 수행하고 있다.

### 3. 국내외 연구논문 (2021년 1월 1일 이후 발표)

1. Overview of KAGRA: Detector design and construction history KAGRA collaboration (K. Kwak 포함), 2020, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, ptaa12 (24pp)

2. Modeling of Cosmic-Ray Production and Transport and Estimation of Gamma-Ray and Neutrino Emissions in Starburst Galaxies. Ha, J.-H., Ryu, D., & Kang, H. 2021, *The Astrophysical Journal*, 907, 26 (12pp)

3. Time-Resolved Fast Turbulent Dynamo in a Laser Plasma, Bott, A. F. A., Tzeferacos, P., Chen, L., Palmer, C. A. J., Rigby, A., Bell, A., Bingham, R., Birkel, A., Graziani, C., Froula, D. H., Katz, J., Koenig, M., Kunz, M. W., Li, C. K., Meinecke, J., Miniati, F., Petrasso, R., Park, H.-S., Remington, B. A., Reville, B., Ross, J. S., Ryu, D., Ryutov, D., Seguin, F., White, T. G., Schekochihin, A. A., Lamb, D. Q., & Gregori, G., 2021, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118 (11) e201572911

4. Exact Solution of Relativistic Jet with Relativistic Equation of State, Joshi, R. K., Chattopadhyay, I., Ryu, D., & Yadav, L. 2021, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 502, 5227

5. The Cosmic-Ray Composition between 2 PeV and 2 EeV Observed with the TALE Detector in Monocular Mode, The Telescope Array (TA) Collaboration (D. Ryu 포함), 2021, *The Astrophysical Journal*, 909, 178 (17pp)

6. Overview of KAGRA: Calibration, detector characterization, physical environmental monitors, and the geophysics interferometer, KAGRA Collaboration (K. Kwak 포함), 2021, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, ptab018 (33pp)

7. Vibration isolation systems for the beam splitter and signal recycling mirrors of the KAGRA gravitational wave detector, KAGRA Collaboration (K. Kwak 포함) 2021, *Classical and Quantum Gravity*, 38, 065011

8. Neutron star properties from astrophysical observations, Myungkuk Kim, Young-Min Kim, Kyujin Kwak, Yong-Beom Choi, Hee-Suk Cho & Chang-Hwan Lee, 2021, *Journal of the Korean Physical Society*

9. All-sky search in early O3 LIGO data for continuous gravitational-wave signals from unknown neutron stars in binary systems, LIGO Scientific Collaboration and the Virgo Collaboration (Y.-M. Kim 포함) 2021, *Physical Review D*, 103, 064017

10. Open data from the first and second observing runs of Advanced LIGO and Advanced Virgo, LIGO Scientific Collaboration and the Virgo Collaboration (Y.-M. Kim 포함) 2021, *SoftwareX*, 13, 100658

11. Downstream Depolarization in the Sausage Relic: a 1 - 4 GHz Very Large Array Study, Di Gennaro, G., van Weeren, R. J., Rudnick, L., Hoeft, M., Bruggen, M., Ryu, D., Rottgering, H. J. A., Forman, W., Stroe, A., Shimwell, T. W., Kraft, R. P., Jones, C., & Hoang, D. N., 2021, *The Astrophysical Journal*, 911, 3 (21pp)

12. Space Missions for Astronomy and Astrophysics in Korea: Past, Present, and Future, K. Seon, W. Han, Y.-W. Lee, H. M. Lee, M. B. Kim, I. H. Park, W.-S. Jeong, K.-S. Cho, J. J. Lee, D.-H. Lee, & K. Kwak, 2021, *Journal of the Korean Physical Society*, 78, 942

13. Microinstabilities in the Transition Region of Weak Quasi-Perpendicular Intracluster Shocks, Kim, S., Ha, J.-H., Ryu, D., & Kang, H. 2021, *The Astrophysical Journal*, 913, 35 (11pp)

14. Effects of Multi-scale Plasma Waves on Electron Preacceleration at Weak Quasi-perpendicular Intracluster Shocks, Ha, J.-H., Kim, S., Ryu, D., & Kang, H. 2021, *The Astrophysical Journal*, 915, 18 (15pp)

15. Measuring the masses and radii of neutron stars in low-mass X-ray binaries: Effects of the atmospheric composition and touchdown radius, Kim, M., Kim, Y.-M., Sung, K., Lee, C.-H., & Kwak, K. 2021, *Astronomy & Astrophysics*, 650, A139

16. A gravitational-wave measurement of the Hubble constant following the second observing run of Advanced LIGO and Virgo, LIGO Sci

Collaboration, Virgo Collaboration (Y.-M. Kim 포함) 2021, *The Astrophysical Journal*, 909, 218 (18pp)

17. Constraining the density dependence of the symmetry energy with nuclear data and astronomical observations in the Korea-IBS-Daegu-SKKU framework, Hana Gil, Young-Min Kim, Panagiota Papakonstantinou, and Chang Ho Hyun, 2021, *Physical Review C*, 103, 034330

18. Constraining on Cosmic Strings Using Data from the Third Advanced LIGO-Virgo Observing Run, LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration (K. Kwak 포함), 2021, *Physical Review Letters*, 126, 241102

19. Observation of Gravitational Waves from Two Neutron Star-Black Hole Coalescences, LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration (K. Kwak 포함) 2021, *The Astrophysical Journal Letters*, 915, L5 (24pp)

20. GWTC-2: Compact Binary Coalescences Observed by LIGO and Virgo during the First Half of the Third Observing Run, LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration (Y.-M. Kim 포함) 2021, *Physical Review X*, 11, 021053

21. Population Properties of Compact Objects from the Second LIGO-Virgo Gravitational-Wave Transient Catalog, LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration (Y.-M. Kim 포함) 2021, *The Astrophysical Journal Letters*, 913, L7 (41pp)

22. Tests of general relativity with binary black holes from the second LIGO-Virgo gravitational-wave transient catalog, LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration (Y.-M. Kim 포함) 2021, *Physical Review D*, 103, 122002

23. Diving below the Spin-down Limit: Constraints on Gravitational Waves from the Energetic Young Pulsar PSR J0537-6910, LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration (K. Kwak 포함) 2021, *The Astrophysical Journal Letters*, 913, L27 (15pp)

24. Long term X-Ray Observations of Seyfert 1 Galaxy Ark 120: On the origin of soft-excess, Prantik Nandi, Arka Chatterjee, Sandip K Chakrabarti, Broja G. Dutta, 2021, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506, 3111

25. Broadband X-Ray Observations of the 2018 Outburst of Changing-Look Active Galactic Nucleus NGC 1566, Jana, A., Kumari, N., Nandi, P., Naik, S., Chatterjee, A., Jaisawal, G. K., Hayasaki, K., & Ricci, C. 2021, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 507, 687

