

『4단계 BK21사업』 미래인재양성사업(과학기술분야)

교육연구단 자체평가보고서

접수번호	4199990114237						
사업 분야	기초	신청분야	물리	단위	전국	구분	교육연구단
학술연구분야 분류코드	구분	관련분야		관련분야		관련분야	
		중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류
	분류명	물리학	응집물질물리	물리학	열및통계물리	물리학	광학및양자전자학
	비중(%)	60%		20%		20%	
교육연구 단명	국문) 4단계 BK21 포스텍 물리교육연구단						
	영문) BK21 FOUR POSTECH Physics Division						
교육연구 단장	소 속	포항공과대학교 물리학과					
	직 위	교수					
	성명	국문					
		영문					
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 ('20.9~ '21.2)	2차년도 ('21.3~ '22.2)	3차년도 ('22.3~'23.2)	4차년도 ('23.3~'24.2)	5차년도 ('24.3~'25.2)	6차년도 ('25.3~'26.2)
	국고지원금						
총 사업기간		2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)					
자체평가 대상기간		2024.9.1.-2025.8.31.(12개월)					
본인은 관련 규정에 따라, 『4단계 BK21사업』 관련 법령, 귀 재단과의 협약에 따라 다음과 같이 자체평가보고서 및 자체평가결과보고서를 제출합니다. 2025년 11월 6일							
작성자	교육연구단장						
확인자	포항공과대학교 산학협력단장						

〈자체평가 보고서 요약문〉

중심어	지식 지평 확장	신진과학자 육성	글로벌 리더 양성
	첨단 물리 지식 함양	미래 대처 능력 증진	리더 능력 함양
	혁신적 연구	함께하는 연구	포스텍 플래그십 연구
교육연구단의 비전과 목표 달성정도	▶비전: 탄탄한 기초실력으로 지식의 지평을 넓히는 신진과학자 육성 ▶목표: 물리학 글로벌 리더 양성과 포스텍 브랜드 연구성과 7건 달성 ▶달성정도: 포스텍 물리교육연구단에서 배출되는 신진과학 인력이 첨단 학문 지식, 건 강한 마음, 미래 대처 능력, 능동적 리더 능력을 갖추 수 있도록 교육환경을 구축하고 핵심 교육 프로그램을 지속적으로 개선하고 있음. 연구 측면에서는 혁신적인 연구, 함께 하는 연구, 포스텍 플래그십 연구를 통해 연구역량을 높이려는 노력을 지속하였음. 이러 한 노력의 결과 참여 교수 및 참여 대학원생의 연구의 질적 수준이 지속적으로 향상되 고 있으며 포스텍 브랜드 연구 성과를 지금까지 5건 달성하였음.		
교육역량 영역 성과	▶학문의 깊이와 너비를 겸비하는 교육 제도 구현: 물리학 기초 핵심 과목 운영 강화, 교수-학생 간 Office Hour 확대 등 'Core Strength'를 다지고, 연구 연계 체인 프로그 램으로 'Depth'를 강화하고, 연구실 순환 및 융합 강의로 'Breadth'를 넓혀 학생 주도 연구 능력 전환을 꾀함. ▶학생 중심의 건강한 연구/진로 멘토링 시스템 구축: 학생 기본 권익 보호를 위한 교 무 지도교수 제도 및 학생-지도교수 기대 설문 제도를 운영하여 갈등 예방 및 조정 체 계를 마련. 또한, 자기 계발 심층 면담 제도로 진로 상담을 정례화하고, 연구 성과 데이 터베이스 시스템 구축과 대학원생 특화 상담 프로그램을 통해 학업 성과와 정신 건강을 통합적으로 관리. ▶능동적이고 소통하는 리더 교육 추구: 역진행 특강 수업 도입 및 대학원생 주도 저널 클럽 운영으로 토론 시간을 확보하고 비판적 사고 및 소통 능력을 증진. 또한, '1st paper award'를 통해 학생들이 연구 전 과정을 조기에 경험하고 첫 논문 작성을 독려 했으며(6명 수상), 해외 장·단기 방문 연구 확대 및 해외 연구자 초청을 통해 국제 교류 를 활성화(총 10건 파견 연수). 졸업 심사 전 국제 학회 발표를 독려하여 글로벌 리더 로서의 자질 함양을 장려.		
연구역량 영역 성과	▶연구역량 향상을 위해 '혁신적인 연구', '함께하는 연구', '포스텍 브랜드 연구'라는 세 가지 목표 달성을 위해 3가지 전략을 추진. ▷혁신적인 연구를 장려하는 연구문화 조성 및 제도적 뒷받침 강화: 학술지 정량 평 가를 지양하고 질적 평가를 강화하며 비누적 성과급제를 신설. 또한, 신입 교원의 초기 정착금 지원, 강의 부담 경감, 승진 최소 연한 폐지 등을 통해 혁신적인 연구 환경을 제 공하고 우수 교원을 유치. ▷함께 하는 연구를 통한 창의적 융복합 연구 배양: '탈경계 공동연구' 프로그램을 운 영하여 전공 분야를 넘어서는 융복합 연구팀 결성을 유도. 공용 헬름 액화시설 및 X-선 분석 장비 등 공동 실험 환경을 구축하고, 양자물성센터, 양자정보기술센터 등 글로 컬 R&D 센터를 설립하여 연구 기반을 강화. ▷포스텍 플래그십 발굴 및 집중 육성: 우수교원 특별임용제를 통해 스타급 연구자의 성과 창출을 지원하고, 글로벌 선도연구센터(SRC), 기초연구실(BRL) 등 대형 연구센터 를 유지하여 혁신적인 연구 그룹을 육성(SRC 1개, BRL 2개 유지 및 양자대학원, 글로 벌파트너십 사업 선정). ▶참여교수 논문 성과: 최상위 저널 게재 실적 대폭 증가(총 41편 논문 게재). 특히 Nature Physics급 이상 논문의 연평균 편수 및 주저자 논문의 IF가 4단계 신청서 평가 기간 대비 각각 203%, 135% 이상 크게 증가. 참여교수의 주도적인 역할과 연구의 질 적 수준 향상을 입증. ▶국제화 성과: MOU 체결 및 한-독 인재양성 플랫폼, 인턴십 등 인력 교류 프로그램 확대를 통해 국제화 기반을 구축하고, 전체 논문의 약 47.5%에 달하는 국제 공동연구		

	논문 출간으로 연구의 국제적 인지도를 제고. ▶산업·사회·과학 문제해결 프로그램 운영 성과: 첨단소재 기반의 원천 지식 확보를 위해 삼성미래기술/산학협력 과제 수행 및 인재 양성 프로그램을 운영하고, 포스코 기술대학 강의 등 전문 지식의 사회 환원과 특히 전문가 초청 강연, 과학 토크대회 등을 통한 지역 사회와의 열린 과학 문화 배양에 집중하며 산업·사회·과학 문제 해결에 기여.
달성 성과 요약	교육연단의 목표에 맞는 교육환경을 구축하고 핵심 교육 프로그램을 지속적으로 개선. 그 결과, 참여 교수와 대학원생의 연구 질적 수준이 꾸준히 향상. ▶참여 대학원생 성과: 주저자 논문의 68.4%가 Q1 저널 게재. 주저자 논문의 평균 IF(11.9)가 작년 대비 40% 이상 향상되었으며, 질적 우수성 지표인 mrnIF(84.22)도 매우 높음. 특히 등록 2건 및 출원 10건 달성. ▶참여 교수 성과: 전체 논문의 51%가 high IF 학술지에 게재(총 41/80편), Nature Physics급 이상 특급논문 8건(주저자) 발표. 환산편수 1편당 환산 보정 IF 지표는 4단계 신청서 대비 131%로 상승, 주저자 환산보정 IF는 140%로 크게 상승. 특히 등록 5건 및 출원 15건 달성.
미흡한 부분 / 문제점 제시	교육연구단은 목표 대비 지속적으로 성과를 향상시키며 운영되고 있으나, 몇 가지 보완이 필요한 부분이 있음. ▶교육 분야: 연구에 직결된 교육 강화로 인해 여러 전공 분야가 융합된 교과과정 및 프로그램 부족. 산업체 전문인력과 참여교수가 공동으로 강의하는 교육 프로그램 미비. ▶연구 분야: 연구 성과의 질적 수준은 지속적으로 향상되었으나, 포스텍 브랜드 연구성과는 추가하지 못함. ▶국제화 및 인력 유치: 신진 연구인력 유치/유지 어려움. 신진 연구자 지원 프로그램 운영 미흡. 신입 참여교수 비율을 충족하지 못함.
차년도 추진계획	차년도에는 여러 핵심 교육 프로그램을 지속적으로 추진하는 동시에, 차별화된 포스텍 물리학과와 특성과 개성에 맞는 정책을 보완하여 실행할 예정임. 특히, 자체평가 과정에서 확인된 미흡한 부분을 개선하기 위해 다음과 같은 다각적인 노력을 기울일 것임. ▶교육 분야: 연구에 직결된 교육 강화로 인해 부족했던 융합 교과목 개발 및 개선을 추진하고, 산업체 전문인력과 연계된 Team Teaching 과목 개발 및 개선을 시도할 것임. 또한, 양자기술 분야의 특강 및 특론 확대를 지속적으로 추진하여, 학생들의 첨단 지식 함양을 강화할 것임. ▶국제화 및 인력 유치: 우수 외국인 대학원생 유치 강화를 지속하고, 막스플랑크 한국/포스텍 연구소 등과 연계하여 신진연구인력 공동 지원 유치 방안을 논의하며 확보 노력을 기울일 것임. 또한, 2025년 9월 예정된 한-독 글로벌 인재양성 인턴십 프로그램 파견(38명) 등 국제 교류를 활성화할 것임. 2025년 11월부터 신입교수 2명() 참여 예정. ▶연구 분야: 우수한 연구 성과를 지속적으로 창출하여 세계적으로 주목받는 포스텍 브랜드 연구를 확립하기 위해서, Nature Physics급 이상의 주저자 논문들을 향후 포스텍 브랜드 연구로 발전시키기 위해 노력할 것임. 또한 연구 성과의 편중을 완화하기 위한 노력을 지속적으로 기울일 예정.

1. 교육연구단장의 교육·연구·행정 역량

성명	한글	영문
김태환	KIM, Tae-Hwan	
소속기관	포항공과대학교 물리학과	

○ 교육연구단장 변경 내역 및 사유

- 이전 교육연구단장: (2024/3/1~2025/06/30)
- 변경 교육연구단장: (2024/7/1~현재)

교수는 2024년 3월 1일부터 4단계 BK21 포스텍 물리교육연구단 단장으로 교육 및 연구 양 측면에서 단을 안정적으로 이끌어 왔습니다. 특히 양자정보 분야에서의 전문성과 리더십을 바탕으로 연구 역량 강화에 크게 기여하였습니다.

최근 교수가 양자정보과학 분야의 대형 연구 및 교육사업을 활발히 유치하고 있으며, 그중 포스텍이 주관하는 양자대학원 사업은 포스텍 물리학과뿐만 아니라 교내 타 학과 및 타 대학의 참여 대학원생들에게 양자정보과학 분야의 연구 및 교육을 지원하는 것을 목표로 하고 있습니다. 이처럼 확장된 연구·교육 사업은 BK21 교육연구단과는 사업 목적 및 대상 면에서 일정한 차이를 가지며, 양 사업 간의 운영 방향 및 자원 배분에 대한 조율이 필요한 상황입니다. 이에 따라 BK21 포스텍 물리교육연구단의 본래 취지인 물리학과 중심의 교육 및 연구 성과 창출에 집중하고, 타 사업과의 균형 있는 운영을 도모하고자 교수

를 신임 단장으로 선임하였습니다. 교수는 실험 및 이론 양 측면에서 균형 잡힌 연구역량을 갖추고 있으며, 다양한 공동연구 및 사업 기획 경험을 바탕으로 교육연구단의 학제 간 연계 강화, 참여교수 간 협력 증진, 그리고 우수 인재 양성에 크게 기여할 것으로 기대됩니다.

○ 인적사항: 포스텍 물리학과 교수

- 2013/08~현재: 포스텍 물리학과 조교수/부교수/정교수
- 2021/08~2022/07: Visiting Professor, University of Tennessee at Knoxville
- 2010/06~2013/07: 포스텍 물리학과 대우조교수
- 2006/02~2010/05: Postdoctoral Research Associate, Oak Ridge National Laboratory

○ 교육 역량

- 포스텍 물리학과 대학원 위원회 위원장: 2019/08~2021/08
- 포스텍 대학 일반물리 강좌 운영 대표 교수: 2020/02~2021/08, 2022/09~현재
- 공동AP 교과전문가위원(물리): 2020/02~2021/08, 2022/09~현재
- 포스텍 물리학과 우수 강의상 수상 (2023년도): 강의평가 4.89/5.00 (2023년 1학기), 4.92/5.00 (2023년 2학기)
- 물리학박사 6명 배출(해외기업 1명, 대기업연구소 2명, 정부출연연구소 1명, 국내외 박사후 연구원 2명)

○ 연구 역량

■ 지난 10년간 주요 연구성과: 2015년부터 지금까지 저차원 물질의 전자 상호 작용, 위상학적 특성을 연구 주제로, 교신지자 논문 22편 게재하였으며 이중 11편은 해당 분야 주요 저널에 게재하였음 (Small, Advanced Materials, Physical Review Letters, npj Quantum Materials, Nature Communications, Nature Physics 등)

○ 행정 역량

- 포스텍 물리학과 BK 연구단 운영 위원: 2022~현재
- 포스텍 융합대학원 양자정보과학 전공 운영 위원: 2024~현재
- 포스텍 교수 평의회 위원: 2025.3~현재

2. 대학원 학과 소속 전체 교수 및 참여연구진

〈표 1-1〉 교육연구단 대학원 학과 전임 교수 현황

(단위: 명, %)

대학원 학과(부)	학기	전체교수 수	참여교수 수	참여비율(%)	비고
물리학과	2024년 2학기	24명	22명	91.6	
	2025년 1학기	25명	21명	84	

〈표 1-2〉 자체평가 대상기간(2024.9.1.~2025.8.31.) 교육연구단 대학원 학과 소속 전임 교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	전출/전입	변동 사유	비고
1		2024년 2학기	전출	이직	2024.09.30.일부
2		2024년 2학기	전입	신규임용	2025.02.16.일부
3		2025년 1학기	전입	신규임용	2025.07.01.일부
4		2025년 1학기	전입	신규임용	2025.08.01.일부

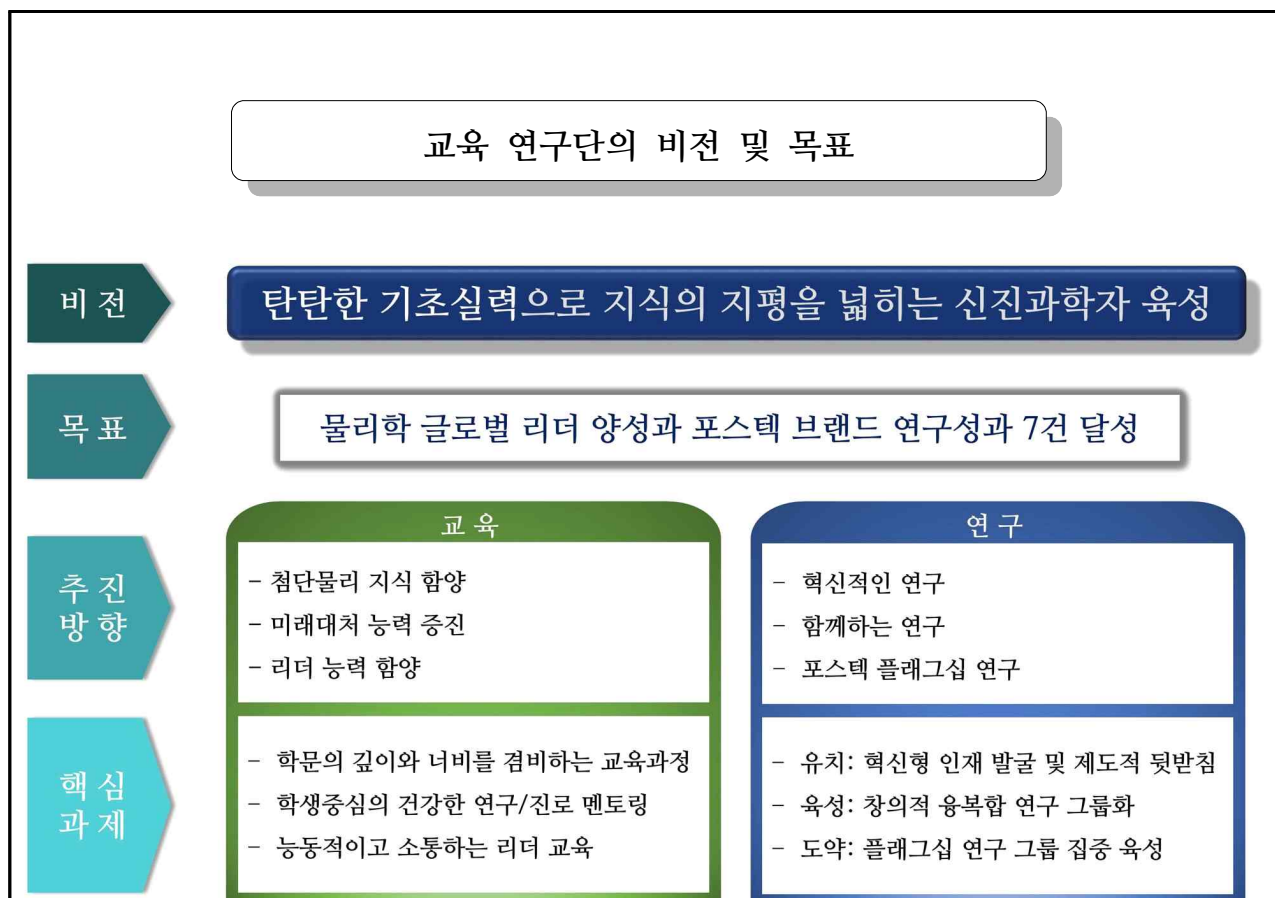
〈표 1-3〉 교육연구단 대학원 학과 대학원생 현황

(단위: 명, %)

대학원 학과	참여 인력 구성	대학원생 수											
		석사			박사			석·박사 통합			계		
		전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)
물리학과	2024년 2학기	2	1	50	5	1	20	153	108	70.6	160	110	68.75
	2025년 1학기	1	0	0	6	3	50	159	116	73	166	119	71.7
참여교수 대 참여학생 비율					5.3								

○ 2024년 9월 30일부 교수의 이직으로 인하여, 2024년 10월 1일부터 교수가 재진입하였음.

2. 교육연구단의 비전 및 목표 달성정도



○ 비전: 탄탄한 기초실력으로 지식의 지평을 넓히는 신진과학자 육성

- 포스텍 물리교육연구단은 우리나라 과학계를 이끌어 갈 신진과학자를 배출하는 기초 과학기술의 요람임. 본 물리교육연구단이 양성하고자 하는 신진과학자는 첨단물리 지식과 미래대처 능력, 리더 능력을 기반으로 기초학문의 핵심 덕목인 지식의 지평 확장을 선도함.

○ 목표: 물리학 글로벌 리더 양성과 포스텍 브랜드 연구성과 7건 달성

- 포스텍 물리교육연구단은 BK21 FOUR가 종료되는 2027년에는 세계 정상급 대학에 도달하고자 함. BK21 FOUR 기간 동안, 세계 정상급 인재들과 대등하게 경쟁하는 신진과학자를 배출하고 국제 학계에서 포스텍 브랜드로 인정받는 연구 성과 7건 이상을 달성하는 것을 목표로 함.

추진 방향

○ 교육 추진 방향

- 포스텍은 BK21 FOUR 사업을 통해 차세대를 선도할 신진 과학자를 양성하는 목표를 제안하면서, 기초 과학 분야의 글로벌 리더를 양성하는 사명을 가지고 대학원 교육프로그램에 이러한 핵심철학을 반영하는데 주력.
- 구체적으로, 차세대 리더 과학자가 되기 위한 핵심 소양으로 첨단 연구주제들에 대한 폭넓고 전문적인

지식 보유(첨단물리지식), 빠르게 변화하는 산업사회의 요구에 기술적/인도적 가치판단을 하고 나아가 방향성을 설정할 수 있는 능력(미래대처 능력)의 보유 및 소속 집단에 충분한 동기를 부여하고 실질적인 문제를 해결하는 리더십(리더능력)으로 정하고 이러한 자질을 함양할 수 있는 교육을 제공. 글로벌 리더 교육 추진을 위한 핵심 수행과제를 다음과 같이 정하고 집중적으로 지도함.

■ 차세대 글로벌리더과학자를 양성하는 교육의 3대 핵심 과제

- 학문의 깊이와 너비를 겸비하는 교육과정: 빠르게 변화하는 사회에 학생들이 대응하기 위해서는 모든 연구 주제 이해의 기본이 되는 핵심 과목에 대한 충분한 숙지(Core Strength)하에 본인의 전문분야 전문성(Depth) 외에 타 분야에 대한 넓이도 (Breadth) 필요.
- 학생 중심의 건강한 연구/진로 멘토링: 학생 주도의 연구가 진행되기 위해서는 학생의 기본적인 권익 보호가 전제되어야 하고, 이를 위해 학생과 지도 교수와의 갈등 조절, 장래의 진로에 대한 상담, 스트레스 조절에 대한 제도적 장치가 필요.
- 능동적이고 소통하는 리더 교육: 물리학의 글로벌 리더가 되기 위해서는 자기 주도 학습과 자기 주도 연구의 기회가 많이 주어져야 하며 다른 사람과의 소통에 숙달되어서 자신의 의견을 효과적으로 전달할 수 있어야 함.

○ 연구 추진 방향

- (혁신적인 연구) 포스텍은 BK21 FOUR 사업에서 세계를 선도하는 연구를 추구하면서 포스텍이라는 고유한 브랜드를 인정받는 연구를 창출하려 함. 이를 위해서는 기존의 추격형 연구에서 벗어나 학문의 지평을 넓히는 연구를 독려.
- (함께하는 연구) 혁신적인 연구를 위해서는 본인의 연구에만 안주해서는 안 되고 경계를 넘어서는 연구를 추구하여야 하며 다른 분야 연구자들과 아이디어를 공유해야만 혁신적인 연구가 나올 가능성이 높기에, 탈경계 (Frontiers Beyond the Border) 공동 연구를 장려하는 문화를 구축.
- (포스텍 플래그십 연구) 세계 우수 대학들은 새로운 분야를 열고 그 분야를 선도하는 저명한 연구자들이 존재하기에, 이러한 선도 연구자들이 탄생할 수 있는 연구 환경 구축을 위해 노력.
- 이러한 연구 추진 방향의 달성을 위해 다음 3가지를 연구의 3대 핵심 과제로 삼아 세계를 선도하는 연구 성과를 창출하기 위해서 노력함.
- 포스텍 브랜드 성과를 달성하기 위한 연구 부문 3대 핵심 과제
 - 유치: 혁신적인 연구를 장려하는 연구문화를 조성하고 이를 뒷받침하는 제도 개편을 통해 신진연구인력 유치의 선순환을 유도.
 - 육성: 창의적 융복합을 육성의 핵심 전략으로 삼으며, 이를 위해 분야가 다른 연구자가 서로 교류하여 자연스럽게 공동연구팀을 형성하는 역동적인 모델을 구축.
 - 도약: 플래그십 연구자로 자라날 수 있는 젊은 연구자의 연구를 지원하고 탁월한 업적을 이미 달성한 스타연구자의 지속적 성과 창출을 유도.

○ 국제화 추진 방향

- (외향성 국제화) 포스텍은 BK21 FOUR 사업을 통해 세계로 뻗어나가는 국제화를 추진하기에, 국내에 국한되지 않고 세계 무대에서 활동하는 경쟁력 있는 신진인력을 양성.
- (내향성 국제화) 이러한 세계 무대로 뻗어나가는 연구를 추구하면서 또한 내실을 다지기 위해 해외 우수 인력의 포스텍 취업/유학 등을 통해 포스텍 연구의 경쟁력을 강화.
- (캠퍼스 국제화) 이에 포스텍의 내·외국인 구성원들이 영어를 통해 교육 및 연구를 진행하는 국제화된 캠퍼스 환경을 구축.
- 포스텍 브랜드 성과를 달성하기 위한 국제화 부문 3대 핵심 과제
 - 국제연구 교류 플랫폼 구축 및 확대: 외향성 국제화와 내향성 국제화를 내실있게 다지며 세계 무대에

서 활동하는 경쟁력 있는 신진인력을 양성하고 다양한 국제 경험을 쌓는 계기를 만들기 위해 해외 연구 기관/연구그룹과의 교류 활성화 필요.

- **개인 연구 우수성 중심의 국제 공동연구 확대:** 우수 연구자의 개인 네트워크의 적극적인 활용을 통해, 공동 연구과제 수주 및 공동연구를 추진하여 보다 적극적인 국제 공동연구의 확대 필요.
- **연구자 국제교류 프로그램 지원:** 개인적인 네트워크를 확대하며 폭넓게 연구를 진행하는 환경을 구축하기 위해, 그리고 포스텍 물리교육연구단의 연구능력의 국제적 위상을 높이기 위해 국제연구자 교류의 활성화 필요.

교육 역량 향상: 목표 대비 실적

✓ 앞서 제시한 차세대 글로벌리더 과학자를 양성하는 교육의 3대 핵심 과제를 수행하기 위해 현행 교육 과정과 학사관리 제도를 개편함.

○ 학문의 깊이와 너비를 겸비하는 연구/교육 제도 구현

- '함께 하는 연구'(Connectedness)를 통해 글로벌 리더로서 깊이와 너비를 모두 아우르는 지식을 함양하고, 지도교수에 의존하는 방식에서 학생이 주도하며 연구하는 능동적 자세의 전환을 목표로함.

- **Core Strength 강화:**

[실적]

- 물리학 기초 핵심 과목(4대 역학: 해석역학, 양자역학, 전기역학, 통계역학)의 엄정한 운영과 이에 대한 이해를 평가하는 박사자격시험을 통해 중요성을 강조.
- 기초핵심과목 강의의 질적 제고(교육과정의 충실성/지속성 개선)를 위해 강의평가 우수 교수 및 성적 우수 대학원생을 교수와 조교로 배정.
- 담당 교수와 조교의 'Office Hour'를 강화.

- **Depth 강화:** 교과과정의 필수과목이 첨단 연구주제와 연계되도록 하여 학생들이 기초의 중요성을 인식할 수 있게 하는 노력.

[실적]

- 대학원 특론 과목 (1학기) - 스쿨 (1주) - 튜토리얼 (6시간) - 세미나 (1시간)로 구성된 연구 연계 체인 프로그램을 제공.
- <2차원 물질 물리> <위상물리>, <강상관계 물리>, <양자기술>, <응용물리> 등의 다양한 주제를 중심으로 체인 프로그램을 학과 홈페이지를 통해 운영(sites.google.com/view/postech-physics-bk).

- **Breadth 강화:** 대학원생들에게 복수의 관심 분야를 접할 기회를 제공하기 위한 노력

[실적]

- 연구실 순환: Caltech, Stanford를 벤치마킹하여 연구실 순환(Lab Rotation)을 전공 선택 과목으로 신설, 대학원 신입생들에게 세 개의 연구실을 돌며 다양한 경험의 기회 제공.
- 평가기간 중 전체 신입생 35명 중 23명(65%)이 수강하였으며 입학 첫 학기에 각 1개월씩 3개 연구실에서 연구 참여 후 지도교수를 선정.

○ 학생 중심의 건강한 연구/진로 멘토링

- 학생 주도의 연구가 진행되기 위해서는 학생의 기본적인 권익 보호가 전제되어야 하기에, 학생과 지도교수와의 갈등 조절, 장래의 진로에 대한 상담, 스트레스 조절에 대한 제도적 장치를 마련.

- **학생 기본 권익 보호:**

[실적]

- 교무 지도교수 (Academic Advisor) 제도를 신설(MIT 벤치 마킹): 연구 지도교수 선정 전 대학원 생활 적응에 도움을 주고자 하였고, 연구 지도교수 선정 후 학생과 연구 지도교수 사이에 갈등 발생 시 중재토록 함.

- 학생-지도교수 기대 설문 제도를 마련(Stanford 벤치마킹): 학생과 지도교수의 상호 기대사항을 사전에 인지함으로써 갈등 발생을 미연에 방지할 수 있도록 함. 교과 및 학위 논문 계획, 연구일정 관리, 학위논문, 지원사항 등 4가지 분야의 총 16문항에 걸쳐 설문 조사하여 이를 바탕으로 교수와 대학원생의 면담을 지도교수 선정 이전에 실시하였다 (평가기간 중 2024년 12월, 2025년 7월 시행).

• 진로 상담 체계 신규 구축:

[실적]

- 자기 계발 심층 면담 제도 도입(UC Berkeley, Chicago 벤치마킹): 지도교수와의 정기적인 연구계획 설정과 진로 면담 기회 제공. 박사학위논문 제안서를 통과한 대학원생은 1년 단위로 박사학위연구 진행 상황 및 향후 추진 계획에 관해 연구 지도교수(Research Supervisor)와 심층면담 수행. 2021년부터 시행.

• 대학원생 업적 및 마음 관리 시스템:

[실적]

- 대학원생의 교육 및 연구 성과 데이터베이스 시스템(RIMS) 구축: 개인/학과/대학 차원의 체계적인 관리를 통하여 교수 및 대학원생의 논문과 학회발표 실적 검색이 가능해짐.

- 대학원생 특화 상담 프로그램 운영: 교육·연구 성과 및 미래에 대한 불안감으로 인한 대학원생의 정신적 스트레스 완화를 위한 교내 상담센터, 인권센터를 활용한 대학원생 특화 상담 프로그램을 운영하여 건강한 마음이 꾸준한 업적의 토양이 되도록 함.

○ 능동적이고 소통하는 리더 교육

■ 물리학의 글로벌 리더가 되기 위해서는 자기 주도 학습과 자기 주도 연구의 기회가 많이 주어져야 하며 다른 사람과의 소통에 숙달되어서 자신의 의견을 효과적으로 전달 할 수 있어야 함.

• 소통 능력 강화:

[실적]

- 역진행 특강 수업:

‘2차원 물질의 연구 동향 (2024년 2학기)’ 과목을 개설, 역진행 특강 수업으로 진행.

온라인 강좌를 통한 사전 학습을 유도하여 수업 중에는 토론에 더 많은 시간을 할애할 수 있는 환경을 구축하였으며 대학원생들의 비판적 사고, 분석력, 토론 능력을 증진시킬 수 있었음.

- 대학원생 주도 저널 클럽:

‘양자나노소자’, ‘응집물질물리’, ‘생물물리/복잡계’, ‘양자광학과 나노광학’ 4개 분야 저널클럽 진행

분야별 연구실 저널클럽과 별도로 대학원생들이 분야별로 모여 해당 분야 주요 이슈에 대해 동료 대학원생들에게 발표하는 대학원생 주도 저널클럽을 운영하여 대학원생 토론/소통 능력 및 리더십을 증진. 각 분야별 연 100~150 만원 운영비 지원.

• 학생 주도 연구 능력 강화:

[실적]

- 1st paper award:

평가기간에 6명이 수상. 주제 설정 문헌 조사, 연구 수행, 논문 작성 등의 연구 전 과정을 일찍 경험하고 조기에 첫 번째 논문을 쓰도록 유도하기 위해 첫 번째 논문을 대상으로 하는 ‘1st paper award’ 프로그램 진행. 석박통합 과정 입학 후 4년, 박사 과정 입학 후 2년 안에 첫 번째 논문을 발표한 대학원생에게 포상금 50만원을 매학기 초에 포상.

1. , Science advances, Dynamical control of nanoscale electron density in atomically thin n-type semiconductors via nano-electric pulse generator
2. , Nano Letters, Electronically Seamless Domain Wall of Chiral Charge Density Wave in 1T-TiSe₂
3. , Physical Review B, Phase stabilization of strained 1-T monolayer IrTe₂ by electron-phonon coupling modulation
4. , Nature Communications, Observation of 1/3 fractional quantum Hall physics in balanced large angle twisted bilayer graphene
5. , Nature Nanotechnology, Ferroelastic writing of crystal directions in oxide thin films
6. , Physical Review Letters, Harnessing magnetic octupole Hall effect to induce torque in altermagnets

• 국제적 감각 함양:

[실적]

- 해외 연구자와의 교류 확대: 대학원생의 해외기관 장·단기 방문연구(외향성)와 해외기관 대학원생 또는 신진연구자의 포항공과대학교 초청(내향성)을 통해 해외 연구자들과 교류를 확대함. 평가 기간 중 미국 국립고자기장연구소, 중국 SUSTech University 등 국내외 파견 연수 총 10건을 달성.
- 국제 학회 발표 장려: 졸업 심사 전 국제학회 1회 이상 발표함을 필수로 정하여 대학원생이 본인의 연구결과를 학회에 발표함으로써 여러 전문가와 토론할 기회를 확대하고자 함. 평가기간 중 졸업생에 대한 1회 이상 국제학회 발표 실적은 다음과 같음.
 - ◇ 2024년 2학기 졸업: 12명 중 6명 국제학회 발표 (50%).
 - ◇ 2025년 1학기 졸업: 10명 중 8명 국제학회 발표 (80%).
- 국제 학회 발표 실적이 급격히 향상하고 있다는 점을 고려해 해당 요건을 졸업 필수 요건으로 포함하는 행정적인 규정은 만들지 않기로 함. (장려 정책을 시행할 계획임.)

연구 역량 향상: 목표 대비 실적

✓ 포스텍 물리교육연구단은 '혁신적인 연구', '함께하는 연구', '포스텍 브랜드' 연구라는 세 가지 연구 추진 방향을 달성하기 위해 다음 세 가지 전략을 추진

○ 전략1: 유치--혁신적인 연구를 장려하는 연구문화 조성 및 제도적 뒷받침 강화

- 교수 평가 개선: 교수 평가 제도를 개선하여 혁신적인 연구를 장려하는 연구문화를 조성하고 이를 통해 우수 신입교원을 유치하고자 함.

[실적]

- 개별 커리어 트랙에 맞추어 승진, 정년 보장, 연봉 등을 평가. 학술지의 Impact factor를 통한 정량평가 지양. 실적의 심층적인 질적 평가가 이루어질 수 있도록 심사 방식 개편 진행. *당초 계획은 전문가 패널을 통한 평가 대상자의 학계 평판 및 업적에 대해서 심사하고자 하였으나, 일단 현 대학/학과 규정 하에서 실시할 수 있는 부분부터 개선해 나감. 현재는 세계적 지명도가 있는 외부 전문가 10인으로부터 추천서를 받아 대상자의 업적에 대한 학계의 평가를 승진 결정에 주요한 지표로 삼고 있음.
- 비누적 성과급제도 신설: 교원의 교육 및 연구 경쟁력 강화와 긍정적 동기부여를 위해 1년 단위의 성과를 평가를 통해 성과급을 지급하는 비누적성과급 제도를 신설하여, 연구, 교육, 과제수주 등을 정량적 수치로 평가하는 기준을 수립하고, 평가 등급에 따라 차별적인 성과급을 지급.

- **혁신적인 연구 장려:** 혁신적인 연구를 추구하는 젊은 교수들의 연구를 지원하기 위한 노력

[실적]

- 환경 제공: 경쟁력 있는 초기 정착금을 지원. 강의와 행정 업무 경감을 통해 연구에 매진할 수 있는 환경 제공.
- 강의부담 경감: 첫학기 강의 면제 이후 학점 시수를 연 6학점으로 제한, 강의 부담 경감.
- 승진 최소 근무 연한 폐지: 대학에서는 혁신적 연구 성과를 얻은 교원의 조기 승진을 위해 승진 최소 근무 연한을 폐지.
- 신입교원 초빙: 평가기간 동안, 포항공과대학교 물리학과는 공격적인 신입교원 초빙을 진행하여 3명의 신입교원 임용. 교수(응집물리 이론, 25년 2월 부임). 교수(양자기술 이론, 25년 7월 부임). 교수(응집물리 실험, 25년 8월 부임).

○ 전략2: 육성--함께 하는 연구를 통한 창의적 융복합 연구 배양

- **탈경계 공동연구(Frontiers Beyond the Border: FBB) 활성화:** 전공분야에 국한된 공동연구를 넘어 전공이 다른 연구자가 서로 교류하여 자연스럽게 공동연구팀을 형성하는 역동적인 융복합 연구 유도

[실적]

- 참여 교수 대상으로 FBB 학회를, 대학원생 대상으로는 Brown Bag Meeting, FBB 저널 클럽 등 FBB 브레인스토밍 프로그램을 기획.
- 평가기간 동안, 참여교수 대상 'Standing Wave Gathering' 및 'Tea time in Common Room' 운영
- Standing Wave Gathering은 사업단 참여교수 및 아테이론물리센터(APCTP) 연구원들이 리셉션 형식으로 연구 관련 다양한 주제에 대해서 자유롭게 논의할 수 있는 장을 마련하여 월 2회 운영.
- Tea time in Common Room은 격주 목요일 오후 APCTP 연구자와 물리학과 연구자간의 공동연구 기획 기회 제공 (평가기간 동안 총20회 실시, 평균 20-30명의 연구자 참여).

- **공동 실험 환경 기반 구축(Open Campus):** 신입 교원들이 부임 후 바로 혁신적인 연구에 뛰어들 수 있도록 고가 실험/전산 시설 공유를 통한 연구 경쟁력 강화를 모색

[실적]

- 공용 헬륨 액화시설과 X-선 분석 장비 공용실을 구축하여 운영 (1.3 교육연구단의 연구역량 향상 실적 참조).
- 포톤사이언스센터(센터장: 교수) 등 거점연구센터를 통해 포항가속기연구소의 X-ray Free Electron Laser (XFEL) 및 방사광 가속기 활용 연구를 위한 핵심 연구 기반을 구축하고, 이는 현재 국내 초고속 과학 연구를 활성화 하는 허브 역할을 수행하고 있음.
- 초고속 과학을 위한 극초단 광펄스 생성 및 측정 장치의 지속적인 운영을 위한 실험 환경을 유지 및 보수. 포항산업과학연구원 내의 새로운 위치로 이전 운영.
- 포항산업과학연구원 내부에 위치했던 물리학과 연구원의 실험실을 연구동으로 이전 (교수, 교수, 교수 등). 극저온 환경이 필요한 연구실을 한 장소에 위치하여 안정적인 헬륨 공급 하는 등 공동 실험 환경을 구축하는 작업을 진행 중임.
- 글로벌 R&D 센터: 글로벌대학 프로그램으로 전략산업 R&D 혁신을 체계적으로 진행하기 위한 일환으로 기초과학 핵심 R&D센터를 선정. 양자물성센터 (센터장: 교수)와 양자정보기술센터 (센터장: 교수)를 설립. 센터별 약 37억원의 사업비로 공용 연구 장비 구축, 센터 워크숍을 개최하는 등 분야의 공동연구를 활성화하는 기반 마련.

○ 전략3: 도약--포스텍 플래그십 발굴 및 집중 육성(POSTECH Flagship)

- **스타급 리더 지원 프로그램 운영:** 플래그십 연구자로 자라날 수 있는 젊은 연구자의 연구 지원 및 탁월한 업적을 이미 달성한 스타연구자의 지속적 성과 창출을 유도하고자 함.