26. Inefficient Magnetic-Field Amplification in Supersonic Laser-Plasma Turbulence Bott, A. F. A., Chen, L., Boutoux, G., Caillaud, T., Duval, A., Koenig, M., Khair, B., Lantuejoul, I., Le-Deroff, L., Reville, B., Rosch, R., Ryu, D., Spindloe, C., Vauzour, B., Villette, B., Schekochihin, A. A., Lamb, D. Q., Tzeferacos, P., Gregori, G., & Casner, A. 2021, *Physical Review Letters*, 127, 175002
27. A Simulation Study of Ultra-Relativistic Jets - I. A New Code for Relativistic Hydrodynamics. Seo, J., Kang, H., Ryu, D., Ha, S., & Chattopadhyay, I. 2021, *The Astrophysical Journal*, 920, 143 (16pp)
28. A Simulation Study of Ultra-Relativistic Jets - II. Structures and Dynamics of FR-II Jets, Seo, J., Kang, H., & Ryu, D. 2021, *The Astrophysical Journal*, 920, 144 (20pp)
29. Comparison of heavy-ion transport simulations: Mean-field dynamics in a box Colonna, Maria; Zhang, Ying-Xun; Wang, Yong-Jia; Cozma, Dan; Danielewicz, Pawel; Ko, Che Ming; Ono, Akira; Tsang, Manye Betty; Wang, Rui; Wolter, Hermann; Xu, Jun; Zhang, Zhen; Chen, Lie-Wen; Cheng, Hui-Gan; Elnfer, Hannah; Feng, Zhao-Qing; Kim, Myungkuk; Kim, Youngman; Jeon, Sangyong; Lee, Chang-Hwan; Li, Bao-An; Li, Qing-Feng; Li, Zhu-Xia; Mallik, Swagata; Oliinychenko, Dmytro; Su, Jun; Song, Taesoo; Sorensen, Agnieszka; Zhang, Feng-Shou; 2021, *Physical Review C*, 104, 024603
30. All-sky search for Continuous Gravitational Waves from Isolated Neutron Stars in the Early O3 LIGO Data, LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration (K. Kwak 포함), 2021, *Physical Review D*, 104, 082004
31. Searches for continuous gravitational wave from young supernova remnants in the early third observing run of Advanced LIGO and Virgo, LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration (K. Kwak 포함) 2021, *The Astrophysical Journal*, 921 80
32. Overview of KAGRA: KAGRA science, KAGRA Collaboration (K. Kwak 포함) 2021, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 2021(5), 05A103
33. Reproducing the UVJ Color Distribution of Star-forming Galaxies at  $0.5 < z < 2.5$  with a Geometric Model of Dust Attenuation, Zuckerman, L. D., Belli, S., Leja, J., & Tacchella, S. 2021, *The Astrophysical Journal Letters*, 922, L32 (7 pp)
34. Electron Preacceleration at Weak Quasi-perpendicular Intracluster Shocks: Effects of Preexisting Nonthermal Electrons, Ha, J.-H., Ryu, D., Kang, H., and Kim, S. 2022, *The Astrophysical Journal*, 925, 88 (9pp)
35. Effects of Forcing on Shocks and Energy Dissipation in Interstellar and Intracluster Turbulences, Cho, H., Ryu, D., and Kang, H. 2022, *The Astrophysical Journal*, 926, 183 (14pp)
36. Isotopic Compositions of Ruthenium Predicted from the NuGrid Project, Seonho Kim, Kwang Hyun Sung, Kyujin Kwak, 2022, *The Astrophysical Journal*, in press (arXiv:2111.03315)
37. Strong Suppression of Heat Conduction in a Laboratory Replica of Galaxy-Cluster Turbulent Plasmas, Meinecke, J., Tzeferacos, P., Ross, J. S., Bott, A. F. A., Feister, S., Park, H. -S., Bell, A. R., Blandford, R., Berger, R. L., Bingham, R., Casner, A., Chen, L. E., Foster, J., Froula, D. H., Goyon, C., Kalantar, D., Koenig, M., Lahmann, B., Li, C. -K., Lu, Y. Palmer, C. A. J., Petrasso, R., Poole, H., Remington, B., Reville, B., Reyes, A., Rigby, A., Ryu, D., Swadling, G., Zylstra, A., Miniati, F., Sarkar, S., Schekochihin, A. A., Lamb, D. Q., Gregori, G., 2022, *Science Advances*, in press (arXiv: 2105.08461)
38. Dissecting Nearby Galaxies with piXedfit. I. Spatially Resolved Properties of Stars, Dust, and Gas as Revealed by Panchromatic SED Fitting, Abdurro'uf, Lin, Y.-T., Hirashita, H., Morishita, T., Tacchella, S., Akiyama, M., Takeuchi, T. T., & Wu, P.-F. 2022, *The Astrophysical Journal*, 926, 81 (27 pp)
39. Fast, Slow, Early, Late: Quenching Massive Galaxies at  $z \sim 0.8$ , Tacchella, S. et al. 2022, *The Astrophysical Journal*, 926, 134, (36 pp)
40. High-redshift predictions from IllustrisTNG - III. Infrared luminosity functions, obscured star formation, and dust temperature of high-redshift galaxies, Shen, X., Vogelsberger, M., Nelson, D., Tacchella, S., Hernquist, L., Springel, V., Marinacci, F., & Torrey, P. 2022, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 510, 5560

## 충남대학교 천문우주학과

### 1. 인적사항

본 학과(학과장 허종우 David C.Y. Hui)는 현재 9명의 전임교수(외국인 전임 교원 1명 포함), 및 조교 1인을 중심으로 교육과 연구에 임하고 있다. 2022년도에는 학부 과정에 33명, 석사과정에 7명, 박사과정에 1명이 입학하였으며, 박사 1명, 석사 1명이 배출되었다. 또한, 외국인



2명 포함, 박사 후 연구원 및 연구교수 10명이 관련 전공 분야 대학원생과 전임교수와 긴밀히 연구를 수행하고 있다. 2022년 현재 학부에 약 136명, 대학원 석박사 과정에 약 23명이 재학 중으로 지방국립대 중 최대 규모의 천문우주과학 관련 학과를 운영하여 교육과 연구에 전념하고 있다. 한편, 대학원 과정의 경우 천문우주과학과, 지질환경과학과, 대기과학과를 통합한 우주·지질학과를 운영 중이며 천문우주, 지질환경, 대기과학의 융합 교육 및 연구를 꾀하고 있다.

## 2. 연구 및 학술활동

김용하 교수는 과학재단 특정기초 연구과제의 일환으로 2007년 2월 남극 세종기지에 설치한 유성 레이더를 지속 운영 중에 있다. 2012년 이 레이더의 송출력을 12 kW로 증대하여 현재 일일 평균 약 30000 개 이상의 유성을 측정하고 있으며, 이를 이용해 유성 진입 고도 70 - 110 km 구간의 고층 대기 상태도 측정하고 있다. 또한 극지연구소에서 남북극 지역 모두 4곳 (세종, 장보고, 다산, 키루나)에 설치한 고층대기 관측기기로부터 고도 90 - 300 km 구간의 바람 속도에 대한 측정 자료를 확보하여 이 영역의 우주과학 연구를 활발히 수행하고 있다.

이 유 교수는 전남대 오수연 교수와 함께 Neutron Monitor 관측소를 현재 표준연구원 내에 구축하여 관측을 하고 있고, 올해 2020년 남극대륙 내의 장보고 기지에 제2 관측소 설치를 완성하였다. 이와 더불어 전 세계 관측소들의 자료를 사용하여 관측되는 우주선 강도의 감소현상 (Forbush Decrease) 및 급증 현상 (Ground Level Enhancement) 을 연구하여 오고 있다. 이런 현상들을 태양과 지구간의 행성간 자기기름 물리적 변화로 설명하려는 연구를 지속하고 있다. 이와 관련하여 태양과 태양형 항성들의 자기 활동 변화 주기의 통계 연구를 진행하고 있다. 그리고 향후 달탐사를 위한 기초연구로서 LRO/CrATER 관측 자료를 이용하여 달 궤도에서의 우주선 환경변화를 연구하고 있으며, 달에서 인류가 주거 가능한 전초 기지가 될 수 있는 달의 용암동굴을 찾기 위한 연구를 진행하고 있다. 또한, 최근에는 미국 NOAA 자료와 프랑스 Coriolis 프로젝트로 구축된 해양 관측 자료를 활용하여 지구 기후변화 원인에 대한 깊은 관심을 갖고 연구 중이다.

조정연 교수는 MHD 난류의 성질 및 천문학적 응용에 대해 연구하고 있으며, 성간 먼지의 정렬현상 및 이에 의해 야기되는 적외선 편광에 대해 연구하고 있다. 또한 외부은하의 내부소광과 CMB foregrounds의 효과적 제거 방법에 대해 연구하고 있다. 현재 관측을 통한 난류의 물리량을 구하는 방법을 연구하고 있으며 블랙홀이나 중성자성의 자기권에서 발생하는 난류에 관한 연구를 하고 있다.

이수창 교수는 광학, 자외선, 그리고 전파 등 다파장 관측자료를 이용하여 은하단, 은하그룹, 필라멘트, 필드(field) 등 다양한 환경에 있는 은하들의 특성 및 환경에 따른 은하의 진화를 연구하고 있다. 특히, 처녀자리 은하단 주위에 존재하는 필라멘트 구조에 있는 은하들의 다파장 자료를 이용하여 필라멘트에 있는 은하들의 특성 차이와 이에 대한 기작 연구를 수행하고 있다. 또한, 적색편이 0.05 이내에 있는 밀집타원은하(compact elliptical galaxy)의 목록을 구축하고 환경에 따른 밀집타원은하의 종족 특성 차이와 블랙홀의 질량 계산으로부터 이들의 형성 기작에 대해 연구하였다.

Prof. David Hui (허중우) conveys extensive studies on a wide range of high energy phenomena related to compact objects and their interaction with circumstellar environment, including rotation-powered pulsars, X-ray/Gamma-ray binaries, gravitational waves from compact binary coalescences. In the recent years, the group led by Hui has devoted effort in exploring different machine learning algorithms in tackling problems in high energy astrophysics. Apart from being the founder of Fermi Asian Network (FAN) for promoting collaborations among high energy astrophysicists in Asia, Hui is also a member of the scientific congress for KAMioka GRAvitational Wave Detector (KAGRA) and the guest scientist for Cherenkov Telescope Array (CTA). His group is dedicated to improve the data analysis techniques as well as predicting promising targets for the future of multi-messenger astronomy.