[실적]

- 우수교원 특별임용제도 운영: 젊은 교수부터 정년을 앞둔 교수까지 교원 전 주기에 걸쳐 젊은 석좌교수, 정규 석좌교수, 학과특임교수, POSTECH University Professor 등 우수교원 특별임용제도를 운영하여 인센티브 지급, 정년연장(일부 특별임용제도 해당)등의 혜택을 통해 도약의 발판을 마련. 2025년 7월 교수가 '정년연장 조기결정제도'의 첫 수혜자로 선정되어 정년을 70세까지 미리 확정받음.

- 대외적인 수상으로는 2024년 AAPS-APCTP 아태 젊은 물리학자상(교수), 과학기술정보통신부의 이달의 과학기술인상(12월, 교수), 2024년 에스-오일 차세대과학자상(교수) 등을 수상함.

- 선도연구센터(SRC), 기초연구실(BRL) 등 연구센터 유치 추진: 포스텍을 대표할 혁신적인 연구그룹으로 성장할 수 있는 공동연구 그룹을 발굴하여 연구센터(SRC, BRL 등) 유치를 지원하였고 아래와 같이 선정되어, 연구센터 플랫폼을 통해 해당 연구분야 국내외 학계를 선도하고 글로벌 포스텍으로 성장에 기여를 꾀함.

[실적]

- 글로벌 선도연구센터(SRC) 유치(2024.08, 양자 각운동량 동역학 센터, 센터장: 교수, 사업기간: 7+3 년, 총 사업비: 약 105억원). 새로운 이론 형성, 과학적 난제 해결 등 국가 기초연구 역량을 강화 기대.

- 기초연구실사업(BRL) 유치(2025.06, 신개념 양자광원 연구실, 연구책임: 교수, 총 사업비 약 15억원).

- 기 선정(2022년)된 나노 및 소재기술개발 사업 - '위상양자 신소재의 양자물성 및 시공간 특성 연구' 수행 중 (주관책임: 교수, 사업기간 6년, 연간 연구비 42억원). 이 연구는 신물질 기반 기초연구를 수행하여 양자기술 원천지식 보유 및 실용화 선도의 단초를 마련하는 것을 목표로 하고, PI급 연구자 30명중 물리교육연구단 참여교수 10명이 핵심 참여 연구원으로 참여함.

[연관 인력양성사업]

- 2024년에 양자정보과학 인적기반 조성 사업(양자대학원)에 선정 (주관 책임자: 교수, 사업기간: 9년, 총 사업비: 242억원). 과학기술 혁신인재 양성 사업으로 신진 연구인력 양성을 통한 연구저변을 확대 기대.

- 이를 이어 2025년에 글로벌파트너십 사업 추가 유치 (센터장: 교수, 사업기간 5년 연간 사업비 50억원, 하버드 대학교, MIT 등과 인력 교류 및 공동연구 수행)

- 기 선정(2022년)된 대학ICT연구센터육성지원사업(ITRC) - '양자정보소자 인력양성 연구센터' 수행 중 (센터장: 교수, 사업기간 7년, 연간 사업비 11억원). 이 센터는 정보통신방송 혁신인재양성사업의 일환으로 광자/원자/초전도/2차원물질 기반의 양자정보소자 관련 대학원 연구인력을 양성하는 사업으로 국내 관련 전문가로 구성되었으며, 양자정보소자 연구를 통한 양자정보 전문인력 육성을 목표로 함.

참여교수 연구실적의 우수성

✓ 포스텍 물리교육연구단은 연구 부문에서 BK21 Four 종료 시점인 2027년에 세계 정상급 연구기관으로 인정받기 위해 국제 학계에서 포스텍 브랜드로 인식되는 연구성과 (7건 이상)를 달성하는 하는 것을 목표로 함. 지난 5년여 시간동안 이러한 연구목표를 달성하기 위해 연구 주제측면에서는 지식의 지평을 여는 '혁신적인 연구'를, 연구 진행측면에서는 여러 연구자의 전문성이 접목된 '함께하는 연구'를 지향함.

○ 포스텍 브랜드 연구성과 실적: 포스텍 브랜드 연구성과는 포스텍에서 시작된 혁신적인 연구로 학계에서 인정받으면서, 이후 해당분야에서 포스텍 연구성과가 다수 출간되고, 이에 대한 전 세계적인 파급효과가 확인된 성과. 아래 주요 연구 성과를 발전시켜, 새로운 연구 분야를 개척하고 국제적 수월성을 바탕으로 포스텍 브랜드 연구성과 선정에 노력할 예정.

- Nature Physics급 이상의 주저자 논문 8건 (Nature Materials 1건, Nature Nanotechnology 1건, Advanced Materials 1건, Nature Physics 3건, Light-Science & Applications 2건 포함)의 연구 주제와 성과도 향후 후속연구를 통해 포스텍 브랜드 연구로 발전시킬 계획임.

○ 포스텍 연구성과에 대한 정량적인 분석: 포스텍 물리연구단은 연구실적의 정량적인 면에서도 자체평가 대상기간 (2024.09.01. ~ 2025.08.31) 동안의 실적이 4단계 BK21 신청서 제출 당시 평가 대상기간 5년 (2015.01.01 ~ 2019.12.31.)에 비해 큰 폭으로 발전함.

- 주요 논문 실적 (2024. 09. 01 ~ 2025. 08. 31)

게재지명	편수	기타
Nature, Science 급	1	공동저자 1
Nature 주요 자매지 급 (Advanced Materials 등)	10	교신저자 6, 공동저자 4
Nature Communications 급 (Science Advances, PNAS 등)	17	교신저자 11, 공동저자 6
Physical Review Letters 급 (Physical Review X, Nano Letters, Optica 등)	13	교신저자 9, 공동저자 4
주요 논문 실적 / 총 논문 편수	41 / 80	

- 논문 1편당 Impact factor 지표: 중간평가 기간의 실적이 4단계 신청서 평가기간 실적에 비해 크게 향상. 이번 자체평가기간의 전체 논문 실적의 1편당 IF와 주저자 논문 1편당 IF는 모두 10에 육박할 정도로 매우 높고, 4단계 신청서 평가기간 대비 모두 상승함.
- 환산편수 1편당 환산 보정 IF: 논문의 질을 나타내는 환산편수 1편당 환산 보정 IF 지표는 4단계 신청서 대비 131%로 상승, 주저자 환산보정 IF는 140%로 크게 상승함.
- 이러한 결과는 포스텍 물리교육연구단 연구성과의 질적인 수준이 빠르게 높아지고 있음을 의미.

	전체 IF 1편당	환산보정 IF 환산편수 1편당	주저자 논문 IF 1편당	주저자 환산보정 IF 환산편수 1편당
자체평가 기간 실적 (2024.09.01 ~ 2025.08.31)	10.4	0.617	9.44	0.583
4단계 신청서 평가기간 실적 (2015.01.01 ~ 2019.12.31)	8.58	0.472	8.38	0.415

- 논문성과의 Impact factor 실적: 4단계 신청서 평가기간 대비 논문성과의 Impact factor 실적도 대폭 향상됨.
- 자체평가 대상기간의 전체 논문 IF는 4단계 신청서 평가기간 5년의 연평균 수치 대비 111% 수준으로 증가하였으며, 환산보정 IF의 1년 평균치는 뚜렷하게 (128% 수준) 향상됨.
- 특히, 주저자 논문의 IF는 중간평가 4년간의 실적이 신청서 기간 5년 실적 대비 1년 평균치에 비해 135% 수준으로 향상되었고, 주저자 환산보정 IF도 138% 수준으로 크게 향상됨.
- 이는 포스텍 물리연구단의 연구실적이 질적인 면에서 크게 향상되었고, 이러한 실적 향상에 본 연구단의 구성원이 주도적인 역할을 했다는 것을 의미.

	전체 IF	환산보정 IF	주저자 논문 IF	주저자 환산보정 IF
--	-------	---------	-----------	-------------

	(1년간 평균)	(1년간 평균)		
자체평가 기간 실적 (2024.09.01 ~ 2025.08.31)	834.6	12.67	528.5	11.96
4단계 신청서 평가기간 실적 (2015.01.01 ~ 2019.12.31)	3766.76 (753.35)	49.40 (9.88)	1952.86 (390.57)	43.472 (8.69)

- 우수논문과 특급논문 실적: 4단계 신청서 평가기간 대비 우수논문 (IF = Phys. Rev. Lett. 이상)과 특급논문 (IF = Nature Physics 이상) 실적도 대폭 향상됨.
- 이번 중간평가기간 4년의 Phys. Rev. Lett. (PRL) 급 이상의 논문편수는 신청서 평가기간 5년 대비 1년 평균치 168%로, 특히 주저자 논문편수는 1년 평균치는 210%로 대폭 상승함.
- Nature Physics (NP) 급 이상의 논문 편수의 1년간 평균치 역시 203%로 크게 향상됨.
- 특히 NP급 이상 주저자 논문편수의 1년간 평균치는 222%로 크게 상승.
- 이는 혁신적인 포스텍 브랜드 연구성과를 지향하는 본 교육연구단의 노력이 드러난 결과임.

	PRL 급 이상 논문편수 (1년간 평균)	NP 급 이상 논문편수 (1년간 평균)	PRL 급 이상 주 저자 논문편수 (1년간 평균)	NP 급 이상 주 저자 논문편수 (1년간 평균)
자체평가 기간 실적 (2024.09.01 ~ 2025.08.31)	40	13	26	8
4단계 신청서 평가기간 실적 (2015.01.01 ~ 2019.12.31)	119 (23.8)	32 (6.4)	62 (12.4)	18 (3.6)

국제화: 목표 대비 실적

✓ 포스텍 물리교육연구단은 'Outbound 국제화', 'Inbound 국제화', '캠퍼스 국제화'라는 세 가지 국제화 방향을 달성하기 위해 다음 세 가지 전략을 추진할 예정이었음. 하지만 2020년 초에 발생한 COVID-19의 장기화로 인해 국제화를 위한 인적 교류가 극도로 제한되면서 국제화 노력은 당초 목표와 다르게 온라인으로 진행되었으나 2022년 하반기부터 아래와 같은 본격적인 비대면 교류가 활발하게 이루어졌음.

○ 전략 1: ('포스텍 플래그십' 주도) 기관 대 기관 국제연구 교류 플랫폼 구축 및 확대

[실적]

- 포스텍 물리 교육연구단 내 연구센터 또는 유관기관과의 협력을 통한 해외연구기관/연구그룹과의 교류 활성화를 위해 연구센터간의 양해각서 협약 추진, 인력교류 플랫폼 구축, 학술행사 개최를 진행함.
- 복수학위제 개설 및 추진을 통해 교육 프로그램 국제화에도 노력함.
- 복수학위제 및 양해각서 (MOU) 체결 추진: 포스텍 플래그십을 구성하는 주력 연구센터와 해외 연구기관 및 연구그룹 간 양해각서를 체결하여 지속적이고 안정적인 교류의 기반 마련.

[실적]

- 막스플랑크 한국/포스텍 연구소와 European XFEL 간 MOU: 2022년 하반기 COVID-19 상황이 개선되면서 교류를 위한 협약 체결이 본격적으로 시작되어 막스플랑크 한국/포스텍 연구소(MPK)와 European XFEL 간 MOU가 2022년 10월 신규 체결되었고 성공적으로 진행되고 있음.
- 포항공과대학교 물리학과와 중국 상하이 첨단물리연구센터 (SHARPS) 간의 MOU: 2023년 4월 신규 협약 체결되어 성공적으로 운영 중.

- 복수학위제: 현재 홍콩과기대 (Hong Kong Univ. of Science and Technology)와 운영 중에 있고 다만 National Tsing Hua Univ.와의 개설을 추진 중.
- 양자대학원과 국내외 정부출연연구소 간의 MOU: 본 교육연구단 참여교수가 주축이 되어 포항공과대학교 주관 양자대학원 사업을 유치하였고, 그 활동의 일환으로 국내외 양자정보기술 관련 연구기관인 한국표준과학연구원, 한국과학기술연구원, 싱가포르 Agency for Science, Technology and Research (A*STAR) 등과 MOU 협약을 추진 중.
- 글로벌 파트너십 사업을 통해 하버드대학교, MIT, 싱가포르 Agency for Science, Technology and Research (A*STAR) 등과 긴밀한 공동연구 및 인력 교류를 위한 기반 사업을 확보함.
- **인력교류 및 인재양성 플랫폼 구축:** 센터 간에 체결된 MOU에 기반하여 상호 기관 방문을 전제로 한 인력교류와 인재양성 프로그램을 마련.

[실적]

- 막스플랑크 한국/포스텍 연구소(MPK)를 기반으로 한-독 글로벌 인재양성 플랫폼 사업을 2021년 3월부터 지속적으로 운영 중. 해당 사업은 국내 학생들이 독일 막스플랑크 광학연구소 등의 연구소에 방문하여 인턴 연구원으로 연구참여를 진행. 2024년에는 34명의 학생이 참여하였고, 향후 지속적으로 프로그램을 운영할 예정임.
- 초청 및 파견: 신진연구자의 활발한 교류를 위해 해외기관 연구자 초청(4건)과 해외기관 대학원생 파견(11건)도 진행함.

- **학술 행사:** 교육과 연구의 국제화에 적극적 노력을 기울임

[실적]

- 포스텍 물리 교육연구단 연구센터와 해외연구기관과의 상호 교류 (Bilateral) 차원 단체 교류를 APCTP와 연계하여 진행.
- 2024년 APCTP 콜로퀴움 시리즈 (해외연사 6명/ 운영) 등 13건에 이르는 온라인 학술프로그램과 초청세미나를 진행.
- 본 교육연구단 참여교수가 국내에서 개최하는 국제학회에 운영자로 참여(15건).
- POSTECH Signature Conference ('23.11): 물리학과 교수를 주축(위원장: 교수)으로 국제 학술행사(부제명: The 1st International Conference on Prospective Quantum Technology: Science and Applications)를 개최. 양자기술, 양자 물질, 양자 광학 분야의 노벨상 후보자 급의 기초강연자 8명(국외 7명, 국내 1명)과 초청강연자 20명(국외 3명, 국내 17명)의 강연. 이를 이어 2025년 10월 개최를 목표로 The 2nd International Conference on Prospective Quantum Technology: Science and Applications)를 준비함.
- **포스텍-인도네시아 인턴십 프로그램 운영:** 인도네시아 최우수 대학인 University of Indonesia와 Institut Teknologi Bandung (ITB) 물리학과 학부생들을 POSTECH 물리학과에서의 연구참여 기회를 제공하여 해외 우수대학과의 교류를 통해 학과 및 대학의 글로벌화를 촉진하고 인적 네트워크 구축을 유도하고 글로벌 과학기술 인재를 양성하는 기회.

[실적]

- 2025.06.30~08.22의 일정으로 20명(UI:14명, ITB:6명) 대학생들이 포항공과대학교의 선진연구실(참여교수:14명)에서 연구를 경험. 포항공과대학교 대학원생은 외국 학생과의 직접적인 공동 연구 기회를 통해 글로벌 네트워크를 구축하는 뜻깊은 기회였으며, 추후 인도네시아 최고 학부 학생의 포스텍 입학으로 이어질 것을 기대함.

○ 전략 2: (우수 연구자 주축) 개인 연구 우수성 중심의 국제 공동연구 확대

- 우수연구자의 개인 네트워크를 활용하여 해외 기관과의 국제 공동연구와 교류를 통해 국제 인지도를 높이는 전략으로 국제 공동연구과제 수주 및 공동연구를 적극적으로 추진함.

• 국제 연구과제 수주 및 연구자 교류

[실적]

- 교수와 Prof. (중국 Southern University of Science and Technology) (2024. 9. 1. ~ 진행중) 방문 교류 등 국제 공동연구를 위한 연구자 교류를 총 13건 진행함.

• 국제 공동연구 논문 발표

[실적]

- 활발한 국제공동연구를 통해 자체평가 대상 기간 동안 총 38편에 이르는 연구논문을 출간함.
- 해당기간에 발표된 논문 80편의 약 47.5%로 활발한 국제 공동연구가 이뤄짐.
- 해외석학 (교수/Rutgers Univ.)과의 교류를 통해 논문 출간 2건 및 공동연구 진행.

○ 전략 3: (물리교육연구단 주관) 연구자 국제교류 프로그램 지원

[실적]

- 대학원생 및 신진 연구자의 국제 학술대회 참여 경비 지원 (18건).
- 해외연사 초청 및 국제학술대회 참여 지원: 포스텍 소속 외국인 연구자와의 교류 증진을 위함.

[실적]

- 해외학자 초청 온라인 세미나 포함 콜로키움 등 총 14건 진행.
- 교육연구단 대학원생 및 신진 연구자의 국제 학술대회 참여 경비를 지원 (총 18건).

산업·사회·과학 문제해결 프로그램 운영 실적

✓ 포스텍 물리교육연구단의 글로벌 리더 역량을 갖춘 신진 연구자는 본인 연구의 우수성 추구의 제한적 시야를 벗어나 산업사회에서 대두되는 현안들을 이해하는 사회적 감수성과 이에 대한 해안을 제시할 수 있는 문제해결 능력을 겸비하는 것이 중요

✓ 미래 산업사회에 대두될 것으로 예견되는 문제 중 교육연구단은 '(1) 산업체 미래성장 동력원 확보', '(2) 학령인구 감소에 따른 전문인력 부족', 그리고 '(3) 과학기술 발전으로 급변하는 사회에 대한 능동적인 대처'를 3대 해결 과제로 선언하고 이에 상응하는 교육 및 연구 활동을 집중적으로 수행함.

✓ 제시된 각각의 문제를 해결하기 위한 연구단의 노력으로 '(1) 첨단소재 기반의 원천 지식 확보', '(2) 전문 지식의 사회 환원 프로그램 활성화', 그리고 '(3) 지역 사회와 소통하는 열린 과학 문화 배양'의 구체적 방안을 제시하고 관련 활동을 추진함.

○ 첨단소재 기반의 원천 지식 확보: 포스텍 물리교육연구단 참여 교수 주도적로 산업사회 문제 해결을 위한 다양한 프로그램을 개발하고 적극적으로 진행하는 노력을 통해 여러 활동방면에서 가시적 성과를 거둠.

[실적]

- 삼성미래기술 과제 수행 (총 10건).
- 포스코, 삼성전자 등 산학협력과제 수행 (2건).
- 창업과정 안내 프로그램 (상시운영).
- 교육연구단의 교수는 지난 수년간 독일의 대표적인 연구기관인 막스플랑크 연구소, 프라운호퍼 연구소에 연 34여명 가량의 대학생을 직접 파견하여 현장의 선진 연구 경험을 직접 체험할 수 있는 인턴사업을 수행하여 미래 글로벌 사회에 대응하는 인재양성에 헌신적으로 노력함.

○ 전문 지식의 사회 환원 프로그램 활성화: 지역 특성에 부응하는 인력 재교육의 일환

[실적]

- 포스코 기술대학 일반물리 강의: 사업단 참여교수인 교수가 포스코 계열사 사원 중 대학수준의 물리교육을 받지 못한 직원을 대상으로 수년간 대학일반물리 강의 진행.

○ 지역 사회와 소통하는 열린 과학 문화 배양: 산업사회문제 해결을 위해 포스텍 물리교육연구단이 주도적인 프로그램을 개발하고, 적극적이고 지속적인 활동

[실적]

- 산업 및 특허 전문가 초청 강연 (특허: 총 3건).
- 과학 토크대회 (1건).
- 고교생 대상 물리학 전공소개(총 5건).
- 최첨단 연구주제 교육체인 프로그램 구축 (플랫폼 신설 / 석학강연 14건).
- 융합 분야 강의 개설 (총 1건).

☐ 교육역량 대표 우수성과

○ 학문의 깊이와 너비를 겸비하는 연구/교육 제도 구현

- 석박통합과정 위주의 교과과정 운영으로 박사 인력양성에 집중.
- 석박사 통합과정 총 35명 입학 (2024년 2학기: 13명, 2025년 1학기: 22명).
- 박사학위 취득 총 25명 (2024년 2월 졸업: 13명, 2024년 8월 졸업: 12명).
- 여러 분야의 전임교수가 공동으로 강의하는 융합수업 과목 개설하여 융합형 인재 양성.
- ‘2차원 물질연구의 동향’: 2024년 2학기 개설 (수강인원 18명).
- 참여교수: (응집물리실험:), (응집물리응용:).
- 첨단 연구주제에 대한 교육-연구 체인 프로그램 운영.
- 동일한 첨단 연구주제에 연계된 대학원 특론과목(1학기)-스쿨(1주)-튜토리얼(6시간)-세미나(1시간)로 구성된 일련의 교육-연구 체인 프로그램 제공.
- <2차원 물질 물리>에 연계된 교육-연구 체인 프로그램 운영.
(대학원 특론 수업) 2차원 물질연구의 동향 (2024년 2학기).
(콜로퀴엄) Short-range order in a two-dimensional dipole liquid (교수, 연세대학교, 2025.05.21.) 외 2건
(학과세미나) Quenched Pair Breaking by Interlayer Correlations as a Key to Superconductivity in La3Ni2O7 (Prof. University of Hamburg, Germany, 2024.09.30.) 외 총 4건
- 그 외 <위상물리>, <강상관계 물리>, <양자기술>, <응용물리> 주제로 교육-연구 체인 프로그램 운영.
- 프로젝트 기반 대학원생 주도 소규모 공동연구 그룹 활성화.
- 대학원생 주도하에 4개 분야별(응집물질물리, 생물물리/복잡계, 양자광학과 나노광학, 양자나노소재) 저널클럽 운영(각 분야별 연 150 만원 지원).
- 공동연구를 수행하는 연구실간 대학원생 통합 지도: 소규모 공동연구 그룹 운영 총 15건.
- 연구실 순환 제도 개설 및 안정적인 운영.
- 대학원 신입생들이 대학원 첫 학기 동안 1개월 단위로 최대 3개 연구실에서 연구 참여.
- 총 23명 참여 (2024년 10월~12월 (3개월) 수강생 9명, 2025년 4월~6월 (3개월) 수강생 14명).
- 매월 연구참여 학생 결과보고서 및 교수 평가서 작성 및 제출.
- 대학원혁신 사업팀과 연계하여 70만원/3개월 지원 (대학원혁신 사업팀 3명, 초과 인원 학과 지원).

○ 학생 중심의 건강한 연구/진로 멘토링 제도 안정적인 운영

- 교무 지도교수 (Academic Advisor) 제도 운영.
 - 입학 후 연구 지도교수가 정해질 때까지 교육 및 생활 지도를 담당하는 교무지도교수 배정.
 - 학생과 연구 지도교수 사이의 문제 발생 시 학생인권 보호 역할 수행.
 - 대학원 신입생 총 33명(2024년 2학기: 13명, 2025년 1학기: 20명)에게 교무지도교수 배정.
- 학생-지도교수 기대 설문 제도 운영.
 - 지도교수 선정 전 각자의 연구 성향에 대한 설문을 바탕으로 교수와 대학원생의 면담 진행.
 - 학생과 지도교수 상호의 기대상황을 사전에 인지함으로써 갈등 발생을 미연에 방지.
 - 2025년 1월, 2025년 7월 총 2회에 걸쳐 대학원생-지도교수 기대 설문 시행.
 - 교과 및 학위 논문 계획, 연구일정 관리, 학위논문, 지원사항 등 5가지 분야의 총 16문항 설문 조사.

■ 그룹-학과-대학차원의 진로 상담 체계 구축 및 운영.

- 2024년 하반기 대학원 합격자 교수 면담 프로그램 (2024.12.06.~2024.12.07.): 총 10명 참여.
- 2025년 상반기 대학원 합격자 교수 면담 프로그램 (2025.07.18.): 총 6명 참여.
- 2024-2학기 물리학과 대학원 신입생 오리엔테이션 실시 (2024.09.05.).
- 2025-1학기 물리학과 대학원 신입생 오리엔테이션 및 2025 교수와의 간담회 실시(2025.2.21.).

■ 대학원생 마음 건강 관리 지원 활성화.

- 캠퍼스 이동상담소 및 인권 캠페인, 4회 실시 (2024.09.26., 2024.12.12., 2025.04.24., 2025.07.03.).
- 마음돌봄의 날 '마음낙 Day' 캠페인
 - 2024.10.15.-10.16. 학업 스트레스 해소를 위한 마음돌봄 키트 배부.
 - 2024.11.15. 사진을 활용하여 학업 스트레스를 해소하기 위한 집단 심리치료 프로그램.
 - 2025.1.17., 2025.06.20. 자율신경균형도 및 스트레스 검사.
 - 2025.5.28. 학업 스트레스 해소를 위한 마음 심표 처방소 운영 및 힐링 키트 배부.
- 대학원생들을 위한 '상호존중의 날' 캠페인, 2회 실시 (2024.09.11., 2025.09.22.).
- 대학원생 진로탐색 프로그램 '본캐탐색: 너는 누구니?' (2024.09.02.~2024.10.11., 2025.07.29.~2025.09.30.).
- 건강한 연구실 만들기 특강, 1회 실시 (2025.01.06.).
- 건강한 연구실 문화 조성을 위한 대학원생 타운홀 미팅 (2024.09.25.).

○ 능동적이고 소통하는 리더 교육 프로그램 활성화

■ 역진행 특강 수업 (Flipped Learning) 운영.

- 온라인 사전 학습을 유도하여 수업 중에는 토론에 더 많은 시간을 할애할 수 있는 환경 구축.
- Physics 703C: 2차원 물질의 연구 동향 (2024년 2학기, 외 5명).

■ 대학원생 주도 분야별 저널클럽 운영.

- 대학원생이 본인의 연구 결과 또는 관련 연구 주제에 대해서 발표하는 형식.
- 응집물리, 생물물리/복잡계, 양자/나노광학, 고에너지이론물리 등 4개 분야에서 시행.
- 총 40회 진행 및 연간 총 450 ~ 600 만원 지원.

■ '1st Paper Award' 제도 실시.

- 석박통합 과정 입학 후 4년, 박사 과정 입학 후 2년 첫 번째 논문을 발표한 대학원생에게 포상.
- 총 6명(2024년 2학기: 4명, 2025년 1학기: 2명) 시상.

■ 융합인재 펠로우십 (Fellowship) 제도 운영.

- 최소 2인의 연구 지도교수의 지도하에 수행할 융합연구 계획서를 심사하여 선발.
- 선발 학생에게 직접 학비와 생활비 지급.
- 총 1명 2021년 2학기부터 2024년 1학기까지 지원 완료.
- 융합지도교수(-응집물리이론, -입자물리이론).

■ 졸업 심사 전 국제학회 1회 이상 발표 권고.

- 2024년 2학기 졸업: 10명 중 6명 국제학회 발표 (60%).
- 2025년 1학기 졸업: 9명 중 8명 국제학회 발표 (89%).

○ 우수대학원생 확보를 위한 지원 방안 마련

■ 대학원 신입생의 안정적인 정착 지원.

- 대학원생 전원을 교육조교 (TA) 또는 연구조교 (RA) 장학생으로 등록, 학비와 생활비 지원.
- 대학원혁신팀과 연계, 2021학년도 1학기부터 '대학원생 통합재정지원제도(RA/TA)' 추가 장학금 6명 지원 완료 (3개월 동안 월 70만원/인).

- 대학원 신입생 첫 학기에 학업장려금 (월35만원) 추가 지급: 대학원 신입생 총 35명 지원.
- '연구실 순환' 과목 수강생 총 23명에게 추가 장학금 (3개월 간 월 70만원/인) 지급.
- 우수대학원생 입학장려 장학금 지급 (2024년 신규): 입학 학기에 1회 100만원 지급.
- 대학원생 생활비 추가 지원 (2024년 신규): 대학원생 생활비 최저 기준 인상 및 추가 생활비 보조.
- 국제학회 참여 및 연구활동 지원.
- 포스텍 내 국제워크숍 개최 활성화 및 대학원생의 국제학회 발표 장려.
- 교내 국제워크숍 개최 4건(학교 3000만원, 학과 500만원 지원 및 외부 지원 활용).
- 국제학회 참여 지원 (총 10명) 및 국제연구활동 지원 (총 1명: Advanced Light Source 기관연수).
- 연구 실적에 따른 BK21 성과금 및 각종 포상금 지급.
- 2024년 2학기: 논문, 학술대회 성과에 기반해 대학원생 총 23명에게 인센티브 총 930만원 지급.
- 2025년 1학기: 논문, 학술대회 성과에 기반해 대학원생 총 22명에게 인센티브 총 538만원 지급.
- 우수 논문상 (상금 30만원) 및 우수 조교상 (상금 10만원): 각각 총 4명 및 10명 포상.
- 정상욱 응집실험논문상 (상금 100만원): 총 1명 포상.
- 창립상 (상금 30만원): 대학원생 총 1명에게 포상

○ 참여 대학원생 연구 성과의 우수성

- IF와 mrnIF로 본 논문실적의 우수성.
- 2024.9.1.~2025.8.31. 동안 참여 대학원생 출간 총 논문은 31편으로 이 중 주저자 논문은 19편.
- 주저자 논문의 평균 IF는 11.9로 Phys. Rev. Lett.(IF 9.00)보다 높으며, 작년 대비 40% 이상 향상된 결과.
- 전체 논문과 주저자 논문 평균 mrnIF는 각각 78.36와 84.22으로 매우 우수.
- Q1 저널과 mrnIF 90 이상 (상위 10%) 저널에 실린 논문으로 본 질적 우수성.
- 지난 1년간 출간된 전체 논문의 54.8%, 주저자 논문의 68.4%가 Q1 저널에 게재.
- 전체 논문의 48.4%, 주저자 논문의 57.9%가 mrnIF 90 이상의 저널에 게재.
- 대학원생 대표 논문실적 15건.
- Q1 저널에 게재된 참여 대학원생이 주저자인 논문 중 mrnIF 90 (Physical Review Letters급) 이상 저널에 게재된 논문은 15건 중 11건으로 전체 주저자 논문(19편)의 57.9%에 해당.
 - Nature Nanotechnology (IF=34.9, mrnIF=98.47):
 - Advanced Materials (IF=27.4, mrnIF=98.04):
 - Nature Physics (IF=17.6, mrnIF=96.46):
 - Nature Communications (IF=15.7, mrnIF=93.28):
 - Nature Communications (IF=15.7, mrnIF=93.28):
 - Nature Communications (IF=15.7, mrnIF=93.28):
 - Nature Communications (IF=15.7, mrnIF=93.28):
 - Science Advances (IF=12.5, mrnIF=91.79):
 - npj Computational Materials (IF=11.9, mrnIF=90.41):
 - Biosensoers-basel (IF=5.6, mrnIF=89.74):
- 참여 대학원생 특허 등록 실적 2건.
- 조정된 불화 그래핀을 포함하는 양자 소자 및 이의 제조 방법 (등록번호: 10-2797353).

- 전자 장치 및 그의 동작 방법 (등록번호: 10-2781292).
- 지난 1년 동안 총 10건의 특허가 출원되어 향후 특허 등록 실적이 계속 증가할 것으로 기대함.

○ 국제 공동연구가 가능한 다양한 교육 플랫폼 제공

- 국제 공동연구를 위한 대학원생 해외연수(11건) 및 장/단기 파견(8건), 해외 신진연구자 초청(8건).
- 교내 유관 기관과 연계하여, 포스텍 물리학과 교수 주최 국제학회(13건)와 외국연구자 초청 세미나(42건)를 진행하여 온라인 교류를 확대.
- 해외 석학을 초빙하여 공동 연구 수행(13건) 및 2편의 저명 학술지 게재.
 - Advanced Science 1편, Physical Review Letters 1편.
- 해외 석학 초청 강연 12건 개최.
- 국제 공동연구에 참여한 대학원생의 논문실적 10편 중 대표 실적 5편

• (참여학생)

(논문 정보) Nature Physics 20, 1919-1926 (2024)

(논문 제목) Origin of the chiral charge density wave in transition-metal dichalcogenide

(공동연구자)

(협력 기관/국가) USA/Argonne National Laboratory, Japan/Japan Synchrotron Radiation Research Institute, Germany/Karlsruhe Institute of Technology

• (참여학생)

(논문 정보) Nature Communications 15, 8725 (2024)

(논문 제목) Quantum tunneling high-speed nano-excitonic modulator

(공동연구자)

(협력 기관/국가) Russia/ITMO University

• (참여학생)

(논문 정보) Nature Nanotechnology 20, 1199-1204 (2025)

(논문 제목) Ferroelastic writing of crystal directions in oxide thin films

(공동연구자)

(협력 기관/국가) UK/University of Warwick, China/HFIPS, China/University of Science and Technology of China, Austria/TU Wien, China/Northwest University

• (참여학생)

(논문 정보) Physical Review Letters 135, 76705 (2025)

(논문 제목) Harnessing magnetic octupole Hall effect to induce torque in altermagnets

(공동연구자)

(협력 기관/국가) Sweden/Uppsala University

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

현교육과정의 장단점 및 대학원 과정의 운영계획 대비 실적

✓ 현 교과과정과 학사관리의 장단점

○ 장점

- 석·박통합과정 중심의 교육과정: 대학원생 98% 이상이 석·박통합과정으로 박사급 전문인력 양성 가능.
- 강의평가제도 및 환류시스템 운영: 지속적인 강의 질 개선 및 적극적인 학생 의견 반영.
- 열린 대학원 교과 과정: 학부생의 대학원 과목 이수 장려를 통한 우수 대학원생 유치.
- 포스텍 영어공용화 캠퍼스: 강의·세미나 100% 영어 진행을 통한 국제화 및 국제적 소통 능력 향상.
- 체계적인 연구 소양 교육: 포스텍 어학센터(영어 발표·논문 작성법 교육), 교육혁신센터(이공계 글쓰기, 연구노트 작성법, 연구 윤리 교육)와 협력하여 교육과 연구의 선순환 달성.
- 학제간/그룹간 공동 강의 장려: 연구 협력 및 융합연구 풍토 조성.
- 전 학생 기숙사 제공: 주거 안정을 통한 경제적 부담 경감 및 몰입 환경 조성을 통한 출석률 및 학업 능력 제고.
- 엄정한 학사관리: 엄격한 박사자격시험 절차의 확립과 함께 학위 중도 포기자 2% 미만 유지.
- 소규모 과학기술 중심 대학으로서의 장점: 효율적인 학사 관리 및 연구 몰입 환경 제공.

○ 단점 및 이를 극복하기 위한 계획

- 연구에 직결된 교육 강화로 인한 융합 교과목 부족: 전공 분야가 융합된 교과과정·프로그램 확충 추진.
- 연구에 편중된 대학원생 진로 교육: 학생 중심의 개인별 전주기적 진로 멘토링 프로그램 마련.
- 대학원생 갈등 조정 제도의 부재: 건강한 교수-대학원생 관계를 위한 제도 마련.
- 지리적 특성으로 인한 교류 부족: 해외 연수 프로그램 강화 및 외국 대학과의 공동학위 제도 추진.

✓ 대학원 교육과정과 학사관리 운영 계획 대비 최근 1년간(2024.9.1.~2025.8.31.) 실적

○ 교육과정 운영 계획

- BK21과 BK21 Plus 사업을 통해 확립된 포스텍 물리교육연구단의 교과과정 체계를 계승 및 발전
- 학문의 깊이와 너비를 겸비하는 박사급 전문인력 양성

[계획]

- 석·박통합과정 중심의 교과과정 운영을 통한 박사급 인력의 집중 양성

[실적]

- 입학 인원: 박사학위 프로그램 총 35명
 - ◇ 2024년 2학기: 석·박통합과정 13명
 - ◇ 2025년 1학기: 석·박통합과정 20명, 박사과정 2명
- 박사학위 취득 인원: 총 25명
 - ◇ 2024년 2월 졸업: 13명
 - ◇ 2024년 8월 졸업: 12명

[계획]

- 지도교수의 교육 역량 발전과 대학원생의 자기 계발이 균형을 이루는 교육
 - ◇ 기초·전공·융합의 균형이 잡힌 교과목 개설: 교육과정의 충실성 및 지속성 개선.
 - ◇ 기초과목과 박사자격시험 강화로 물리 기초지식, 문제해결력 및 창의력 동시 배양.

[실적]

- 전임교수의 강의평가와 전공을 고려하여 대학원 전공필수 과목에 담당 교수 배정
- 분야별 불균형 해소를 위해 매년 연구 분야별 대학원 전공선택 또는 특론·특강 최소 한 과목 개설

전공필수	• 해석역학 • 통계역학	• 전기역학 I, II • 콜로퀴움	• 양자역학 I, II
전공선택 및 특론·특강	응집물리 분야	• 고체물리학 I • 특론: 양자전자수송 • 특론: 주사탐침현미경 및 연구 동향 • 특론: 복합산화물과 대칭성 • 특론: 2차원 물질 연구의 동향	• 양자장론 • 자성체 물리학
	양자기술 분야	• 양자물리와 양자기술 • 원자물리 • 위상물질 정보소자	
	생물물리·복잡계 분야	• 상전이와 임계현상	
	플라즈마·가속기 분야	• 플라즈마 물리학 II • 중급 빔물리 • 특론: 첨단 엑스선 활용 과학 • 특론: 가속기 실험실습 I	
	기타	• 연구실 순환	

- 역진행 강의 방식의 특론 개설
 - ◇ 2차원 물질 연구의 동향: 2024년 2학기 개설(수강인원 18명)
 - ◇ 참여교수:
- 융합학점제를 신설하여 융합형 인재 양성: 비전공 분야 과목의 최소 6학점 취득을 필수로 함.
- 2개 이상 분야의 전임교수가 공동으로 강의하는 융합 수업 과목을 개설: 비전공 분야 과목으로 인정.
 - ◇ 2차원 물질 연구의 동향: 6명의 교수가 공동 강의
 - 응집물리실험:
 - 응집물질응용:

• 강의 질적 제고를 위한 제도 운영

[계획]

- 강의 개선을 위한 강의평가 제도 시행 및 평가 결과 환류시스템 운영.
- 강의평가 결과 및 교수 업적평가 자료를 활용한 교육과정의 지속성 개선.

[실적]

- 최근 두 학기 평가과목 22개에 대한 강의평가에서 평균 4.69점(5점 만점) 획득.

[계획]

- 교수 대상 '우수강의상' 및 대학원생 대상 '우수조교상' 제도 운영으로 교육과정의 충실성 개선.
 - ◇ '우수강의상': 강의평가와 새로운 교과목 개발 등을 종합적으로 심사하여 매년 1~2인 포상.
 - ◇ '우수조교상': 조교 평가 결과를 토대로 매학기 포상.

[실적]

- '우수강의상' 및 '우수조교상' 제도 운영.
 - ◇ 우수강의상: 강의 평가 최고점, 동일 강좌 연속 수상 배제
 - 2024년도: 교수(일반물리 I, 전자기학 I 강의)
 - ◇ 우수조교상: 조교 평가 최고점
 - 2024-2학기:
 - 2025-1학기:

[계획]

- 온라인 학습관리시스템으로 대학원생의 학사 및 학습 관리 편의성 도모.

[실적]

- 강의자료 온라인 공개: 학내 정보 시스템(PLMS)에 학습관리 시스템 운영.
 - ◇ 강의개요, 교재, 강의 동영상, 강의진도, 평가계획 등 열람이 가능케 함.

• 연구자의 기본 소양 교육.

[계획]

- 전 교과목 영어강의 및 세미나 영어발표 시행.
- 포스텍 어학센터 프로그램의 활용으로 영어발표 및 영어논문 작성 능력 향상을 위한 교육 강화.

[실적]

- 기존에 진행되었던 전 교과목 영어강의 및 세미나 영어발표를 충실히 수행하여 100% 진행.
- 영어발표 및 영어논문 작성 능력 향상을 위한 교육 강화.
 - ◇ 영어논문 작성법 교육(2회):
2024.12.04.(온라인 교육), 2024.12.09.~2024.12.10.
 - ◇ 영어 클리닉(8회): 영어 발음 교정, 말하기 실습, 작문 교정, 문법 연습 등 영어 역량 강화
 - 2024.09.02.~2024.10.04., 2024.10.07.~2024.11.15., 2024.11.18.~2024.12.13.,
2024.12.30.~2025.01.24., 2025.02.17.~2025.03.21., 2025.03.24.~2025.05.02.,
2025.05.07.~2025.05.30., 2025.06.16.~2025.07.18.
 - ◇ 영어논문 캠프(1회): 이공계열 전문 강사의 영어 논문 작성 1:1 코칭
 - 2025.01.13.~2025.01.15.
- 대학원 교육 및 연구 역량 강화를 위한 공통교과(Core Curriculum) 영어과목 개설.
 - ◇ 개설기간 : 2024년 2학기, 2025년 1학기.
 - 영어논문 작성법(Scientific Writing): 자유선택/GEDU501, 주 3일/2학점, 성적(S/U).
 - 프레젠테이션 스킬(Research Paper Presentation Skill): 자유선택/GEDU502, 주 3일/2학점, 성적(S/U).

[계획]

- 대학원생들의 연구능력 향상을 위한 워크숍 개발·운영(포스텍 교육혁신센터 프로그램 활용).
 - ◇ 논문 작성법, 실험연구의 설계/분석 세미나 및 워크숍, 예비교수 워크숍 등.

[실적]

- 대학원생들의 연구능력 향상을 위한 워크숍 개발·운영(포스텍 교육혁신센터 프로그램 활용):

일자	교육명
2024.11.26.~2024.11.27.	SciVal 이용 교육
2025.02.24.	Scopus AI를 활용한 연구트렌드 분석
2025.02.25.	영어논문 학술발표 전략
2025.02.26.	해외 대학원 준비 과정: CV 및 인터뷰 노하우
2025.02.27.	EndNote 이용 교육
2025.02.28.	학술정보검색 시작하기
2025.08.04.	Scopus, SciVal 이용 교육
2025.08.05.	SciFinder Discovery Platform 이용 교육
2025.08.05.	WipsOn 이용 교육
2025.08.06.	Web of Science, JCR 이용 교육
2025.08.07.	EndNote 이용 교육
2025.08.08.	SciFinder Discovery Platform user Training

[계획]

- 연구윤리 교육
 - ◇ 'POSTECH 대학원 윤리서약서' 작성 및 제출. 'Turn It In' 표절 예방 프로그램 사용 장려.
 - ◇ 연구윤리 대학원 공통교과목 개설.

[실적]

- 최종 학위논문 제출 시에 연구윤리 준수확인서와 Turn It In 디지털 수령증을 제출 의무화.
- 2024년 2학기, 2025년 1학기: 연구윤리(ICEC501) 온라인 강좌 개설.

■ 기초 핵심 능력(Strong Core)

• 기초 핵심 과목 강화와 체계적 학사관리 운영

[계획]

- 물리학 기초 핵심 과목(4대 역학: 해석역학, 양자역학, 전기역학, 통계역학)의 중요성 강조.
- 4대 역학에 대한 이해를 평가하는 박사자격시험의 엄정한 운영.

[실적]

- 4대 역학 과목의 필수과목 유지.
- 박사자격시험 시행(4대 역학 과목 필기시험, 성적우수자 시험면제):
 - ◇ 2025년 2월: 성적우수자 시험 면제 7명.
 - ◇ 2025년 8월: 성적우수자 시험 면제 15명, 필기시험 합격 2명.

• 기초 핵심 과목 강의 질 제고

[계획]

- 강의평가 우수 교수 및 성적 우수 대학원생 조교 배정(교육과정의 충실성/지속성 개선).
- 담당 교수와 조교의 'Office Hour' 강화.

[실적]

- 4대 역학과목에 강의평가 우수 교수와 성적 우수 대학원생 조교 배정.
- 강의평가에 Office Hour 항목 추가 시행 유지.

■ 심화된 전문지식(Depth)

- 첨단 연구주제에 대한 다양한 수준과 형식의 교과 및 교육 프로그램 개설.

[계획]

- 첨단 연구주제에 대한 교육-연구 체인(Chain) 프로그램 신설(교육과정의 충실성 개선).
 - ◇ 동일한 첨단 연구주제에 연계된 대학원 특론 과목(1학기) - 스쿨(1주) - 튜토리얼(6시간) - 세미나(1시간)로 구성된 연구 연계 체인 프로그램 제공.

[실적]

- POSTECH-Physics BK 교육-연구 체인 프로그램 운영: sites.google.com/view/postech-physics-bk
 - ◇ 〈2차원 물질 물리〉
 - [대학원 특론 수업] 2차원 물질 연구의 동향(2024년 2학기)
 - [콜로퀴움] Short-range order in a two-dimensional dipole liquid (교수, 연세대학교, 2025.05.21.) 외 2건
 - [학과세미나] Quenched Pair Breaking by Interlayer Correlations as a Key to Superconductivity in La₃Ni₂O₇ (Prof. University of Hamburg, Germany, 2024.09.30.) 외 총 4건
 - ◇ 그 외에 〈위상물리〉, 〈강상관계 물리〉, 〈양자기술〉, 〈응용물리〉 주제로 교육-연구 체인 프로그램 운영(구체적인 내용은 홈페이지 참조).

[계획]

- 첨단 연구주제에 대한 특론·특강 과목을 매학기 꾸준히 개설(교육과정의 충실성 개선).
 - ◇ 첨단 연구 동향 파악 및 첨단 장비 활용 능력 함양을 위한 강의 및 튜토리얼 실시.

[실적]

- 2024년 2학기~2025년 1학기 개설: 총 6건
 - ◇ 첨단 연구 동향 파악: 양자전자수송, 주사탐침현미경 및 연구동향, 복합산화물과 대칭성, 2차원 물질 연구의 동향
 - ◇ 첨단 장비 활용: 첨단 엑스선 활용 과학, 가속기 실험실습 I

[계획]

- 학생 주도 심층연구 특강 신설
 - ◇ 학생들이 주도적으로 특정 연구 주제에 대해 조사-발표-토론함으로써 진행되는 수업.

[실적]

- 2025년 1학기 개설: 1건 (현대물리학연구)

[계획]

- 미래 기술 특강 실시(교육과정의 충실성 개선).
 - ◇ 미래 파급효과가 큰 주제(인공지능, 양자 등)에 대해 특강 과목 개설 및 세미나 진행.

[실적]

- 미래기술 특강: 총 2건
 - ◇ 양자정보과학, 양자전자수송
- 콜로퀴움 및 세미나 진행: 총 39건
 - ◇ [콜로퀴움] Atomic-scale Imaging of Valence Electron Motion in Solids (Prof. Stanford University and SLAC, US, 2024.11.04.) 등 총 23건

- ◇ [세미나] Superconducting quantum circuit (Prof. , Tokyo University of Science, Japan, 2025.05.21.) 등 총 16건

■ 학문적 넓이를 추구하는 교육 기회 제공 (Breadth)

• 학제간 융합교육 제도 활성화

[계획]

- 융합 학점 요건 신설(교육과정의 충실성 개선)

- ◇ 본인의 전문분야 이외의 타 분야/타 학과 과목 선택 필수(6학점으로 추진).

[실적]

- 융합학문 과목을 포함하여 비전공분야 과목의 최소 6학점 이수로 확대 개편.

- ◇ 비전공분야 과목 중 최소 6학점 이수 필수(이수 인정 여부는 학과 대학원위원회에서 판단함, 대학원 입학 후 수강한 학점만 인정함)

- 응집물리: 고체물리, 고체물리학I,II, 다체론, 상전이와 임계현상, 관련 특론/특강 과목.
- 입자물리: 핵및입자물리, 양자역학III, 입자물리학, 양자장론, 상대성이론, 관련 특론/특강 과목.
- 광학/원자물리: 광물리학, 고급광학, 양자광학, 관련 특론/특강 과목.
- 생물물리: 생물물리학, 계량이론물리학, 관련 특론/특강 과목.
- 플라스마/가속기물리: 플라스마물리, 가속기물리학I,II, 관련 특론/특강 과목.

[계획]

- 융합 공동강의 활성화(교육과정의 충실성 개선).

- ◇ 두 분야 이상의 교수들이 동일한 주제에 대해 공동으로 개설하는 공동강의 과목 운영.

[실적]

- 2차원 물질연구의 동향(6명의 교수가 공동 강의, 2024년 2학기).

- 응집물리실험:
- 응집물질응용:

[계획]

- 소규모 공동연구 그룹화

- ◇ 공동연구를 수행하는 연구실 간 대학원생 통합 지도가 가능한 연구그룹 구성.

[실적]

- 대학원생 주도하에 4개 분야(응집물질물리, 생물물리/복잡계, 양자/나노광학, 양자나노소자)에서 저널클럽 운영 중

- 물리학과에서 각 분야별 연 150만 원 지원:

분야명	지원 금액 (만 원)		회당 참여 인원
	2024년	2025년	
응집물질물리	150	-	20명 내외
생물물리·복잡계	150	150	30명 내외
양자·나노광학	150	150	20명 내외
양자나노소자	150	150	20명 내외

- ◇ 소규모 공동그룹 운영 총 15건:

지도교수 (2인 이상)	연구주제	참여학생 (2인 이상)
	2차원 물질 스핀트로닉스 연구	
	엑시톤 응집상 물성 연구	

2차원 전하밀도상 기저상태 및 수송연구
 인간 염색체 3차원 구조 연구
 초저온 환경단분자 물성 예측 연구
 Deep learning 생물물리
 DNA repair 단백질의 확산 동역학 연구
 카고메 반데르발스물질의 전자구조 연구
 자성 반데르발스 물질의 전자구조 연구
 타우단백질 동역학 연구
 불소로 기능화한 그래핀 연구
 페로브스카이트 산화물박막의 특성 연구
 전이금속칼코겐 초박막 전하 정렬 연구
 ultrafast nanoscopy
 strong field THz spectroscopy

• 교내외 부서와 협동을 통한 교과과정 다양화

[계획]

- 교내 유관기관과의 협력 강화

- ◇ 포스텍 소재 외부 연구기관(막스플랑크 한국/포스텍 연구소, 기초과학연구원, 포항가속기연구소, APCTP)의 우수 학자를 학과 겸직교수로 초빙.
- ◇ 석학교수, 겸직교수들의 대학원생 공동지도, 연구교류 등을 통해 연구 분야의 다양화 기여.

[실적]

- 우수 학자 학과 겸직교수 위촉 총 10건: 물리학과 과목 강의(, 전산물리)
- ◇ APCTP 소속:

[계획]

- 국내·외 유관기관과의 협력 강화

- ◇ 대학원생에게 국내외 우수대학·연구기관으로 장단기 파견/연수 기회 제공.
- ◇ 독일 Max Planck 연구소 글로벌 연구 인턴십 제도 활용.

[실적]

- 15일 이상 국내외 파견·연수 총 6건:

성명	기간		기관(지도교수)
	2024-10-31	2024-11-22	중국 SUSTech University (지도교수)
	2024-12-01	2025-02-28	미국 뉴욕대학교 (지도교수)
	2025-02-14	2025-04-06	독일 울리히 연구소 (지도교수)
	2025-04-05	2025-04-20	미국 국립고자기장연구소 (지도교수)
	2025-04-05	2025-04-20	미국 국립고자기장연구소 (지도교수)
	2025-07-07	2025-07-23	미국 APS & NSLS2 (지도교수)

○ 학사 관리 운영 계획

■ 포스텍 물리교육연구단의 학사관리 체계 계승 및 발전

• 세부전공 및 논문지도교수 선정

[계획]

- “연구실 순환(Lab Rotation)” 제도 신설(Caltech, Stanford 벤치마킹) (교육과정의 충실성 개선).
 - ◇ 대학원 신입생들이 대학원 첫 학기 동안 1개월 단위로 최대 3개 연구실에서 연구 참여.
 - ◇ 대학원생의 세부전공/논문지도교수 선택 시 필요 정보 제공 및 학문적 폭을 넓히는 효과 기대.

[실적]

- “연구실 순환(Lab Rotation)”과목 총 23명 수강
 - ◇ 2024년 10월~12월(3개월): 수강생 9명
 - ◇ 2025년 4월~6월(3개월): 수강생 14명
 - ◇ 매월 연구참여 학생 결과보고서 및 교수 평가서 작성 및 제출.
 - ◇ 대학원혁신 사업팀과 연계하여 70만원/3개월 지원(대학원혁신 사업팀 3명, 초과 인원 학과 지원).

[계획]

- 교무지도교수(Academic Advisor) 제도 신설(MIT 벤치마킹) (교육과정의 지속성 개선).
 - ◇ 입학 후 연구 지도교수가 정해질 때까지 교육 및 생활 지도를 담당하는 교무지도교수 배정.
 - ◇ 학생과 연구 지도교수 사이의 문제 발생 시 학생인권 보호 역할 수행.

[실적]

- 2020년 9월부터 교무지도교수 제도 시행. 통합과정 신입생 전원 배정.
 - ◇ 2024년 (2학기) 신입생 총 13명에 교무지도교수 배정.
 - ◇ 2025년 (1학기) 신입생 총 20명에 교무지도교수 배정.

• 박사학위논문 제안서 구두시험 기한 단축

[계획]

- 심사기한을 대학원 입학 후 3년 반으로 앞당길 예정(기존 대비 평균 약 1년 단축 효과, 현행 기한은 박사학위 논문심사 1년 전까지) - 빠른 연구 몰입 유도.

[실적]

- 2023년 1학기부터 BK21 참여 대학원생에게 적용. 기한 내 구두시험 통과 못한 학생은 BK 장학금 지원 대상에서 제외.

■ 면학 요건 제공과 학생중심의 진로 멘토링

• 학사운영 내부 규정의 정립 및 학생안내 매뉴얼 제공

[계획]

- 대학과 물리학과가 정한 학사제도 및 규정에 대한 충실한 안내(교육과정의 지속성 개선).
 - ◇ 대학요람, 학과 규정집, 학과 홈페이지 등으로 문서화, 개정제도는 이들 문서에 신속히 반영.
 - ◇ 대학원 입학 전 학사 및 장학제도, 교과과정, 논문제안서, 박사학위심사 등 제반 정보 제공.

[실적]

- 학과 홈페이지 대학원 과정 섹션을 두어 자세히 정리되어 있으며, 학사관리 담당자가 이메일로 자세히 안내하고 있음(<http://ph.postech.ac.kr/graduate/info.php>).

• 학생 중심의 연구 및 진로 멘토링 강화

[계획]

- 자기계발 심층면담 제도 신설(UC Berkeley, Chicago 대학 벤치마킹) (교육과정의 지속성 개선).
 - ◇ 대학원생과 연구 지도교수가 6개월 또는 1년 주기로 연구계획 및 진로에 대한 면담 실시.
 - ◇ 대학원생이 박사학위 심사위원 중 1명 이상과 1년 주기로 연구진행 및 계획에 대한 면담 실시.

[실적]

- 학과 연구 지도교수가 정해진 재학 대학원생 전체를 대상으로 2021년부터 시행.
- 학생은 면담 결과 보고서 제출하도록 권고.

[계획]

- 학생-지도교수 기대 설문 제도 신설(Stanford 벤치마킹) (교육과정의 지속성 개선).
 - ◇ 지도교수 선정 전 각자의 연구 성향에 대한 설문을 바탕으로 교수와 대학원생의 면담 진행.
 - ◇ 학생과 지도교수 상호의 기대상황을 사전에 인지함으로써 갈등 발생을 미연에 방지.

[실적]

- 2025년 1월, 2025년 7월 총 2회에 걸쳐 대학원생-지도교수 기대 설문 시행.
 - ◇ 교과 및 학위 논문 계획, 연구일정 관리, 학위논문, 지원사항 등 5가지 분야의 총 16문항 설문 조사.

[계획]

- 대학원생 업적관리 시스템 신규 구축.
 - ◇ 대학원생의 교육 및 연구 성과 데이터베이스 시스템 구축. 개인/학과/대학 차원의 체계적 관리.

[실적]

- 대학의 RIMS 연구업적관리 시스템 새로 구축: 교수 및 대학원생의 논문과 학회발표 실적 검색 가능.

[계획]

- 그룹-학과-대학 차원의 진로 상담 체계 신규 구축(교육과정의 지속성 개선).
 - ◇ 그룹: 자기 계발 심층 면담 시 진로 상담을 동시에 진행.
 - ◇ 학과: 교수-학생 간담회 매년 진행.
 - ◇ 대학: 면접을 대비한 개별 인·적성 검사 및 분석 실시.

[실적]

- 2024년 하반기 대학원 합격자 교수 면담 프로그램(2024.12.06.~07.): 총 10명 참여.
- 2025년 상반기 대학원 합격자 교수 면담 프로그램(2025.07.18.): 총 6명 참여.
- 2024-2학기 물리학과 대학원 신입생 오리엔테이션 실시(2024.09.05.).
- 2025-1학기 물리학과 대학원 신입생 오리엔테이션 및 2025 교수와의 간담회 실시(2025.2.21.).

■ 연구 몰입을 위한 지원 제도 운영

• 성취감 고취를 위한 포상 제도 실시

[계획]

- '1st Paper Award' 제도 운영(교육과정의 지속성 개선).
 - ◇ 조기에 첫 번째 논문을 쓰도록 유도하기 위해 첫 번째 논문을 대상으로 포상 제도 실시 (지원 기한: 석·박통합과정 입학 후 4년, 박사과정 입학 후 2년 이내)

[실적] 총 6명 수상:

- 2024년 2학기: 4명
- 2025년 1학기: 2명

[계획]

- 융합인재 펠로우십(Fellowship) 신설 [참조: '교육목표 달성 방안' 및 '2.2 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획']
 - ◇ 최대 6년간 학비와 생활비 지급(지도교수의 인건비 지급으로부터 자유로움).
 - ◇ 융합연구 계획서를 심사하여 우수한 융합인재를 매년 1 ~ 2인 선발.
 - ◇ 2인 이상의 연구지도교수의 지도를 받음.

[실적]

- 서동해
 - ◇ 융합지도교수:
 - ◇ 2021년 6월 선발하여 2021년 2학기부터 2024년 8월까지 지원.

• 대학원생의 연구 외 행정부담 경감을 위한 지원

[계획]

- 연구 행정 절차 간소화 및 지원 인력 지원.
 - ◇ 대학 차원의 행정 및 구매 절차 중앙화 및 전산화.
 - ◇ 연구실 별 행정 지원 인력 확충과 학과 행정서비스 합리화 및 질 개선.

[실적]

- POVIS(포스텍 통합관리 시스템) 연구과제 생성 절차 간소화.
- 연구수당 기여도 평가 전산화 및 간소화, 연구계획 변경 프로세스 개선.
- POVIS 연구행정업무 매뉴얼 탑재 (규정/지침, 서식도 탑재).
- 연구행정 교육 확대 (찾아가는 행정 교육 실시) 및 연구계약직 인사제척 개정.

○ 교육 과정의 충실성과 지속성 개선 실적 요약

■ 교육과정의 충실성 개선 실적

- 세부 전공분야별 전공선택 또는 특론/특강 개설(응집물리 7건, 양자기술 3건, 생물물리 1건, 플라즈마 4건, 기타 1건).
- 역진행 방식 특론 개설(1건) 및 융합수렴 과목 개설(1건).
- 연구실 순환(Lab Rotation) 제도 (총 23명 수강).
- POSTECH Physics BK 교육-연구 체인 프로그램 운영(현재 홈페이지 운영 중).
- 첨단 연구주제 및 미래기술 특강 개설(총 7건).
- 융합 학점 요건 신설(6학점).

■ 교육과정의 지속성 개선 실적

[대학원생 대상]

- 교무 지도교수(Academic Advisor) 제도 신설(신입생 전원 배정).
- 자기계발 심층면담 제도 운영(매학기 시행) 및 학생-지도교수 기대 설문제도 운영(총 2회 시행).
- 그룹-학과-대학 차원의 진로 상담 체계 운영(총 4회 시행).
- 대학원생 대상 포상제도 운영: 1st Paper Award 6명 수상, 융합인재 펠로우십 1명 지원.

[교원 대상]

- 강의평가 환류 시스템 및 우수강의상(1명 수상) 운영.

▷ 교육과정의 충실성/지속성 개선 운영 방안

포스텍 물리교육연구단은 교과 과정과 학사 관리의 장점을 최대한 유지 및 강화하고, 단점을 보완하기 위한 새로운 계획을 충실하고 지속적으로 수행하기 위해 교육 과정을 학과 내규로 두거나, 체계적인 시스템으로 물리학과 대학원 위원회를 통해 감독, 관리하고 있음.

교육과 연구의 선순환 구조 구축 방안 및 실적

○ 개요

포스텍 물리교육연구단은 교육과정의 3대 가치인 '기초 핵심 능력', '심화된 전문 지식', '학문적 너비'와 연구의 3대 목표인 '혁신적인 연구', '함께하는 연구', '세계 선도형 포스텍 플래그십 연구'를 접목시켜 교육과 연구의 선순환을 추구함. 이를 위해 탄탄한 4대 역학(해석, 양자, 전기, 통계) 기초 위에 5개 전공분야(응집, 양자광학, 입자, 생물·복잡계, 플라즈마·가속기) 기반의 최첨단 물리 지식과 융합 교육을 제공하여, 이를 본인의 연구에 활용하게 하는 교육-연구의 선순환 구조를 구축함.

○ [교육] 기초 핵심 능력 (Strong Core) 강화 → [연구] 세계 선도형 포스텍 플래그십 연구 지향 [계획]

- 물리학 핵심 필수 과목들을 학생들이 숙달할 수 있는 교과과정 제공.
- 엄정한 학사관리를 통한 수업의 충실한 이수.

[실적]

- 4대 역학과목의 필수과목 유지.
- 박사자격시험 (4대 역학과목 필기시험, 성적우수자 시험면제).
 - ◇ 2025년 2월: 성적우수자 시험 면제 7명.
 - ◇ 2025년 8월: 성적우수자 시험 면제 15명, 필기 시험 합격 2명.

○ [교육] 심화된 전문지식 (Depth) 습득 → [연구] 혁신적인 연구 지향 [계획]

- 연구주제에 대한 특론/특강 및 연구 장비 활용/분석 튜토리얼 실시.

[실적]

- 2024년 2학기~2025년 1학기 개설: 총 6건 (양자전자수송, 주사탐침현미경 및 연구동향, 복합산화물과 대칭성, 2차원 물질 연구의 동향, 첨단 엑스선 활용 과학, 가속기 실험실습 I)

[계획]

- 연구주제에 대한 특론-스쿨-튜토리얼-세미나 교육 체인 프로그램.

[실적]

- POSTECH-Physics BK 교육-연구 체인 프로그램 운영:

sites.google.com/view/postech-physics-bk

◇ 〈2차원 물질 물리〉

- [대학원 특론 수업] 2차원 물질 연구의 동향(2024년 2학기)
- [콜로퀴엄] Short-range order in a two-dimensional dipole liquid (교수, 연세대학교, 2025.05.21.) 외 2건
- [학과세미나] Quenched Pair Breaking by Interlayer Correlations as a Key to Superconductivity in $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ (Prof. , University of Hamburg, Germany, 2024.09.30.) 외 총 4건

◇ 그 외에 〈위상물리〉, 〈강상관계 물리〉, 〈양자기술〉, 〈응용물리〉 주제로 교육-연구 체인 프로그램 운영(구체적인 내용은 홈페이지 참조).

[계획]

- 학생주도 심층연구 및 미래기술 특강

[실적]

- 학생 주도 심층 연구 1건
 - ◇ 2025년 1학기 연구강의 개설: 1건 (현대물리학연구)
- 미래기술 특강 2건
 - ◇ 양자정보과학, 양자전자수송
- 콜로퀴엄 및 세미나 진행: 총 39건
 - ◇ [콜로퀴엄] Atomic-scale Imaging of Valence Electron Motion in Solids (Prof. Stanford University and SLAC, US, 2024.11.04.) 등 총 23건
 - ◇ [세미나] Superconducting quantum circuit (Prof. Tokyo University of Science, Japan, 2025.05.21.) 등 총 16건

○ [교육] 학문적 너비 (Breadth) 추구 → [연구] 함께하는 연구 지향

[계획]

- 융합학점 요건 충족 및 융합과목 개설: 전문 분야 이외의 타 분야/타 학과 과목을 6학점 이상 수강 필수. 두 개 이상의 분야를 포함하는 공동 강의 개설.

[실적] 융합수련과목 개설 1건

- 2차원 물질연구의 동향(6명의 교수가 공동 강의, 2024년 2학기).
 - 응집물리실험:
 - 응집물질응용:

[계획]

- 소규모 공동연구 그룹 제도: 공동연구를 수행하는 연구실 간 상호 동의하에 실험실을 묶어서 대학원생 통합 지도가 가능한 그룹 구성.

[실적] 소규모 공동연구 그룹 운영 15건:

지도교수 (2인 이상)	연구주제	참여학생 (2인 이상)
	2차원 물질 스핀트로닉스 연구	
	엑시톤 응집상 물성 연구	
	2차원 전하밀도상 기저상태 및 수송연구	
	인간 염색체 3차원 구조 연구	
	초저온 환경단분자 물성 예측 연구	

Deep learning 생물물리
DNA repair 단백질의 확산 동역학 연구
카고메 반데르발스물질의 전자구조 연구
자성 반데르발스 물질의 전자구조 연구
타우단백질 동역학 연구
불소로 기능화한 그래핀 연구
페로브스카이트 산화물박막의 특성 연구
전이금속칼코젠 초박막 전하 정렬 연구
ultrafast nanoscopy
strong field THz spectroscopy

교육 목표 달성 방안 및 실적

○ 개요

앞서 제시한 포스텍 물리교육연구단의 3대 교육 핵심과제를 달성하기 위해 현행 제도에 추가적인 교육과정과 학사관리 제도 및 교육 프로그램을 마련함. 구체적인 내용과 달성방안은 아래와 같음

○ 학문의 깊이와 너비를 겸비하는 연구 교육 제도

- 최첨단 연구주제에 대한 교육 체인 프로그램 운영.

[계획]

- 다양한 플랫폼의 강의/학술행사의 주제를 키워드로 연결하여 관련성 정보 제공.
- 특론 (1학기)-스쿨 (1주)-튜토리얼 (6시간)-콜로퀴엄 (1시간)-세미나 (1시간)를 조직.

[실적]

- POSTECH-Physics BK 교육-연구 체인 프로그램 운영: sites.google.com/view/postech-physics-bk.
 - 〈2차원 물질 물리〉 주제의 체인 프로그램 운영.
 - ◇ (대학원 특론 수업) 2차원물질의연구동향 (2024년 2학기).
 - ◇ (콜로퀴엄) Short-range order in a two-dimensional dipole liquid (교수, 연세대학교, 2025.05.21.) 외 2건.
 - ◇ (학과세미나) Quenched Pair Breaking by Interlayer Correlations as a Key to Superconductivity in La₃Ni₂O₇ (Prof. University of Hamburg, Germany, 2024.09.30.) 외 총 4건.
 - 그 외에 〈위상물리〉, 〈강상관계 물리〉, 〈양자기술〉, 〈응용물리〉 주제로 교육-연구 체인 프로그램 운영 (구체적인 내용은 홈페이지 참조).

- 연구실 순환 (Lab Rotation) 제도 (Caltech, Stanford 벤치마킹).

[계획] 신입생들이 대학원 첫 학기 동안 한 달 단위로 최대 3개 연구실에서 연구참여 후 지도교수 선정

[실적] 총 23명에 대해 시행

- 2021학년도 1학기부터 "연구실 순환 (Lab Rotation)"과목을 신설하여 대학원 신입생이 연구실을 정하기 전에 관심있는 연구실을 탐색할 수 있는 기회 제공 (3개의 연구실에서 연구 참여 필수).
 - 2024년 10월~12월 (3개월) 수강생 9명.
 - 2025년 4월~6월 (3개월) 수강생 14명.
 - 매월 연구참여 학생 결과보고서 및 교수 평가서 작성 및 제출.
 - 대학원혁신 사업팀과 연계, 70만원/3개월 지원(대학원혁신 사업팀 3-5명, 초과 인원 학과 지원).

■ 융합 공동 강의 개설.

[계획] 특강 형식으로 한 가지 연구주제에 대해 물리학과 내 다른 전공 교수들이 팀을 이루거나 다른 학과의 교수들이 팀을 이루어 수업진행

[실적]

- 2차원물질의연구동향 (6명 교수가 공동 강의, 2024년 2학기).
 - 응집물리실험:
 - 응집물질응용:

■ 소규모 공동연구 그룹화 교육 제도.

[계획] 프로젝트 기반으로 물리학과 내 또는 타 학과와의 소규모 공동연구팀 조직. 참여 학생/지도 교수들 간 상호 교차 지도를 통해 연구 협력을 높이고, 다양한 교육기회를 제공

[실적]

- 대학원생 주도하에 4개 분야별(응집물질물리, 생물물리/복잡계, 양자광학과 나노광학, 양자나노소자) 저널클럽 운영 중 (물리학과에서 각 분야별 연 150 만원 지원).

분야명	지원금액 (만원)		1회 참여인원
	2024년	2025년	
응집물질물리	150	-	20명 내외
생물물리/복잡계	150	150	30명 내외
양자광학과나노광학	150	150	20명 내외
양자나노소자	150	150	20명 내외

- 소규모 공동연구 그룹 운영 총 15건.

지도교수 (2인 이상)	연구주제	참여학생 (2인 이상)
	2차원 물질 스핀트로닉스 연구	
	엑시톤 응집상 물성 연구	
	2차원 전하밀도상 기저상태 및 수송연구	
	인간 염색체 3차원 구조 연구	
	초저온 환경단분자 물성 예측 연구	
	Deep learning 생물물리	
	DNA repair 단백질의 확산 동역학 연구	
	카고메 반데르발스물질의 전자구조 연구	
	자성 반데르발스 물질의 전자구조 연구	
	타우단백질 동역학 연구	
	불소로 기능화한 그래핀 연구	
	페로브스카이트 산화물박막의 특성 연구	
	전이금속칼코젠 초박막 전하 정렬 연구	
	ultrafast nanoscopy	
	strong field THz spectroscopy	

■ 학생주도 심층연구 및 미래기술 특강.

[계획] 미래 파급효과가 클 것으로 예상되는 주제 (인공지능, 양자컴퓨터 등)에 대해 특강/세미나

개설. 해당 주제에 대해 학생이 주도하는 조사/발표/토론 중심의 수업

[실적] 학생주도 (1건), 미래기술 (8건)

- 학생주도 심층연구 1건: 2025년 1학기 개설 (현대물리학연구).
- 미래기술 특강: 총 8건.
 - 특강과목 1건: 양자전자수송(2024년 2학기).
 - 초청 세미나 6건.

일자	연사	강연제목
2024.10.21		All-Crystalline van der Waals Josephson Junctions for Enhanced Coherence and Scalability for Superconducting Qubits
2024.10.21		Quantum Engineering with Coherent Superconducting Devices and Circuits
2025.05.08		AlphaFold and Beyond: A Perspective from a Newcomer to the Field
2025.08.20		Superconducting quantum circuit
2025.08.20		A silicon photonic system for photonic computing
2025.08.29		Defects and interfaces in critical quantum systems.

■ 국제학회 발표 의무화.

[계획] 국제학회 참석 및 발표를 의무화하여 졸업 심사 전 국제학회 1회 이상 발표 필수

[실적] 졸업 심사 전 국제학회 1회 이상 발표 권고 후 국제학회 발표가 자연스럽게 정착됨

- 자체평가 대상기간 동안 BK 참여 박사 학위 졸업생(총 19명)의 74%가 국제 학회에서 발표.
 - 2024년 2학기 졸업 (2025년 2월 졸업): 10명 중 6명 국제학회 발표 (60%).
 - 2025년 1학기 졸업 (2025년 8월 졸업): 9명 중 8명 국제학회 발표 (89%).

○ 학생중심의 건강한 연구·진로 멘토링

■ 교무 지도교수 (Academic Advisor) 제도 실시 (MIT 벤치마킹).

[계획] 2020년 봄 학기부터 교무 지도교수 제도 실시

[실적] 총 33명 배정

- 2020년 9월부터 교무지도교수 제도 시행. 통합과정 신입생 전원 배정.
 - 2024년 (2학기) 총 13명 입학, 전원 교무지도교수 배정,
 - 2025년 (1학기) 총 22명 입학, 20명에 교무지도교수 배정.

■ 자기계발 심층면담 제도 도입 (UC Berkeley, Chicago 대학 벤치마킹).

[계획]

- 박사학위논문 제안서를 통과한 대학원생은 1년 단위로 박사학위연구 진행 상황 및 향후 추진 계획에 대해 보고서를 작성하여 연구 지도교수(Research Supervisor)와 심층 면담.
- 해당 보고서를 바탕으로 박사학위연구 심사위원 중 한 명 이상과 만나 1년 단위로 연구 진행 상황 및 향후 계획에 대한 면담 실시.

[실적] 매학기 시행

- 학과 연구 지도교수가 정해진 재학 대학원생 전체를 대상으로 2021년부터 시행.

■ 학생-지도교수 기대 설문 (Stanford 벤치마킹).

[계획] 지도교수 선정 이전에 연구 성향에 대한 설문을 실시하여 학생과 희망 지도교수 간 이해 증진

[실적] 신입생 대상 총 2회 시행

- 2025년 1월, 2025년 7월 총 2회에 걸쳐 대학원생-지도교수 기대 설문 시행.
 - 교과 및 학위논문 계획, 연구일정 관리, 학위논문, 지원상황 등 5가지 분야 총 16문항 설문 조사.

■ 대학원생 업적관리 시스템 구축 및 그룹-학과-대학 차원의 대학원생 진로 상담 체계 구축.

[계획] 대학원생의 교육 및 연구 성과 관리 시스템 구축 (대학 차원에서 추진)

- 그룹 차원에서 자기 계발 심층 면담 시 진로 상담을 동시에 진행.
- 학과: 교수-학생 간 간담회를 통한 진로 상담 진행.
- 대학: 효과적인 진로 결정 및 면접 대비를 위한 개별 다면적 인·적성 검사 및 분석 실시.
- [실적] 그룹-학과-대학차원의 진로 상담 체계 운영 (총 4회 시행)
- 대학 RIMS 연구업적관리 시스템 새로 구축: 교수 및 대학원생의 논문과 학회발표 실적 검색 가능.
- 2024년 하반기 대학원 합격자 교수 면담 프로그램 (2024.12.6.): 총 10명 참여.
- 2025년 상반기 대학원 합격자 교수 면담 프로그램 (2025.7.18.): 총 6명 참여.
- 2024-2학기 물리학과 대학원 신입생 오리엔테이션 실시 (2024.9.5.).
- 2025-1학기 물리학과 대학원 신입생 오리엔테이션 및 2025 교수와의 간담회 실시 (2025.2.21.).

■ 대학원생 정신건강 관리.

[계획] 교내 상담센터, 인권센터를 활용한 대학원생 특화 상담 프로그램 운영 및 정신건강 증진 프로그램 도입

[실적] 교내 상담센터, 인권센터 대학원생 특화 상담 프로그램 및 정신건강 증진 프로그램 활용

- 캠퍼스 이동상담소 및 인권 캠페인 (2024.09.26., 2024.12.12., 2025.04.24., 2025.07.03.).
- 마음돌봄의 날 '마음낙락 Day' 캠페인.
 - 2024.10.15.-10.16. 학업 스트레스 해소를 위한 마음돌봄 키트 배부.
 - 2024.11.15. 사진을 활용하여 학업 스트레스를 해소하기 위한 집단 심리치료 프로그램.
 - 2025.1.17., 2025.06.20. 자율신경균형도 및 스트레스 검사.
 - 2025.5.28. 학업 스트레스 해소를 위한 마음 심포 처방소 운영 및 힐링 키트 배부.
- 대학원생들을 위한 '상호존중의 날' 캠페인 (2024.09.11., 2025.09.22.).
- 대학원생 진로탐색 프로그램 '본캐탐색: 너는 누구니?' (2024.09.02.~2024.10.11., 2025.07.29.~2025.09.30)
- 대학원생 진로 자신감 향상 프로그램 '진로 Build-Up!: 자기이해편' (2025.03.24.~2025.05.16.).
- 건강한 연구실 문화 조성을 위한 대학원생 타운홀 미팅 (2024.09.25.).
- 건강한 연구실 만들기 온라인 캠페인 (2024.10.16.~2024.10.18., 2025.06.16.~2025.06.18.).
- 건강한 연구실 만들기 특강.
 - 2025.01.06., 강사: 신성만, 주제: 도파민 중독.
- 건강한 연구실 문화 확산 및 정착을 위한 건강한 연구실 척도 설문조사 (2025.07.30.~2025.08.20.)

○ 능동적이고 소통하는 리더 교육

- 역진행 특강 수업 (Flipped Learning).

[계획] 온라인 강좌를 통한 사전 학습을 유도하여 수업 중에는 토론에 더 많은 시간을 할애할 수 있는 환경 구축

- 동일 과목 3년 강의를 기준으로 (물리학과 관례) 첫 해 강의 시 동영상 촬영.
- 이듬해부터 강의 동영상을 사전 학습 자료로 활용하여 역진행 수업 진행.
- 대학의 교육개발센터와의 협력으로 교수법 습득.

[실적] 1건

- Physics 703C: 2차원물질의연구동향 (2024년 2학기, 외 5명).
- 물리학과 및 신소재 공학과, 반도체공학과 6인의 교수가 각 전문분야별로 2주간 강의.
- 강의 동영상과 강의 자료를 온라인으로 미리 제공하여 수강생이 해당 수업시간 전에 미리 공부를 함.
- 수업시간은 강의 동영상에 대한 질의응답과 현재 연구동향에 대한 소개 및 토론으로 진행.

■ 대학원생 주도 분야별 저널클럽 운영.

[계획] 대학원생이 본인의 연구 결과 또는 관련 연구 주제에 대해서 발표하는 형식

[실적] 응집물질물리, 생물물리/복잡계, 양자/나노광학, 고에너지이론물리 등 4개 분야에서 시행

- 총 40회 진행 및 연간 총 450 ~ 600 만원 지원.

■ '1st Paper Award' 제도 실시.

[계획] 석박통합 과정 입학 후 4년, 박사 과정 입학 후 2년 내에 첫 번째 논문을 발표한 대학원생에게 포상

[실적] 총 6명 시상

- 2024년 2학기: 4명
- 2025년 1학기: 2명

■ 융합인재 펠로우십 (Fellowship) 제도 신설 (참조: '교과과정 및 학사관리 운영 계획', '2.2 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획').

[계획] 최소 2인의 연구 지도교수(Research Supervisor)의 지도하에 수행할 융합연구 계획서를 심사하여 새로운 융합인재를 매년 1 ~ 2인 선발하여 학생에게 직접 학비와 생활비 지급

[실적] 총 1명 지원

- : 융합지도교수 (- 응집물리이론, - 입자물리이론), 2021년 6월 선발하여 2021년 2학기부터 2024년 8월까지 지원.

전임교수 대학원 강의 실적

○ 개요

포스텍 물리학과는 기초/전공과목의 심층적 학습과 다양한 주제의 폭넓은 지식의 함양을 목표로 대학원 교과과정을 운영하고 있음. 대학원 강의는 100% 전임교수가 3년 주기로 담당하고 있으며, 강의평가가 우수한 전임교수가 '4대 역학' 전공필수 과목 강의를 맡고 있음. 포스텍 물리교육연구단은 역진행 특론 수업 방식, 학생주도의 심층/미래기술 특강, 융합수렴 과목, 융합학점제 등 능동적인 학생 주도의 수업과 융합교육을 통해 미래대처 능력을 갖춘 인재를 양성할 것임.