이영선 교수는 Sloan Digital Sky Survey (SDSS), SEGUE (Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration), BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopy Survey), 그리고 현재 중국에서 진행 중인 LAMOST (Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope) 등에서 관측한 별의 스펙트럼을 처리하여 별들의 온도, 중력, 금속 함량비, 탄소, 질소, 나트륨 및 알파원소 함량비를 결정하는 일괄처리 프로그램들을 개발하는 연구를 수행하고 있다. 일괄처리 프로그램을 통하여 결정된 별의 물리량과 화학원소 함량비와 가이아 위성이 제공하는 별의 연주시차, 고유운동 정보를 이용하여 우리은하의 원반(disk)과 헤일로(halo)에 있는 별들의 운동학적, 화학적 특성과 분포를 조사하여 원반과 헤일로의 형성과정과 화학적 진화에 대한 연구도 수행하고 있다. 또한, Gaia-Enceladus같이 헤일로를 구성하는 여러 하부구조에 속한 별의 고분산 스펙트럼을 얻어 자세한 원소함량비를 결정하여 모왜소는

하의 특성을 규명하는 연구도 수행하고 있다.

민경국 교수는 지구 자기권 내 플라즈마 파동과 이 파동이 환전류와 방사선 대를 구성하는 고에너지 전자와 이온들에 미치는 영향을 위성 관측 데이터 분석과 이론과 모델링을 통해 연구해오고 있다. 현재 쌍극자 자기장 내에서 particle-in-cell simulation을 통해 적도 소음(equatorial noise)이라 불리는 파동의 생성과 전파 연구에 주력하고 있으며, 대학원 학생 지도를 통해 자기권뿐만 아니라 태양권 내에서 일어나는 전반적인 플라즈마 물리현상 연구로 연구영역을 넓혀 나가고 있다.

송현미 교수는 다양한 관측 및 수치실험 자료를 활용하여 우주거대구조 및 은하의 형성과 진화를 살펴보는 연구를 국내외 여러 연구자들과 협력하여 수행하고 있다. 최근에는 HorizonRun과 N-Cluster run과 같은 우주론적 수치실험 자료를 분석하여 우주거대구조 중에서도 거대필라멘트구조가 은하의 형성과 진화에 미치는 영향을 살펴보았다. 은하의 라이만알파 특성을 이해하기 위한 라이만알파 복사진달 연구도 수행하고 있다. 성간 물질 뿐만 아니라 우주재이온화시기의 은하간물질에서의 라이만알파 산란 및 흡수 과정을 다양한 파라미터 공간에서 살펴보고 있다. 이 계산 결과를 바탕으로 하여 MUSE에서 관측한 100여개의 라이만알파 방출 은하의 특성을 재현하는 연구를 석사과정 유상은 학생과 함께 수행하고 있다. 고적색이동 라이만알파 방출 은하를 탐사 관측하는 국제 공동연구그룹에 참여하여 라이만알파 방출 은하의 라이만연속선 방출을 살펴보는 연구를 석사과정 서은숙 학생과 함께 수행하고 있다. 이 외에도 천문연구원과 고등과학원을 비롯한 여러 기관에서 협력하여 제작 중인 국내 최초 다천체분광기 K-SPEC을 사용하여 얻게 될 가까운 우주의 전천 분광 탐사 자료(A-SPEC)를 활용한 과학연구 개발에 참여하고 있다. 가상의 A-SPEC 자료를 활용하여 가까운 우주의 은하군 및 은하단을 찾을 수 있는 여러 방법론을 테스트하는 연구를 석사과정 김다찬 학생과 함께 수행하고 있다.

이윤곤 교수는 대기과학 분야에서 대기물리, 대기환경, 위성기상과 관련된 교육과 연구를 수행하고 있다. 지상/위성 관측자료, 기상/기후 모델링자료를 다각적으로 활용하여 재난기상(황사, 가뭄, 폭염, 태풍, 한파)의 감시 및 기후변동성과의 메커니즘 분석, 미세먼지 및 온실기체 농도의 시공간적 특성/추세 파악 및 기후변화와의 피드백 메커니즘 분석 연구를 수행하고 있다. 기상과 기후분야의 미래수요와 관련해서는 드론을 이용한 열지도 생산 및 시정/안개 감시, 도심항공교통(UAM) 버티포트 주변 기상 및 환경 영향 평가, 세종과 부산 스마트시티 지역 내 안개발생 및 소멸 예측 연구도 수행하고 있다. 한국항공우주연구원과 차세대중형위성 1호 절대복사검보정 체계 개선, 한국에너지기술연구원 신재생에너지센터와 태양광, 풍력 발전을 위한 기상모델 자료동화시스템 개발

등 활용 연구도 활발히 진행 중이다. 또한, 현재 운영 중인 정지궤도 기상위성(천리안 2호)과 환경위성(GEMS)의 자료 산출 알고리즘 및 활용기술 개발에 주도적으로 참여를 하였으며, 2029~2030년에 발사 예정인 후속기상위성과 후속환경위성의 기획위원으로 활동하고 있다.

### 3. 연구시설

연구 시설로는 다수의 워크스테이션 서버와 고성능 PC가 갖추어진 천문전산실, 광학실험장치, Photodensitometer, 인공위성 추적시스템이 갖추어져 있는 광학실험실이 있다. 그리고 천문대, 시뮬레이션실, 스마트강의실 등이 학부 학생들의 교육을 위한 실험실습실로 이용되고 있다. 천문대에는 16인치 슈미트-카세그레인 반사망원경이 4m 돔에 설치되어 있고, 14, 12, 10인치 슈미트-카세그레인 망원경, 7인치 반사망원경, 6, 5인치 초저분산 굴절망원경, 6인치 쌍안경, 분광기, 그리고 다수의 냉각 CCD 카메라가 있다. 그리고 대전 시민천문대의 10인치 굴절망원경의 원격제어 시스템을 완성해 시민천문대가 운영을 마친 11시 이후에 이를 활용하여 관측수업을 진행 중이다. 또한 천체투영관과 지구과학현상 3차원 투영시스템을 구축하여 학부 관측수업 및 지구와 태양계 내의 여러 물리현상 교육을 위한 보조 장비로 활용하고 있다. 이들 장비는 충남대학교 별 축제에서 일반 대중을 위한 천문교육에도 이용되고 있다.

## 충북대학교 천문우주학과

### 1. 기본사항

충북대학교 천문우주학과에는 서경원, 김용기, 이대영, 하야사키키미타케, 안홍준, 김경찬 회원 등 6명의 전임 교수가 165명의 학부생과 28명의 대학원생의 교육과 연구를 맡고 있다. 국내 대학 중 유일한 대학본부 부속기관인 충북대학교 천문대는 2018년 10월부터 김용기 교수가 천문대장직을 수행하고 있으며 윤요라 회원이 업무를 담당하고 있다. 학과 행정업무는 2017년부터 이민희 회원이 조교로 근무하고 있다.

### 2. 연구 및 학습활동

서경원 교수는 진화된 항성 주변 먼지층의 특성과 진화에 대한 연구를 수행하고 있다. 이를 위하여 진화된 항성의 목록을 개선하고 체계화하며 관련된 적외선 및 전파 관측 자료들을 수집하여 분석하고 있다. 또한 진화된 항성의 구조와 진화에 따른 주변 먼지입자의 특성에 대한 이론적 모형의 개발과 적용을 위한 연구도 함께 진행 중이다.

김용기 교수는 대학원 대중천문학과정을 담당하고 있다. 자기격변광성의 관측 및 관측자료 처리에 대한 연구를 하고 있으며 우크라이나 ONMU 대학의 Andronov 교수와 자기격변광성에 대한 공동연구를 하고 있다. 또한 충북대학교 망원경 자동관측시스템을 이용한 자기격변광성 모니터링관측, 그리고 망원경 자동관측시스템을 이용한 과학대중화사업에의 연계연구에도 관심을 갖고 부산과학관, 경기과학고의 망원경 및 관측시스템 개발에 참여한 바 있다. 김용기 교수는 다수의 천문학 서적의 번역에 참여하고 있으며, 한국창의재단의 지원으로 STEAM교육프로그램을 개발하고 있다. 현재 김동훈, 김태우, 한기영, 박은미 회원이 박사과정, 김상걸, 김하정, 이승윤, 이현석, 임종진, 하태용, 김하정, 유경한, 최홍순, 서영준 회원이 석사과정을 이수하고 있으며, 김하은, 설아침, 김혜민, 조아라, 허민 회원이 통합과정에서 김용기 교수의 지도를 받고 있다. 2021년 중기부지원으로 메이커스페이스 전문랩사업의 사업책임자로 선정되어 2026년 8월까지 충북Pro메이커센터의 센터장을 맡아 메이커문화 확산에 기여하고 있다.