○ 전임교수 대학원 강의 계획

[계획] 전임교수의 강의평가와 전공을 고려하여 대학원 전공필수 과목에 담당 교수 배정 (현행 유지)

[실적] 전임교수의 전공에 맞추어 배정하고, 강의평가에 따라 담당 교수 적극적 교체 시행

전공필수	• 해석역학 • 전기역학 I • 양자역학 I • 전기역학 II 또는 양자역학 II • 통계역학 • 콜로퀴움
전공선택	• 다체론 • 상대성이론 • 고급통계역학 • 고체물리학 (I, II) • 연구실 순환

[계획] 2021학년도부터 "연구실 순환 (Lab Rotation)"과목을 신설하여 대학원 신입생이 연구실을 정하기 전에 관심있는 연구실을 탐색할 수 있는 기회 제공 (3개의 연구실에서 연구참여 필수)

[실적] "연구실 순환 (Lab Rotation)"과목 총 23명 수강

- 2024년 2학기 (10월~12월; 3개월): 수강생 9명.
- 2025년 1학기 (4월~6월; 3개월): 수강생 14명.
- 매월 연구참여 학생 결과보고서 및 교수 평가서 작성 및 제출.
- 대학원혁신 사업팀과 연계하여 70만원/3개월 지원 (대학원혁신 사업팀 2명, 초과 인원 학과 지원).

[계획] 분야별 불균형을 해소하기 위해 매년 연구 분야별 대학원 전공선택 또는 특론/특강 등 최소한 과목 개설

[실적] 분야별 특론/특강 과목 개설: 응집물리 4건, 플라즈마 2건

특론 및 특강	(응집물리)	• 양자전자수송 • 주사탐침현미경 및 연구동향 • 복합산화물과 대칭성 • 2차원 물질연구의 연구동향
	(플라즈마/가속기)	• 첨단 엑스선 활용 과학 • 가속기 실험실습 I

[계획] 역진행 방식의 특론, 학생주도의 심층/미래기술 특강 개설

[실적] 역진행 (1건), 학생주도 (1건), 미래기술 (8건)

- 역진행 방식의 특론 개설 실적 1건.
 - 2차원물질 연구의 동향: 2024년 2학기 개설 (수강인원 18명).
 - 참여교수:
- 학생 주도 심층 연구 1건.
 - 2025년 1학기 연구강의 개설: 현대물리학연구
- 미래기술 특강 총 8건.
 - 특강과목 1건: 양자수송(2024년 2학기).
 - 초청 세미나 6건.

일자	연사	강연제목
----	----	------

2024.10.21		All-Crystalline van der Waals Josephson Junctions for Enhanced Coherence and Scalability for Superconducting Qubits
2024.10.21		Quantum Engineering with Coherent Superconducting Devices and Circuits
2025.05.08		AlphaFold and Beyond: A Perspective from a Newcomer to the Field
2025.08.20		Superconducting quantum circuit
2025.08.20		A silicon photonic system for photonic computing
2025.08.29		Defects and interfaces in critical quantum systems.

[계획] 융합학점제를 신설하여 융합형 인재 양성: 비전공분야 과목의 최소 6학점 취득을 필수로 함

[실적] 융합학문 과목을 포함하여 비전공분야 과목의 최소 6학점 이수로 확대 개편

• 융합학문 과목:

- 응집물리: 고체물리, 고체물리학I,II, 다체론, 상전이와 임계현상, 응집물리 관련 특론/특강 과목.
- 입자물리: 핵및입자물리, 양자역학III, 입자물리학, 양자장론, 상대성이론, 입자물리 특론/특강 과목.
- 광학/원자물리: 광물리학, 고급광학, 양자광학, 광학/원자물리 관련 특론/특강 과목.
- 생물물리: 생물물리학, 계량이론물리학, 생물물리 관련 특론/특강 과목.
- 플라즈마/가속기물리: 플라즈마물리, 가속기물리학I,II, 플라즈마/가속기물리 관련 특론/특강 과목.

◇ 비전공분야 과목 중 최소 6학점 이수 필수

(이수 인정 여부는 학과 대학원위원회에서 판단함, 대학원 입학 후 수강한 학점만 인정함).

[계획] 2021학년도부터 최소 2개 분야의 전임교수가 공동으로 강의하는 융합수렴 과목 개설: 비전공분야 과목으로 인정

[실적] 총 1건

• 2차원물질의연구동향: 6명의 교수가 공동 강의 (2024년 2학기).

- 응집물리실험:
- 응집물질응용:

1.2 과학기술산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 계획

과학기술 산업 사회문제 해결관련 교육프로그램 운영 실적

✓ 포스텍 물리연구단의 산업·사회·과학 문제 해결 교육 프로그램 전략

- 전략 1: 기초연구 주도형 산업 기여 소양 교육.
- 전략 2: 사회로 열린 과학 대중화 소양 교육.
- 전략 3: 과학기술 지식 한계확장을 위한 연구 소양.

✓ 포스텍 물리연구단의 산업·사회·과학 문제 해결형 인재 교육의 계획 및 실적

○ 전략 1: 기초연구 주도형 산업 기여 소양 교육

- 기초과학 중심의 산학 프로그램 및 기술 컨설팅 활동 강화.

[계획]

- 기초과학기반 산학과제 프로그램 참여.

- 국제적 경쟁력을 갖춘 기초과학 연구수행에 기반 한 산업체 과제인 '삼성미래기술육성' 과제, 포스코의 기초과학 육성 프로그램 ('Green & Steel Science')등 유치하고, 해당 과제의 대학원생 참여를 통해 기초 연구의 수월성에 바탕을 둔 산업문제 해결 교육.

[실적]

- 삼성미래기술육성재단 연구과제 수행 (총 10건).

- 교수: 오비트로닉스 (2020. 08. ~ 2025. 07.).
- 교수: 초끈 이론을 이용한 완전한 위상 물질 분류법 연구 (2021. 06. ~ 2025. 05.).
- 교수: 차세대 고온초전도체 발굴 (2022. 06 ~ 2027. 05.).
- 교수 : 위상마디선 제어 고성능 자성 반도체 소재 및 소자 개발 (2022. 06 ~ 2025. 11.).
- 교수 : 폴라리톤 보즈-아인슈타인 응축을 이용한 위상양자컴퓨팅 연구 (2022. 12 ~2025. 11.).
- 교수: 그래핀 검출기를 활용한 가벼운 암흑 물질 탐색 (2023. 06. ~ 2026. 05.).
- 교수: 원자 기울기 기반의 신기능성 극성 소재 개발 (2023. 06. ~ 2026. 05.).
- 교수: 극저온 쌍극성 분자들의 적층 페르미 쌍맺음 및 초유체성 연구 (2023. 08. ~ 2025. 08.).
- 교수: 1 nm³ 양자터널 캐비티-스펙트로스코피를 이용한 엑시톤 거동 능동제어 (2023. 12. ~ 2026. 11.).
- 교수: 지속적 플로켓 소자를 이용한 비평형 응집물질 연구 (2024. 06. ~ 2029. 05.).

[계획]

- 미래기술 산학협력 및 산업체 전문가와 교류.

- 삼성전자 또는 삼성종합기술원 등과 진행 중인 미래 기술에 대한 산학협력 프로그램 및 기술 컨설팅을 지속적으로 유지.
- 해당 산업체의 전문가와 산학과제 참여 대학원생 간 교류 증진.

[실적]

- 산학 협력과제 수행 (총 2건).
 - 교수: UV-레이저 및 주사탐침 현미경 기반 CONFOCAL RAMAN 시스템, (협력기관: 삼성전기(주)), 2025. 01. ~ 2025. 12.
 - 교수: TOPOLOGICAL PROPERTY INSPECTION OF MOP, (협력기관: 삼성전자(주)), 2025. 07. ~ 2025. 09.

[계획]

- 대학 '벤처밸리 창업 인큐베이팅 센터 (Incubating Center)' 프로그램에 적극 참여.
 - 기초연구 중심의 기술산업화를 위한 노력을 체계적으로 수행하고 관련 정보 습득 및 연계 활동 추진.

[실적]

- POSTECH 온오프라인 상시 창업 멘토링 프로그램(연중 상시 진행).
 - 선배 기업인 창업 노하우 전수, 비즈니스 모델 코칭 및 투자 유치, 법률 자문.
- 창업 분야 저명인사 초청 강연.

번호	일자	연사	주제
1	2024.09.23		K-스포츠 산업의 진화, 새로운 기회와 도전
2	2024.10.31		AI 대전환 시대의 비즈니스 전략과 마인드셋
3	2024.11.27		레거시 미디어의 미래와 새로운 도전
4	2025.01.22		강남언니, 그 회사의 브랜딩
5	2025.02.21		제타: 하루에 2시간씩 사용하는 AI 엔터테인먼트의 비밀
6	2025.03.26		데이터 기반 의사결정: 시장, 소비자, 경쟁 구도 재정의의 위해 어떻게 쓰여지는가?
7	2025.04.23		Emerging Markets의 게임체인저: 동남아 슈퍼앱의 혁신 전략
8	2025.05.21		디지털경제, 그리고 스테이블코인 : 미래를 설계하는 돈의 진화
9	2025.07.09		AI와 더불어 살기
10	2025.08.06		인공지능과 인간의 노동

- 연구 특허 관련 강의 및 특허 출원 장려.

[계획]

- 특허 등록 과정 소개 강의 상시적 운영 및 특허 출원 장려.
- 특허정보 활용 교육.

[실적]

- 특허 전문가 초청강연 (총 3회).
 - 연사: 변리사(카이 특허법인), 변리사(교연특허법률사무소).
 - 일시: 2024.09.12., 2024.11.06., 2025.06.18.
 - 내용: 특허교육 (특히 기본내용 및 중점 분야별 심화내용), 특허 컨설팅 (신청자에 한하여 특허 문의사항, 특허 전략 등을 상담).

■ 산업체 전문가와 함께하는 교육 프로그램.

[계획]

- 산업체 전문가 초청 콜로кви엄 행사.
 - 일선 산업체에서 활동 중인 전문가를 연사로 초청 첨단과학의 기술산업화에 관한 이해도 고취.
 - 매 학기 최소 1회의 학과 콜로кви엄에 산업체 전문가를 섭외.
- 산업계 전문인력과 연계한 대학원 특론 'Team Teaching' 과목 개설.
 - 산학협력을 진행 중인 산업체의 전문인력이 참여하는 특론 과목을 개설하여 운영.
 - 본 연구단 참여교수가 해당 기술(예: 소자물리)에 대한 기초 부분에 대한 강의를 진행하고, 산업체 전문 인력이 실제 응용과 산업에 대한 부분을 강의.

[실적]

- 없음.

○ 전략 2: 사회로 열린 과학 대중화 소양 교육

■ 과학과 사회 그리고 커뮤니케이션 특강.

[계획]

- 과학기술의 사회적 책임과 대중과의 소통에 대한 공동 강의 (Team Teaching).
 - 참여교수 및 외부 강사를 포함하여 강사진을 구성하고 매주 1회 토론회 강의 진행.
- '내 연구를 소개합니다' 교육프로그램.
 - 본인의 연구 내용과 성과를 비전공자에게 대중의 언어로 소통하는 방식에 대한 교육 프로그램.
 - 매년 대학에서 진행 중인 교내 3분 과학토크대회 '내 연구를 소개합니다'에 적극 참여 유도.

[실적]

- 과학기술에 대한 공동 강의 (Team Teaching)는 현재 개설 준비 중임.
- '내 연구를 소개합니다' 교내 과학토크대회 (2024. 11. 28) 물리학과 대학원생 대상으로 홍보 및 참여 장려함.

■ 과학 대중화 프로그램 참여.

[계획]

- '미리 보는 과학자' 프로그램 (고교생 대상 과학 심화 연구학습 프로그램, 본대학의 '이공계 대탐험' 프로그램 참여).
- '재미있는 물리 시연' 프로그램 참여.
 - 일반인의 과학에 대한 흥미를 높이기 위한 기초 물리실험 시연.
 - 포스텍 물리학과 교수, 학과 실험지원 전문 인력, 지역 초중고 교사 등으로 모임인 'Amusing Physics Club (APC)' 프로그램 진행에 참여.
 - 데모 실험에 대한 아이디어와 시연에 관심이 있는 대학원생의 참여를 유도.

[실적]

- 고교생 대상 이공계학과 대탐험 물리학과 탐방(총 3건).

- 물리학 전공 설명, 질의응답, 실험수행 (2025.01.14.~15., 공학3동 Pcube 및 공학4동 102호)
참여 교수:
- 물리학 전공 설명, 질의응답, 실험수행 (2024.01.21.~22., 공학3동 Pcube 및 공학4동 102호)
참여 교수:
- 물리학 전공 설명, 질의응답, Lab 투어 (2025.07.24,~25., 공학3동 Pcube)
참여 교수:
- 과학고생 대상 물리학과 탐방(총 2건).
 - 교수: 부산일과학고생 대상 대학원생/교수와의 대화(2025. 05. 13, 공학3동 Pcube).
 - 교수: 포항고생 대상 물리학 전공설명, Lab 투어(2025. 07. 17, 공학3동 Pcube).
- 과학고생 대상 특강(총 1건).
 - 2025.05.29., 인천진산과학고생 80명(인솔자 9명) 대상, 참여 교수: 주제: 초전도와 양자의 만남: 미래 기술의 열쇠

○ 전략 3: 과학기술 지식 한계 확장을 위한 연구 소양

- 최첨단 연구주제에 대한 교육 체인 프로그램 개발.
 - [계획]
 - 특정 연구 주제에 대하여 기초에서부터 최첨단 연구 동향까지 수준과 깊이가 다양한 교육 기회를 제공.
 - 동일한 주제에 대해 특론 (1학기) - School (1주) - 튜토리얼 (6시간) - 콜로퀴엄 (1시간) - 세미나 (1시간) 를 조직하고 공지.
 - [실적]
 - 최첨단 연구 주제에 대한 해외석학 강연 14건.
 - 연사: (University of Hamburg) (2024. 09. 30)
 - ◇ Quenched pair breaking by interlayer correlations as a key to superconductivity in $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$
 - 연사: (Sorbonne Universite, CNRS) (2024. 10. 16)
 - ◇ Spectral density of an individual trajectory of an arbitrary Gaussian stochastic process
 - 연사: (Columbia University) (2024. 10. 21)
 - ◇ All-crystalline van der Waals Josephson junctions for enhanced coherence and scalability for superconducting qubits
 - 연사: (University of Glasgow) (2024. 10. 21)
 - ◇ Quantum engineering with coherent superconducting devices and circuits
 - 연사: (Tel-Aviv University) (2024. 10. 23)
 - ◇ Enhanced light-electron interactions via plasmonic metasurfaces
 - 연사: (Tel-Aviv University) (2024. 10. 30)
 - ◇ Optical metasurfaces: A new approach for beam shaping, sensing and authentication
 - 연사: (Stanford University, SLAC) (2024. 11. 04)
 - ◇ Atomic-scale imaging of valence electron motion in solids
 - 연사: (Harvard University) (2024. 11. 29)
 - ◇ Fluxoid-parity-controlled superconducting diode effect and Corbino-Josephson interferometry on an intrinsic topological insulator surface
 - 연사: (Chinese Academy of Sciences) (2025. 01. 17)

- ◇ Theory, prediction and detection for topological and chiral phonons
- 연사: (CNRS, ESPCI) (2025. 06. 16)
- ◇ Transport and thermodynamics in topological magnets
- 연사: (McMaster University, Perimeter Institute) (2025. 06. 26)
- ◇ Antiferromagnetic quantum critical metal and Kondo effect
- 연사: (The University of Texas at Austin) (2025. 08. 11)
- ◇ Chiral light meets chiral quantum materials
- 연사: (National University of Singapore) (2025. 08. 20)
- ◇ Integrated photonic circuits for quantum science and technology
- 연사: (Tokyo University of Science) (2025. 08. 29)
- ◇ Superconducting quantum circuit

■ 융합분야 공동 강의 활성화.

[계획]

- 다양한 전문분야와 학문 분야의 전문가가 동일한 주제에 대해 팀을 이루어 수업을 진행하여, 하나의 연구주제에 대한 다양한 접근방법과 관점을 제시.
- 특강 형식으로 한 가지 연구주제에 대해 물리학과내 다른 전공을 갖는 교수들이 팀을 이루거나 다른 전공의 교수들이 팀을 이루어 수업 진행.
- 예시: 2019년 2학기에 "2차원 물질 물리 특강"을 물리학과와 신소재학과 교수 7명이 팀을 이루어 진행, 향후 물리+신소재, 물리+생명 등으로 확대.

[실적]

- 2차원물질의연구동향: 6명의 교수가 공동 강의 (2024년 2학기).
 - 응집물리실험:
 - 응집물질응용:

■ 당초 계획 대비 실적 분석을 통해 향후 추진계획.

- 기초연구 주도형 산학 협력 교육 프로그램 개발 필요.
 - 기초과학 기반 산학과제에 대한 참여 및 실적은 높았으나 연관된 대학원생 교육 프로그램은 상대적으로 활동이 적음.
 - 산업체 전문인력과 연구단 참여교수가 공동으로 강의하는 Team Teaching 과목 개발 및 개설 필요.
 - 대학의 상시 창업 프로그램 ('Changing Ground')과 학과 특론 세미나로 연계하는 프로그램을 개발하여 창업 및 특허 출원에 대한 이해도 고양.
- 교육 체인 프로그램 및 융합분야 공동 강의 활성화.
 - 사회로 열린 과학 대중화 교육과 과학기술 지식한계 확장을 위한 소양 교육은 시행 첫해임에도 불구하고 다양한 프로그램들을 개발하고 선보였음. 향후 1년 활동을 바탕으로 향후 프로그램의 질을 높이고 주제의 다양화를 시도해보려고 함.
 - 양자, 응집, 및 생물물리 분야에서 여러 학과가 공동으로 참여하는 교육 체인 프로그램 및 공동 강의를 개발하였고, 이를 더욱 확장하고자 함.

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.1 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

<표 2-1> 교육연구단 소속 학과 참여대학원생 확보 및 배출 실적

(단위: 명)

대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사 통합	계
확보 (재학생)	2024년 2학기	1	1	108	110
	2025년 1학기	0	3	116	119
	계	1	4	224	229
배출 (졸업생)	2025년 2월 졸업	2	13		15
	2025년 8월 졸업	1	12		13
	계	3	25		28

2.2 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획 (완료)

우수대학원생 확보 방안 및 계획대비 실적

○ 포스텍 학부생 대상 대학원 연계 진학 지도

■ 다양한 학부생 대상 연구참여 프로그램 활용.

[계획]

- 교내 학부생 연구참여 프로그램 (Undergraduate Research Program) 활용 (최대 200 만원).
- 학과 내 학부 연구참여 프로그램 활용.
 - 학부 연구참여 프로그램을 통해 학사학위 논문 작성 장려 매년 말 졸업 연구발표회 시행.
- 나의 첫 논문 프로그램 운영.
 - 학부생 3, 4학년을 대상, 참여교수가 제시한 주제로 1년 이상 연구 참여: SCI 논문 발표 장려.

[실적]

- 교내 학부생 연구참여 프로그램 상시 참여 모집 중.
- 총 10명의 학부생이 학과 내 학부 연구참여 프로그램 참여.
 - 학부 졸업 연구발표회 개최 및 시상 (매년 12월 중): 최우수상 등 5명 선정 및 시상.
- 총 3명의 학과 학부생이 '나의 첫 논문 프로그램' 참여.

■ 학부-대학원 연계 교육과정 및 홍보행사 진행.

[계획]

- 대학원 세부전공에 대한 정규과목 편성: 학과 내 교수들이 본인 전공분야의 연구 동향 강의.
- 학부-대학원 속진과정 운영: 학부-대학원 연계 단기간에 박사학위를 취득할 수 있는 제도.
- 포스텍 학부생 대상 대학원 설명회.

[실적]

- '물리학연구의 동향' 과목 개설 및 운영: 수강생 총 13명.
- 학부 재학 시 대학원 전공과목 학점 이수 후 대학원 연계 진학으로 학점 인정: 해당 학생 총 3명.

- 대학원 설명회 매년 최소 2회 (4월 & 8월경) 개최: 총 29명 참여 (타대학 학부생 포함).

○ 국내외 타 대학 우수 학부생 대상 탐방 및 홍보

- 타고 학부생 대상 포스텍 물리학과 방문 탐방 프로그램 진행.

[계획]

- 물리학과 Open Lab 실시: 연구실/대학 시설에 대한 탐방 기회 제공 (여비 보조 및 기숙사 제공).
- 'Summer Research Fellowship' 프로그램 실시: 포스텍 물리학과 연구실 활동을 직접 체험.

[실적]

- 대면 Open Lab / Summer Research Fellowship 실시 (2025. 07. 07. ~ 2025. 08. 01).
 - 총 13개 연구실 (BK 참여교수 9명) 참여: 총 28명의 타 대학 학부생 참여 (자대생 4명 포함).

- 대학원 설명회 및 홍보행사 활용.

[계획 및 실적]

- 타 대학 학부생 대상 대학원 설명회 개최.
 - 새로 개편한 대학원생 지원 계획을 적극적으로 홍보 ('우수 대학원생 지원 계획' 참조).
 - 매년 최소 2회 (4월 & 8월경) 개최: 총 29명 참여.

우수대학원생 지원 방안 및 계획대비 실적

○ 건강하고 안정적인 교육·연구 환경 조성

- 'Two-advisor' 제도 신설 (MIT 벤치마킹).

[계획]

- 모든 대학원 신입생에게 교무 지도교수 (Academic Advisor) 배정: 연구 지도교수와 별도로 배정.

[실적]

- BK 참여 정교수 중에서 교무 지도교수 배정: 대학원 신입생 전원 (총 33명)에게 배정 완료.
- 재학생의 경우 박사학위 논문 제안서 심사 후 심사위원 중 선정 (UC Berkeley, Chicago 벤치마킹).

- 개방적인 소통 환경 지원.

[계획]

- 대학원생 주도의 분야별 저널클럽 운영 및 교수-대학원생 간담회 개최.

[실적]

- 대학원생 주도 저널클럽 운영: 응집물질물리, 생물물리/복잡계, 양자/나노광학, 고에너지이론물리 등 4개 분야.
 - 총 40회 진행 및 연간 총 450 ~ 600 만원 지원.

○ 안정적인 교육·연구 환경 지원

- 학업과 연구에 전념할 수 있는 안정적 주거 지원.

[계획 및 실적] 대학원생 희망자 전원 기숙사 배정: 기혼자의 경우, 단독 가구 대학원 아파트 지원

- 교육조교/연구조교 (TA/RA) 장학 제도

[계획]

- 대학원생 전원을 교육조교 (TA) 또는 연구조교 (RA) 장학생으로 등록, 학비와 생활비 지원.
- 대학원혁신팀과 연계, 2021학년도 1학기부터 '대학원생 통합재정지원제도(RA/TA)' 추가 운영.

[실적]

- 대학원생 TA RA 조교 장학금 지원 비율 100%.
- 대학원혁신팀과 연계된 추가 장학금 6명 지원(3개월 간 월 70만원).

■ 대학원 신입생의 안정적인 정착 지원

[실적]

- 대학원 신입생 첫 학기에 학업장려금 지원 (월 35만원 추가지급): 대학원 신입생 총 35명 지원.
- 연구실 탐색 과목 신설 운영: '연구실 순환' 과목 (첫 학기에 1-3개의 연구실 탐색 기회 부여).
수강생 총 23명 (수강생 모두 3개월 간 월 70만원 지원; 대학원혁신사업팀 연계 및 학과 지원).
- 우수대학원생 입학장려 장학금 지급 (2024년 신규): 입학 학기에 1회 100만원 지급.
- 대학원생 생활비 추가 지원 (2024년 신규): 대학원생 생활비 최저 기준 인상 및 추가 생활비 보조.

○ 다양한 국제 연구 활동 지원

- 포스텍 내 국제워크숍 개최 및 대학원생의 발표 장려.

[실적]

- 교내 국제워크숍 개최 2건.
- 학교 3000만원, 학과 500만원 지원 및 외부 지원 [예: 아태이론물리센터] 활용.

워크숍명	주관 기관	기간	호스트
2nd international conference on Quantum Magnetism and Topology	POSTECH, IBS	2025.06.18 - 2025.06.20	
Quantum Materials - Satellite Symposium to STM'25	POSTECH, IBS	2025.06.30 - 2025.07.01	

- 국제학회 참여 및 연구활동 지원 (연구실 당 매년 1 ~ 2명 지원).

[계획]

- 국제적 위상이 있는 학회 및 기관에서 구두 발표 및 단기연구 진행시 지원.

[실적]

- 국제학회 참여 지원 (총 10명) 및 국제연구활동 지원 (총 1명: Advanced Light Source 기관연수).

○ 대학원생의 면학 및 연구장려를 위한 포상 시행

- 융합인재 장학제도 (Fellowship) 신설: 최소 2인의 연구 지도교수 지도를 받음.

[계획]

- 융합연구 연구계획서 심사 후 융합인재를 매년 1-2인 선정: 중간 평가 통해 추가 3년 지원 결정.

[실적]

- 융합인재 펠로우십 1명 (학생) 선발 후 지원 완료 (2021년 9월 ~ 2024년 8월).
- 융합인재 펠로우십 추가 선발 모집 중.

- '1st Paper Award' 제도 시행.

[실적]

- 대학원 입학 후 4년 이내에 주저자로서 SCI(E) 저널에 논문을 게재한 대학원생 포상.
 - 대학원생 총 6명 포상 시행
 - 2024년 2학기: 4명
 - 2025년 1학기: 2명
1. Science advances, Dynamical control of nanoscale electron density in atomically thin n-type semiconductors via nano-electric pulse generator
 2. Nano Letters, Electronically Seamless Domain Wall of Chiral Charge Density Wave in 1T-TiSe2
 3. Physical Review B, Phase stabilization of strained 1-T monolayer IrTe2 by electron-phonon coupling modulation
 4. Nature Communications, Observation of 1/3 fractional quantum Hall physics in balanced large angle twisted bilayer graphene
 5. Nature Nanotechnology, Ferroelastic writing of crystal directions in oxide thin films
 6. Physical Review Letters, Harnessing magnetic octupole Hall effect to induce torque in altermagnets
- 실적에 따른 BK21 성과금 및 각종 포상금 지급.
- [실적]
- 2024년 2학기: 논문, 학술대회 성과에 기반해 대학원생 총 23명에게 인센티브 총 930만원 지급.
 - 2025년 1학기: 논문, 학술대회 성과에 기반해 대학원생 총 22명에게 인센티브 총 538만원 지급.
 - 우수 논문상 (상금 30만원) 및 우수 조교상 (상금 10만원): 각각 총 4명 및 10명 포상.
 - 민병일 응집이론논문상: 없음.
 - 정상욱 응집실험논문상 (상금 100만원): 1명 포상.
 - 창립상 (상금 30만원): 대학원생 총 1명에게 포상.
- 외국인 학생을 위한 지원 프로그램
- [실적]
- 외국인통합지원센터 (ISSS; 2010년 10월 11일 개소) 운영: 외국인 정착지원 및 생활 정보 안내.
 - 대학원 강의 100% 영어 진행. 공문서 및 게시물의 영어혼용 (Bilingual Campus 2010년부터 시행).

2.3 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

〈표 2-2〉 2024년 8월 및 2025년 2월 졸업한 교육연구단 소속 학과 참여대학원생 취(창)업률 실적(단위: 명, %)

구 분		졸업 및 취(창)업현황 (단위: 명, %)						취창업률% (D/C)×100
		졸업자 (G)	비취업자(B)			취(창)업대상자 (C=G-B)	취(창)업자 (D)	
			진학자		입대자			
			국내	국외				
2024년 8월 졸업	석사	2	0	0	0	2	0	64%
	박사	9			0	9	7	
2025년 2월 졸업	석사	2	1	0	0	1	0	73%
	박사	10			0	10	8	

○ 개요

포스텍 물리학과는 소수정예/연구중심 철학 아래 전원 석박사통합과정을 운영하며, 학위 수여자들이 국내외 최고 수준의 연구기관과 전공관련도가 높은 여러 산업계로 진출할 수 있도록 체계적으로 지원해 오고 있음. 그 결과, 전공 적합성이 매우 높은 우수한 취업 성과와 높은 취업률을 지속적으로 달성하고 있음.

○ 2024년 8월 ~ 2025년 2월 졸업자 기준 취업 분석

■ 2024년 8월 및 2025년 2월 졸업자 기준 68%의 취업률.

- 박사학위 취득자 취업률 79% (대상자 19명 중 15명 취업).

– 국내외 대학 및 연구소 연구원 취업 (8명).

– 산업체 취업 (7명).

■ 취업 분석 평가

- 취업 유형과 실적 분석 결과 전공 적합성과 활용도가 높은 분야로 양질의 취업이 이루어지고 있음.
- 이런 긍정적인 측면에 반하여, 취업률이 눈에 띄게 하락하였으며, 취업률을 올릴 수 있는 노력이 요구됨.
- 해외 대학 연구원으로 직접 취업 (1명)하거나 과학기술, 사회경제 발전에 기여도가 높은 전공 관련분야 연구소 (7명) 및 산업체 (7명)로 취업하는 경향이 뚜렷함.
- 포스텍 물리학과의 박사 후 연구원으로 취업하는 비중도 높게 유지되고 있음. 이는 박사 후 연구원 경력을 발판으로 해외 대학 및 연구소 진출을 모색하는 성향이 반영된 결과임.
- 포스텍 물리학과가 추구하는 연구중심 철학이 졸업생들의 전공 연계 취업 경쟁력을 강화하는 데 긍정적인 영향을 미치고 있음.

【 표: 해당기간 박사학위 취득자의 취업기관 】

기간	성명	연구분야	취업 기관
2024년 8월		(생물물리/복잡계)	삼성전자
		(응집이론)	포스텍 박사후연구원
		(양자광학)	포스텍 박사후연구원
		(생물물리/복잡계)	삼성전자
		(양자광학)	삼성전자
		(응집실험)	삼성전자
		(생물물리/복잡계)	삼성전자
		(응집실험)	맥스플랑크한국포스텍연구소 박사후연구원
2025년 2월		(응집실험)	포스텍 박사후연구원
		(플라즈마)	포스텍 박사후연구원
		(응집실험)	맥스플랑크한국포스텍연구소 박사후연구원
		(양자광학)	UC Berkeley 박사후연구원
		(양자광학)	삼성전자
		(응집실험)	포스텍 IBS 박사후연구원
		(양자광학)	삼성전자

○ 학위 취득자 취업기관에 대한 전공 적합성

■ 모든 취업 대상자의 전공 적합성이 매우 높음.

- 2024년 8월 및 2025년 2월 박사학위 취득자의 취업률 79%.

• 국내·외 대학 및 연구소 취업 8명 (42%), 산업체 7명 (삼성전자, 졸업자의 전공분야와 일치하는 첨단분야) (37%), 취업준비 4명.

- 높은 전공 적합성과 관련분야 취업률은 석박통합정책으로 박사학위중심의 학위배출이 이루어진

결과.

■ 박사학위자의 취업 특성 분석 - 학문연구 분야.

- 국내외 대학 및 연구소 진출: 전체 박사학위 취업자 총 19명 중 8명 (42%).
- 학문연구분야로 꾸준한 취업은 국내·외 전임교수로 임용되는 포스텍 물리학과 학위취득자 숫자 증가로 이어지고 있음.
- 국외 대학 및 연구소 박사후연구원 취업: 박사 학위취득자 총 15명 중 3명 (20%).
 - 박사학위 취득 후 짧은 기간 동안 국내 대학·연구소에서 연구원으로 재직 후, 해외 대학·연구소로 이직하는 사례가 많음.
 - 국제공동연구, 국제학술대회 참여를 통한 글로벌 네트워킹 강화와 체계적인 홍보가 성공적으로 이루어지고 있음.
 - 학문 연구분야에서 해외 대학·연구소 취업사례의 꾸준한 증가는 지난 BK21 사업기간 동안 학교 및 물리학과가 추진한 다양한 국제화 노력들의 결실.
 - 박사학위 취득자의 해외 취업 사례: 미국, University of California, Berkeley

■ 박사학위자의 취업 특성 분석 - 산업 분야.

- 국내 산업체 및 산업체 연구소 진출: 전체 박사학위 취업자 총 15명 중 7명 (37%).
- 포스텍 물리학 학위 취득자의 직접적인 산업부문 기여가 꾸준히 이어지고 있음.
- 산업체 취업자 모두 삼성전자 등 전공관련도가 매우 높은 첨단기술 관련 업체에 취업함.

〈표 2-3〉 평가 대상 기간(2024.9.1.-2025.8.31.) 내 졸업한 참여대학원생 중 취(창)업의 질적 우수성

연번	성명	졸업연월	수여 학위 (석사/박사)	학위취득 시 학과(부)명	현 직장(직위)
대표 취(창)업 사례의 우수성					
1		2025.2	박사	물리학과	University of California, Berkeley (박사후연구원)
	- (박사학위 주제) “리튬 나이오베이트와 다이아몬드에서의 고전 및 양자 광자학 연구와 응용”이란 주제로 박사학위 취득.				
	- (박사학위 내용) 학위과정 중 리튬나이오베이트 물질을 이용하여 효율적인 광자 생성 연구 및 다이아몬드에서 포토닉 크리스탈 미러 연구를 수행.				
	- (현재 직장) University of California, Berkeley의 Department of Electrical Engineering and Computer Sciences에 박사 후 연구원 재직.				
	- (현재 연구내용의 전공 적합성) 리튬나이오베이트 기반에서 양자 스퀴징 및 광학 컴퓨팅 기술 개발 및 연구 중.				
2		2024.8	박사	물리학과	삼성전자
	- (박사학위 주제) DNA 결합 단백질의 확산 동역학과 목표 찾기 연구로 박사학위 취득.				
	- (박사학위 내용) DNA 단백질이 특정 염기서열을 찾는 복잡한 확산 동역학에 대한 추계적 이론 개발 및 실제 바이오 시스템에 적용.				
	- (현재 직장) 현삼성전자 DS 부분 Foundry 사업부에서 Staff Engineer (Data Scientist) 재직.				
	- (현재 연구내용의 전공 적합성) 계역학, 공간통계, 데이터사이언스 기반 공정 빅데이터 분석&웨이퍼 불량 분석 방법론 개발 및 서비스.				
평가 대상 기간(2024.9.1.-2025.8.28.) 내 졸업한 참여대학원생 수				석사	3
				박사	19

3. 참여대학원생 연구실적의 우수성

① 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

〈표 2-4〉 평가 대상 기간(2024.9.1.-2025.8.31.) 내 참여대학원생 대표연구업적

연번	학위과정 (석사/박사 /석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	세부전공분야
1	석박사통합		응집물질 물리실험	저널논문	① 참여대학원생저자명:
					② 논문제목: Quantum tunneling high-speed nano-excitonic modulator
					③ 학술지명: Nature Communication
					④ 권(호), 페이지: 15, 8725
					⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 2/2
					⑥ 게재 연월: 2024.10
					⑦ DOI 번호: 10.1038/s41467-024-52813-5
◆ 연구결과, 창의 • 전도성 나노광학 안테나 탐침, 초고분해능 분광 장치, 고속 교류 전압 펄스 발생기를 원자힘 현미경에 결합하여 초고분해능 극초단 펄스 전압 조절기를 개발하였음. 개발한 장비를 활용 2차원 반도체인 MoS₂ 단일층의 전기적 및 광학적 특성을 나노 규모에서 정밀 제어. • MoS₂ 단일층의 전기적 및 광학적 특성을 동시에 측정한 결과, 전자밀도를 조절함에 따라 나노 공간 내 반도체 입자들이 상호 변환됨을 규명하고, 고속 교류 전압 펄스폭에 따른 광발광 세기 측정을 통해 양자 수율 변화 범위를 전압 펄스폭에 따라 조절함. 이론적 모델링을 통해 극초단 펄스 전압에 의해 제어되는 전자 분포가 약 265 nm 반경 내 국한됨을 확인함. • 본 연구는 나노 영역에서 초정밀한 전자 밀도 조절을 가능하게 하여, 양자 시료의 전기적 도핑, 전기적 특성 변화 측정, 광학적 특성 변화 측정을 수행할 수 있도록 함. 이러한 초정밀 전자 밀도 조절 기술은 양자 나노 광전자 소자 개발에 필수적인 요소임. 본 연구에서 개발한 초고분해능 극초단 펄스 전압 조절기를 이용하여 전자 밀도에 따른 양자 물질의 양자 특성이 극명하게 변화함을 측정함으로써, 초미세 광전자 양자 소자의 실현 가능성 제시. ◆ 대학원생 기여 • 학생은 MoS₂ 단일층의 전기적 및 광학적 특성을 동시에 측정하는 실험을 진행하였으며, 전자 밀도 조절을 통해 MoS₂ 나노 공간 내 반도체 입자들의 상호 변환을 규명하는 연구를 주도적으로 수행함. 특히, 인가된 전압의 극성에 따른 MoS₂ 단일층의 광발광 양자 수율 변화와 고속 교류 전압 펄스 폭에 따른 광발광 세기 조절을 실험적으로 분석하였음. 실험 데이터의 정량적 분석을 수행하여, 전압 펄스 폭이 양자 수율 변화에 미치는 영향을 체계적으로 연구하였으며, 이를 통해 전자 분포가 약 265 nm 반경 내에서 제어될 수 있음을 이론적 모델링과 함께 실험적으로 검증하였음. • IF=15.7; mrnIF = 93.28					
2	석박사통합		응집물질 물리실험	저널논문	① 참여대학원생저자명:
					② 논문제목: Origin of the chiral charge density wave in transition-metal dichalcogenide
					③ 학술지명: Nature Physics
					④ 권(호), 페이지: 20(12), 1919-1926
					⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 3/6
					⑥ 게재 연월: 2024.10
					⑦ DOI 번호: 10.1038/s41567-024-02668-w
◆ 연구결과, 창의 • 나선성 특성이 응집물질 내의 전기적 물성에 기인하는 극히 드문 현상은 초전도 현상과 같은 특이한 물성을 매개할 수 있는 가능성을 내포하기 때문이며, 특히 1T-TiSe₂를 비롯한 전이금속 칼코겐화					