이대영 교수는 현재 6명의 full-time 석.박사 과정 대학원생들과 3인의 연구교수 및 연구원으로 구성된 우주 물리/우주환경 연구 그룹을 이끌고 있다. 주로 space plasma instabilities, radiation belt electron dynamics, wave-particle interaction, interplanetary magnetic field, solar wind structure, 행성 자기권 MHD simulation 관련 기초 연구와 우주 자기장 측정기 개발에 집중하고 있다. 특히, 최근 한국연구재단 지원 사업을 통해 극단적 우주환경 조건에서 고성능으로 운영이 가능한 자기장 측정기 (fluxgate magnetometer)를 자체적으로 개발하였으며 우주전파센터에서 운영하는 이천지자기 관측기의 온도 조절 장치를 자체 개발하여 제공함으로써 자기장 측정기 관련 기술 국산화를 정착시키고 있다. 또 다른 한국연구재단 지원 사업을 통해서도 우주환경 교란의 가장 주요한 현상인 radiation belt의 발생 근원에 대한 매우 새로운 이론을 시험하기 위한 중장기 연구를 최근 시작하였다.

하야사키 키미타케 교수는 black hole 천문학 및 천체물리학에 대한 연구를 수행하고 있다. 현재 merging process of binary supermassive black holes in the context of disk-binary interaction에 관하여 연구하고 있다. 쌍성 블랙홀 병합 중 중력파 검출(GW 150914)의 최근 발견은 그 어느 때보다도 이 분야에 많은 동기를 부여하고 있다. 또한 the tidal disruption of stars by supermassive black holes에 대해 연구하고 있으며, 최근 tidal disruption events가 급격하게 관측되면서 관측과 이론적 관심이 증가하고 있는 주제이다. 현재 대학원생과 함께 연구 그룹을 이끌고 있으며, black hole 천문학 및 천체물리학에 새로운 통찰력을 제공하고자 교육하고 있다.

안홍준 교수는 현재 국제 협력 연구단인 Fermi 연구단에 참여하고 있으며, X선 및 감마선 관측을 통하여 고에너지 천체현상을 연구 하고 있다. 고에너지 복사는 우리 은하뿐만 아니라 외계은하에 존재하는 밀집성에서 나타나는데, 주로 중성자 별 및 그 성운, 초신성 잔해, 거대 블랙홀 등이 연구대상이다. 이런 물체에서 발생하는 고에너지 현상을 통하여 그 물체들의 특성을 추정하는데, 중성자별 연구는 최종적으로 그 질량을 추정하여 현재의 물리학적 지식을 기반으로 유도한 상태방정식을 검증함으로써 초 고밀도하에 존재하는 물질의 상태를 추정하는 것을 목표로 한다. 중성자별 성운, 중성자별 쌍성, 그리고 거대 블랙홀 주변에서는 입자들이 초고에너지로 가속되는 현상이 발생하여 X선 및 감마선이 방출되는 것으로 추정하는데, 관측된 물리량을 이론 모형화하여 플라스마 물질의 가속현상들 이해하여 초고에너지 우주선의 기원을 밝혀내는 것을 목표로 하여 연구하고 있다. 현재 네 명의 대학원생과 함께 연구를 진행하고 있다.

김경찬 교수는 현재까지 명확히 알려지지 않은 지구, 목성, 그리고 토성의 방사선대 진화과정을 이해하고 궁극적으로는 태양계 행성의 방사선대 생성원리로서 플라즈마 파동-입자 상호작용 이론을 정립하는 연구를 수행하고 있다. 이를 위해 현재 한국연구재단이 지원하는 지구 방사선대 생성원리에 관한 연구를 진행 중이며, 2명의 석사과정 대학원생이 과제에 참여하고 있다. 향후 우주공간물리 연구실에서 생성하는 다양한 태양계 탐사 위성 자료 분석자료 및 예보모델 개발 결과는 목성 및 주변 위성을 탐사하기 위해 계획 중인 우주 탐사선들의 기본 개발 도구로써 제공될 예정이다.

### 3. 연구시설

각 교수의 연구실 및 실험실에는 최신 PC 및 관련 주변 기기, 그리고 워크스테이션 및 ~150-core server가 구비되어 있으며, 또한 교내 35cm 반자동 천체망원경, 40cm 자동 천체망원경 및 3m 태양 망원경, 5m 위성 전파수신기, 그리고 최근 자체 제작한 2.8Ghz 전파 수신기 등 천문우주 교육에 필요한 다수의 장비를 갖추고 있다. 이와 더불어 대학 본부 부속기관인 충북대학교 천문대(충북 진천군 소재)가 2008년 4월 개관이후 시험 관측을 거쳐 현재 활발히 천문관측을 수행하고 있다. 충북대학교 천문대는 국내 대학 규모로는 최대인 1m 반사 망원경을 보유하고 있고 60cm 광시야 망원경을 이용하여 천문 교육과 연구에 활용될 뿐만 아니라 지역사회에 개방되어 천문지식 보급에도 크게 기여하고 있다.

### 4. 국내외 연구 논문(2020-2022)

Suh, Kyung-Won, 2021, A New Catalog of Asymptotic Giant Branch Stars in Our Galaxy, The Astrophysical Journal Supplement Series, 256, 43.

Lee, Jeong-Eun, Lee, Sieun, Lee, Seonjae, Suh, Kyung-Won, Cho, Se-Hyung, Byun, Do-Young, Park, Wooseok, Herczeg, Gregory, Pena, Carlos Contreras, and Johnstone, Doug, 2021, AGB interlopers in YSO catalogues hunted out by NEOWISE, *The Astrophysical Journal Letters*, 916, L20.

Suh, Kyung-Won, 2020, Infrared Properties of Asymptotic Giant Branch Stars in Our Galaxy and the Magellanic Clouds, *The Astrophysical Journal*, 891, 43

Im Myungshin, Kim Yonggi, et al., 2021, SOMANGNet: Small Telescope Network of Korea, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 54, 89

유상미, 김형범, 김용기, 김흥태, 2021, WWT 빅데이터를 활용한 중학교 STEAM 프로그램 개발 및 적용, 2021, *한국지구과학학회지*, 14(1), 33

설아침, 김형범, 김용기, 허윤정, 2021, 블랜디드러닝을 통한 HTE 창의교육 프로그램이 중학생의 창의적 문제해결력에 미치는 영향, *한국콘텐츠학회논문지*, 21(7), 1

박은미, 민병희, 김태우, 김용기, 2021, 쏘망이별보기 풍속의 전국적 현황과 통계적분석, *민속학연구*, 49, 55

Y. Kim and J.-N. Yoon, 2020, Professional-amateur programs at chungbuk national university, 2020, *Contrib. Astron. Obs. Skalnat Pleso*, 50, 384

Y. Kim, I. L. Andronov, K. D. Andrych, J.-N. Yoon, K. Han and L.L. Chinarova, 2020, Poorly studied eclipsing binaries in the field of DO Draconis: V454 Dra and V455 Dra, *JKAS*, 53, 43

김용기, 구본철, 김동우, 김민선, 김은혁, 손주비, 이재준, 이재현, 정연길, 홍재섭 역, 2020, 판타스틱 유니버스: 찬드라가 바라본 우주의 신비, 서울: 북스힐 (원저, W. Tucker, 2017, *Chandra Cosmos*)

송인옥, 권석민, 장현영, 김유재, 심채경, 김용기, 손정주, 심현진 역, 2020, 우주생물학, 서울: 시그마프레스 (원저: D.Q. Rothery, L. Gilmour, and M. Septhton, 2018, *An Introductin to astrobiology*)

김용기, 김형범, 김수현, 2020, STEAM 교재: 해그림자와 놀기, (대전; 정우COM) ISBN 979-11-87288-30-5

김용기, 김형범, 정은배, 2020, 사실우리는 돌고 있어요 (대전; 정우COM) ISBN 979-11-87288-28-2

김용기, 김형범, 김상훈, 2020, STEAM 교재: 3D프린터와 AR을 활용하여 망원경과 친해지기, (대전; 정우COM) ISBN 979-11-87288-27-5

김형범, 김용기, 이은봉, 2020, STEAM 교재: 드론인명구조사를 소개합니다, (대전; 정우COM) ISBN 979-11-87288-26-8

김형범, 김용기, 김인국, 2020, STEAM 교재: 인공지능 어디까지 알고있니?, (대전; 정우COM) ISBN 979-11-87288-25-1

김형범, 김용기, 류현아, 2020, STEAM 교재: 빅데이터만져보기 (대전; 정우COM) ISBN 979-11-87288-29-9

김용기, 김형범, 이지선, 2020, 우리동네지킴이, 가로등 - 교사용 (서울; 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-248-5

김용기, 김형범, 이지선, 2020, 우리동네지킴이, 가로등 - 학생용 (서울; 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-249-2

김용기, 김형범, 한도운, 2020, 내직업은 지층 VR 크리에이터 - 교사용 (서울; 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-240-9

김용기, 김형범, 한도운, 2020, 내직업은 지층 VR 크리에이터 - 학생용 (서울; 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-241-6

한신, 김형범, 김용기, 김정화, 2020, 픽셀의 비밀을 풀어보자 - 교사용 (서울; 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-250-8

한신, 김형범, 김용기, 김정화, 2020, 픽셀의 비밀을 풀어보자 - 학생용 (서울; 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-251-5

김용기, 김형범, 조재완, 허윤정, 2020, 드론 (UAV)으로 군집 아트쇼를 해볼까 - 교사용 (서울; 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-242-3

김용기, 김형범, 조재완, 허윤정, 2020, 드론 (UAV)으로 군집 아트쇼를 해볼까 - 학생용 (서울; 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-243-0

김용기, 김형범, 유완석, 허윤정, 2020, 미세먼지를 예

방할 수 있을까 - 교사용 (서울: 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-244-7

김용기, 김형범, 유완석, 허윤정, 2020, 미세먼지를 예방할 수 있을까 - 학생용 (서울: 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-245-4

김용기, 김형범, 김상훈, 2020, 별자리의 비밀을 알아볼까 - 교사용 (서울: 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-250-8

김용기, 김형범, 김상훈, 2020, 별자리의 비밀을 알아볼까 - 교사용 (서울: 과학창의재단) ISSN 979-11-6369-247-8

박은미, 민병희, 이기원, 김용기, 2020, 고종 31년(1894) 연력장의 역일검증, 천문학논총, 35, 001

설아침, 김형범, 한신, 김용기, 2020, 한국천문연구원 '스타-카' 프로그램 개발 및 효과분석: 과학문화 소외지역을 중심으로, 한국지구과학교육학회지, 13(1), 100

한신, 김형범, 김용기, 송하명, 2020, 비유를 활용한 STEAM 프로그램 개발 및 효과: 중학교 '태양계' 단원을 중심으로, 13(1), 15

한신, 김용기, 김형범, 2020, 텍스트마이닝을 활용한 대학생들의 외계행성 개념변화연구, 대한지구과학회지, 13(3), 305

Kyung-Eun Choi, D.-Y. Lee, Katsuhide Marubashi, and Seunguk Lee, 2022, Near-orthogonal Orientation of Small-scale Magnetic Flux Ropes Relative to the Background Interplanetary Magnetic Field", *Astrophysical Journal*.

Kim, H.-J., Lee, D.-Y., Wolf, R., Bortnik, J., Kim, K.-C., Lyons, L., et al. (2021). Rapid injections of MeV electrons and extremely fast step-like outer radiation belt enhancements. 2021, *Geophy. Res. Letter*.

Park, J., Min, K. W., Seo, H., Kim, E.-J., Ryu, K., Sohn, J., et al. (2021). Multi-year statistics of LEO energetic electrons as observed by the Korean NextSat-1. *Space Weather*.

Choi, K.E., D.-Y. Lee, H.E. Wang, S. Lee, K.C. Kim, & K.S. Park, 2021, Characteristics of Suprathermal Electrons in Small-Scale Magnetic Flux Ropes and Their Implications on the Magnetic

Connection to the Sun, *Solar Phys.*

D.-Y. Lee, 2021, Sensitive dependence of ultrarelativistic electron precipitation on EMIC wave frequency, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*

H. M. Kim, ..., D.-Y. Lee, et al. 2021, Observations of Particle Loss due to 2 Injection-Associated EMIC Waves, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*

Noh, S., D.Y. Lee, et al., 2021, Upper limit of proton anisotropy and its relation to EMIC waves in the inner magnetosphere, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*.

Cheong R. Choi, M.-H. Woo, P. H. Yoon, D.-Y. Lee, and K. S. Park, 2021, Anomalous Proton Velocity Diffusion by Quasi-Monochromatic Kinetic Alfvén Waves, *Astrophysical Journal*.

Ji-Hyeon Yoo, Dae-Young Lee, Eo-Jin Kim et al., 2021, A Substorm Injection Event and the Radiation Belt Structure Observed by Space Radiation Detectors onboard NEXTSat-1, *J. Astron. Space Sci.*

J.-H. Lee, G. Jee, Y.S. Kwak, S.B. Hong, H. Hwang, I.S. Song, Y.-S. Lee, E. Turunen, and D.-Y. Lee, 2021, polar middle atmospheric responses to medium energy electron (MEE) precipitation using numerical model simulations, *Atmosphere*.

D.-Y. Lee, K.C. Kim, C.R. Choi, 2020, Nonlinear Scattering of 90° Pitch Angle Electrons in the Outer Radiation Belt by Large-Amplitude EMIC Waves, *Geophy. Res. Lett.*

D.-Y. Lee and J. Kim, 2020, Simultaneous Influence of Whistler-Mode Chorus and EMIC Waves on Electron Loss in the Earth's Radiation Belt, *Journal of the Korean Physical Society*.

E. Kim, ... D.-Y. Lee, et al. 2020, Initial Operation and Preliminary Results of the Instrument for the Study of Stable/Storm-Time Space (ISSS) on Board the Next Generation Small Satellite-1 (NEXTSat-1), *J. Astron. Space Sci.*

K.S. Park, D.-Y. Lee, K.-H. Kim, 2020, Global

MHD Simulation of a Prolonged Steady Weak Southward Interplanetary Magnetic Field Condition, *J. Astron. Space Sci.*

Hayasaki, Kimitake & Jonker, Peter G, On the origin of late-time X-ray flares in UV/optically-selected tidal disruption events, 2021, *ApJ*, 921, 20

Arghajit Jana & Neeraj Kumari & Prantik Nandi & Sachindra Naik & Arka Chatterjee & Gaurava K. Jaisawal & Kimitake Hayasaki & Claudio Ricci, Broadband X-ray observations of the 2018 outburst of the changing-look Active Galactic Nucleus NGC 1566, 2021, doi: 10.1093/mnras/stab2155

S. van Velzen, R. Stein, M. Gilfanov, M. Kowalski, K. Hayasaki, S. Reusch, Y. Yao, S. Garrappa, A. Franckowiak, S. Gezari, J. Nordin, C. Fremling, Y. Sharma, L. Yan, E. C. Kool, J. Sollerman, P. Medvedev, R. Sunyaev, E. Bellm, R. G. Dekany, D. A. Duev, M. J. Graham, M. M. Kasliwal, R. R. Laher, R. L. Riddle, B. Rusholme, Establishing accretion flares from massive black holes as a major source of high-energy neutrinos, 2021, arXiv:2111.09391

K. Hayasaki, Neutrinos form tidal disruption events, 2021, *Nature Astronomy*, doi: 0.1038/s41550-021-01309-z

K. Hayasaki, M.R. Bate, and A. Loeb, Ionization and dissociation induced fragmentation of a tidally disrupted star into planets around a supermassive black hole, 2020, arXiv:2001.04172

Park Gwanwoo and K. Hayasaki, Tidal disruption flares from stars on marginally bound and unbound orbits, 2020, *ApJ*, 900, 1

An, H. "Gamma-ray orbital modulation of the transitioning millisecond pulsar binary XSS J12270-4859", 2022, *ApJ*, 924, 91

Burgess, D. et al. "The Eel Pulsar Wind Nebula: a PeVatron-Candidate Origin for HAWC J1826-128 and HESS J1826-130", 2021, *ApJ*, submitted

Tokayer, Y. M., An, H., Halpern, J. P., et al. "Multi-Wavelength Observation Campaign of the TeV Gamma-Ray Binary HESS J0632+057 with

NuSTAR, VERITAS, MDM, and Swift", 2021, *ApJ*, 923, 17

Yoo, S., Lee, S., Kim, S., and An, H. "Investigation of the jets of the blazar 3C 279 with KVN 29-129GHz observations", 2021, *JASS*, 38, 4

Kandel, D., Romani R. W., and An, H. "XMM-Newton observes the IntraBinary Shock of PSR J1959+2048", 2021, *ApJL*, 917, L13

Rho, J. ... An, H. ...et al. "Near-infrared and optical observations of type IC SN 2020oi and broad-lined IC 2020bvc: Carbon Monoxide, Dust, and High-Velocity Supernova Ejecta", 2021, *ApJ*, 908, 232

Kim, M. and An, H. "X-ray properties of the pulsar PSR J0205+6449 in 3C 58", 2021, *JKAS*, 54, 1

An, H. and Romani, R. W. 2020, "X-ray constraints on the spectral energy distribution of the z=5.18 blazar SDSS J013127.34-032100.1", *ApJ*, 904, 27

Yoo, S. and An, H. "Spectral variability of the blazar 3C 279 in the optical to X-ray band during 2009-2018", 2020, *ApJ*, 902, 2

Mori, K., An, H., Feng, Q. et al. "Multi-wavelength observations of 2HWC J1928+177: Dark accelerator or new TeV gamma-ray binary?", 2020, *ApJ*, 897, 129

An, H., Romani, R. W., and Kerr, M. "Orbital Modulation of Gamma Rays from PSR J2339-0533", 2020, *ApJ*, 897, 52

Kim, M. and An, H. "Characterizing X-ray properties of the gamma-ray pulsar PSR J1418-6058 in the Rabbit pulsar wind nebula", 2020, *ApJ*, 892, 5

Kim, S. and An, H. "Spectral energy distribution modelling of broadband emission in the pulsar wind nebula 3C 58", 2020, *Astronomische Nachrichten*, 341, 170

Kyung-Chan Kim, 2022, Empirical Modeling of the Global Distribution of Magnetosonic Waves with

Ambient Plasma Environment using Van Allen Probes, J. Astron. Space Sci.