	합물에서 나선성 전하밀도파에 대한 간접적 증거가 보고됨. 하지만 직접적인 증거의 미비와 현상을 기술하는 이론의 부재로 나선성 전하밀도파에 대한 갑론을박이 이어짐. • 라만 분광과 비탄성 X선 산란 실험을 통해 1T-TiSe₂의 전하밀도파가 나선성을 가짐을 관측하였으며 나선성을 유발하는 매개 변수가 비자발적으로 다른 매개 변수에 의해 유도되어진다는 증거 제공. • 엄밀한 대칭성 분석을 통해 기존에 알려진 전하밀도파와 구조적 변화가 삼차 상호작용을 통해 나선성을 유도할 수 있음을 제시하였으며, 1T-TiSe₂뿐만이 아닌 넓은 범위의 물질에서 관측되는 대칭성 붕괴 현상을 새로운 측면에서 이해할 수 있는 패러다임을 제시. ◆ 대학원생 기여 • 학생은 1T-TiSe₂ 시료를 합성하였으며, 라만 분광 측정을 통해 해당 물질의 구조 및 전하밀도파가 나선성을 지닌다는 사실을 밝혀내었고, 대칭성 분석을 통해 이 현상의 매커니즘을 제시하였다. • IF=17.6; mrnIF=96.46				
	석박사통합		응집물질물리실험	저널논문	① 참여대학원생저자명: ② 논문제목: Electronically Seamless Domain Wall of Chiral Charge Density Wave in 1T-TiSe₂ ③ 학술지명: Nano Letters ④ 권(호), 페이지: 24(45), 14323-14328 ⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/2 ⑥ 게재 연월: 10/24 ⑦ DOI 번호: 10.1021/acs.nanolett.4c03970
3	◆ 연구결과, 창의 • 1T-TiSe₂ 에서 나타나는 카이랄 전하 밀도파(Chiral Charge Density Wave, CDW)의 도메인 벽(Domain Wall, DW) 구조와 전자적 특성을 분석하였음. • 주사터널링현미경(Scanning tunneling microscopy, STM)과 밀도범함수이론(Density Functional Theory, DFT)를 통해서 CDW가 Se 원자의 C2 대칭 왜곡과 층간 결합에 의해 형성됨을 규명. 또한, 카이랄성이 반전된 전하밀도파의 경계벽을 관측함. • 일반적으로 예상되던 금속성 상태의 카이랄 전하밀도파 경계벽이 존재하지 않음을 확인. ◆ 대학원생 기여 • 학생은 주사터널링현미경을 이용하여 1T-TiSe₂의 카이랄 전하 밀도파에 대한 원자수준으로 표면을 공간적으로 이미징 하여 카이랄성 구조에 대한 실험적인 결과를 얻어냈고, 카이랄 전하 밀도파의 경계벽에서 국소상태밀도 (Local Density of States)를 측정하여 금속성 상태가 존재하지 않는다는 것을 관측하는데 주도적 역할을 수행. • IF=9.1; mrnIF= 88.17				
4	석박사통합		응집물질물리실험	저널논문	① 참여대학원생저자명: ② 논문제목: Dynamical control of nanoscale electron density in atomically thin n-type semiconductors via nano-electric pulse generator ③ 학술지명: Science Advances ④ 권(호), 페이지: 10, eadr0492 ⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 2/2 ⑥ 게재 연월: 2024.11 ⑦ DOI 번호: 10.1126/sciadv.adr049
	◆ 연구결과, 창의 • 금으로 제작된 나노광학 안테나 탐침을 기반으로, 나노스케일에서 전기적 도핑이 가능한 초고속 양자 터널링 광 공진기 개발. 이를 활용 단일층 MoS₂ 내 중성 반도체 입자와 Trion 간 전기적 변환을				

	8MHz의 주파수로 초미세 나노공간에 실현. • 본연구에서 개발한 장비는 반도체 입자의 초고속 능동 변환을 가능하게 하여 실시간으로 변화하는 동역학적 특성과 에너지 변화 등을 실험적으로 검증하였음. • 트라이온을 국소 공간에서 초고속으로 제어할 수 있는 새로운 플랫폼을 제시했기 때문에, 새로운 타입의 초소형 광전 소자 및 양자 정보 소자 개발에 실마리를 제공할 핵심 원천 기술이 될 것으로 기대됨. 또한, 기존에는 불가능했던 반도체 입자의 초고속 나노 거동 제어와 실시간 관찰이 가능해짐에 따라, 변환 과정에서 숨겨져 있던 다양한 물리적 현상들이 규명될 것으로 예상됨. ◆ 대학원생 기여 • 학생은 반도체 입자 간의 전기적 변환을 나노 공간 내에서 실현하였으며, 이를 정량적으로 분석, 초고속 능동 변환이 가능함을 입증하는데 주도적 역할 수행. 반도체 물질의 전자 구조 및 광학적 특성을 초고분해능으로 관찰하는 실험을 수행하여 반도체 입자의 상호 변환 과정에서 발생하는 동역학적 특성과 에너지 변화를 실험적으로 검증하였음. • IF=12.5; mrnIF=91.79				
5	석박사통합		응집물질 물리이론	저널논문	① 참여대학원생저자명:
					② 논문제목: Harnessing magnetic octupole Hall effect to induce torque in altermagnets
					③ 학술지명: Physical Review Letters
					④ 권(호), 페이지: 135(7), 76705
					⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/4
					⑥ 게재 연월: 2025.08
					⑦ DOI 번호: 10.1103/lxxkx-ypbg
					◆ 연구결과, 창의성
					• 기존 궤도 각운동량 에텔스타인 효과에 대한 이론은 원자에 국소화된 각운동량에 의한 기여에 한정되어 있음.
					• 본 연구에서는 타이트 바인딩 모형을 이용하여 전자가 여러 원자를 거쳐 큰 궤도로 회전하며 자화를 발생시키는 새로운 개념의 궤도 각운동량 에텔스타인 효과를 이론적으로 제안함.
					◆ 대학원생 기여
					• 학생은 논문 주제와 연구 방향을 설계하였고, 타이트 바인딩 모형을 이용하여 전자계의 궤도 각운동량을 주도적으로 계산하여 논문을 작성함.
					• IF=9.0; mrnIF=92.92 (google scholar)
6	석박사통합		응집물질 물리이론	저널논문	① 참여대학원생저자명:
					② 논문제목: Phase stabilization of strained 1T monolayer IrTe2 by electron-phonon coupling modulation
					③ 학술지명: Physical Review B
					④ 권(호), 페이지: 111(3), 035416
					⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/2
					⑥ 게재 연월: 2025.01
					⑦ DOI 번호: https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.4c00289
					◆ 연구결과, 창의성
					• 이전 단층 1T-IrTe2 물질을 측정한 실험 결과에서 기판의 종류에 따라 구조적 상이 다르게 나타남.
					• 본 연구에서는 기판에 따른구조의 이방향 변형이 다르다는 관점에서 전자 구조의 변화와 전자-포논 상호작용의 변화가 구조적 안정성에 미치는 영향을 계산 및 분석함.
					• 계산한 결과를 바탕으로 이방향 변형에 따라 전자 구조가 아닌 전자-포논 상호작용이 크게 변하여 구조적 안정성에 영향을 미치는 것을 확인함.

	◆ 대학원생 기여 • 학생은 제일원리 방법론을 통해 단층 1T-IrTe₂ 물질의 전자, 포논의 구조 및 전자-포논 상호작용을 계산하고 구조의 이방성 변형에 따른 구조적 안정성을 밝혀내는데 주도적 역할을 수행. • IF=3.7; mrnIF= 65.05				
	석박사통합		응집물리 이론	저널논문	① 참여대학원생저자명: ② 논문제목: Non-Abelian fractional quantum anomalous Hall states and first Landau level physics of the second moiré band of twisted bilayer MoTe ₂ ③ 학술지명: Physical Review B ④ 권(호), 페이지: 110(16), L161109 ⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 2/2 ⑥ 게재 연월: 2024.10 ⑦ DOI 번호: 10.1103/PhysRevB.110.L161109
7	◆ 연구결과, 창의 • 기존에 twisted bilayer MoTe₂의 첫번째 valence 무아레 밴드를 부분적으로 채우면 lowest Landau level의 fractional quantum Hall (FQH) state가 자기장 없이도 나타나는 일명 fractional Chern insulator (FCI)들이 실험적 관측되고 이론적으로 알려져 있음. • 본 연구에서는 두번째 valence 무아레 밴드가 first Landau level과 유사하며, 그에 따라 절반을 채우면 Moore-Read state 등 non-abelian topological order에 대응하는 FQH가 FCI가 나오는 것을 이론적으로 보임. 일반적으로 n-th Landau level 유사도에 대한 새로운 기준 또한 제시함. ◆ 대학원생 기여 • 학생은 n-th Landau level 유사도에 대한 새로운 기준을 제시했고, 이 기준에 따라 두번째 valence 무아레 밴드가 first Landau level과 유사함을 보임. 또, 절반을 채웠을 때, ED 계산을 통해서 Moore-Read state가 나올 가능성에 대한 수치적 증거를 제시함. • IF=3.7; mrnIF= 65.05				
	석박사통합		응집물질 물리실험	저널논문	① 참여대학원생저자명: ② 논문제목: Flat-Band Electronic Bipolarity in a Janus and Kagome van der Waals Semiconductor Nb ₃ Te ₇ ③ 학술지명: Advanced Materials ④ 권(호), 페이지: 2415045 ⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/8 ⑥ 게재 연월: 2025.01 ⑦ DOI 번호: 10.1002/adma.202415045
8	◆ 연구결과, 창의 • 야누스(Janus) 반데르발스 물질이 차세대 전자 소자와 화학 센서 등에 다양하게 활용될 수 있는 새로운 물질로 제시되고 있으나, 합성 과정의 한계와 물질의 전자 구조의 특성 때문에 균일한 전자적 양극성을 만들기 힘들거나, 반도체적 특성을 유지하지 못하는 문제가 있음. • 본 연구에서는 야누스와 카고메(Kagome) 구조를 동시에 가진 반데르발스 반도체인 Nb₃Te₇를 합성하고, 반도체적 특성을 유지하면서도 면 의존적 전자 양극성이 강한 특성을 최초로 확인함. • ARPES, STS 측정으로 양쪽 면 사이에서 큰 전위 차이를 형성한다는 사실을 이론 계산과 함께 분석하였고, 수송 측정을 통해서 양 면에서 n형, p형 반도체 특성이 각각 나타나는 것을 측정하여, 면 의존적인 전계효과 트랜지스터(FET) 작동이 가능함을 확인함. ◆ 대학원생 기여				

	• 학생은 샘플을 제작하고 수송 측정을 진행하여 면 의존적인 전계효과 트랜지스터 작동을 확인하고, 프로젝트 진행 및 논문 집필에 주도적 역할을 수행. • IF=27.4; mrnIF= 98.04				
	석박사통합		응집물질물리이론	저널논문	① 참여대학원생저자명: ② 논문제목: Observation of 1/3 fractional quantum Hall physics in balanced large angle twisted bilayer graphene ③ 학술지명: Nature Communications ④ 권(호), 페이지: 16(1), 179 ⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/3 ⑥ 게재 연월: 2025.01 ⑦ DOI 번호: 10.1038/s41467-024-55486-2
9	◆ 연구결과, 창의 • 큰 각도로 비틀어진 이중 그래핀은 층 간 간격이 원자 규모에 불과하며 비틀림으로 인한 운동량 불일치로 터널링이 억제되어 강력한 층간 쿨롱 상호 작용이 발생함. • 본 연구에서는 다양한 분수 충전율에서의 변위 전기장에 따른 상전이를 관찰하였으며 각 상이 서로 다른 위상 및 대칭 특성을 가졌음을 보임. • 특히, 층간 전하 밀도가 동일한 조건 하에 충전율 1/3에서 분수 양자 홀 현상을 확인하였으며 해당 상태가 엑시톤 초유체임을 보임. ◆ 대학원생 기여 • 학생은 몬테카를로 시뮬레이션 등 수치 해석 계산을 수행하여 실험을 통해 확인한 분수 양자 홀 상태의 상전이 패턴을 재현하고 각 상태의 위상과 대칭 특성을 이론적으로 제시함. • IF=15.7; mrnIF= 93.28				
	석박사통합		응집물질물리실험	저널논문	① 참여대학원생저자명: ② 논문제목: Ferroelastic writing of crystal directions in oxide thin films ③ 학술지명: Nature Nanotechnology ④ 권(호), 페이지: ⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/6 ⑥ 게재 연월: 2025.06 ⑦ DOI 번호: 10.1038/s41565-025-01950-z
10	◆ 연구결과, 창의 • 복잡한 결정 도메인 구조는 재료 물성의 해석 및 소자 성능을 저해하지만, 이를 결정론적으로 제어할 수 있는 방법이 부재한 상황이었다. 본 논문은 원자힘 현미경 팁에서 발생하는 전단 응력을 통해 산화물 박막의 결정방향을 강탄성적으로 제어하는 새로운 방법을 제시함. • 이를 통해 산화물 박막에서 트윈 도메인 없는 단결정을 구현하고, 더 나아가 자기탄성 결합을 적용하여 국소적인 자기 이방성을 조절함으로써 기능성 자기 텍스처를 기계적으로 기록 및 소거할 수 있음을 실험적으로 보임. • 기계적 힘만으로 구조적 및 자성적 특성을 정밀하게 제어할 수 있는 가능성을 제시한다. 뿐만 아니라, 스핀오빗트로닉스 소자로서 활용 가능성을 보임. ◆ 대학원생 기여 • 학생은 산화물 박막(SrRuO₃, LSMRO)을 성장시키고 소자를 fabrication하였으며, 소자에서 강탄성 라이팅을 통해 트윈 없는 단결정, 스핀트로닉스 소자 등을 구현하였으며, 본 소자의 자기 이방성 조절을 실험적으로 보이기 위하여 Angle-dependent Hall 측정 등을 포함한 다양한 전기 물성 측정 및 SEM(전자주사현미경) 측정을 통해 결정 방향을 시각적으로 형상화함. 또한 자기이방성이 수직적으로 비대칭인 소자를 구현하여 SOT 자성 스위칭 실험을 하여 전력 효율을 계산함.				

	• IF=34.9; mrnIF= 98.47				
11	석박사통합		광학	저널논문	① 참여대학원생저자명:
					② 논문제목: Active Surface-Enhanced Raman Scattering Platform Based on a 2D Material-Flexible Nanotip Array
					③ 학술지명: Biosensors-basel
					④ 권(호), 페이지: 14, 619
					⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/4
					⑥ 게재 연월: 2024.12
					⑦ DOI 번호: 10.3390/bios14120619
◆ 연구결과, 창의 - 표면증강라만분광은 시료의 광학적 특성을 분석하기 용이한 측정 방식임. 하지만 이를 응용하기 위해서는 단순한 방법을 통해 대면적으로 제작 가능한 플랫폼의 개발이 필요함. - 본 연구에서는 표면증강라만분광의 응용을 위해 양극 산화알루미늄 템플릿을 이용하여 대면적 표면 증강라만분광 플랫폼을 제작하였으며 신축성있는 기판을 이용하여 다양한 환경에서의 응용 가능성을 도모함. - 제작한 플랫폼을 이용하여 이차원물질의 라만 신호를 증강시켰으며 기판의 곡률을 제어하여 외부 응력에 따른 시료의 광학적 특성 변화를 증강된 라만 신호를 통해 분석함. ◆ 대학원생 기여 - 학생은 대면적으로 제작 가능한 표면증강라만분광 플랫폼을 직접 제작하였으며 이를 이용한 이차원 구조를 가지는 시료의 라만 측정을 진행하는데 주도적 역할을 수행함. • IF=5.6; mrnIF= 89.74					
12	석박사통합		응집물질 물리실험	저널논문	① 참여대학원생저자명:
					② 논문제목: Deep-learning real-time phase retrieval of imperfect diffraction patterns from X-ray free-electron lasers
					③ 학술지명: npj Computational Materials
					④ 권(호), 페이지: 11, 68
					⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/2
					⑥ 게재 연월: 2025.03
					⑦ DOI 번호: 10.1038/s41524-025-01569-7
◆ 연구결과, 창의 - 엑스선 자유전자 레이저(XFEL)을 활용한 시분해 결맞은 이미징 실험은 2차원 단일 펄스 회절 데이터의 처리와 분석을 위해 많은 시간과 노동력을 필요로 함. - 본 연구에서는 회절 데이터의 특성을 반영한 딥러닝 모델과 비편향 의사난수 회절 데이터 세트 생성 전략을 새롭게 제안하였고, 이를 통해 강한 노이즈와 부분적인 데이터 결손 조건의 단일 펄스 회절 데이터로부터 매우 짧은 시간 내에 실공간 이미지를 추출해내는 것을 성공함. - 이는 기존의 방법들로는 불가능했던, 실제 XFEL을 활용한 실험에서 얻어지는 막대한 양의 회절 데이터의 처리를 가능하게 하는 새로운 기법이며, 나아가 차세대 고반복률 XFEL에 대응할 수 있는 빅데이터 처리 플랫폼으로써 활용할 수 있을 것으로 기대됨. ◆ 대학원생 기여 - 학생은 해당 연구의 핵심 부분인 딥러닝 모델의 개발부터 검증까지 모든 과정을 진행하였으며, 수집된 XFEL 실험 측정 결과를 활용 실제 실험 데이터에서의 검증도 수행함. • IF=11.9; mrnIF= 90.41					
13	석박사통합		응집물질 물리이론	저널논문	① 참여대학원생저자명:

					② 논문제목: Pseudochaotic many-body dynamics as a pseudorandom state generator
					③ 학술지명: Nature Communications
					④ 권(호), 페이지: 16, 6800
					⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/3
					⑥ 게재 연월: 2025.07
					⑦ DOI 번호: 10.1038/s41467-025-62081-6
	◆ 연구결과, 창의 - 양자 상태를 우리가 인지할 수 있는 정보로 변환하기 위해서는 수많은 관측을 해야한다. 각각의 관측마다 상태의 일부 정보를 확률론적으로 주기 때문이다. 그런데 우리가 수행할 수 있는 관측의 수는 현실적으로 제약되어있다. 이러한 이유로 우리는 모든 양자 상태를 완전히 이해할 수 없고, 그 중 비교적 단순한 일부를 인식할 수 있다. - 본 연구에서는 양자 카오스는 아니고 그보다 훨씬 간단하지만 양자 카오스와 제약된 관측 하에서 구분이 불가능한 동역학계를 처음 제안하였고 이를 의사 양자 카오스라 명명하였다. 나아가 의사 양자 카오스를 보이는 동역학계를 체계적으로 만들어내는 방법을 제안하였다. ◆ 대학원생 기여 - 학생은 본 연구 핵심 기여인 의사 양자 카오스 개념을 제안했고 의사 양자 카오스를 보이는 동역학계를 만드는 방법을 고안했다. 또한 학생은 주제 선정, 계획, 수치 계산, 이론 증명을 수행하였고, 주도적으로 논문 작성 및 교정. • IF=15.7; mrnIF= 93.28				
14	석박사통합		응집물질물리실험	저널논문	① 참여대학원생저자명:
					② 논문제목: Recent progress of exciton transport in two-dimensional semiconductors
					③ 학술지명: Nature Communications
					④ 권(호), 페이지: 16, 4861
					⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/3
					⑥ 게재 연월: 2025.05
					⑦ DOI 번호: 10.1038/s41467-025-60219-0
	◆ 연구결과, 창의 - Kagome 금속에서의 전하밀도파(CDW)는 전자-포논 상호작용과 관련된 복잡한 메커니즘으로 인해 그 형성과 동역학을 이해하는 데 한계가 있었음. - 본 연구에서는 femtosecond 시간분해 X선 산란을 통해 Kagome 금속, CsV3Sb5의 CDW 상태에서 Cs 이온의 수직 진동에 해당하는 포논이 절절땀 상태 (frustrated)에 있다는 사실을 세계 최초로 규명하였고, 이를 통해 빛으로 유도된 준안정 (metastable) CDW 상의 형성 과정을 실험적으로 입증하였음. - 이러한 frustrated phonon과 그 해소 과정은 CDW의 형성과 억제 간 경쟁 메커니즘을 이해하는 데 핵심 단서를 제공하며, 향후 고온초전도체 등 다양한 강상관계 물질의 동역학 연구에도 새로운 방향성을 제시함. ◆ 대학원생 기여 - 학생은 시간 분해 엑스선 산란 현상 실험 수행 및 데이터 분석에 주도적인 역할을 하였으며, 논문 작성에 주도적으로 기여함. • IF=15.7; mrnIF= 93.28				
15	석박사통합		응집물질물리실험	저널논문	① 참여대학원생저자명:
					② 논문제목: Tunneling spectroscopy of Andreev bands in multiterminal graphene-based Josephson junctions
					③ 학술지명: Science Advances

					④ 권(호), 페이지: 11(21)	
					⑤ 공동주저자 중 대표업적물 제출 참여대학원생 수: 1/3	
					⑥ 게재 연월: 2025.05	
					⑦ DOI 번호: 10.1126/sciadv.ads0342	
◆ 연구결과, 창의 • 그래핀을 활용한 3단자 조셉슨 접합으로 인공 밴드 구조를 구현하여 2차원 위상 공간 전체를 탐색함. • 해당 밴드 구조가 저에너지 영역에서 선형적 분산 관계를 가짐을 밝혔으며, 위상 전이 현상을 확인하였음. ◆ 대학원생 기여 • 학생은 Scattering matrix formalism과 Random matrix theory를 활용하여 조셉슨 접합에 대한 수치해석 시뮬레이션을 수행하였으며, 인공 밴드 구조가 저에너지 영역에서 반드시 선형적 분산 관계를 가짐을 이론적으로 확인함. • IF=12.5; mrnIF=91.79						
총 참여대학원생 수			석사	0	제출량	15
			박사	3		
			석박사통합	133		
			계	136		

✓ 대학원생 연구 수월성 증진 목표

- 목표 1: 자기주도 연구환경 조성.
- 목표 2: 혁신적 연구동기 부여.
- 목표 3: 연구 소통 능력 강화.

○ 목표 1: 자기주도 연구환경 조성

[계획]

- 대학원생 주도 전문가 초청 세미나 운영
- 국제 학술대회 교내 개최 확대
- 대학원생 주도의 분야별 저널클럽 활성화
- '1st Paper Award' 제도 운영
- 국제학회 발표 대학원생에 참가 여비 지원
- 'BK21 Young Physicist Workshop' 지속 운영
- 학제간, 전공 간 활발한 교류를 통한 통합적 연구역량 강화
- 대학원생의 국제적 연구능력 배양

[실적]

- BK 참여 교수 주관 국제 학술 대회 교내 개최 3건.

학술대회명	주관 기관	기간	호스트
Integrability, Duality and related topics 2024	POSTECH, APCTP	2024.09.29 - 2024.10.06	
29th APCTP Winter School on Fundamental Physics	POSTECH, APCTP	2025.02.10 - 2025.02.14	
2nd international workshop on Quantum Magnetism and Topology	POSTECH, APCTP	2025.06.18 - 2025.06.20	

- 응집물질물리, 생물물리/복잡계, 양자/나노광학, 고에너지이론물리 등 4개 분야별로 매 학기 저널클럽 운영.
- 총 40회 진행 및 연간 총 450 ~ 600 만원 지원.
- ‘1st Paper Award’ 6명 수상.
- 국제학회 발표 참가 대학원생 총 5,326만원 지원 (15건).
- “연구실 순환 (Lab rotation)” 과목 23명 수강.
- 소규모 공동그룹 운영 28건.
- 대학원생 미국 물리학회 등 해외 학회 구두 발표 6건, 포스터 13건.
- 대학원생 해외연수 71건, 국외 파견 6건.

○ 목표 2: 혁신적 연구동기 부여

[계획]

- 박사학위 취득 요건 상향 조정.
- 박사논문 제안심사 일정 단축 독려.
- 수월성에 근거한 속진 프로그램 활성화.
- 우수 논문상 시상.
- 체계화된 연구 인센티브지급 제도 운영.

[실적]

- 졸업 심사 전 국제학회 1회 이상 발표 권고 후 국제학회 발표가 자연스럽게 정착됨.
 - 2024년 2학기 졸업: 10명 중 6명 국제학회 발표 (60%).
 - 2025년 1학기 졸업: 9명 중 8명 국제학회 발표 (89%).
- 박사논문 제안심사 통합 7학기까지 마칠 경우 BK 지원 (2023년 1학기부터 시행).
- 대학원생 우수 논문상 (4명:), 정상욱 응집물리실험 논문상 (1명: 등 총 5명 포상.
- 논문, 학술대회 성과에 기반하여 대학원생 45명에게 인센티브 총 만원 지급.

○ 목표 3: 연구 소통 능력 강화

[계획]

- 논문 작성 및 발표력 향상 프로그램.
- 영어논문작성능력 및 영어발표력 향상 프로그램 운영.

[실적]

- ‘영어논문 작성법’, ‘프레젠테이션 스킬’ 등 연구 역량 강화를 위한 영어과목 개설 및 특강 실시.

참여 대학원생 연구 성과의 우수성

✓ 앞에서 기술한 참여대학원생 연구 증진 활동에 힘입어 참여대학원생은 우수한 연구 성과를 거두었음

○ 참여 대학원생 출간 논문실적의 우수성

- IF 와 mrnIF 로 본 논문의 질적 우수성.
- 아래 표와 같이 지난 1년 간 (‘24. 9. 1. - ’25. 8. 31) 참여 대학원생 출간 총 논문은 31편으로 이중 주저자 논문은 19편의 논문 당 평균 IF는 11.9로 Phys. Rev. Lett.의 2024년 IF 9.0을 뛰어

넘음. 이는 지난해 주저자 논문 당 평균 IF 8.26에서 40% 이상 향상된 결과임.

항목	전체 논문	주저자 논문
논문 수	31	19
논문당 평균 IF	10.7	11.9

- 이들 논문들의 IF 영향력 지수인 mrnIF 평균이 아래 표에서 보듯이 기초연구과제 및 정부 R&D 대비 매우 높음. mrnIF가 JCR category 별 IF 순위를 반영한 지수임을 고려할 때 전체 논문과 주저자 논문 평균 mrnIF는 각각 78.36과 84.22로 이는 국제저명학술지 상위 22%와 16%에 해당할 정도로 우수함. 이는 지난 해 평가시 주저자 논문 당 평균 mmIF 전체 78.06과 비교하여도 질적으로도 향상됨.

항목	포스텍 물리교육연구단		기초연구과제(18)	정부 R&D(18)
	전체 논문	주저자 논문		
논문 수	31	19	27,551	41,143
논문당 평균 mrnIF	78.36	84.22	65.12	63.83

- Q1 저널과 mrnIF 90 이상 (상위 10%) 저널에 실린 논문으로 본 질적 우수성.
- 지난 1년간 출간된 전체 논문의 54.8%, 주저자 논문의 68.4%가 Q1 저널에 게재되었고, 전체 논문의 48.4%, 주저자 논문의 57.9%가 mrnIF 90 이상의 저널에 게재되는 등 참여대학원생의 논문실적이 질적으로 매우 우수함. 이 또한 지난 평가시 주저자 논문 Q1 저널 비중 73.0%에는 다소 못미치나 주저자 논문 mrnIF 90 이상 48.6%에 비해서는 크게 향상됨.

항목	Q1 저널		mrnIF 90 이상 저널	
	논문 수	백분율	논문 수	백분율
전체 논문	17/31	54.8%	15/31	48.4%
주저자 논문	13/19	68.4%	11/19	57.9%

- 환산 보정 ES로 본 논문의 질적 우수성.
- 지난 1년 출간된 환산논문 8.65편, 1편당 환산 보정 ES 는 2.587로 매우 높은 편이며 지난해 1편당 환산 보정 ES 2.226에 비해서도 10%이상 향상됨. JCR category 별 상위 20% 저널의 ES 평균 수치로 나눈 값이 개별 저널의 보정 ES이므로 교육연구단 참여 대학원생 논문이 지난 1년간 상위 20% 이상의 국제저명학술지에 꾸준히 게재되었다는 의미하며, 이는 지지난해 2.022에서 지난해 2.226 로 10% 향상, 올해 2.587로 15% 추가 향상된 결과임.

- 대학원생 연구 수월성 증진 계획 대비 논문 실적.
- 2020 선정 평가 시 계획: 졸업생 중 주저자로 mrnIF 90 이상 학술지 발표자 비율을 현 27%에서 35%로 BK21 FOUR 기간 동안 30% 증가.
- 지난 1년간 박사학위 졸업생 19명 중 주저자로 mrnIF 90 이상 학술지 발표자 수는 10명으로 52.6%로 이는 계획 대비 50% 이상 대학원생 연구 수월성이 증진되었으며, 지난해 비율 44%에 비해서도 20% 향상된 결과임.

○ 참여 대학원생 대표 실적 및 그 상세 내용

- 선정 기준 : 포스텍 물리 교육연구단의 연구인력 양성 목표에 기반하여 참여 대학원생 주저자 기준 수월성 위주로 선정.
- 참여 대학원생이 주저자인 논문 중 mrnIF 90 (Physical Review Letters급) 이상 저널에 게재된 논문 11편, 그외 우수 논문 4편, 총 15편을 선별하였음. 게재된 저널명과 편수는 아래와 같음.

• 주저자 대표 주요 논문 15편

Nature Nanotechnology	1 편
Advanced Materials	1 편
Nature Physics	1 편
Nature Communications	4 편
Physical Review Letters	1 편
Advanced Science	2 편
npj Computational Materials	1 편
Nano Letters	1 편
Biosensors-basel	1 편
Physical Review B	2 편

② 참여대학원생 학술회 대표실적의 우수성

〈표 2-5〉 평가 대상 기간(2024.9.1.-2025.8.31.) 내 참여대학원생 국제 학술회 발표실적 19건

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대 학원생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술회 발표실적 상세내용
1	석박사통합		구두	② 논문제목: Noise-robust quantum communication via hyperentanglement over 40 km deployed fiber ③ 학술회명: Quantum 2025 ④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 2 ⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250520 (토리노, 이탈리아)
2	석박사통합		구두&포스터	② 논문제목: Time-Resolved Single-Particle XFEL Imaging of the Hidden Dormant Phase Mediating Glass Transition in Disordered Matter ③ 학술회명: Gordon research conference (X-ray science) ④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1 ⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250720 (브록턴, 매사추세츠주, 미국)
3	석박사통합		구두	② 논문제목: Pseudo Jahn Teller Effect and Ferroelectric Transitions in Group IV Tellurides ③ 학술회명: APS March Meeting 2025

				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 2
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250319 (미국)
4	석박사통합		구두	① 저자:
				② 논문제목: Phase Stabilization of Strained 1T Monolayer IrTe ₂ by Electron-Phonon Coupling Modulation
				③ 학술대회명: APS March Meeting 2025
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250319 (미국)
5	석박사통합		구두	② 논문제목: Tip-enhanced nano-optical trapping spectroscopy for self-induced strong coupling of a single quantum emitter
				③ 학술대회명: APS Global Physics Summit 2025
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250315 (미국)
6	석박사통합		구두	② 논문제목: Highly integrated optoelectronic memristor in the visible range
				③ 학술대회명: APS Global Physics Summit 2025
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250315 (미국)
7	석박사통합		포스터	① 저자:
				② 논문제목: Orbital Hall conductivity calculation through hybrid functionals
				③ 학술대회명: SPEAR Conference on Spin-Orbitronics & 3 rd Orbitronics Workshop
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250331 (Donostia, 스페인)
8	석박사통합		포스터	② 논문제목: Modern theory calculation of the orbital Hall effect by Wannier interpolation
				③ 학술대회명: SPEAR Conference on Spin-Orbitronics & 3 rd Orbitronics Workshop
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250331 (Donostia, 스페인)
9	석박사통합		포스터	② 논문제목: Raman optical activity in 2D chiral hybrid perovskites: Observation and analysis
				③ 학술대회명: International Conference on Chiral Phonons (CPh 2025)
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250617 (Nanjing, 중국)
10	석박사통합		포스터	② 논문제목: Tip-enhanced Förster resonance energy transfer spectroscopy in atomically thin semiconductors

				③ 학술대회명: Nanophotonics of 2D materials
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20241118 (한국, 서울)
11	석박사통합		포스터	② 논문제목: Weak Value Quantum Metrology beyond Weak Interaction
				③ 학술대회명: Single Photon Workshop
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20241119 (에든버러, 영국)
12	석박사통합		포스터	② 논문제목: Optical and electrical control of nanoscale metal-semiconductor tunnel junction
				③ 학술대회명: The International Conference on Nanophotonics (ICNP 2024)
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20240909 (중국, 선전)
13	석박사통합		포스터	② 논문제목: Ghost imaging with two correlated acoustic beams
				③ 학술대회명: Quantum 2025
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250521 (토리노, 이탈리아)
14	석박사통합		포스터	② 논문제목: Tip-Enhanced Photoluminescence for Enhanced Single-Photon Emission from hBN Defects
				③ 학술대회명: The International Conference on Nanophotonics (ICNP 2024)
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20240909 (중국, 선전)
15	석박사통합		포스터	② 논문제목: Tip-induced nanoplasmonic photocatalysis for water splitting
				③ 학술대회명: TERS9
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 0
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20241103 (브라질)
16	석박사통합		구두	② 논문제목: Formation of bosonic $^{23}\text{Na}^{41}\text{K}$ Feshbach molecules
				③ 학술대회명: 미국 2025년 원자분자광물리학회 (2025 DAMOP)
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 2025년 6월 20일 (미국)
17	석박사통합		구두	② 논문제목: Thermodynamic uncertainty relation for nonequilibrium systems driven by active Ornstein-Uhlenbeck noise
				③ 학술대회명: APS April meeting 2025

				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250316 (애너하임, 미국)
18	석박사통합		구두	① 저자:
				② 논문제목: Active diffusion and barrier crossing in a semi-flexible polymer network
				③ 학술대회명: APS April meeting 2025
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250316 (애너하임, 미국)
19	석박사통합		포스터	① 저자:
				② 논문제목: Inferring bending persistence length of biofilaments using a neural network method
				③ 학술대회명: APS April meeting 2025
				④ 공동주저자 중 발표실적 제출 참여대학원생 수: 1
				⑤ 발표연월 및 장소(도시, 국가): 20250316 (애너하임, 미국)

○ 참여대학원생 학술대회 전체 발표실적 및 대표 실적 요약

- 평가 대상 기간(2024.9.1.-2025.8.31.) 참여대학원생 학술대회 발표실적(<표 2-5> 참고).
- 참여대학원생 총 136명 (석박사통합 133명, 박사 3명, 석사 0명), 학술대회 실적 총 46건 (구두 11건, 포스터 35건).
- 국제 학술대회 발표실적 19건 (구두: 8건, 포스터: 10건, 구두 및 포스터: 1건).
- 대표 연구 업적물 성과.
- 선정기준: 포스텍 물리교육연구단이 연구인력 양성 목표에 기반하여 연구내용의 혁신성과 발표의 우수성 위주로 선정.
- 대표 연구 업적물의 교육연구단 비전과 목표와의 부합성.
- 본 교육연구단의 비전: 탄탄한 기초실력으로 지식의 한계를 확장할 신진과학자 육성.
- 본 교육연구단 연구 목표: '혁신적인 연구', '함께하는 연구', '포스텍 플레그십 연구'.
- 대표업적물의 연구 내용은 모두 '새로운 개념 제시'와 '새로운 현상 최초 구현' 한 경우로, '지식의 한계 확장'이라는 비전과 <혁신적인 연구>라는 본 교육연구단의 연구 목표에 부합함.

- (통합과정).

◇ 발표제목: Noise-robust quantum communication via hyperentanglement over 40 km deployed fiber

◇ 2025년 Quantum2025 (Unione Industriali - Torino)에 발표

(연구결과, 창의성)

· 초엮힘 상태를 이용하여 잡음이 높은 상황에서 양자통신을 수행할 수 있는 방법론을 40 km 실험에서 검증함. 초엮힘 상태의 주파수 엮힘에 frequency-to-time mapping 기술을 적용하여 상관관계가 존재하는 광자쌍만을 후선택함으로써 이러한 잡음에 대한 극복가능성을 보임.

(전공분야기여)

· 양자통신을 수행하기 위해서는 긴 거리를 통해 양자 엮힘을 분배해야함. 그러나 광자가 이동할 때 겪는 잡음, 손실 등으로 인하여 양자 엮힘이 제대로 분배되지 않을 수 있음. 그러나 초엮힘을 이용하여 이러한 잡음이 존재하는 상황에서도 양자 엮힘 및 양자 통신을 수행할 수 있는 방법론이 구현될 수 있음을 보임.

- (통합과정).

◇ 발표제목: Time-Resolved Single-Particle XFEL Imaging of the Hidden Dormant Phase Mediating Glass Transition in Disordered Matter

◇ 2025년 Gordon research conference (X-ray science)에서 발표, Poster Award 수상.

(연구결과, 창의성)

· 단일 펄스 XFEL 이미징을 통해 유리 전이 과정 중 기존에 알려지지 않았던 '잠복 상태(dormant state)'를 최초로 규명함. 이 상태는 입자의 부피 변화 없이 내부 밀도만 재배열되는 단계로, 이미징 없이 직접 관찰이 불가능했던 미시적 구조 변화임. 기존의 연속적 전이 개념을 넘어, 비가시적 구조 재편성이 유리 전이를 매개한다는 새로운 전이 메커니즘을 제시함.

(전공분야기여)

· 단일입자 XFEL 이미징을 통해 비정질 금속의 유리 전이 중 '잠복 상태'를 새롭게 규명함. 이는 기존의 산란 기반 분석과 모델링에 의존해온 유리 전이 연구에, 실험적 시각화를 통한 정량적 해석 가능성을 제시함.

- (통합과정).

◇ 발표제목: Pseudo Jahn Teller Effect and Ferroelectric Transitions in Group IV Tellurides

◇ 2025년 미국 물리학회 발표.

(연구결과, 창의성)

· 분자 구조 변형 이론인 안-텔러 효과를 고체로 확장하여 IV-IV족 화합물의 상변화 현상을 해석함.

(전공분야기여)

· 포논 연성화와 구조 상변화를 수치적으로 계산하고 전자구조적 원인을 규명할 수 있는 이론적 틀을 제시함.

- (통합과정).

◇ 발표제목: Formation of bosonic $^{23}\text{Na}^{41}\text{K}$ Feshbach molecules

◇ 2025년 미국 원자분자광물리학회 (2025 DAMOP) 학술대회에서 발표.

(연구결과, 창의성)

· 약하게 결합된 보존 $^{23}\text{Na}^{41}\text{K}$ 페시바흐 분자들의 극저온 기체를 최초로 생성하고, 수 밀리초 이상의 긴 수명을 관측함. RF 합성 기법을 사용하였으며, 시료 온도, 분자 결합 에너지 등 다양한 변수들에 대한 분자 합성 효율을 탐구하고, 이를 기술하는 기존 이론 모델의 확장을 통해 분자 기체의 비탄성충돌 계수 뿐만 아니라, 분자 기체 시료를 성공적으로 예측해냄.

(전공분야기여)

· 2.7 Debye 수준의 큰 전기 쌍극자 모멘트를 갖는 강하게 결합된 보존 $^{23}\text{Na}^{41}\text{K}$ 바닥준위 분자들의 극저온 기체 생성을 위한 핵심 중간 과정을 성공적으로 보였으며, 앞으로 극저온 쌍극성 보존 $^{23}\text{Na}^{41}\text{K}$ 분자를 활용한 다양한 양자 다체계 및 양자 시뮬레이션 실험을 수행하기 위한 초석을 놓음.

- (통합과정).

◇ 발표제목: Thermodynamic uncertainty relation for nonequilibrium systems driven by active Ornstein-Uhlenbeck noise

◇ 2025년 APS April Meeting에서 구두 발표.

(연구결과, 창의성)

· 비평형 오른슈타인-우렌백 잡음이 작용하는 비평형계에서 열역학적 불확실성 관계(TURs)를 유도

및 탐구하여, 능동 잡음이 전통적인 엔트로피 생성 체계를 변화시키고, 관측 가능한 변동성의 새로운 한계를 설정한다는 점을 규명함. 본 연구는 생물학적 시스템과 연성 물질 내 변동 동역학에 대한 이론적 모델을 향상시키는 데 기여할 것으로 기대되며, 생체 모방 소재, 능동 물질 공학, 에너지 효율적인 나노스케일 시스템 설계와 같은 응용 분야에 기초지식 제공.

(전공분야기여)

· 능동 오른슈타인-우렌백 잡음이 작용하는 비평형계의 열역학적 불확실성 관계(TURs)를 수학적으로 최초 유도함. 열역학 불확실성 관계와 비정상확산 동역학과의 관계를 정량적으로 규명함.