Kyung-Eun Choi, Dae-Young Lee, Hee-Eun Wang, Seunguk Lee, Kyung-Chan Kim, Kyung Sun Park, 2021, Characteristics of Suprathermal Electrons in Small-Scale Magnetic Flux Ropes and Their Implications on the Magnetic Connection to the Sun. Sol. Phys.

Wooyeon Park, Jaejin Lee, Kyung-Chan Kim, Jongkil Lee, Keunchan Park, Yukinaga Miyashita, Jongdae Sohn, Jaeheung Park, Young-Sil Kwak, Junga Hwang, Alexander Frias, Jiyoung Kim and Yu Yi, 2021, Operational Dst index prediction model based on combination of artificial neural network and empirical model. J. Space Weather Space Clim.

Kim, H.-J., Lee, D.-Y., Wolf, R., Bortnik, J., Kim, K.-C., Lyons, L., et al., 2021, Rapid injections of MeV electrons and extremely fast step-like outer radiation belt enhancements. Geophys. Res. Lett.

Kim, K.-C., Shprits, Y., & Wang, D., 2020, Quantifying the effect of plasmaspheric hiss on the electron loss from the slot region. J. Geophys. Res. Space Phys.

Lee, D.-Y., Kim, K.-C., & Choi, C.-R., 2020, Nonlinear scattering of 90° pitch angle electrons in the outer radiation belt by large-amplitude EMIC waves. Geophys. Res. Lett.

Lee, Y.-S., Kwak, Y.-S., Kim, K.-C., & Kim, Y. H., 2020, Dynamically unstable strong wind shears observed in the polar mesosphere summer echo layer associated with geomagnetic disturbances. J. Geophys. Res. Space Phys.

D.-Y. Lee, K.C. Kim, C.R. Choi, 2020, Nonlinear Scattering of 90° Pitch Angle Electrons in the Outer Radiation Belt by Large-Amplitude EMIC Waves, Geophys. Res. Lett.

## 한국천문연구원

### 1. 기관 현황

한국천문연구원은 우리나라 천문 연구의 정통성을 계

승한 대한민국 대표 천문연구기관으로서 1974년 국립천문대로 출범하여 현재에 이르기까지 중·대형 관측 장비의 구축과 운영을 통해 국가 천문 연구를 수행하며 과학 발전의 토대를 마련하고 있다. 국내 유일의 천문우주과학 정부출연연구기관으로서 광학, 전파, 이론, 관측 천문학 및 우주과학 연구를 통해 21세기 천문우주 핵심과제를 규명하고, 천문우주 관측시스템 구축 및 핵심 기술 개발을 통해 우주시대를 선도하는 일류 선진연구기관으로 도약하고 있다.



### 가. 주요 보직자 현황

제8대 원장 박영득  
부원장 육인수  
감사부장 김경호

광학천문본부장 김상철  
전파천문본부장 김기태  
우주과학본부장 이재진  
대형망원경사업단장 박병곤  
우주위험감시센터장 조성기  
이론천문센터장 김진호  
천문우주기술훈센터장 한정열  
고천문연구센터장 양홍진  
정책부장 이서구  
기획부장 안효창  
행정부장 윤양노

### 나. 주요 연구본부 소개

#### 1) 광학천문본부

광학천문본부는 은하진화그룹, 변광천체그룹, 보현산천문대, 소백산천문대의 4개 그룹으로 구성되어 별과 우주의 시작과 변화를 과학적으로 분석하고 있다. 은하진화그룹은 광학/적외선을 비롯한 다양한 파장의 자료를 이용하여 우리은하와 외부은하의 형성과 진화를 연구하고 있으며, 관련 수치실험과 빅데이터 연구를 병행하고 있

다. 변광천체그룹은 고정밀 측광 및 고분산 분광 관측자료를 활용하여 변광성과 외계행성의 물리적 특성을 연구하고 있다.

이러한 연구를 위하여 광학천문본부는 보현산천문대, 소백산천문대, 레몬산천문대, 외계행성 탐색시스템(KMTNet) 등의 관측시설을 운영하고 있다. 외계행성 탐색시스템은 2015년 10월에 칠레, 호주, 남아프리카공화국의 남반구 3개 관측소를 완공하고, 광시야 망원경과 모자이크 CCD 카메라를 사용하여 외계행성, 변광성, 초신성, 소행성, 외부은하 등 본격적인 연구관측을 시작해 성과를 창출하고 있다.



2) 전파천문본부

전파천문본부는 전파천문연구그룹, 대덕전파천문대, 전파기술개발그룹, ALMA(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)그룹 및 KVN(Korean VLBI Network, 한국우주전파관측망)의 5개 그룹을 운영하고 있다. KVN 등의 대형 관측장비를 활용하여 별 탄생 영역과 활동성 은하 영역에 대한 선진연구를 수행하고, ALMA, KaVA(KVN and VERA Array) 등을 통해 국제 공동 관측 프로그램을 진행하고 있다. 또 핵심 관측 장비의 성능 향상을 위한 시스템 개발을 하며 우수 연구 결과를 창출하고 있다.



3) 우주과학본부

우주과학본부는 태양 및 근지구 우주환경 연구, 달 및 행성 과학, 그리고 레이저 기술을 이용한 고정밀 우주물체 추적연구를 통해 우주에 대한 인류의 지식 확대에 기여하고 있다. 또한 우주측지기술을 활용한 지구 변화 정밀 분석과 태양활동에 의한 지구영향 예측, 위성 및 로켓 탑재체 개발 등 우주에서의 관측천문 연구에 주력하고 있으며 대한민국 공식 역서를 발간하고 있다.

4) 우주위험감시센터

한국천문연구원은 2014년 개정된 우주개발진흥법 및 동법 시행령, 국가우주위험대기본계획에 근거하여 우주위험대응 전문기관인 우주환경감시기관으로 지정되었고,

우주위험감시센터는 우주환경감시기관 역할 수행을 위한 전담부서로 우주위험에 대한 체계적 감시 및 대응을 위한 연구개발을 수행하고 있다.

국가과학기술연구회 국가현안해결형사업인 우주물체 전자광학감시 시스템(Optical Wide-field patrol; OWL-Net) 개발 사업을 통해 지난해 국내외 5개 곳에 직경 0.5m급 우주물체 추적 광학망원경을 설치 완료했으며, 우리나라 국적위성, 한반도 정지궤도 영역을 독자적으로 감시하고 있다. 이 네트워크는 광시야 광학망원경, 고속 마운트, 효과적인 스케줄링을 채용하여 빠르게 움직이는 인공위성이나 소행성의 추적감시가 가능하며, 세계 최초로 관측 계획부터 데이터 분석까지 전 과정을 천문연구원에서 무인원격으로 관리할 수 있다.

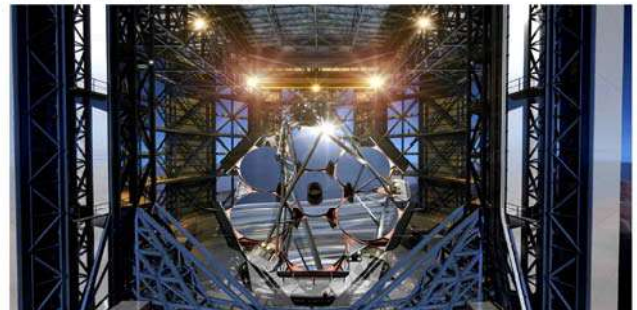


5) 대형망원경사업단

대형망원경사업단은 대형광학망원경의 국제공동건설 및 공동활용, 대형망원경용 관측기기 개발 등의 업무를 수행하고 있다.