- (통합과정).

◇ 발표제목: Active diffusion and barrier crossing in a semi-flexible polymer network

◇ 2025년 APS April Meeting에서 구두 발표.

(연구결과, 창의성)

· Semi-flexible 폴리머 네트워크 내에서 액티브 입자의 확산을 시뮬레이션으로 정량적으로 구현함. mesh 크기 대비 입자 크기 비율, Péclet 수, 네트워크의 굽힘 강성의 다양한 조건에서 액티브 입자의 확산을 구현하였고, 입자 크기가 메시와 유사할 때 평균 trapped time이 굽힘 강성에 대해 지수 함수 관계를 따르고 그 기울기가 액티브 입자의 활성화에 따라 달라진다는 사실을 발견함. 고전적인 Kramers' 이론을 액티브 입자 시스템에 맞춰 확장한 해석 모델을 제시함으로써, 비평형 상태에서의 장벽 통과 문제를 정량적으로 설명할 수 있는 틀을 마련함.

(전공분야기여)

· 폴리머 네트워크 내 액티브 입자의 비평형 확산 메커니즘을 수치·이론적으로 통합 분석하여 비평형 확산의 정량적 이해에 기여함. 액티브 입자의 Kramers' 이론을 유도하고 비평형 상태에서의 장벽 통과 과정을 입자 활성화도와 네트워크 강성의 상호작용 관점에서 정량화한 최초의 모델을 제시함.

- (통합과정).

◇ 발표제목: Inferring bending persistence length of biofilaments using a neural network method

◇ 2025년 APS April Meeting에서 포스터 발표.

(연구결과, 창의성)

· 생체 고분자의 탄성계수를 고분자를 찍은 이미지 파일을 읽어 유추하는 인공지능 딥러닝 방법론을 개발하고 트레이닝하여 응용 가능한 모델을 설립함. 이 머신러닝 방법론으로 DNA, Actin, Filopodia, 생체 내부의 마이크로튜브 네트워크의 탄성계수를 측정하여 그 특성에 대해 정량적 정보를 제공함. 기존의 측정 방법들이 탄성계수가 고분자의 뼈대에 따라 균일한 경우이거나, 생체 밖으로 꺼내와 실험실 환경에서의 고분자의 물성을 관측하는 데 비하여 머신러닝 방법은 이미지 파일을 통해 non-invasive하게 고분자의 탄성 성질에 대한 정보를 제공함.

(전공분야기여)

· 본 연구에서 제시한 방법론은 생체 필라멘트 탄성 성질의 정량적 이해를 제공할 뿐 아니라 생물학적으로 특정 필라멘트의 역할과 관련된 다양한 단백질들의 특성이나 작용 매커니즘 규명에 필요한 기초 지식을 제공할 것으로 기대됨.

〈표 2-6〉 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 등 실적

연 번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	실적구분	특허, 기술이전, 창업 등 실적 상세내용
1	석박사통합		단독 특허등록	발명자: 발명명칭: 조정된 불화 그래핀을 포함하는 양자 소자 및

			(대한민국)	이의 제조 방법 등록번호: 10-2797353 등록일: 2025-04-14
2	석박사통합		단독 특허등록 (대한민국)	발명자: 발명명칭: 전자 장치 및 그의 동작 방법 등록번호: 10-2781292 등록일: 2025-03-10
3	석박사통합		단독 특허출원 (미국)	발명자: 발명명칭: 군속도 분산 생성 장치 및 이를 이용한 양자 통신 시스템 출원번호: 19/264,727 출원일자: 2025-07-09
4	석박사통합		단독 특허출원 (대한민국)	발명자: 발명명칭: 군속도 분산 생성 장치 및 이를 이용한 양자 통신 시스템 출원번호: 10-2024-0193483 출원일자: 2024-12-23
5	석박사통합		공동 특허출원 (미국)	발명자: 발명명칭: 스핀 궤도 토크 소재, 스핀 궤도 토크 소재의 제조 방법, 및 이를 포함한 자기 메모리 소자 출원번호: 18/962,413 출원일자: 2024-11-27
6	석박사통합		단독 특허출원 (대한민국)	발명자: 발명명칭: 초고속 전도성 광 공진기 출원번호: 10-2024-0143391 출원일자: 2024-10-18
7	석박사통합		단독 특허출원 (미국)	발명자: 발명명칭: 초정밀 전자 밀도 조절기 출원번호: 19/290,631 출원일자: 2025-08-05
8	석박사통합		단독 특허출원 (대한민국)	발명자: 발명명칭: 초정밀 전자 밀도 조절기 출원번호: 10-2024-0143388 출원일자: 2024-10-18
9	석박사통합		단독 특허출원 (미국)	발명자: 발명명칭: 광점유와 광도파로간 결합기, 그리고 이를 포함하는 광 집적회로 출원번호: 19/128,543 출원일자: 2025-05-08
10	석박사통합		단독 특허출원 (PCT)	발명자: 발명명칭: 안드레브 준위 큐비트 소자 및 이의 제조방법 출원번호: PCT/KR2025/007486 출원일자: 2025-05-30
11	석박사통합		단독 특허출원 (대한민국)	발명자: 발명명칭: 안드레브 준위 큐비트 소자 및 이의 제조방법 출원번호: 10-2024-0144494 출원일자: 2024-10-22
12	석박사통합		공동 특허출원 (미국)	발명자: 발명명칭: 다이오드 소자 및 반도체 장치 출원번호: 18/954,931 출원일자: 2024-11-21
총 참여대학원생 수			석사	0
			박사	3

	석박사통합	133
	계	136

③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

○ 포스텍 물리교육연구단 참여대학원생의 평가 기간내의 특허 등록 및 출원 실적

- 평가기간 중 참여 대학원생이 참여한 특허 2건이 등록됨.

(2020.9.1.~2023.2.28. 특허 등록 0건 → 2023.9.1.~2024.8.31. 특허 등록 3건)

- 평가기간 중 참여 대학원생이 참여한 특허 10건이 출원됨.

(2020.9.1.~2023.2.28. 특허 출원 6건 → 2023.9.1.~2024.8.31. 특허 출원 19건)

- 지적재산권 확보를 위한 특허 교육 및 지원의 효과로, 기초과학 연구 성과가 특허로 이어지는 선순환 구조가 정착되고 있음.

- 2023년 이전에는 특허 출원 및 등록 실적이 없었으나, 이후 적극적인 지원과 교육의 결과로 지적재산권 확보 노력이 가시적 성과를 보이고 있음. 특히 평가기간 중 출원된 10건 중 미국 및 국제 특허가 총 6건으로, 특허의 질적 수준 또한 향상된 것으로 평가됨. 앞으로도 이러한 성장세가 지속될 수 있도록 특허 교육과 출원·등록 전 과정에 대한 지원을 강화할 예정임.

4. 신진연구인력 현황 및 실적

〈표 2-7〉 교육연구단 신진연구인력 현황

(단위: 명)

구분	신진연구인력 수		
	평가 대상 기간 내 총 인원 수	총 참여 개월 수	1인당 평균 참여 개월 수
박사후 과정생	5	30	6
계약교수	1	11	11
계	6	41	6.83

① 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적

✓ 우수 신진연구인력 확보 전략

- 전략 1: 플래그십 연구단 주축 적극적 홍보 활동 및 유치.
- 전략 2: 신진연구자 주도형 융복합 연구 지원.
- 전략 3: 연구집중형 환경 보장을 위한 연구단의 제도 확립.

○ 전략 1: 플래그십 연구단 주축 적극적 홍보 활동 및 유치

- 안정된 연구 기반을 활용한 유치 홍보 및 공동 소속 연구원 채용.

[계획]

- 국제적 인지도를 보유한 기관의 인재 유치 시 물리교육연구단 공동 지원 장려.
 - 물리교육연구단 및 아태이론물리센터 (APCTP) 공동 소속 신진연구원 채용.
- 막스플랑크 한국/포스텍 연구소 (MPK), 기초과학연구원 (IBS), 선도연구센터 (SRC)의 경쟁력 있는 연구 기반 홍보, 교육연구단의 신진연구 인력 유치에 활용.
 - 교육연구단의 지원을 통한 신진연구원 추가 채용.

[실적]

- 평가 대상 기간(2024.9.1.-2025.8.31.)내 1명의 연구교수와 3명의 박사후연구원을 물리교육연구단 소속으로 채용하였음.

- 아테이론물리센터 (APCTP), 막스플랑크 한국/포스텍 연구소 (MPK), 기초과학연구원 (IBS) 등과 물리교육연구단 공동 지원을 통한 신진연구인력 확보는 예산 및 규정상의 문제로 큰 진척이 없음.
- 새롭게 시작하는 선도연구센터 (SRC)와 물리교육연구단 공동 지원을 통한 신진연구인력 확보에 관해 논의 중임.

■ 국제학회 및 학술교류 행사를 활용한 적극적 홍보.

[계획]

- 국제학술회의 진행 시 해외 대학원생 발표 장려 포스텍 물리교육연구단 홍보.
- 연중 신진연구인력 풀 및 채용 예정 인원 선조사로 장기적인 계획으로 대체.
- 국내외 연구자 상호 교류 (초청 방문 및 연구자 해외 파견) 시 적극적인 탐색 및 홍보.

[실적]

- 대학원생의 국제학술대회 참여(24건)를 통한 물리교육연구단 홍보를 지속적으로 진행.
- 더 많은 국제학술대회에서 대학원생 발표의 활성화 및 신진연구인력 확보를 위한 홍보활동을 적극적으로 지원할 예정임.

○ 전략 2: 신진연구자 주도형 융복합 연구 지원 (연구 환경 개선 및 기회 확대)

■ 포스텍 물리교육연구단 'POSTECH Young Fellow'제도 운영.

[계획]

- 독창적인 연구내용 및 능력을 보이는 신진연구자를 물리교육연구단 Young Fellow로 선발.
- 정부출연 연구소의 'Star Post-doc'에 상응하는 높은 수준의 연봉 제공.
- 두 명 이상의 연구 지도교수를 선택해서 융복합 연구 활동 권장.
- 본인이 희망하는 경우 전공과 직접 관련된 과목 강의 허용 - 학과 교육위원회 심의.
- 해당 연구 지도교수 및 학생의 동의 시 대학원생 연구 지도 허용.

[실적]

- 평가 대상 기간에 고려한 후보자 중에서 Young Fellowship 해당자 없음.
- 계속해서 경쟁력 있는 후보자 발굴을 위한 노력을 진행하기로 함.

■ 연구자 주도 융복합 연구 장려 및 제도적 보장.

[계획]

- 신진연구자가 융복합 연구를 희망하는 경우 복수의 연구 지도교수 허용.
- 물리교육연구단에서 신진연구자의 연구행정 지원 및 연구 활동비 일부 지원.
- 복수의 연구실이 보유한 연구 시설 및 각종 인프라 활용 보장 - 연구단 관리.

[실적]

- 평가 대상 기간에 융복합 연구를 희망하는 후보자가 없었음.
- 적절한 대상자가 있으면 융복합 연구를 적극적으로 지원하기 위해 노력함.

■ 신진연구자 주도 리더십 양성.

[계획]

- 연구교수의 개별적 연구과제 지원을 적극 권장하고 행정적인 지원 제공.
- 개인 연구과제 수행의 자율성 보장.
- 관련 기관 연구인력과의 공동연구 장려.
- 연구 지도교수 외에 학과 석학교수, 교내의 연구소와 공동연구 장려.

- 교내 연구소: 막스플랑크 한국/포스텍 연구소 (MPK), 아테이론물리센터 (APCTP), 기초과학연구원 (IBS), 포항가속기연구소 (PAL) 등.

• 국제학회 발표 및 학술교류 활동 지원.

- 국제적 수준의 연구 소양과 인적 네트워크를 키우고 최신의 연구 정보를 접하도록 장려.

[실적]

• 평가 대상 기간 동안 관련 실적 없음.

• 계속해서 신진연구자가 주도적으로 리더십을 키울 수 있도록 적극 권장하고 행정 지원을 제공할 예정.

○ 전략 3: 연구집중형 환경 보장을 위한 연구단의 제도 확립

■ 걱정 급여 및 안정된 생활 환경 제공을 통한 건강한 연구 환경 보장.

[계획]

• 포스텍 물리교육연구단에서 제공하는 급여 및 연구 활동비 지원.

• 연구원 전용 숙소 제공 및 Foreign Assistant 제공, 개인 연구활동비 지원.

• 연구 설비와 집기 및 전용 컴퓨터가 갖추어진 사무실 공간 (1인당 면적 9 m²) 제공.

• 연구집중환경 구축을 위해 교육연구단에서 개별 신진연구원 행정 지원.

[실적]

• 박사후연구원 모두에게 전용 사무 공간 제공 중임.

■ 개인의 연구역량 증진 활동 권장.

[계획]

• 대학의 '포스텍 펠로우십' 수혜를 위한 교육연구단의 적극적 유치 활동 - 펠로우십 지원 행정적 지원.

• 체계적인 인센티브 지급 계획 수립.

• 국제 학술회의 논문 발표 권장 - 출장비 지원.

[실적]

• 대학 펠로우십 선정: 2명 박사후연구원

- 사업명: 포스텍 박사후연구원 (PIURI) 펠로우십.

- 펠로우십의 목적: 우수 박사후연구원을 선정해 연구 및 혁신의 유니콘이 될 수 있도록 지원.

- 박사후연구원(지도교수:) 펠로우십 수여 (2023. 03. 01 ~ 2025. 02. 28).

- 박사후연구원(지도교수:) 펠로우십 수여 (2024. 03. 01 ~ 2026. 02. 28).

- 펠로우십 금액: 2년 최대 7,500만원 지원.

• 평가를 통한 체계적인 인센티브 지급.

- 신진 연구 인력의 연구 실적 점수는 논문의 IF, 주저자 여부, 논문상 수상 여부, 언론홍보 여부를 토대로 산출됨.

- 매년 연구업적과 수행능력을 평가하여 급여에 차등 반영.

- 연구 실적을 점수화하여 6개월 이상 재직한 신진 연구 인력 중 연구 실적이 있는 모든 신진 연구 인력에게 연구 실적 점수에 비례하여 인센티브 차등 지급 (0.48만 원~100만 원, 최대 210배차).

- 6개월 이하 재직 또는 연구 실적이 없는 신진 연구 인력에게는 인센티브 지급하지 않음.

- 5차년도(2024.3.1.~2025.02.28.) 신진 연구 인력(5명)에 대해서는 평가를 통해 인센티브 집행.

- 6차년도(2025.3.1.~2026.02.28.) 신진 연구 인력(2명)의 연구 실적 평가 후 인센티브 집행 예정.

• 평가 대상 기간에 국제 학술회의 참가 실적 없음. 추후 국제 학술회의의 논문 발표 적극 권장할 예정.

신진연구인력 지원 제도 계획 및 실적

○ 신진연구인력 확보 목표 설정 및 추진

[계획]

- 신진연구자 채용 계획 수립.
 - 연구교수 1~2명 및 박사 후 연구원 4~5명 유지.
 - 본 교육연구단 예산의 20% 정도를 신진연구인력 지원 예산으로 편성.

[실적]

- 4단계 BK21 신청서 예산 대비 물리교육연구단 예산 삭감 (전국 6개 교육연구단 일괄 24% 삭감), 포스텍 대학원생 장학금 기준 인상 (30만원/월) 및 BK21 물리교육연구단 대학원생 인건비 최소 기준 (60% 이상) 등으로 인해 기존 목표 유지가 불가능해짐.
- 장기적으로 박사후연구원 2명 및 연구교수 1명을 유지하는 것으로 목표를 수정.
- 5차년도(2024.3.1.~2025.2.28.)에는 연구교수 1명, 박사후연구원 5명을 지원하였음.
- 6차년도(2025.3.1.~2026.2.28.)에는 연구교수 1명, 박사후연구원 6명을 지원 중임.
- 자체평가 대상기간(2024.9.1.~2025.8.31.) 동안, 연구교수 1명, 박사후연구원 5명을 지원하였음.

○ 신진연구인력 선발 절차 투명화

■ 공개 채용 절차.

- 매년 1회 정기적으로 공개 채용 절차를 통해 신진연구인력 채용 예정.
- 자체평가 대상 기간 동안 2회 채용 공고 및 채용 진행.
- 채용 전 4주 이상 공고.

· 포스텍 물리학과, 포스텍 물리교육연구단 홈페이지에 채용 공고 게시.

· 채용 공고 네트워크 (PHYS-JOB_KOREA, 하이브레인넷, Physics Today 등 해외 저널 등) 활용.

- 신청 간소화: 인터넷을 통한 간편한 서류 접수.
- 외부 지원자의 편의를 위해 채용 공고 후 서류 마감까지 최소 1개월 이상 유지.

■ 투명한 채용 심사.

- BK21 FOUR 운영위원회에서 신진연구인력 지원 서류 심사.
- 심사 원칙: (i) 수월성, (ii) 포스텍 물리교육연구단 참여교수와의 공동연구 가능성.
- 박사후연구원의 경우 참여 교수별로 추천을 받은 후 연구 실적이 우수한 자를 선발.
- 포스텍 대학원 출신 연구원의 비율이 일정 이하가 되도록 추진 (50%)
- 추천된 대상자는 운영위원회의 심사과정을 거쳐 채용.
- 연구교수의 선발은 포스텍 학칙과 인사규정, 본 물리교육연구단 운영지침에 의거 선발.

○ 인건비 지원 실적

- 박사후연구원: 연봉 45,600 만원 + 4대 보험 + 퇴직금 지원.
- 계약교수: 연봉 54,000 만원 지원 + 4대 보험 + 퇴직금 지원.
- 1차 신진연구인력 선발 (2021.03.~2022.02) 시 박사후연구원 2인 선발.
- 2차 신진연구인력 선발 (2022.03.~2023.02) 시 박사후연구원 4인 선발.
- 3차 신진연구인력 선발 (2023.03.~2024.02) 시 박사후연구원 2인 선발.
- 4차 신진연구인력 선발 (2024.03.~2025.02) 시 박사후연구원 4인 선발.

■ 5차 신진연구인력 선발 (2025.03.~2026.02) 시 박사후연구원 2인 선발.

- 박사후 연구원 (계약기간: 2025.09.~2026.02).
- 박사후 연구원 (계약기간: 2025.10.~2026.02).

■ 자체평가 대상기간 (2024.09.~2025.08) 연구교수 1명, 박사후연구원 5인의 인건비 지원.

- 계약교수 (계약기간: 2024.10.~2026.09).
- 박사후 연구원 (계약기간: 2024.03.~2025.08).
- 박사후 연구원 (계약기간: 2024.03.~2025.02).
- 박사후 연구원 (계약기간: 2024.09.~2025.08).
- 박사후 연구원 (계약기간: 2024.09.~2025.08).
- 박사후 연구원 (계약기간: 2024.09.~2026.08).

○ 성과급 지급 계획

■ 체계화된 성과급 제도 확립.

- 우수 신진연구인력 인센티브 제도에 따라 체계화적으로 성과급지급 예정 (년 1회 최고 200만원).
- 신진연구인력의 연구 실적은 논문의 IF, 주저자 여부, 논문상 수상 여부, 언론홍보 여부로 산출.
- 연구 실적을 점수화하여 6개월 이상 재직한 신진연구인력 중 연구 실적이 있는 모든 신진연구인력에게 연구 실적 점수에 비례하여 인센티브 지급.
- 6개월 이하 재직 또는 연구 실적이 없는 신진연구인력에게는 인센티브 지급하지 않음.
- 자체평가 대상기간 동안 최소 원, 최대 만원 지급.

○ 연구 및 학술활동 지원 실적

■ 막스플랑크 한국/포스텍 연구소 (MPK), 아태이론물리센터 (APCTP), 기초과학연구소 (IBS), 포항 가속기연구소 (PAL) 등 포스텍 인근 국제 연구소와 협동 연구를 통해 국제적 수준의 연구 소양과 인적 네트워크를 키우고 최신 연구정보를 항상 접할 수 있는 기회 제공.

■ 국내·외 우수 대학의 교원, 정부 및 민간 연구소의 연구원으로 진출하도록 적극 도우며 이들과 계속적인 연구협력 관계를 이어 나가도록 지원.

■ 매년 연구업적과 수행능력을 평가하여 급여에 차등 반영.

○ 신진연구인력 활용 실적

■ 박사후연구원.

- 학위: 이학박사 (승실대학교).
- 근무기간: 2024. 03. 01 ~ 2025. 02. 28.
- 공동연구 수행 인력: 교수.
- 공동연구 논문: 주저자로 1편의 논문 발표.

- "Quasi-2D and 3D phase-field simulation studies of polar vortex domain structures for high-density domain engineering," Scientific Reports 14, 27561 (2024.11).

■ 박사후연구원.

- 학위: 이학박사 (Univ of Calcuta, India).
- 근무기간: 2024. 03. 01~2025. 08. 31.
- 공동연구 수행 인력: 교수.
- 공동연구 논문: 주저자로 2편의 논문 발표.

- "Global shift symmetry on an ADM hypersurface: Toward emergent gravity," Physical Review D 110(10), 106002 (2024. 11).

- "Celestial eikonal amplitudes in the near-horizon region," Physical Review D 110(12), 126011 (2024. 11).
■ 박사후연구원. • 학위: 이학박사 (포스텍). • 근무기간: 2024. 09. 01 ~ 2025. 08. 31. • 공동연구 수행 인력: 교수. • 공동연구 논문: 공동저자로 3편의 논문 발표.
■ 박사후연구원. • 학위: 이학박사 (포스텍). • 근무기간: 2024. 09. 01 ~ 2025. 08. 31. • 공동연구 수행 인력: 교수. • 공동연구 논문: 공동저자로 1편의 논문 발표.
■ 박사후연구원. • 학위: 이학박사 (카이스트). • 근무기간: 2024. 09. 01 ~ 2026. 08. 31. • 공동연구 수행 인력: 교수. • 공동연구 논문: 주저자로 1편의 논문 발표.
- "Channel-resolved wavefunctions of transverse magnetic focusing," Communication Physics 7, 418 (2024. 12).
■ 연구교수. • 학위: 이학박사 (서울대). • 근무기간: 2024. 10. 01 ~ 2026. 10. 01. • 공동연구 수행 인력: 교수. • 공동연구 논문: 공동저자로 1편의 논문 발표.

② 우수 신진연구인력의 대표 연구 실적

〈표 2-8〉 평가 대상 기간(2023.9.1.-2024.8.31.) 내 신진연구인력 대표 연구 실적

연번	구분	성명	참여 시작일	실적구분	대표 연구 실적 상세내용
1	박사후 과정생		2024.3.1.	저널논문	
					② 논문제목: Global shift symmetry on ADM hypersurface: Toward emergent gravity
					③ 학술지명: Physical Review D
					④ 권(호), 페이지: 110(10), 106002
					⑤ 게재 연월: 24/11
					⑥ DOI 번호:10.1103/PhysRevD.110.106002
					• 연구결과, 창의성 – 일반적인 중력 이론에 있어 기존에 잘 알려진 고전적인 대칭성을 보존되는 higher rank 전류로부터 Ward identity를 찾음으로써 양자역학적으로 확장하였음.

					- 관련 대칭성의 자발적 깨어짐으로 인해 기존과 다른 전파하지 않고 국소화된 중력파 모드가 ADM hypersurface에서 나타난다는 새로운 해석을 제시함. - (창의성) 기존 잘 알려진 고전적인 대칭성에 대해 양자역학적 확장을 통해 새로운 해석을 제시함. - (비전부합성) Hamiltonian formulation에서 아인슈타인 장방정식으로부터 보존되는 higher rank generalized current를 찾음으로써 기존의 고전적인 대칭성을 양자역학적으로 확장할 수 있는 이론적 틀을 세움. • 신진인력 기여 - 박사는 보존되는 higher rank current를 찾고 Ward identity를 유도하는 데 있어 중요한 역할을 했음. - IF 4.6, citation 1회 (PRD web page).
2	박사후 과정생		2024.3.1.	저널논문	② 논문제목: Celestial eikonal amplitudes in the near horizon region ③ 학술지명: Physical Review D ④ 권(호), 페이지: 110(12), 126011 ⑤ 게재 연월: 24/12 ⑥ DOI 번호:10.1103/PhysRevD.110.126011
					• 연구결과, 창의성 - 슈와르츠실트 블랙홀 호라이즌에서 홀로그래피 이론을 세우고 운동량 공간에서 그래비톤 scattering amplitude를 계산함. - 최근 제안된 celestial field theory 방법론을 바탕으로 앞에서 계산한 그래비톤 scattering amplitude를 주는 듀얼 장이론을 세움. - (창의성) 기존의 celestial 홀로그래피 이론은 1 boundary에서만 제안되었는데 이를 2 asymptotic boundaries가 존재할 경우로 확장함. - (비전부합성) 블랙홀 호라이즌 근처에서의 그래비톤 scattering amplitude를 계산하는 이론적 틀을 제안함으로써 celestial holography 이론을 확장함. • 신진인력 기여 - 박사는 블랙홀 호라이즌 근처에서 그래비톤 scattering amplitude를 계산하는 데 있어 중요한 역할을 수행함. - IF 4.6, citation 2회 (PRD web page).
3	박사후 과정생		2024.9.1.	저널논문	② 논문제목: Channel-resolved wavefunctions of transverse magnetic focusing ③ 학술지명: Communications Physics ④ 권(호), 페이지: 7, 418 ⑤ 게재 연월: 24/12 ⑥ DOI 번호: 10.1038/s42005-024-01902-4
					• 연구결과, 창의성 - 다중채널(multichannel, mc) 양자점접촉(quantum point contact, QPC)을 사용한

	자기집속 효과(transverse magnetic focusing, TMF)를 연구함으로써, 양자수송 시뮬레이션을 도입하여 채널마다의 고유한 특성을 정성적으로 분석. - 주요 결과로, TMF를 이용한 실험에서 mc-QPC과 같은 복잡한 에미터 혹은 컬렉터를 사용하는 경우에도, 단순히 시뮬레이션과 수치적으로 비교를 하는 것을 넘어서 정성적인 이해와 설명이 가능하다는 것을 보였음. - 또한, TMF의 일반적인 해는 알려지지 않았으나, 알려진 부분적 해에 해당하지 않는 near-limit 영역이 존재하는 것 같다는 사실을 실험적, 수치적, 해석적으로 제시. - (창의성) Landauer-Buttiker 식을 자기집속 효과에 적용할 시 생기는 chirality를 이용하면 단계적 singular value decomposition (SVD)을 통해 양자점접촉 채널마다의 파동함수를 얻어낼 수 있음을 보임. 이를 통해 자기집속 효과 스펙트럼에서 나타나는 신호에 정성적인 이해를 부여할 수 있다는 것을 일반적으로 입증. • 신진인력 기여 - 박사는 위 연구를 제시하였으며, SVD를 통해 TMF 파동함수를 얻어내는 방법을 제안 및 유도 해냈으며, 이를 통해 mc-QPC를 이용한 TMF에서의 양자적 효과를 분석해냈음. - 기존 이론 및 실험 분석법이 부재한 영역에서, 실험, 시뮬레이션, 해석적 이론 등을 다양하게 사용하며 TMF 실험에서 양자효과를 특징지을 수 있는 방법론을 제시. - IF 5.4 (2023), citation 1회 (Web of Science).				
	박사후 과정생		2024.3.1.	저널논문	② 논문제목: Quasi-2D and 3D phase-field simulation studies of polar vortex domain structures for high-density domain engineering ③ 학술지명: Scientific Reports ④ 권(호), 페이지: 14, 27561 ⑤ 게재 연월: 24/11 ⑥ DOI 번호: 10.1038/s41598-024-79364-5
4	• 연구결과, 창의성 - 3차원 위상장(phase-field) 시뮬레이션을 통해 기존 Kittel 법칙이 단순한 2D 도메인에서는 성립하나, 실제 3D 극성 소용돌이 구조에서는 결함(dislocation)과 위상 분리로 인해 변형됨을 정량적으로 규명함. - 3D 위상장 시뮬레이션을 통해 극성 소용돌이 도메인의 Kittel 법칙 한계를 규명하고, 위상 분리·결함 기반의 고밀도 도메인 공학 가능성을 제시함 - (창의성) 혼합상(a_1/a_2 -vortex phase)에서의 위상 구속(confinement) 효과를 이용한 고밀도 도메인 설계 가능성을 제시하여, 나노 스케일 전기적 위상제어 연구의 새로운 방향을 제안함 - (비전부합성) 비평형 위상구조의 3D 시뮬레이션 기반 예측-설계-제어 프레임워크를 구축함으로써, 초고밀도 정보소자 및 위상공학(Topological engineering) 분야의 원천 연구를 선도. 실험적 접근이 어려운 극성 와류의 안정성·상전이 메커니즘을 이론적으로 탐색하여, BK 프로그램이 지향하는 ‘창의적 원리 발견 및 신분야 개척형 연구’와 정합됨. • 신진인력 기여 - 박사는 시분해 실험을 통해 활발한 연구를 보이고 있는 위상 결함에 대한 해석을				

돕기 위한 기법개발에 중요한 역할을 했으며, Phase field simulation을 통해 polar vortex의 형성과정을 규명하는 데 기여함. - IF 3.9, citation 0 회 (Google scholar).		
총 신진연구인력 수	박사후과정생	5
	계약교수	1
	계	6

5. 참여교수의 교육역량 대표실적

〈표 2-9〉 교육연구단 참여교수의 교육역량 대표실적

연번	참여 교수명	참여기간 (YYYYMM MDD-Y YYYYMM DD)	연구자등 록번호	세부전공 분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성						
1		2020090 1-2025 0831	1122307 9	응집물리	신규 과목 개설	https://plms.postech.ac.kr (포스텍 구성원만 접속 가능, 필요시 증빙 자료 추후 제출)
	• 융합강의 개발 (교육과정 운영계획 : 학문적 너비를 추구하는 교육기회 제공) • PHYS701A 특론: 양자전자수송(응집물리) (2024년도 2학기) - 양자전자수송은 나노미터 스케일의 고체에서 전기전도 현상을 지배하며, 이는 양자역학과 고체물리의 교차점에 위치한 핵심 연구 주제임. - 본 교과목은 저온 전기수송을 중심으로 양자전자수송의 실험적 관점을 다루며, 반도체, 금속, 2차원 물질 등 다양한 재료에서 전하 운반자의 양자적 성질을 이해하는 것을 목표로 함. - 나노기술, 재료과학, 측정기술 등 실제 실험과 밀접하게 연관된 내용을 함께 다룸. - (우수성) 전자수송의 반고전적 이론부터 산란행렬 접근법, 양자간섭, 단전자 효과, 양자점, 초전도체 및 그래핀 등 최신 연구 주제까지 폭넓게 포괄함. - (우수성) 실험물리 전공 대학원생 및 고체전자공학, 재료물리, 양자소자 연구에 관심 있는 학생들에게 필수적인 기초와 응용 지식을 균형 있게 제공함. - (우수성) 실제 연구에서 사용되는 측정기법과 장비 운용 원리를 포함하여, 이론과 실험의 연계를 강조함. - (교육효과) 나노전자 및 양자소자 분야 연구를 수행하는 대학원생에게 필수적인 기초이론과 분석능력을 배양함. - (교육효과) 다양한 저온양자수송 실험과 최근 연구 동향을 이해함으로써, 학생들이 첨단 양자소자 연구로 진입할 수 있는 기반을 마련함.					
2		2021030 1-2025 0831	10127399	응집물질	교과목 개발	https://plms.postech.ac.kr (포스텍 구성원만 접속 가능, 필요시 증빙 자료 추후 제출)
	• 역진행 방식의 특론 개발 (교육과정 운영계획 : 능동적이고 소통하는 리더교육) • PHYS702A 특론: 2차원물질연구의동향 (2024년도 2학기). - 2차원 물질의 전자기 특성, 격자 또는 전자 구조, 광학 특성, 초전도 특성, 위상 특성 등의 기초적인 원리와 관련 최근 연구결과를 소개. - 응집 물리를 전공하는 BK21 FOUR 참여교수인 물리학과 소속 교수와 신소재 공학과 교수 및 반도체공학과 교수와					

	공동강의. - 2020-2022년의 온라인/오프라인 강의 성과를 바탕으로 역진행(Flipped-learning) 형식으로 진행. 대학원생이 강의 동영상을 미리 학습하고, 수업 시간에는 질의 응답과 심도있는 토론으로 진행함. - (우수성) 물리학과와 신소재학과, 반도체공학과 교수진(6명)이 각 4 강좌씩 돌아가면서 진행하여 다양한 연구주제를 대학원생들에게 소개하고 융합적인 연구에 대한 안목을 기를 수 있는 긍정적인 기회를 제공함. - (우수성) 역진행(Flipped-learning)으로 수업 진행하여 수강 대학원생의 적극적인 질의와 의견 개진 등 자기 주도적 참여와 토론 유도. - (교육효과) 2차원 물질 물리에 대해 기초부터 최근 연구까지 전체적인 이해와 응집물리와 신소재/반도체공학 분야의 융합 연구 경쟁력 강화. - (교육효과) 역진행 수업을 통한 자기주도적인 학습과 연구결과에 대한 토론을 경험함.					
3	20200901-20240831	10084037	가속기물리	교과목 개발	https://plms.postech.ac.kr (포스텍 구성원만 접속 가능, 필요시 증빙 자료 추후 제출)	
	• 첨단 연구주제에 대한 대학원 특론 과목개발 (교육과정 운영계획 : 심화된 전문지식 교육) • PHYS715A 특론: 첨단 엑스선 활용 과학 (2024년도 2학기) - 2020년 이후 Biophysical Journal(ISSN:0006-3495)에 발표된 논문을 선정. - 논문 내용을 학습한 뒤 교수자의 해설 및 학생들 간 토의를 통해 수업 진행. - 최근 이슈가 되고 있는 생물물리학 주제를 이론적, 실험적으로 알아봄. - 막단백질에 의한 지질막 변형, 코로나 바이러스의 세포막 침투 메커니즘, 단백질의 액체-액체 상분리 현상, 이온채널 메커니즘, 세포골격 및 그에 의한 세포의 역학적 특성 등 - (우수성) 생물물리 분야를 선도하는 연구자들이 발표하는 최신 논문들을 살펴봄으로써 관련지식을 습득하고 학계 동향을 살핌. - (우수성) 각 논문의 배경, 접근 방식, 주요 결과, 최종 결론 등을 체계적으로 분석함으로써 논문의 구조를 파악하는 활동에 집중하고, 이를 통해 궁극적으로 논문 작성 요령을 습득할 수 있도록 유도. - (교육효과) 대학원생 각자의 연구 분야와 관련된 주제를 다루어 학습-연구활동의 연계를 모색하고, 더 많은 연구 주제들을 탐색할 수 있는 기회 마련. - (교육효과) 학생 발표와 질문 참여를 독려함으로써 활발한 토의 활동 유도.					
4	20200901-20250831	11885967	응집물리	교과목 개발	https://plms.postech.ac.kr (포스텍 구성원만 접속 가능, 필요시 증빙 자료 추후 제출)	
	• 첨단 연구주제에 대한 대학원 특론 과목개발 (교육과정 운영계획 : 심화된 전문지식 교육) • PHYS702A 특론: 복합산화물과 대칭성 (2024년도 2학기). - 복합산화물의 대칭성을 중심으로, 결정 구조와 전자·자기적 물성 간의 상호작용을 이해하고 최신 연구 동향을 학습하는 대학원 심화 특론. - 최신 논문을 기반으로 한 발표·토론 중심 수업과 연구 과제를 병행하여, 학생이 직접 연구 주제를 분석·발표하며 심화 학습과 비판적 사고를 함양하도록 구성. - (우수성) 복합산화물을 심도 있게 다루는 신규 대학원 특론으로, 물리학과 및					

	신소재공학과 대학원생 모두에게 융합적 학습 기회를 제공. - (우수성) 논문 발표와 토론을 중심으로 한 수업 운영을 통해 학생의 능동적 참여와 연구소통 능력을 강화. - (교육효과) 대칭성 붕괴와 신물질 창출의 연관성을 이해함으로써, 응집물질 연구에 필요한 분석적 사고력과 구조-물성 해석 능력을 배양. - (교육효과) 학생 주도형 발표와 토론 과정을 통해 연구 논리 구성력과 학문적 커뮤니케이션 능력을 실질적으로 향상.
--	--

6. 교육의 국제화 전략

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

교육 프로그램 국제화 계획 및 실적

○ 외국대학과의 복수학위제 현황 및 계획

[계획 및 실적]

- 복수학위제 개설 운영 1건: Hong Kong Univ. of Science and Technology.
- 복수학위제 개설 추진 1건: 대만 National Tsing Hua Univ.

○ 외국 연구소 및 대학과의 인적 교류 현황 및 계획

- 플래그십 기관 중심으로 한 해외전문가와의 교류 확대.

[계획]

- 막스플랑크 한국/포스텍 연구소 (MPK) 및 아테이론물리센터 (APCTP), 기초과학연구원 (IBS), 선도연구센터 (SRC)를 통해 해외 대학 및 연구기관과의 교류 활성화.
- 포스텍 주관 초청 세미나, 국제 워크숍 및 학회 등 정기행사를 개최.

[실적]

- APCTP, IBS 기관과 연계하여, 포스텍 물리학과 교수 주최 국제학회(13건)와 외국연구자 초청 세미나(42건)를 진행하여 온라인 교류를 확대.
- 포스텍 물리학과 주관 세미나 중 해외기관 연구자의 초청 세미나 발표실적 13건.

세미나 제목	주관 기관 / 발표자, 소속	기간	호스트
Quenched Pair Breaking by Interlayer Correlations as a Key to Superconductivity in $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$		2024.09.30	
All-Crystalline van der Waals Josephson Junctions for Enhanced Coherence and Scalability for Superconducting Qubits		2024.10.21	
Quantum Engineering with Coherent Superconducting Devices and Circuits		2024.10.21	
Enhanced light-electron interactions via plasmonic metasurfaces		2024.10.23	
Optical Metasurfaces: a new approach for Beam shaping, Sensing and Authentication		2024.10.30	

Fluxoid-parity-controlled superconducting diode effect and Corbino-Josephson interferometry on an intrinsic topological insulator surface		2024.11.29	
Theory, prediction and detection for topological and chiral phonons		2025.01.17	
Transport and thermodynamics in topological magnets		2025.06.16	
Antiferromagnetic quantum critical metal and Kondo effect		2025.06.26	
Chiral Light Meets Chiral Quantum Materials		2025.08.11	
Integrated Photonic Circuits for Quantum Science and Technology		2025.08.20	
Superconducting quantum circuit		2025.08.20	
2024 APCTP colloquium		2024.09-2024.12	

■ 국제 공동연구를 통한 신진연구자 인적교류 활성화.

[계획]

- 대학원생 해외 파견 (Outbound) 계획 연 7건 이상.
- 초청 (Inbound) 계획 연 3건 이상.

[실적]

- 평가 대상 기간 동안 초청 11건, 파견 11건.
- 신진연구자 초청은 계획 대비 2.7배를 달성하였으나, 대학원생 해외 파견은 계획 대비 1.6배 달성하였음. 이런 수준을 유지할 수 있도록 꾸준히 지원할 예정.