주요사업으로는 거대마젤란망원경(GMT) 국제공동 건설 지분 10% 확보를 골자로 하는 대형망원경개발사업과 8m급 중대형망원경 국제공동 활용, 광학 및 적외선 관측기기 개발, GMT용 관측기기 및 부경 국제공동개발 등을 들 수 있다.

특히 GMT 시대를 대비한 연구역량의 개발과 인력 양성을 위하여 천문학계를 위한 중대형망원경 관측시간 지원, 대학원생 및 박사후연수원을 대상으로 하는 계절학교 운영, 해외 GMT 참여기관과 공동연구 및 펠로우십 프로그램 운영, 천문학 분야 국제공동연구 참여 등 다양한 업무를 수행하고 있다.



6) 이론천문센터

이론천문센터에는 우주론, 천체물리 분야의 연구자들이 참여하고 있다. 우주론 및 천체물리 분야는 우주거대



구조 이론과 관측 연구를 통해 우주초기조건, 암흑물질 및 암흑에너지에 관한 연구를 수행하고 있으며, DESI 등 주요 국제관측사업에 참여하고 있다. 천체물리 연구자들은 시뮬레이션을 통한 천체물리 연구 및 시뮬레이션코드 개발 등을 수행하며, 한국과학기술정보연구원, 국가수리과학연구소와 공동으로 중력파 융합연구도 활발하게 진행 중이다.

7) 천문우주기술센터

2020년 2월, 천문우주과학 연구를 위한 경쟁력 있는 기술개발 전략을 수립하고, 국가 위상을 높일 수 있는 첨단 기술개발을 선도하며, 엔지니어링의 체계적 지원을 위하여 천문우주기술센터 (Technology Center for Astronomy and Space Science)를 발족했다. 천문우주기술센터는 설립 목적 및 역할로써 기술개발 중장기 계획 수립 및 추진 등 7개로 정하고, 기술로드맵 작성, 기기개발 지원, 연구장비 공동활용 극대화를 위한 스마트랩(Smart Lab.), 포괄적 산학연 협력, 천문우주기술관련 워크숍 연구모임 주관, 기술주도형 연구개발 과제 수행 등 실질적인 활동을 진행하고 있다.

8) 고천문연구센터

우리나라는 청동기 시대부터 조선에 이르기까지 다양하고 많은 천문 유산을 남겼다. 특히, 삼국시대부터 조선 시대에 이르는 2천 년 이상의 꾸준하고 연속적인 관측 기록은 우리의 대표적인 천문 유산이다. 신라와 고려와 청성대를 비롯해 세종 시대에 만들어진 다양한 천문 관측 의기들 또한 소중한 천문 자산이다. 고천문연구센터는 이러한 역사 천문기록을 분석하고 고대의 천문 의기를 연구하고 있으며 학제간 연구를 통해 고고천문학과 민속천문학, 남북천문협력 등의 분야에서 다양한 연구를 진행하고 있다.

9) 천문전산융합센터

천문전산융합센터는 빅데이터 연구 국민 참여와 세계적 성과 창출을 목표로 2018년 4월 새로 구축됐다. 기하급수적으로 증가하는 천문우주 빅데이터의 저장·분석·공유와 시스템을 구축하는 역할을 한다. 기존의 광학·전파·적외선 파장별 관측 데이터를 비롯해 대규모 수치 모의실험을 통한 데이터, 우리나라의 특장점인 과거 조선시대 천문 관측기록부터 현재와 미래에 구축할 최신 인프라의 데이터들까지 망라할 계획이다. 또 국민들이 직접 연구에 참여하고 그 성과를 체감할 수 있는 플랫폼을 구축해나가고자 한다.

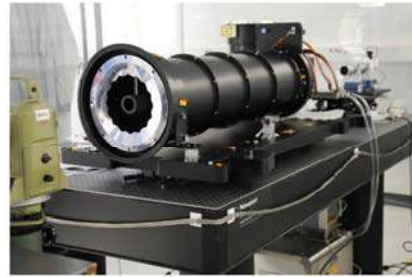
2. 한국천문연구원 주요 연구 및 개발 성과

가. 코로나 그래프로 태양풍 가속의 실마리 엿다

천문연과 NASA가 공동 개발한 코로나그래프를 통해 세계 최초로 태양 외부 코로나의 온도와 속도를 동시 측

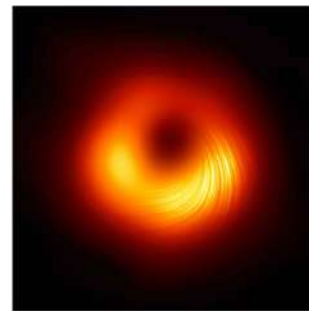
정하여 2차원 영상으로 구현하였다. 또한, 천문연은 NASA와 코로나 관측 자료를 공동으로 분석해 외부 코로나 구조물이 약 일백만도의 온도와 초속 260km의 속도를 갖는다는 것을 발견하였다.

일반적인 코로나그래프는 편광 관측을 통해 K-코로나 영역의 전자 밀도 측정만 가능하다. 그러나 천문연과 NASA가 공동으로 개발한 코로나그래프는 편광 관측은 물론, K-코로나 전자의 온도와 속도 변화에 민감하게 반응하는 네 개 파장의 필터를 장착해 온도와 속도 값을 동시에 2차원 영상으로 구현할 수 있도록 고안된 최초의 코로나그래프이다. 천문연은 코로나그래프 핵심기술을 바탕으로 NASA와 차세대 코로나그래프를 개발해 2023년 국제우주정거장에 설치할 예정이다.



나. M87 블랙홀 편광 관측 및 다파장 관측

2021년 3월 천문연이 참여하는 EHT 국제 공동 연구팀은 최초로 M87 은하 중심에 있는 초대질량블랙홀의 편광 영상을 관측하였다. 또한, 4월에는 한국천문연구원 이 참여하고 있는 EHT(Event Horizon Telescope) 국제 공동 연구팀이 전 세계 32개 나라의 19개 천문대의 망



원경을 활용한 초대형 동시 관측망을 통해 초대질량블랙홀이 강력한 제트를 분출하고 있는 M87 은하 중심부의 다파장 관측 결과를 공개했다. 2019년 사상 최초로 관측한 블랙홀과 이를 편광 관측한 지난 3월 영상 이후, 기존의 전파 영상

뿐 아니라 광학, 적외선, 엑스선, 감마선 등 전체 전자기파 다파장 동시 관측을 통해 M87 은하 크기보다 더 큰 제트를 분출하고 있는 초대질량블랙홀 모습을 포착한 것이다. 블랙홀 관측 결과를 통해 일반 상대성이론의 정밀한 검증에 대한 새로운 결과들이 쏟아져 나올 것으로 기대된다.

다. 어두운 천체 관측에 최적화된 국산 망원경 K-DRIFT 개발

한국천문연구원(이하 천문연)은 밤하늘보다 수천 배 어두운 극미광(Ultra Low Surface Brightness, Ultra LSB) 천체를 효율적으로 관측할 수 있는 30cm급 비축자유곡면 망원경 K-DRIFT(KASI-Deep Rolling Imaging



Fast optics Telescope)를 국내 순수 기술로 개발하는 데 성공했다. 이번 망원경에 적용된 비축 자유곡면 3반사경은 설계부터 가공, 조립, 정렬 등 모든 제작을 순수 국내 연구진들이 개발하여 실제 관측에 성공한 첫 사례이다. 이번에 개발한 망원경은 구경 30cm의 소형 광학망원경이지만 현존하는 세계 최대 단일 구경인 8.2m 스바루(Subaru) 망원경과 동등한 품질의 거대한 주변 극미광 영역 관측 영상을 획득했다. K-DRIFT는 스바루 망원경 구경 면적의 약 750분의 1 크기이나 망원경 구경에 따른 집광력, 노출 시간, 그리고 관측 조건 등을 고려했을 때 가까운 우주의 극미광 천체 관측에 있어 스바루 망원경보다 약 100배 이상의 관측 성능을 보였다. 비축 자유곡면 3반사경의 성능을 더욱 향상시켜 2024년 이후에는 K-DRIFT를 칠레 등 천문관측에 적합한 지역에 설치해 전천 극미광 탐사를 시작할 계획이다.

라. NASA 무인 달착륙선에 달 우주 환경 모니터(LUSEM) 탑재 확정

과학기술정보통신부와 한국천문연구원은 美 NASA에서 CLPS 계획의 일환으로 '24년에 발사 예정인 무인 달 착륙선의 제작업체로 인튜이티브 머신즈(Intuitive Machines)社를 선정하였다고 11월 17일 오후(한국시각 기준 11월 18일 새벽)에 발표하였으며, 이와 함께 동 착륙선에 한국이 개발 중인 '달 우주환경 모니터(LUSEM)'가 탑재될 것임을 확정 발표하였다고 밝혔다. 이번 '24년 달착륙선에 탑재가 확정된 우리나라의 LUSEM은 달 표면에서 50킬로전자볼트(keV\*) 이상의 고에너지 입자를



검출할 수 있는 센서로서, 천문연 주관으로 경희대 선종호 교수 연구팀과 함께 개발 중인 과학탑재체이다. LUSEM은 아폴로 프로그램 등을 통해서 그 간 측정된 적이 없는 50keV 이상의 고에너지 입자를 관측함으로써, 대기가 없는 천체에서의 우주풍화 작용, 지자기권과 달

의 상호작용에 따른 영향 등의 과학적 연구를 수행할 예정이다.

마. 우주환경 관측 나노위성 도요셋 비행모델 공개

천문연은 4기 나노위성으로 구성된 근지구 우주환경 관측위성(도요셋)을 개발해, 지상에서 관측할 수 없는 우주 플라즈마 분포의 미세 구조를 연구할 예정이다. 도요셋은 위성간 거리와 비행 형태를 조절할 수 있는 편대비행 기능을 추가하여 저궤도에서의 우주환경을 보다 정밀하게 관측할 것으로 기대됨. 도요셋은 중량 10kg 이하의 나노급 위성 4기로 구성되며, 고도 500km의 태양동기궤도를 4기가 함께 편대비행을 하며 우주날씨의 변화를 관측할 예정이다. 도요셋은 나노급 위성으로는 세계 최초로 편대비행에 도전하는데, 궤도 비행 중 위성 간 간격을 제어하며 일렬로 비행하는 종대 비행과 나란히 비행하는 횡대 비행이 가능하다. 이러한 편대 비행을 통해 단일 위성 관측이 갖는 관측 한계를 넘어 우주 플라즈마 분포의 시·공간적 변화를 미세한 수준까지 관측해 향후 태양풍에 의한 우주폭풍 및 우주환경 실시간 예보와 분석 정확도 향상에 기여할 계획이다.



## 연구 성과 및 기업 홍보



# 고에너지 천체물리 연구센터

## Center for High Energy Astrophysics (CHEA)

### □ 센터소개

고에너지 천체물리학은 열적(thermal)·비열적(nonthermal) 고에너지 입자들이 방출하는 전파, X-선,  $\gamma$ -선 등 전자기파와 중성미자, 중력파 등의 관측에 기반을 두어, 이와 관련된 천문학 현상의 기작을 연구하는 분야이다. 본 센터에는 이론·시뮬레이션을 중심으로 하는 천체물리를 천문 관측 및 실험 천체물리(laboratory astrophysics)와 결합하여, 은하단(clusters of galaxies)과 밀집천체(compact objects)에서 고에너지 천체물리 현상에 대한 연구를 수행한다. 이를 통해 고에너지 천체물리 연구의 국내 거점을 마련하고, 세계 선도 연구 그룹으로 발전할 기반을 구축하는 한편, 이 분야에서 세계적 수준의 미래 핵심 인력을 양성한다.

### □ 센터목표



- 주관: 울산과학기술원 (UNIST)
- 참여기관: 부산대, 충남대, 충북대, 성균관대, 세종대, 조선대
- 홈페이지 주소: <http://sirius.unist.ac.kr/SRC-CHEA/>



# COronal Diagnostic EXperiment

**'21.10** CODEX 설계 및 제작

**'22.08** 동작검증

검교정

종합성능시험

**'23.03** 우주환경시험

**'23.07** 발사체/탑재체 조립 및 시험

**'23.12** 발사

화물선 로켓 분리

ISS 도킹

CODEX 화물선 분리

CODEX 데이터센터

CODEX 운영

NASA 탑재체 운영센터

CODEX ISS 설치

**CODEX**  
 Next Generation Solar Coronagraph  
 Developed by NASA's Goddard Space Flight Center (GSFC) and the Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI)

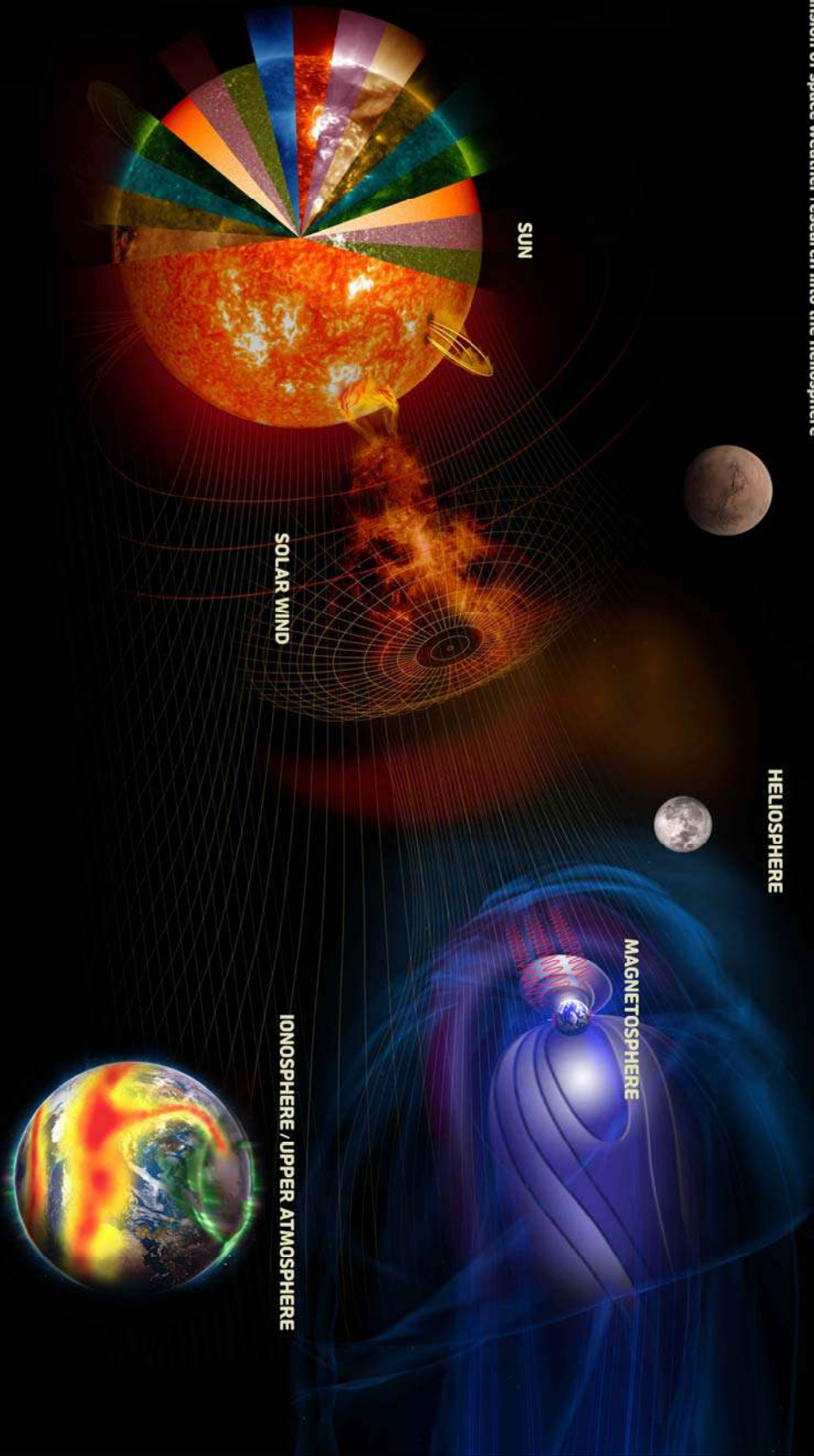


codex.kasi.re.kr



# What is the Next-Generation Space Weather?

\* Comprehensive understanding of the energy linkage process of the solar-earth space environment  
\* Expansion of space weather research into the heliosphere





국가과학남제도전융합연구개발사업  
National Science Challenge Initiatives

중력파우주연구단

# The Center for The Gravitational Wave Universe

- 연구목표
  - 중력파를 포함하는 다중신호천문학과 인공지능을 활용하여 우주팽창의 역사를 재구성
- 연구기간 및 과제구성
  - 2021.7. ~ 2025.12.
  - 제1세부과제: 중력파 천체를 이용한 거리 측정과 허블상수 연구
  - 제2세부과제: 7차원적 망원경과 인공지능 기법을 접목한 다중신호천문학 연구

<http://gwuniverse.snu.ac.kr>

Artist Rendition of Binary Neutron Star Merger, NSF/Sonoma State Uni./A. Simmonet



서울대학교  
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY



한국천문연구원  
Korea Astronomy & Space Science Institute



이화여자대학교  
EWHA WOMANS UNIVERSITY



POSTECH