대학원생 또는 신진연구자 이름	외국 연구소명 (국가)	기간	형식
	University of Hamburg (독일)	2024.09.30.-2024.09.30.	초청
	Department of Mechanical Engineering, Columbia Univ. (미국)	2024.10.21	초청
	University of Glasgow (영국)	2024.10.21.-2024.10.22.	초청
	Tel-Aviv University (이스라엘)	2024.10.21.-2024.11.01.	초청
	Harvard University (미국)	2024.11.29.	초청
	Chinese Academy of Sciences (중국)	2025.01.15.-2025.01.18.	초청
	CNRS & ESPCI (프랑스)	2025.06.16.-2025.06.19.	초청
	McMaster University & Perimeter Institute (캐나다)	2025.06.26.-2025.06.27.	초청
	The Univ. of Texas at Austin (미국)	2025.08.11.-2025.08.11.	초청
	National Univ. of Singapore (싱가포르)	2025.08.20.-2025.08.21.	초청
	Tokyo University of Science (일본)	2025.08.20.-2025.08.21.	초청

	MIT LBRC, Oak Ridge National Laboratory (미국)	2024.09.14.-2024.11.30.	파견
	Xiaotian Liu/SUSTech University (중국)	2024.10.31.-2024.11.22.	파견
	New York University (미국)	2024.12.01.~2025.02.28.	파견
	Kyushu University (일본)	2024.12.13.~2025.06.16.	파견
	MIT (미국)	2024.03.15.-2025.02.28.	파견
	Harvard University (미국)	2025.01.15.~2025.03.05.	파견
	USPAS (미국)	2025.01.26.~2025.02.09.	파견
	율리히 연구소 (독일)	2025.02.14.~2025.04.06.	파견
	미국 국립고자기장연구소 (미국)	2025.04.05.~2025.04.20.	파견
	미국 국립고자기장연구소 (미국)	2025.04.05.~2025.04.20.	파견
	National Synchrotron Light Source II (미국)	2025.07.07.~2025.07.23.	파견

■ 캠퍼스 국제화를 위한 인프라 구축.

[계획 및 실적]

- 영어 공용화 (Bilingual) 캠퍼스 (공문서 국/영문 병용). 영어 강의 및 세미나 (현행 100% 유지).
- 포스텍 외국인통합지원센터 운용: 외국인 학생, 연구원에게 행정 서비스 및 비자업무 지원.
- 대학통합포탈시스템 활용: 종합정보시스템 (POVIS) 구축 및 영문 서비스 지원. 외국인 대상 행정지원 전산 서비스 제공.
- 외국인 주거시설 확보: 외국인 학생에 기숙사를 제공.

○ 해외학자(전임교수, 초빙교수, 객원교수 등 포함) 활용 계획 및 역할

■ 해외 석학 활용 계획 및 실적.

[계획]

- 교수 (Rutgers Univ., 미국)의 방문 및 공동 연구 추진.

[실적]

- 논문 - 2건.

참여 교수	논문 제목	논문 정보
	Nanometer-Scale 1D Negative Differential Resistance Channels in Van Der Waals Layers	ADVANCED SCIENCE 12, 2 (2025)
	Weak Ferromagnetism in Altermagnets from Alternating g-Tensor Anisotropy	PHYSICAL REVIEW LETTERS 134, 196703 (2025)

- 공동연구 - 13건.

참여 교수	연구 주제	기간
	시냅스 내 생분자 응집체 연구	202409-202508
	강상관계물질연구	202409-202508
	Tip-enhanced SHG 연구	202412.
	IR s-SNOM 연구	202412.
	3R-MoS2 near-field SHG 연구	202501
	Metasurface nano-imaging 연구	202501
	Tip-enhanced single photon emission 연구	202502

	3R-MoS2 near-field SHG 연구	202505
	Tip-enhanced PL of TMD/ferro hetero 연구	202505
	IR s-SNOM 연구	202507
	Diffusing diffusivity model의 self-averaging 성질	202410-202508
	Active trap model의 동역학 특성	202404-202508
	DICTY cell의 migration 동역학에 대한 머신러닝 분석 연구	202401-202508

■ 단기방문 해외 석학 활용 및 계획.

[계획]

- 온라인 세미나: ZOOM을 활용한 해외학자 초청 세미나 실시.
 - 학과 석학교수 특별 세미나 개최: 년 1회 이상.
 - 학과 외국인 겸직교수의 학과 콜로퀴엄 강연: 매 학기 1명 이상.
 - 온라인 세미나를 적극 활용하여, 월 3건 이상의 해외학자 세미나가 이루어질 수 있도록 추진.

[실적]

- 해외 석학 초청 강연 목록(총 9건).

세미나 제목	발표자, 소속	날짜
Quantum Engineering with Coherent Superconducting Devices and Circuits		20241021
Enhanced light-electron interactions via plasmonic metasurfaces		20241023
Optical Metasurfaces: a new approach for Beam shaping, Sensing and Authentication		20241030
Fluxoid-parity-controlled superconducting diode effect and Corbino-Josephson interferometry on an intrinsic topological insulator surface		20241129
Theory, prediction and detection for topological and chiral phonons		20250117
Transport and thermodynamics in topological magnets		20250616
Antiferromagnetic quantum critical metal and Kondo effect		20250626
Integrated Photonic Circuits for Quantum Science and Technology		20250820
Superconducting quantum circuit		20250820

○ 우수 외국인 학생 유치 현황 및 계획

■ 외국인 대학원생 현황.

[실적] 신입생 1명

■ 외국인 학생 대상 우수 학생 유치 활동.

[계획]

- 우수 외국인 교비 장학 프로그램 (PFFES) 및 포스코 아시아 펠로우십 활용.
- 해외대학 방문 및 홍보, 국제공동연구 활성화, 교내 국제화 인프라 향상을 통하여 외국인 대학원

생 비율을 3% 수준 유지 및 학위의 진로 선정의 우수성 제고.

- 외국인 대학원 신입생 특별 장학금 지급.
 - 유학 생활의 조기정착을 위해 입학 첫 학기에 인당 150 만원 이내 장학금 지원.
- 오리엔테이션 및 문화 프로그램 지원.
 - 개강 1주 전 오리엔테이션 주간 운영. 대학생활 및 포항/경주 문화 환경 등의 정보제공 프로그램.
 - 외국학생, 연구자 가족 동반 야유회, 학교 축제 기간 'International Food Booth' 운영, 설/추석/연말 외국인 학생 초청 파티 개최.

[실적]

- 최근 포스텍-인도네시아 인턴십 프로그램을 새로 시작하는 등 다양한 활동이 시작되고 있음.
- 포스텍-인도네시아 인턴십 프로그램 개시: 인도네시아 최우수 대학인 University of Indonesia 와 Institut Teknologi Bandung의 물리학과 학부생들에게 POSTECH 물리학과에서의 연구참여 기회를 제공하여 해외 우수대학과의 교류를 통해 학과 및 대학의 글로벌화를 촉진하고 인적 네트워크 구축을 유도하고 글로벌 과학기술 인재를 양성하는 기회. 2025.06.30.~08.22의 일정으로 총 20명의 University of Indonesia와 Institut Teknologi Bandung 학부생들이 포항공과대학교의 선진연구 시설에서의 연구를 경험. 포항공과대학교 대학원생은 외국 학생과의 직접적인 공동 연구 기회를 통해 글로벌 네트워크를 구축하는 뜻깊은 기회였으며, 추후 인도네시아 최고 학부 학생의 포스텍 입학으로 이어질 것을 기대함.

② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 계획

〈표 2-10〉 참여대학원생 국제공동연구 실적

연 번	공동연구 참여자			상대국/소속기관	연구주제	연구기간 (YYYYMM-YY YYMM)
	교육연구단		국외 공동연구자			
	참여 대학원 생	지도교수				
1				중국/Xiaotian Liu/SUSTech University	다양한 단백질 발현 시스템에서의 신경단백질 정제 기술 학습을 통한 단백질기술 연구	202410-202411
2				미국/New York University	고체 스핀 양자 얽힘 연구	202412-202502
3				독일/올리히 연구소	현대 이론을 기반으로 한 오비트로닉스 관련 이론 연구	202502-202504
4				독일/Johannes Gutenberg University Mainz	Berry 곡률 기반 궤도 각운동량 계산 기법 정립 연구	202502-202504
5				미국/국립고자기장연구소	극저온 고압 회전 고자기장 자기전도 실험	202504-202504
6				미국/국립고자기장연구소	극저온 고압 회전 고자기장 자기전도 실험	202504-202504
7				미국/W. M. Keck Computational Materials Theory Center, CSUN	Anomalous phonon transport	202411-202510
8				미국/Harvard University	비틀린 삼중층 그래핀 적층 기법 습득	202501-202503
9				European Synchrotron	Resonant inelastic x-ray scattering studies on	202504-202604

				Radiation Facility	iridates	
10				미국/National Synchrotron Light Source II	비탄성 X선 산란을 이용한 1T-TiSe ₂ 의 포논 동역학 연구	202507-202507

○ 국제 공동연구를 위한 장/단기 학생 파견 및 연수

[계획]

- 해외연수 활성화를 위해 해외 연구소 장기 연수를 학점 인정 과목으로 편성.
- 대학원생 해외연수를 통한 인적 네트워크를 활용하여 해외 우수대학 및 연구소 진로지도.

[실적]

- 2024.09.01~2025.08.31 중 총 10건의 대학원생 장/단기 파견을 통한 공동연구 수행 (표 2-10 참고).
- 같은 기간, 장/단기 파견 뿐만 아니라 온라인을 통한 국제공동연구 활성화를 통해 10편의 국제 공동 연구 논문을 게재함. 아래에는 대표실적 5건을 기재함.
- 박사논문연구 교과목(PHYS899) 등을 통해 해외 장기연수의 학점 이수 허용 중.

○ 국제 공동연구 대표 논문실적 5편

1. (참여학생)

(논문 정보) Nature Physics 20, 1919-1926 (2024)

(논문 제목) Origin of the chiral charge density wave in transition-metal dichalcogenide

(공동연구자)

(협력 기관/국가) USA/Argonne National Laboratory, Japan/Japan Synchrotron Radiation Research Institute, Germany/Karlsruhe Institute of Technology

2. (참여학생)

(논문 정보) Nature Communications 15, 8725 (2024)

(논문 제목) Quantum tunneling high-speed nano-excitonic modulator

(공동연구자)

(협력 기관/국가) Russia/ITMO University

3. (참여학생)

(논문 정보) Nature Communications 16, 4861 (2025)

(논문 제목) Frustrated phonon with charge density wave in vanadium Kagome metal

(공동연구자)

(협력 기관/국가) Germany/Max Planck Institute for the Structure and Dynamics of Matter

4. (참여학생)

(논문 정보) Nature Nanotechnology 20, 1199-1204 (2025)

(논문 제목) Ferroelastic writing of crystal directions in oxide thin films

(공동연구자)

(협력 기관/국가) UK/University of Warwick, China/HFIPS, China/University of Science and Technology of China, Austria/TU Wien, China/Northwest University

5. (참여학생)

(논문 정보) Physical Review Letters 135, 76705 (2025)

(논문 제목) Harnessing magnetic octupole Hall effect to induce torque in altermagnets

(공동연구자)

(협력 기관/국가) Sweden/Uppsala University

○ 향후 대학원생의 국제 공동연구를 위한 장/단기 해외파견 추진계획

■ 대학원생의 해외파견 및 방문연구를 총 6건 계획 중.

1. (참여대학원생)

(공동연구자/협력기관)

(연구) Near-field spectroscopy for quantum materials

2. (참여대학원생)

(공동연구자/협력기관)

(연구) Near-field spectroscopy for quantum materials

3. (참여대학원생)

(공동연구자/협력기관)

(연구) 극저온 고주파 측정 기법 습득

4. (참여대학원생)

(공동연구자/협력기관)

(연구) 극저온 고주파 측정 기법 습득

5. (참여대학원생)

(공동연구자/협력기관)

(연구) 준2차원 반강자성체 고압/고자기장 각자기저항 진동 현상 관측

6. (참여대학원생)

(공동연구자/협력기관)

(연구) 위상 자성체 고자기장 양자상전이 관측

○ 국제 공동연구를 위한 연구비 수주 및 연구자 교류 실적

■ 교육연구단 참여교수 모두 국제 공동연구 및 인적 자원 교류를 매우 활발히 진행함.

■ 대상 기간 총 3건의 국제 공동연구 과제 수주.

- 교수: Harvard University/MIT/CQT, POSTECH 양자글로벌파트너십 선도대학 (2025 ~ 2029).

- 교수: 독일 막스플랑크 협회, 국제 막스플랑크 파트너 연구센터 (2026 ~ 2030).

- 교수: Harvard University/ETHZ, 광집계 분자 합성 기반 쌍극성 분자 양자컴퓨팅 플랫폼 개발 (2023 ~ 2028).

□ 연구역량 대표 우수성과

○ 참여교수 논문실적

해당 기간 총 논문 편수는 80편이며 이중 절반가량(41편)이 PRD급 이상(IF 4.6)의 논문으로 질적으로 매우 우수한 실적을 달성했다. 이는 포항공과대학교 물리학과가 추구하는 논문의 질적 우수성이라는 목표와 부합하는 결과라고 할 수 있다. 본 사업단 교수가 주저자인 PRL급 이상(IF 8.1)의 논문은 Nature 주요 자매지 급 6편을 포함하여 총 26편이다.

○ 대표 우수성과 ([] : BK 참여대학원생 & ____ : 사업단 참여교수).

(1) *Origin of the chiral charge density wave in transition metal dichalcogenide*, Nat. Phys. 20, 1919 (2024)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본개념 및 연구 배경)

-카이랄성은 아원자 입자, 분자, 생명체 등 다양한 계에서 거울 대칭성이 깨지는 현상을 일컫음. 대표적으로 DNA와 RNA는 오른손으로 감기는 구조를 갖음. 하지만, 이에 대한 원리는 알려지지 않음.
-최근에, 저차원 응집물질계에서 흔히 발견되는 전하밀도파에 의해 카이랄성이 나타날 수 있다는 이론적, 실험적 근거가 제시됨. 이는 카이랄성이 나타나는 메커니즘을 탐구할 수 있게 해주는 새로운 플랫폼으로서 의미를 가짐.

(기존 연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

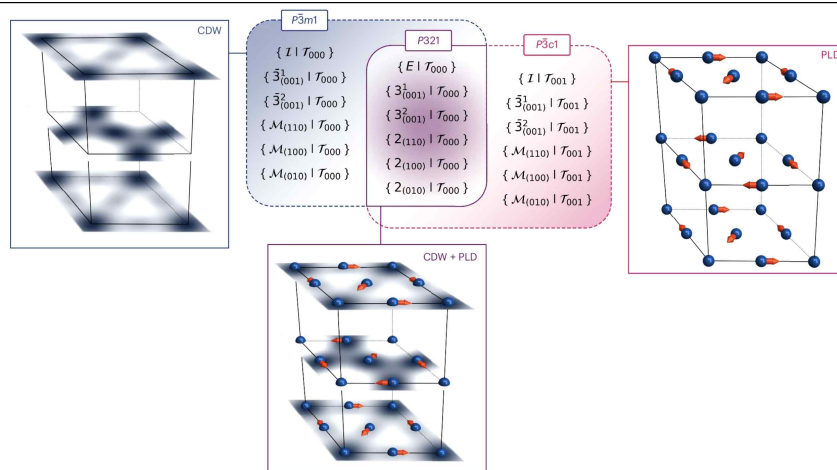
-기존 연구에서는 응집물질의 대칭성을 공간군 수준에서 엄밀하게 분석한 결과가 많지 않았음.
-본 연구에서는 엄밀한 군론 분석을 바탕으로 상전이에서 일어나는 전하밀도의 변화와 이에 반드시 수반되는 격자뒤틀림의 대칭성이 서로 다를 수 있음을 지적하고, 이에 의해 또다른 격자뒤틀림이 유도되는 과정을 포착함.

(연구결과)

-본 연구에서는 카이랄성이 어떻게 자발적으로 생기는지에 대한 가설을 제시하고 라만 산란과 비탄성 X-선 산란을 이용하여 격자 진동을 측정/분석하여 가설을 뒷받침함.
-응집물질이 가지는 병진 대칭성을 제외한 모든 대칭성이 어떻게 한 번의 2차 상전이로 사라질 수 있는지 밝혀냄.

(의의 및 기대효과)

- 응집물질계에서 존재하는 카이랄성의 생성 원리를 밝혀냄으로써 이를 활용할 수 있는 돌파구를 마련함.
- 카이랄성을 제어할 수 있게되면 여러 가지 다양한 물성을 스위칭하여 소자로 만들 수 있는 가능성이 있음.



전하밀도파 물질 1T-TiSe₂에서 전하밀도파(CDW)와 격자뒤틀림(PLD)의 대칭성 분석

전하밀도가 변하면 이온들이 이에 반응하여 위치가 변하게 되는데, 이 둘 사이의 대칭성이 꼭 같지 않음을 보여주는 도표이다. 계 전체적으로 봤을 때는 공통되는 대칭요소만 살아남게 되고, 결과적으로 전하밀도나 격자뒤틀림 둘 다 카이랄성을 띄지 않더라도 계가 카이랄성을 띌 수 있다.

(비고)

- 본 연구단의 참여교수() 및 국내외 연구진과의 공동연구 성과임.

(2) *Mode-resolved, non-local electron-phonon coupling in two-dimensional spectroscopy*, Nat. Phys. 21, 953 (2025)

사업단 참여교수:

(기본개념 및 연구 배경)

- 전자-포논 커플링은 고체 내 가장 기본적인 미시 상호작용이며 대부분의 고체 물성 및 양자 물질의 특이 물성을 좌우하는 물리량임.
- 내재적인 복잡성으로 인해 주로 이론적인 물리량으로 다루어져 왔고, 각각의 구성 요소 값을 측정할 수 있는 실험 방법은 존재하지 않음.

(기존 연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

- 기존의 실험법들을 통해서는 모든 포논의 기여도 뿐 아니라 전자 간 상호작용의 효과가 더해진 유효 전자-포논 커플링 세기를 도출하거나, 특정 포논을 분리하되 모든 전자 레벨의 기여도가 더해진 유효 커플링 세기를 도출하는 것만이 가능했음
- 이론적인 계산이 가능하나 그 과정 및 결과를 검증해줄 수 있는 실험 결과가 부재함.
- 본 연구에서는 2차원 분광법을 새롭게 디자인하여 특정 포논과 특정 전자 전이 에너지에 따른 기여도를 각각 분리하여 직접 측정이 가능하게 함.

(연구결과)

- 본 연구에서는 특정 포논 모드에서 전자-포논 상호작용 세기가 전자 모멘텀에 따라 변화하는 패턴을 세계 최초로 이론적 모델링 없이 직접 측정함.

- Holstein 타입의 전자-포논 상호작용과 Su-Schrieffer-Heeger 타입의 전자-포논 상호작용을 직접 구분할 수 있는 독창적인 실험 접근법임을 보임.

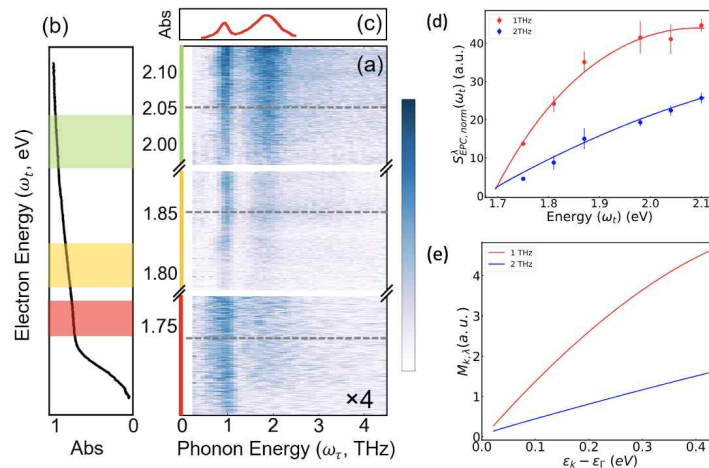
(의의 및 기대효과)

- 전자-포논 상호작용의 메커니즘을 각 구성 요소별로 구분하고 고온 초전도성 등의 특이 현상과 직접 매치할 수 있는 유일한 실험 접근법이라고 생각됨.

- 전자 특성을 초고속으로 제어할 수 있는 포논 채널을 특정함으로 향후 포논 기반 시분해 물성 제어에 중요한 기여를 할 것으로 기대됨.

(비고)

- 해외 연구진과의 공동연구 성과임.



2차원 전자-포논 상호작용 분광 스펙트럼 및 모드 별, 에너지 별 상호작용 세기

개념 증명 실험에 활용된 메틸 암모늄 납 요오드 페로브스카이트 반도체의 상온에서 측정된 (a) 2차원 전자-포논 상호작용 스펙트럼과 (b, c) 1차원 전자, 포논 흡수 스펙트럼. (d, e) 본 연구를 통하여 특정 포논 모드에 대해서 전자 전이 에너지에 따라 전자-포논 상호작용 세기가 증가하는 것을 최초로 보였고, 이와 같은 현상은 Holstein 타입의 전자-포논 커플링이 아닌 Su-Schrieffer-Heeger 타입의 전자-포논 커플링에 기인한 것임을 밝혔다.

(3) *Ferroelastic writing of crystal directions in oxide thin films*, Nat. Nanotechnol. 20, 1199 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

-물질에서 국소적인 결정 방향 이질성은 물질 특성의 이해 및 응용 측면에서의 기능성 및 신뢰성 또한 저해함.

-기계적 응력이 작용할 때 쌍정 강탄성 도메인이 발생한다. 이는 구조적 이질성을 초래하며, 물질의 비등방성에 영향을 미치고, 도메인 벽과 같은 이차원 위상 결함 등이 나타남.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

-복잡한 결정 방향 구조를 가지는 물질의 국소적 이질성을 결정론적으로 제어하는 방법이 부족한 상황임.

-기존 연구에서는 강탄성 도메인의 제어가 강유전체 물질로 제한되어 있었지만, 본 연구는 강탄성을가지는 물질 전반으로 그 범위를 확대함.

(연구결과)

-페로브스카이트 산화물 박막 SrRuO_3 및 $(\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3})(\text{Mn}_{0.9}\text{Ru}_{0.1})\text{O}_3$ 에서 AFM 팁에서 발생하는 국소적 응력을 통해 국소적인 결정론적 및 가역적으로 강탄성 도메인의 방향을 평면 및 깊이 방향으로 제어함.

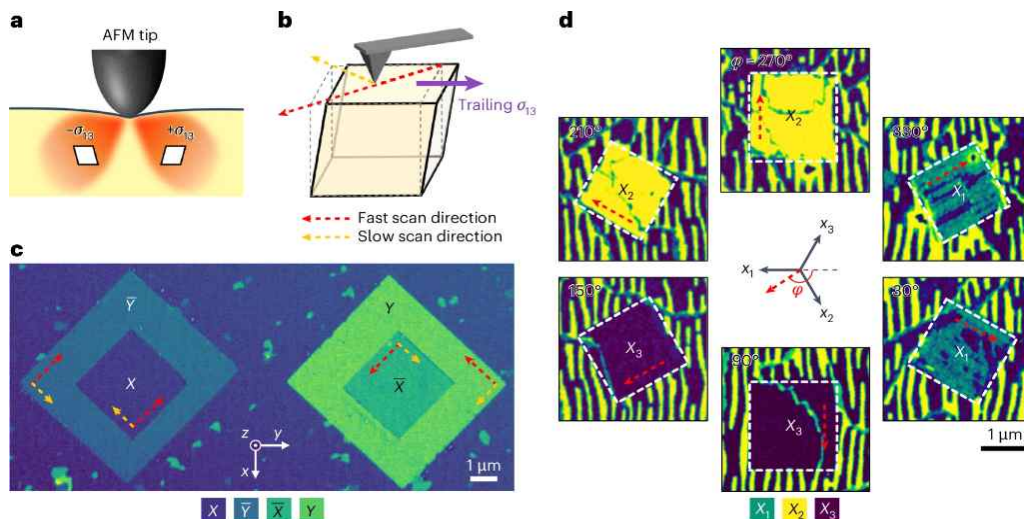
-강자성 물질에서 자기탄성 결합을 통해, 강탄성 도메인을 제어함으로써 다양한 자기 텍스처를 조작할 수 있다. 수십 나노 단위의 정밀성을 가지는 자기 텍스처를 MFM으로 측정하였으며, 깊이 방향으로 상이한 자기 이방성을 가지는 소자를 만들어 스핀-오빗트로닉스 소자로의 효용을 보였음.

(의의 및 기대효과)

-다양한 물질군에 적용되는 강탄성 도메인 및 결정 방향을 3차원적으로 결정론적으로 제어할 수 있는 새로운 방법론을 제시함.

-자기탄성 결합을 통해 나노 자기 텍스처를 구현하고, 스핀-오빗트로닉스 소자에서의 활용성을 보임.

-AFM 팁을 통한 강탄성 도메인 제어를 통해, 도메인 벽 사이에 발생하는 현상, 혹은 서로 다른 결정 쌍정 도메인 사이에서 발생하는 물리 현상 등을 보다 자유롭게 관측할 수 있을 것으로 예상됨.



강자성 물질의 자기탄성 결합을 통한 강탄성 도메인 제어

강자성 물질에서 자기탄성 결합을 통해, 강탄성 도메인을 제어함으로써 다양한 자기 텍스처를 조작할 수 있다. 수십 나노 단위의 정밀성을 가지는 자기 텍스처를 MFM으로 측정하였으며, 깊이 방향으로 상이한 자기 이방성을 가지는 소자를 만들어 스핀-오빗트로닉스 소자로의 효용을 보였다.

(4) *Flat-Band Electronic Bipolarity in a Janus and Kagome van der Waals Semiconductor Nb₃TeI₇*, Adv. Mater. 37, 264 (2024)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

- 야누스(Janus) 2D 물질은 위·아래 면의 화학 조성이 달라 면(面) 의존적 전하 비대칭과 내부 전기장을 만들 수 있어, 촉매·광전자·스핀전자 응용에 유망한 물질임.
- 자연계에 존재하는 야누스 물질은 매우 드물고 특히 반도체 특성을 유지하는 물질은 보고된 바가 없음.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

- 기존 야누스 후보 물질은 적층 결합 또는 반대 극성 도메인의 형성, 불가피한 전하 도핑에 취약하고 인위적인 선택적 화학 치환 기법도 결합·합금화를 유발하기 때문에 실제 물질에서 구현이 힘들.
- 본 연구에서는 야누스 결정구조를 가지면서 카고메 격자로 인한 평탄 밴드 전자구조를 동시에 갖는 물질을 합성하여 면 의존 전자 양극성을 반도체 상태에서 구현된 최초의 물질을 제시함.

(연구결과)

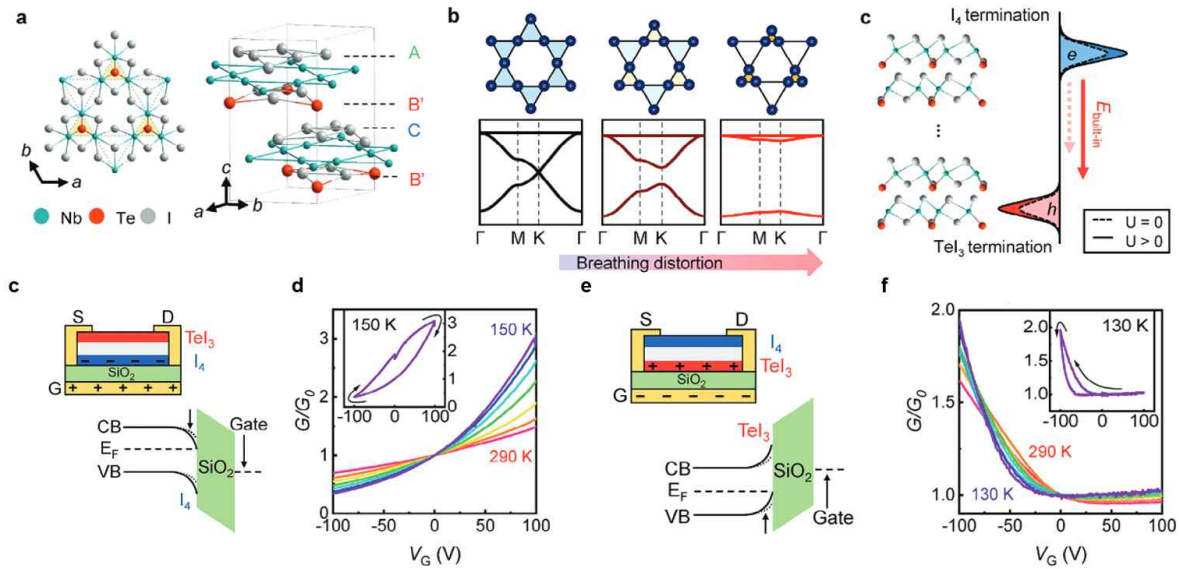
- 본 논문은 야누스 + 브리딩 카고메(breathing-Kagome) 격자를 동시에 갖는 Nb₃TeI₇ 물질을 제시하고, 평탄 밴드(flat bands) 구조와 강상관 특성이 결합된 면 의존적 전자 양극성(n/p 양면성)을 실험적으로 확증함.
- 면 의존 n형(I₄ 면) / p형(TeI₃ 면) 반도체 동작을 소자 수준으로 실증했다는 점이 독창적임.

(의의 및 기대효과)

- 평탄밴드, 야누스 특성, 반도체 물성이 결합된 새 재료 플랫폼을 제시함.
- 면 선택적 n/p 채널, 큰 내부 전기장을 바탕으로 선형 광응답, 열전, 정류/포토다이오드형 수직 소자 등에 활용될 수 있음.
- 자연 성장 벌크/플레이크에서 균일 분극·반도체성을 동시에 확보했다는 점에서, 기존 야누스 재료의 도메인/결합·금속성 문제를 넘어서는 범용 2D 반도체 응용의 기반을 마련함.

(비고)

- 본 연구단의 참여교수) 및 국내 연구진과의 공동연구 성과임.



야누스 - 카고메 결정구조를 갖는 Nb₃Te₇의 면 의존적인 반도체 특성

Nb₃Te₇은 평면방향으로는 카고메 구조를 가지면서 수직방향으로는 야누스 구조를 갖는 반데르발스 반도체임. 카고메 구조의 숨쉬기 변형으로 인해 평탄 밴드 구조가 발현되면 야누스 적층 구조로 인해 면 의존적인 전하 비대칭과 내부 전기장이 유도된다. 본 연구에서는 해당 물질의 단결정 특성을 최초로 확인하고 실제 전계효과 소자 구조를 활용하여 n형(I₄ 면) / p형(TeI₃ 면) 반도체 동작을 동일한 물질에서 실증하였다.

(5) *High momentum two-dimensional propagation of emitted photoluminescence coupled with surface lattice resonance*, Light: Science & Applications 14, 218 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

-차세대 전자소재로 주목받는 2차원 반도체는 두께가 불과 수 원자층이기 때문에 유연하면서도 뛰어난 전기적·광학적 특성을 가짐. 이 때문에 TSMC 등 글로벌기업들이 반도체칩 양산을 위한 차세대 소재로 이미 상용화 연구를 진행하고 있음.

-하지만 단위부피당 발광효율이 매우 높은 것에 비하여, 수 원자층 두께에서 발생하는 빛의 절대적인 세기는 여전히 낮아서 디스플레이 소재로의 활용을 위해서는 발광효율 향상이 필요함.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

-기존의 금속 구조 안테나를 이용한 2차원 반도체 발기 증강 기술은 두 가지 핵심 문제가 있었음. 첫째,

금속과 반도체의 접촉면에서 에너지 손실이 크다는 점. 둘째, 국소적인 영역의 밝기만 증강되어 대면적 디스플레이 응용에는 적합하지 않다는 점.

-연구팀은 이를 해결하기 위해 바비넷 원리를 적용하여 속이 빈 금속 안테나 구조를 설계하였음.

(연구결과)

-연구팀은 금속과 반도체의 접촉면을 최소화하고 높은 밝기 증강을 유도할 수 있었음.

-뿐만 아니라, 금속 안테나를 평면상에 특정 주기로 배열하면 표면격자공명 현상을 유도할 수 있었음. 표면격자공명은 단순히 여러 개별 안테나 효과의 합이 아니라, 멀리 떨어진 안테나끼리 서로 연결되어 공명 현상을 일으켜 더욱 증폭된 빛을 만들어 낼 수 있음. 이는 마치 여러 명이 동시에 트램펄린 위에서 리듬을 맞춰 점프할 때 한순간에 더 높은 도약이 가능해지는 것과 같은 원리로 설명할 수 있음. 이 효과를 이용하여 기존보다 적은 영역의 전원만으로 더 넓은 면적을 밝힐 수 있으며 발광 휘도도 기존보다 1600배나 증강할 수 있었음.

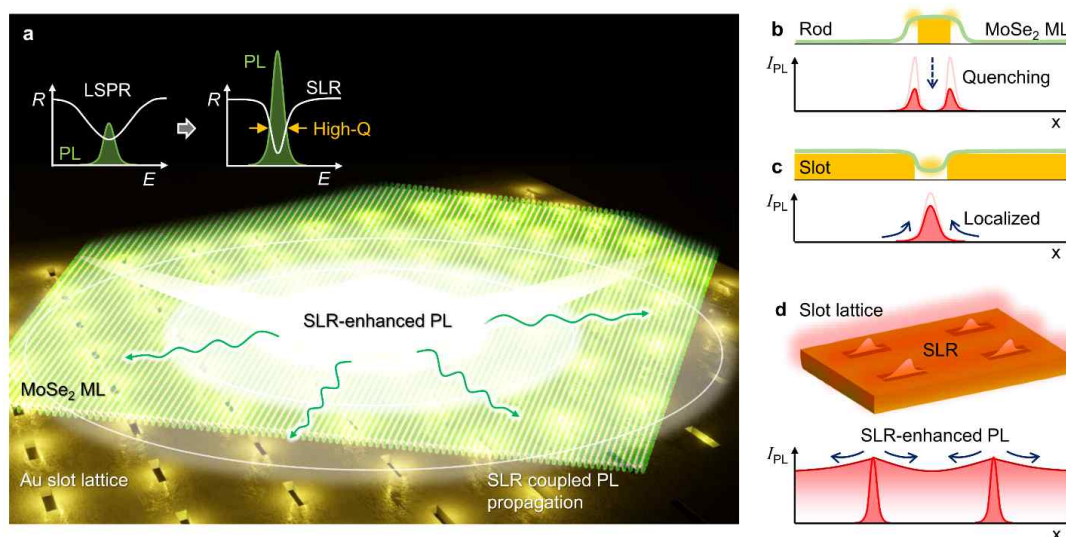
(의의 및 기대효과)

- 2차원반도체가 직면한 발광소재로써의 한계를 극복함.

- 차세대 디스플레이와 광반도체 기술 상용화에 중요한 돌파구를 제시함.

(비고)

- 본 연구단의 참여교수() 및 국내외 연구진과의 공동연구 성과임.



특정 주기로 배열된 금속 안테나를 통해 비약적으로 향상된 발광효율

(좌) 2차원 반도체의 대면적 발광효율 증강 모식도이고 (우) 바비넷 원리와 표면격자공명 현상을 설명한 그림이다.

(6) *Frustrated phonon with charge density wave in vanadium Kagome metal*, Nat. Commun. 16,

4861 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

-Kagome 금속은 전자가 격자 구조 내에서 기하학적으로 찢찢매는 (frustration) 양자물질로, 전하 밀도 파 (CDW), 초전도, 위상물성 등이 공존하는 복합 양자 상으로 주목받고 있음.

-일반적인 CDW 물질에서는 특정 포논 모드가 연화 (softening) 되며 CDW가 유도되지만, Kagome 금속에서는 포논 연화 (phonon softening) 가 관측되지 않는 비정상적인 거동이 반복적으로 보고 되어 왔음.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

-기존 연구에서는 CDW 형성 과정에서 전자구조 변화에 초점을 맞췄으며, 포논의 동역학적 역할은 실험적으로 명확히 규명되지 않았음.

-특히 Kagome 금속에서는 전통적인 phonon softening이 나타나지 않아 기존 CDW 이론으로 설명할 수 없는 구조적 모순이 존재했음.

-본 연구는 이러한 한계를 극복하고, CDW 상태에서 특정 포논 모드가 오히려 억제되는 ‘찢찢매는 포논 (phonon frustration)’ 현상이 존재함을 최초로 제안하고 실험을 통해 입증하였음.

(연구결과)

-XFEL 기반 초고속 X선 산란 실험을 통해, 광자극 직후 CDW 상이 급격히 소멸되고 억제되어 있던 세슘 원자의 포논 진동이 해방되며 결맞는 진동 (coherent oscillation) 이 나타남.

-이로 인해 기존의 대칭 구조가 비대칭적으로 재배치되고, 새로운 준안정 (metastable) CDW 상이 형성됨을 실험 및 이론적으로 확인함.

-형성된 metastable 상은 나노초 수준까지 유지되며, 이는 비평형 상태에서 phonon frustration이 해소되며 새로운 상이 유도됨을 실험적으로 보여준 첫 사례임.

(의의 및 기대효과)

- 전통적인 CDW 형성 이론을 넘어, 포논이 오히려 억제되는 ‘phonon frustration’ 개념을 실험적으로 제시함으로써 전자-격자 상호작용에 대한 새로운 이해를 제공함.

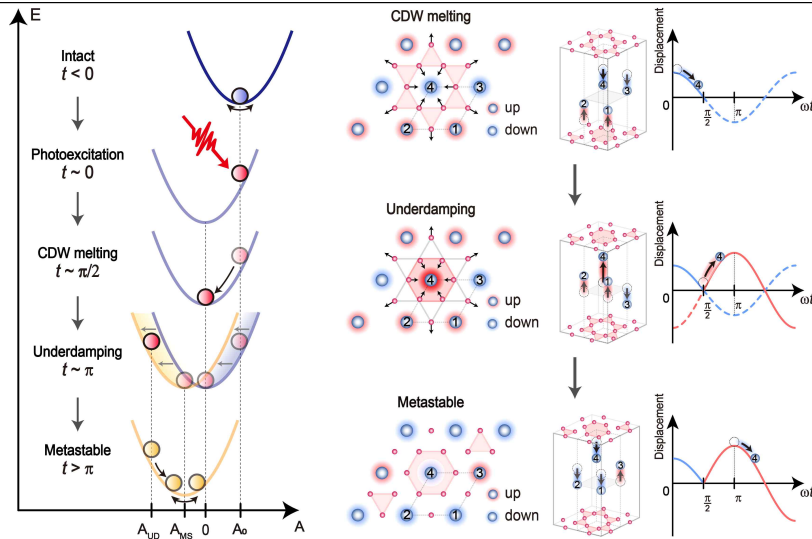
- 이 결과는 향후 고온 초전도체 및 층상 2차원 물질 내 초전도 상태의 복잡한 기원을 밝히는데 중요한 단서를 제공하며, 특히 전자-격자 상호작용이 초전도 상에서 어떤 방식으로 경쟁하거나 협력하는지를 이해하는 데 기초적인 통찰을 제공함.

- 이러한 포논 동역학은 타 물질 군에서도 보편적으로 나타날 수 있으며 후속 연구의 필요성을 시사함.

(비고)

- 본 연구단의 참여교수 및 국내 연구진과의 공동연구 성과임.

비평형 상태에서 포논 찢찢매 현상으로부터 나타나는 새로운 준안정 상태



레이저 자극에 의해 CDW 상태가 무너지고, 포논 진동이 대칭에서 비대칭 형태로 전환되며 새로운 준안정 상태에 도달하는 과정을 시각적으로 나타낸 그림이다.

(7) *Tunneling spectroscopy of Andreev bands in multiterminal graphene-based Josephson junctions*, Sci. Adv. 11, eads0342 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

-조셉슨 접합(JJ)은 초전도체 사이의 전자 터널링을 통해 초전류가 흐르는 양자소자의 기본 단위로, Andreev 준위(Andreev bound state, ABS)가 소자의 위상과 전압에 따라 형성됨.

-특히 다중단자 조셉슨 접합(multiterminal JJ, MTJJ)은 2단자 JJ에서 접근하기 어려운 위상학적 Andreev 밴드를 구현할 수 있어, 고차원 위상 밴드 물리를 모사할 수 있는 새로운 플랫폼으로 주목받았으나 지금까지는 MTJJ의 위상적 특성이 실험적으로 직접 관측된 사례가 없었음.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

-기존 연구는 전류-전압 특성 등 간접적인 수송 특성에 의존했으며, Andreev 밴드의 실공간 분포나 위상공간에서의 밴드 구조를 직접 측정한 사례가 부재함.

-본 연구에서는 그래핀 기반 3단자 조셉슨 접합을 제작하고, 초전도 터널 프로브를 이용한 고분해 터널링 분광법(tunneling spectroscopy)을 통해 두 개의 독립적인 위상차에 따른 2차원 Andreev 밴드 구조를 직접 관측함.

(연구결과)

-측정된 Andreev 밴드가 영 에너지에서 교차하는 ‘노달선(nodal line)’을 형성하며, 서로 다른 위상수를 갖는 위상적으로 구별된 영역을 분리함을 확인함.

-Random matrix theory를 적용한 이론 모델과의 비교를 통해, 실험에서 관측된 Andreev 밴드가 예측된 위상적 밴드 전이를 충실히 재현함을 입증함.

-게이트 전압을 조절하여 각 단자의 결합 강도(anisotropy)를 조절함으로써, 3단자 Andreev 밴드가 2단자 밴드로 탈결합되는 과정을 실시간으로 제어함.

(의의 및 기대효과)

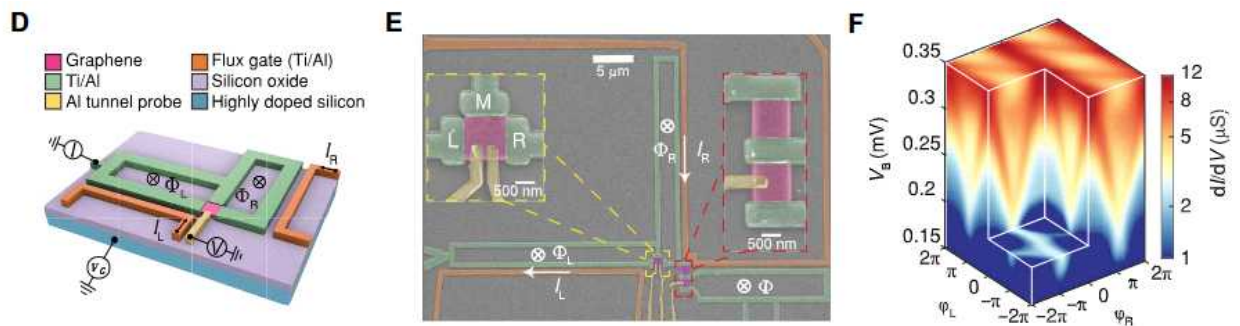
-그래핀 기반 조셉슨 접합에서 위상적 Andreev 밴드의 직접 분광 관측을 세계 최초로 실현.

-MTJJ 내 Andreev 밴드의 위상적 성질(노달선, 와인딩수, 밴드 전이)을 실험적으로 규명함으로써, 고차원 위상 물질과 양자 시뮬레이터 연구의 새로운 장을 열었음.

-전기적 게이팅만으로 위상 밴드 구조를 조절할 수 있어, 향후 스핀-궤도 결합이 포함된 초전도 스핀 큐비트 및 마요라나 상태(Majorana states) 구현으로 확장 가능.

(비고)

- 본 연구단의 참여교수()와의 공동연구 성과임.



다중단자 조셉슨 접합으로 구현된 위상적으로 특별한 Andreev 밴드 구조

그래핀 기반 다중단자 조셉슨 접합은 위상적으로 특별한 Andreev 밴드 구조를 실현함을 실험적 이론적으로 밝혔다.

(8) *Observation of symmetry-forbidden rectification in an inversion-symmetric Weyl metal*, Nat. Commun. 16, Article number: 4153 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

-기존 금속은 페르미면의 존재로 약한 전자기장에 대한 전류의 비선형성이나 정류 현상을 보일 수 없음.

-특히, 반전 대칭성이 존재하는 물질의 경우 정류 현상은 나타날 수 없음.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

-본 연구에서는 바일 금속의 위상적으로 특별한 성질에 의해 $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x=3-4\%$) 물질 자체는 반전 대칭성이 존재함에도 불구하고 자발적인 반전 대칭성의 깨어짐 현상이 나타나 약한 전류의 흐름 상태에서

도 정류 작용이 나타남을 실험적으로 관측하였음.

-나아가 바일 금속의 위상적 특성이 고려된 볼츠만 방정식과 맥스웰 방정식이 결합한 비선형 맥스웰 방정식을 해석적으로 풀어 약한 전류가 흐르는 바일 금속 상태에서 자발적인 반전 대칭성의 깨어짐 현상이 존재함을 수학적으로 증명하였음.

(연구결과)

-외부에서 걸어 준 자기장의 세기와 가한 전류의 크기에 대한 함수로 전기장의 세기를 측정하여 정류 작용이 나타나지 않고 비선형성만 존재하는 영역과 정류 작용과 비선형성이 동시에 존재하는 영역에 대한 상그림을 실험적 이론적으로 밝힘.

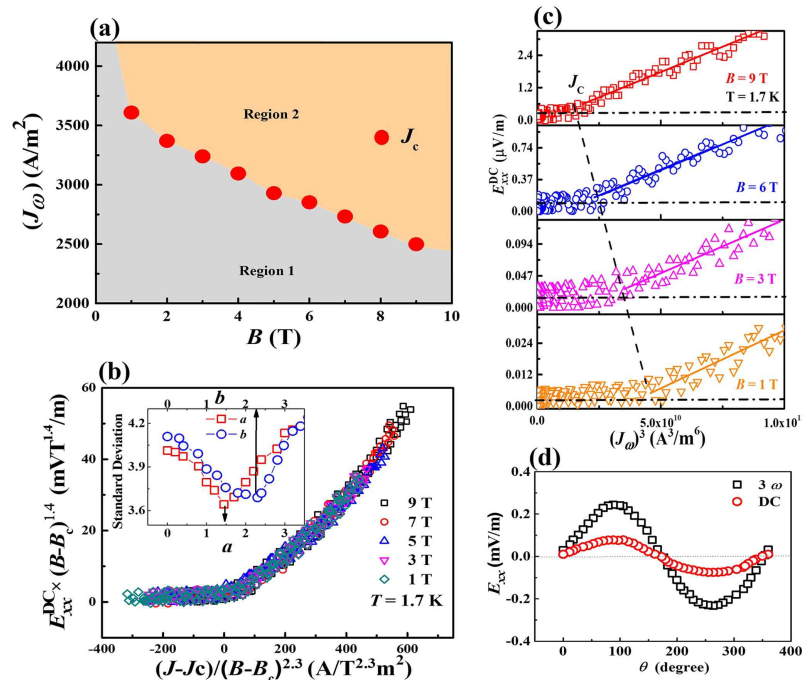
-반전 대칭성이 존재하는 바일 금속에서 정류 작용이 나타날 수 있는 근본 원리가 반전 대칭성의 자발적인 깨어짐이라는 사실을 바일 금속의 위상적 성질을 고려한 비선형 맥스웰 방정식을 해석적으로 분석하여 증명함.

(의의 및 기대효과)

- 전자기적으로 선형 응답 영역에서 나타나는 바일 금속의 비선형성과 정류 작용 관측.
- 바일 금속 트랜지스터의 존재성 증명.
- 새로운 금속 디바이스 기술에 영향을 줄 것으로 기대.

(비고)

- 국내외 (대구대학교 & 일본) 연구진과의 공동연구 성과임.



반전 대칭성이 존재하는 Bi1-xSbx (x=3-4%) 금속에서 나타나는 정류 작용

외부에서 걸어 준 자기장의 세기와 가한 전류의 크기에 대한 함수로 전기장의 세기를 측정하여 정류 작용이 나타나지 않고 비선형성만 존재하는 영역과 정류 작용과 비선형성이 동시에 존재하는 영역에 대한

상그림을 밝혔고 그에 대한 근본 원리가 반전 대칭성의 자발적인 깨어짐이라는 사실을 바일 금속의 위상적 성질을 고려한 비선형 맥스웰 방정식을 해석적으로 분석하여 증명하였다.

(9) *Harnessing magnetic octupole Hall effect to induce torque in altermagnets*, Phys. Rev. Lett. 135, 076705 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

-교자성체는 강자성체 및 반강자성체와 구별되는 새로운 형태의 자성체로서 강자성체와 반강자성체의 중간 성질을 가짐. 알짜 자기모멘트가 0이라는 점에서는 반강자성체와 유사하고 에너지 준위가 스핀 방향에 따라 갈라진다는 점에서는 강자성체와 유사함.

-스핀-궤도 결합이 강할 때만 생긴다고 믿어졌던 스핀 홀 전류, 스핀 토크 등의 현상이 교자성체에서는 스핀-궤도 결합이 없어도 생길 수 있다는 이론 예측이 학계의 관심을 받고 있음.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

-이론 예측된 효과들이 실험에서는 아주 미세하게만 관측됨. 그 원인으로, 교자성체가 하나의 자구(magnetic domain)를 이루지 못하고 여러 개의 자구로 이루어져 이런 괴리가 생기는 것으로 추정됨.

-강한 자기장을 가해 교자성체를 단일 자구로 만들려는 시도가 있으나 교자성체는 알짜 자기쌍극자가 0 이어서 이 방법의 효율이 좋지 않음. 본 연구에서는 교자성체의 자기 다중극이(magnetic multipole) 유한하다는 성질을 활용해 교자성체의 자화상태를 제어하는 새로운 방법을 제안함.

(연구결과)

-자기 팔중극(magnetic octupole)이 유한한 값을 가지는 d -파형(wave) 교자성체에 교자성체의 자기 팔중극과 방향이 다른 자기 팔중극을 외부에서 주입하면 교자성체의 자화 상태가 변화됨을 확인.

-또한, α -W와 같은 전이금속에 전류를 가하면 전이금속 내부 전자 상태가 변형되면서 전자 파동함수가 자기 팔중극을 가지게 되고 자기 팔중극이 전류에 수직 방향으로 흐른다는 것을 확인함. 따라서 이런 전이금속을 d -파형 교자성체와 접합한 자기접합구조에서는 계면에 평행하게 전류를 흘려주면 전이금속에서 생성된 자기팔중극이 교자성체로 흘러들어가면서 교자성체의 자화 상태를 변화시킨다는 것을 수치계산을 통해 확인함.

(의의 및 기대효과)

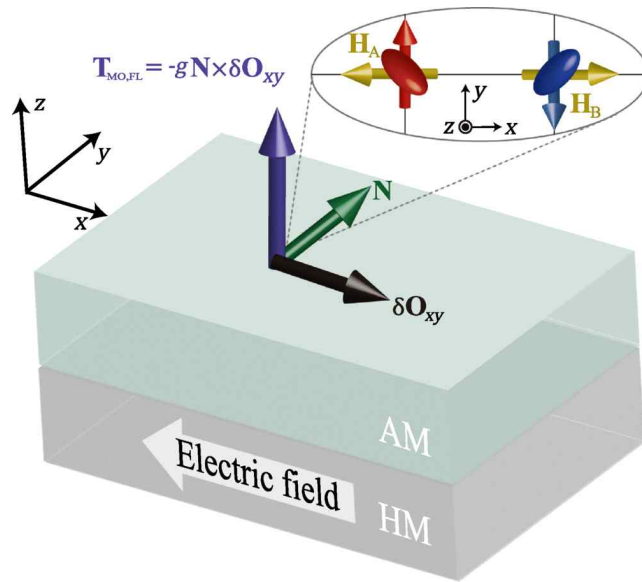
- 전기적 자화 상태 제어에 대한 기존 연구는 자기 쌍중극에 국한되어 있었으나 이번 연구를 통해 자기 다중극의 활용 가치를 발견함.

- 교자성체의 자화 상태를 자기장을 걸지 않고 전기적인 방법으로 제어할 수 있는 가능성을 열었음.

- 이 방법을 사용하여 교자성체를 단일 자구를 만드는 것이 실험에서 확인된다면 교자성체의 소자 활용 가능성을 크게 높일 수 있음.

(비고)

- 본 연구단의 참여교수()와 스웨덴 연구진과의 공동연구 성과임.



d-파형(wave) 교자성체에서 자기 팔중극(magnetic octupole)효과로 인한 자화 상태 조절 원리

자기 팔중극(magnetic octupole)이 유한한 값을 가지는 *d*-파형(wave) 교자성체에 교자성체의 자기 팔중극과 방향이 다른 자기 팔중극을 외부에서 주입하면 교자성체의 자화 상태가 변화된다. 이것은 교자성체의 자화 상태를 자기장을 걸지 않고 전기적인 방법으로 제어할 수 있는 가능성을 보여 준다.

(10) *Exploring new constraints on Kahler moduli space of 6d N=1 supergravity*, JHEP 10, 217 (2024)

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

- 최근 끈이론 분야에서 가장 각광받는 연구분야인 Swampland 프로그램은 블랙홀 등 다양한 양자효과에서 유도되는 양자중력과 양립 가능한 유효장론들의 조건들을 얻어내고, 이를 바탕으로 모순 없이 존재할 수 있는 이론들을 선별하는 연구 방향임.
- 다만 유효장론만으로 Swampland 조건을 직접 도출하려면 비섭동적 양자중력 현상에 대한 정량적 접근이 필요하나, 아직 체계적 방법론이 부재하여 난관이 있음.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

- 기존 연구는 대체로 정성적 논의에 머물거나 섭동적 계산에 의존해, 유효장론의 엄밀한 정합성 검증이 어려움.
- 본 연구는 양자중력에서 허용되는 결합연산자의 유니타리티 조건과 특정 극한에서 등장하는 등각장론(SCFT) 분류 결과를 결합해, 유효장론 정합성을 비섭동적으로 검증할 수 있는 새로운 방법론을 제안함.

(연구결과)

- 본 연구에서는 6차원 최소 초대칭 (1,0) 유효장론을 대상으로, 결합연산자의 유니타리티와 등각장론 분

류를 활용해 Swampland 조건을 정량화하는 획기적 방법론을 구축함. 특히 차원 내림을 통해 5차원 SCFT 분류가 6차원 양자중력 분석에 직접 활용될 수 있음을 최초로 보임.

- 이 방법을 적용하여, 텐서 자유도가 없는 6차원 초대칭 $SU(2)$, $U(1)$ 게이지 이론이 섭동적으로 1-form 대칭성을 가질 때, 이 대칭성이 비섭동적으로 반드시 게이지화 되어야 한다는 가설을 엄밀한 계산으로 최초 증명함.

(의의 및 기대효과)

- 5차원 SCFT 분류를 6차원 양자중력 연구에 접목하는 새로운 연구 경로를 제시.
- 결합연산자 물리와 고차원 등각장론 분류를 결합해 Swampland 조건을 정량적으로 도출한 첫 사례.
- 초대칭 양자중력의 비섭동적·정량적 연구에 새로운 지평을 열었다는 점에서 학문적 파급효과가 큼.

(비고)

- 본 연구단의 참여교수 와 국외 연구진 Harvard University)의 공동연구 성과임.

1. 참여교수 연구역량

1.1 연구비 수주 실적

〈표 3-1〉 자체평가 대상기간(2024.9.1.-2025.8.31.) 참여교수 1인당 정부, 산업체, 해외기관 등 연구비 수주 실적

항 목	수주액(천원)		
	직전 3년간 실적 (연평균) (2021.9.1.~2024.8.31.)	최근 1년간 실적 (2024.9.1.~2025.8.31.)	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	21,127,896 (7,042,632)	15,578,276	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	31,340,695 (10,446,898)	2,332,585	
해외기관 연구비 수주 총 (환산) 입금액	237,900 (79,300)	-	
1인당 총 연구비 수주액	2,509,833 (836,611)	852,898	
참여교수 수	21	21	

1.2 연구업적물

① 참여교수 연구업적물의 우수성

○ 참여교수 논문 실적의 질적 우수성 (2024. 09. 01 ~ 2025. 08. 31)

게재지명	편수	기타
Nature, Science 급	1	공동저자 1
Nature 주요 자매지 급 (Advanced Materials 등)	10	교신저자 6, 공동저자 4
Nature Communications 급 (Science Advances, PNAS 등)	17	교신저자 11, 공동저자 6
Physical Review Letters 급 (Physical Review X, Nano Letters, Optica 등)	13	교신저자 9, 공동저자 4
주요 논문 실적 / 총 논문 편수	41 / 80	

■ 참여교수 1인당 논문 편수는 지난 5년 BK21 사업신청서 기간 중 실적 평균보다 조금 줄었으나 (89.6%) 논문환산편수당 환산 ES는 지난 5년 BK21 사업신청서 기간 중 실적 평균보다 조금 줄었으나 (89.6% & 84%) 논문환산편수당 환산 IF는 지난 5년 BK21 사업신청서 기간 중 실적 평균보다 확실하게 증가 (123%). 특히 사항은 high IF 학술지 편수가 전체 논문 편수의 51%를 차지하고 있다는 점으로 (41/80) 양적인 면보다 논문의 질적 향상에 연구자들이 관심을 기울이고 있음을 알 수 있음. 이는 포항 공과대학교 물리학과가 추구하는 논문의 질적 우수성이라는 목표와 부합하는 결과.

○ 참여교수 국제저명학술지 논문의 우수성

항 목	사업신청서 (‘15. 01. - ’19. 12.) (1년 평균치)	성과평가 보고서 (‘20. 09. - ’23. 02.) (1년 평균치)	자체평가 보고서 (‘23. 09.	자체평가 보고서 (‘24. 09.
-----	--	---	--------------------------	--------------------------

				~ '24. 08.)	~ '25. 08.)
논문 편수	논문 총편수	437 (87.4)	202 (80.8)	72	80
	논문의 환산 편수의 합	101.01 (20.20)	56.50 (22.60)	19.8	20.5
	참여교수 1인당 논문 환산 편수	5.32 (1.06)	2.74 (1.10)	0.94	0.95
피인용수	보정 피인용수(FWCI)값이 있는 논문의 총 편수	358 (71.6)	153 (61.2)	39	37
	보정 피인용수 (FWCI)의 합	606.21 (121.24)	280.82 (112.33)	80.82	65.35
	환산보정 피인용수(FWCI) 합	128.14 (25.63)	73.96 (29.59)	19.04	13.0
	논문 1편당 환산보정 피인용수(FWCI)	0.36	0.48	0.49	0.35
	참여교수 1인당 환산보정 피인용수(FWCI)	6.74 (1.35)	3.59 (1.44)	0.91	0.6
Impact Factor (IF)	IF=0이 아닌 논문 총 편수	437 (87.4)	202 (80.8)	72	80
	IF의 합	3,052.79	2058.20	702	835
	환산보정 IF의 합	56.80 (11.36)	30.31 (12.12)	14.9	12.7
	논문 1편당 환산보정 IF	0.13	0.15	0.21	0.16
	참여교수 1인당 환산보정 IF	2.99 (0.60)	1.47 (0.59)	0.71	0.59
Eigenfactor Score (ES)	ES=0이 아닌 논문 총 편수	437 (87.4)	202 (80.8)	72	80
	ES의 합	162.41	52.82	15.3	18.8
	환산보정 ES의 합	251.35 (50.27)	101.97 (40.79)	44.0	39
	논문 1편당 환산보정 ES	0.58	0.50	0.61	0.49
	참여교수 1인당 환산보정 ES	13.23 (2.65)	2.56 (1.03)	2.10	1.81
참여교수 수		19	20.6	21	21.5

- 연구역량 강화 전략의 3대 기본 철학('혁신적인 연구', '함께 하는 연구', '포스텍 플래그십 연구')에 충실
- '혁신적인 연구' - 기초과학분야에 집중 및 긴 호흡으로 혁신적인 연구 지향 철학 유지.
 - high IF 학술지 편수가 전체 논문 편수의 51%를 차지. 이는 아주 높은 비율로서 양적인 면보다 논문의 질적 향상에 연구자들이 관심을 기울이고 있음을 알 수 있음. 이는 포항공과대학교 물리학과가 추구하는 논문의 질적 우수성이라는 목표와 부합하는 결과.
 - 2차년도 참여교수가 주저자인 특급논문(Nature 주요 자매지 등 Nature Physics IF 이상) 6건 발표.
 - '함께 하는 연구' - 참여교수들 및 외부연구자와의 활발한 공동연구 지속.
 - 2차년도 참여교수간 공동연구에 의한 논문 4건 발표.
 - '포스텍 플래그십 연구' - 세계 선도형 플래그십 연구 가능성 확인.
 - 포스텍 참여교수가 주도한 연구가 IF 상위 저널(Nature 주요 자매지 등 Nature Physics IF 이상 6건)에 출간되면서 해당 분야에 포스텍의 가시성 제고.
 - 포스텍 브랜드 연구가 국내는 물론 세계를 선도할 수 있다는 가능성 제시. 해당 분야에 인적/물적 지원을 통해 선도적 연구결과가 지속적으로 배출될 수 있도록 당초 연구역량 강화 전략의 3대 기본 철학을 충실히 유지할 필요 있음.
 - BK21 사업신청서 기간 중 실적 (2015 ~ 2019) 대비 BK21+ 5차년도 실적 (2024.09. ~ 2025.08.).
 - 논문 수 (교수 1인당 환산편수): BK21 사업신청서 기간(2015 ~ 2019) 중 실적 대비 89% (0.95/1.06).

- IF (논문환산편수당 환산 IF): BK21 사업신청서 기간(2015 ~ 2019) 중 실적 대비 123% (0.16/0.13).
- ES (논문환산편수당 환산 ES): BK21 사업신청서 기간(2015 ~ 2019) 중 실적 대비 84% (0.49/0.58).
- BK21 중간평가 기간 중 실적 (2020 ~ 2023) 대비 BK21+ 5차년도 실적 (2024.09. ~ 2025.08.).
- 논문 수 (교수 1인당 환산편수): BK21 중간평가 기간(2020 ~ 2023) 중 실적 대비 86% (0.95/1.10).
- IF (논문환산편수당 환산 IF): BK21 중간평가 기간(2020 ~ 2023) 중 실적 대비 106% (0.16/0.15).
- ES (논문환산편수당 환산 ES): BK21 중간평가 기간(2020 ~ 2023) 중 실적 대비 98% (0.49/0.50).
- BK21+ 4차년도 실적 (2023.09. ~ 2024.08.) 대비 BK21+ 5차년도 실적 (2024.09. ~ 2025.08.).
- 논문 수 (교수 1인당 환산편수): BK21 4차년도평가 기간 (2023.09. ~ 2024.08.) 중 실적 대비 101% (0.95/0.94).
- IF (논문환산편수당 환산 IF): BK21 4차년도평가 기간 (2023.09. ~ 2024.08.) 중 실적 대비 76% (0.16/0.21).
- ES (논문환산편수당 환산 ES): BK21 4차년도평가 기간 (2023.09. ~ 2024.08.) 중 실적 대비 80% (0.49/0.61).

○ 사업단 교수가 주저자인 우수 논문 연구 실적 (PRL급 이상 논문 26건)

(‘[]’는 참여대학원생, ‘{ }’는 사업단 신진연구인력, ‘_____’는 사업단 참여교수로 표기)

(1) *Electric-field-induced orbital angular momentum in metals*, NATURE MATERIALS 23, 1302 (2024).

(2) *Ferroelastic writing of crystal directions in oxide thin films*, NATURE NANOTECHNOLOGY 20, 1199 (2025).

(3) *Flat-band electronic bipolarity in a Janus and Kagome van der Waals semiconductor Nb₃TeI₇*, ADVANCED MATERIALS 37, 264 (2024).

(4) *Nanoscale ultrafast camera unveils light-matter dynamics in real time and space*, Light-Science & Applications 14, 221 (2025).

(5) *High momentum two-dimensional propagation of emitted photoluminescence coupled with surface lattice resonance*, Light-Science & Applications 14, 218 (2025).

(6) *Origin of the chiral charge density wave in transition-metal dichalcogenide*, NATURE PHYSICS

20, 12 (2024).

(7)

Mode-resolved, non-local electron-phonon coupling in two-dimensional spectroscopy, NATURE PHYSICS 21, 6 (2025).

(8)

Chirality and topology team up to produce orbital monopole, NATURE PHYSICS 20, 1857 (2024).

(9)

Observation of symmetry-forbidden rectification in an inversion-symmetric Weyl metal, NATURE COMMUNICATIONS 16, 4153 (2025).

(10)

Liquid-like spin dynamics in a hybrid Heisenberg-Ising antiferromagnet, NATURE COMMUNICATIONS 16, 1547 (2025).

(11)

DQuantum tunneling high-speed nano-excitonic modulator, NATURE COMMUNICATIONS 15, 8725 (2024).

(12)

Frustrated phonon with charge density wave in vanadium Kagome metal, NATURE COMMUNICATIONS 16, 4861 (2025).

(13)

Large-Area Bright Emission of Plasmon-Coupled Dark Excitons at Room Temperature, ADVANCED SCIENCE 12, 3 (2025).

(14)

Nanometer-Scale 1D Negative Differential Resistance Channels in Van Der Waals Layers, ADVANCED SCIENCE 12, 2 (2024).

(15)

Dynamical control of nanoscale electron density in atomically thin n-type semiconductors via nano-electric pulse generator, ADVANCED SCIENCE 10, eadr0492 (2024).

(16)

ATunneling spectroscopy of Andreev bands in multiterminal graphene-based Josephson junctions, ADVANCED SCIENCE 1, eads0342 (2025).

(17) *FDNA Hanger: Surface-Minimized Single-Molecule Immunoassay Platform*, SMALL 21, 2409933 (2025).

(18) *EDeep-learning real-time phase retrieval of imperfect diffraction patterns from X-ray free-electron lasers*, NPJ COMPUTATIONAL MATERIALS 11, 68 (2025).

(19) *Electronically Seamless Domain Wall of Chiral Charge Density Wave in 1T-TiSe₂*, NANO LETTERS 24, 14323 (2024).

(20) *Engineering Superconducting Contacts Transparent to a Bipolar Graphene*, NANO LETTERS 24, 15582 (2024).

(21) *Edge Dependence of Nonlocal Transport in Gapped Bilayer Graphene*, NANO LETTERS 24, 15950 (2024).

(22) *Nanoscale Epigenetic Profiling of Colorectal Cancer Cell-Derived Exosomes via Single-Vesicle Nanoscopy*, Small Methods e00919 (2025).

(23) *Orbital pumping incorporating both orbital angular momentum and position*, PHYSICAL REVIEW LETTERS 134, 036305 (2025).

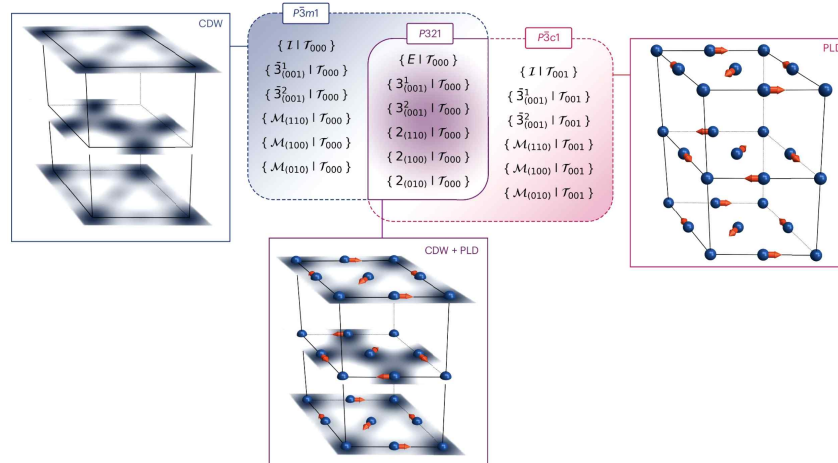
(24) *Current-Driven Collective Control of Helical Spin Texture in van der Waals Antiferromagnet*, PHYSICAL REVIEW LETTERS 134, 176701 (2025).

(25) *Weak Ferromagnetism in Altermagnets from Alternating g-Tensor Anisotropy*, PHYSICAL REVIEW LETTERS 134, 196703 (2025).

(26) *Harnessing magnetic octupole Hall effect to induce torque in altermagnets*, PHYSICAL REVIEW LETTERS 135, 76705 (2025).

② 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 1년(2024.9.1.-2025.8.31.))

연번	대표연구업적물 설명
1	<i>Origin of the chiral charge density wave in transition metal dischalcogenide</i>, Nat. Phys. 20, 1919 (2024) BK 참여대학원생: 사업단 참여교수: (기본개념 및 연구 배경) -카이랄성은 아원자 입자, 분자, 생명체 등 다양한 계에서 거울 대칭성이 깨지는 현상을 일컫음. 대표적으로 DNA와 RNA는 오른손으로 감기는 구조를 가짐. 하지만, 이에 대한 원리는 알려지지 않음. -최근에, 저차원 응집물질계에서 흔히 발견되는 전하밀도파에 의해 카이랄성이 나타날 수 있다는 이론적, 실험적 근거가 제시됨. 이는 카이랄성이 나타나는 메커니즘을 탐구할 수 있게 해주는 새로운 플랫폼으로서 의미를 가짐. (기존 연구 한계, 기존 연구 대비 독창성) -기존 연구에서는 응집물질의 대칭성을 공간군 수준에서 엄밀하게 분석한 결과가 많지 않았음. -본 연구에서는 엄밀한 군론 분석을 바탕으로 상전이에서 일어나는 전하밀도의 변화와 이에 반드시 수반되는 격자뒤틀림의 대칭성이 서로 다를 수 있음을 지적하고, 이에 의해 또다른 격자뒤틀림이 유도되는 과정을 포착함. (연구결과) -본 연구에서는 카이랄성이 어떻게 자발적으로 생기는지에 대한 가설을 제시하고 라만 산란과 비탄성 X-선 산란을 이용하여 격자 진동을 측정/분석하여 가설을 뒷받침함. -응집물질이 가지는 병진 대칭성을 제외한 모든 대칭성이 어떻게 한 번의 2차 상전리로 사라질 수 있는지 밝혀냄. (의의 및 기대효과) - 응집물질계에서 존재하는 카이랄성의 생성 원리를 밝혀냄으로써 이를 활용할 수 있는 돌파구를 마련함. - 카이랄성을 제어할 수 있게되면 여러 가지 다양한 물성을 스위칭하여 소자로 만들 수 있는 가능성이 있음. (비고) • 본 연구단의 참여교수() 및 국내외 연구진과의 공동연구 성과임. 전하밀도파 물질 1T-TiSe₂에서 전하밀도파(CDW)와 격자뒤틀림(PLD)의 대칭성 분석 전하밀도가 변하면 이온들이 이에 반응하여 위치가 변하게 되는데, 이 둘 사이의 대칭성이 꼭 같



지 않음을 보여주는 도표이다. 계 전체적으로 봤을 때는 공통되는 대칭요소만 살아남게 되고, 결과적으로 전하밀도나 격자왜틀림 둘 다 카이랄성을 띄지 않더라도 계가 카이랄성을 띌 수 있다.

Mode-resolved, non-local electron-phonon coupling in two-dimensional spectroscopy, Nat. Phys. 21, 953 (2025)

사업단 참여교수:

(기본개념 및 연구 배경)

- 전자-포논 커플링은 고체 내 가장 기본적인 미시 상호작용이며 대부분의 고체 물성 및 양자 물질의 특이 물성을 좌우하는 물리량임.
- 내재적인 복잡성으로 인해 주로 이론적인 물리량으로 다루어져 왔고, 각각의 구성 요소 값을 측정할 수 있는 실험 방법은 존재하지 않음.

(기존 연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

- 기존의 실험법들을 통해서는 모든 포논의 기여도 뿐 아니라 전자 간 상호작용의 효과가 더해진 유효 전자-포논 커플링 세기를 도출하거나, 특정 포논을 분리하되 모든 전자 레벨의 기여도가 더해진 유효 커플링 세기를 도출하는 것만이 가능했음
- 이론적인 계산이 가능하나 그 과정 및 결과를 검증해줄 수 있는 실험 결과가 부재함.
- 본 연구에서는 2차원 분광법을 새롭게 디자인하여 특정 포논과 특정 전자 전이 에너지에 따른 기여도를 각각 분리하여 직접 측정이 가능하게 함.

(연구결과)

- 본 연구에서는 특정 포논 모드에서 전자-포논 상호작용 세기가 전자 모멘텀에 따라 변화하는 패턴을 세계 최초로 이론적 모델링 없이 직접 측정함.
- Holstein 타입의 전자-포논 상호작용과 Su-Schrieffer-Heeger 타입의 전자-포논 상호작용을 직접 구분할 수 있는 독창적인 실험 접근법임을 보임.

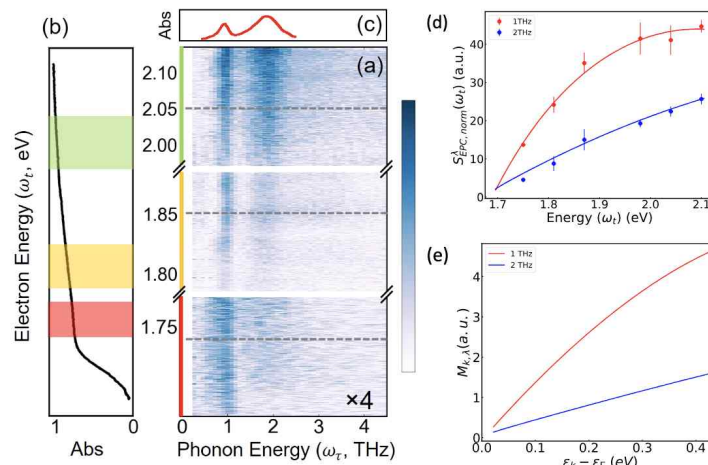
(의의 및 기대효과)

- 전자-포논 상호작용의 메커니즘을 각 구성 요소별로 구분하고 고온 초전도성 등의 특이 현상과 직접 매치할 수 있는 유일한 실험 접근법이라고 생각됨.
- 전자 특성을 초고속으로 제어할 수 있는 포논 채널을 특정함으로 향후 포논 기반 시분해 물성

제어에 중요한 기여를 할 것으로 기대됨.

(비고)

- 해외 연구진과의 공동연구 성과임.



2차원 전자-포논 상호작용 분광 스펙트럼 및 모드 별, 에너지 별 상호작용 세기

개념 증명 실험에 활용된 메틸 암모늄 납 요오드 페로브스카이트 반도체의 상온에서 측정된 (a) 2차원 전자-포논 상호작용 스펙트럼과 (b, c) 1차원 전자, 포논 흡수 스펙트럼. (d, e) 본 연구를 통하여 특정 포논 모드에 대해서 전자 전이 에너지에 따라 전자-포논 상호작용 세기가 증가하는 것을 최초로 보였고, 이와 같은 현상은 Holstein 타입의 전자-포논 커플링이 아닌 Su-Schrieffer-Heeger 타입의 전자-포논 커플링에 기인한 것임을 밝혔다.

Ferroelastic writing of crystal directions in oxide thin films, Nat. Nanotechnol. 20, 1199 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

-물질에서 국소적인 결정 방향 이질성은 물질 특성의 이해 및 응용 측면에서의 기능성 및 신뢰성 또한 저해함.

-기계적 응력이 작용할 때 쌍정 강탄성 도메인이 발생한다. 이는 구조적 이질성을 초래하며, 물질의 비등방성에 영향을 미치고, 도메인 벽과 같은 이차원 위상 결함 등이 나타남.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

-복잡한 결정 방향 구조를 가지는 물질의 국소적 이질성을 결정론적으로 제어하는 방법이 부족한 상황임.

-기존 연구에서는 강탄성 도메인의 제어가 강유전체 물질로 제한되어 있었지만, 본 연구는 강탄성을가지는 물질 전반으로 그 범위를 확대함.

(연구결과)

-페로브스카이트 산화물 박막 SrRuO_3 및 $(\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3})(\text{Mn}_{0.9}\text{Ru}_{0.1})\text{O}_3$ 에서 AFM 톱에서 발생하는

국소적 응력을 통해 국소적인 결정론적 및 가역적으로 강탄성 도메인의 방향을 평면 및 깊이 방향으로 제어함.

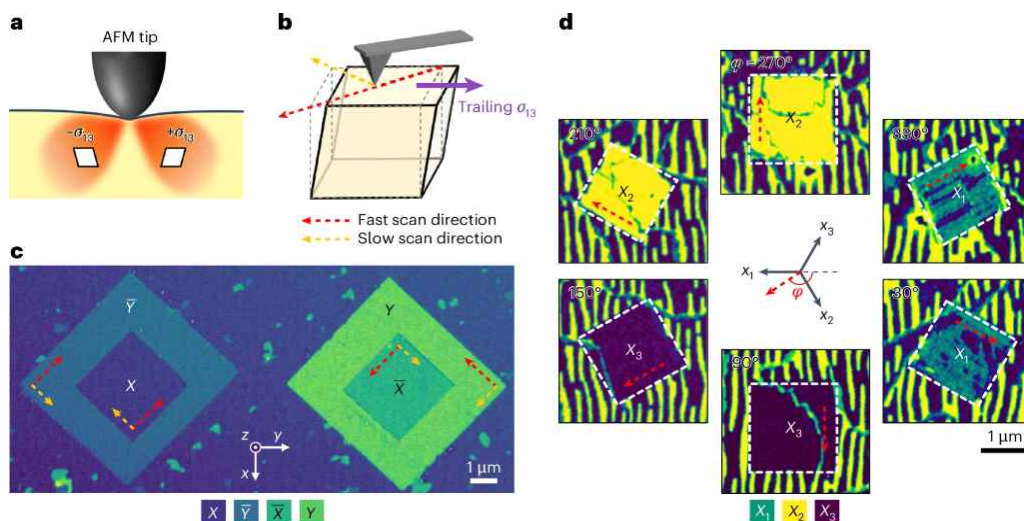
-강자성 물질에서 자기탄성 결합을 통해, 강탄성 도메인을 제어함으로써 다양한 자기 텍스처를 조작할 수 있다. 수십 나노 단위의 정밀성을 가지는 자기 텍스처를 MFM으로 측정하였으며, 깊이 방향으로 상이한 자기 이방성을 가지는 소자를 만들어 스핀-오빗트로닉스 소자로의 효용을 보였음.

(의의 및 기대효과)

-다양한 물질군에 적용되는 강탄성 도메인 및 결정 방향을 3차원적으로 결정론적으로 제어할 수 있는 새로운 방법론을 제시함.

-자기탄성 결합을 통해 나노 자기 텍스처를 구현하고, 스핀-오빗트로닉스 소자에서의 활용성을 보임.

-AFM 팁을 통한 강탄성 도메인 제어를 통해, 도메인 벽 사이에 발생하는 현상, 혹은 서로 다른 결정 쌍정 도메인 사이에서 발생하는 물리 현상 등을 보다 자유롭게 관측할 수 있을 것으로 예상된다.



강자성 물질의 자기탄성 결합을 통한 강탄성 도메인 제어

강자성 물질에서 자기탄성 결합을 통해, 강탄성 도메인을 제어함으로써 다양한 자기 텍스처를 조작할 수 있다. 수십 나노 단위의 정밀성을 가지는 자기 텍스처를 MFM으로 측정하였으며, 깊이 방향으로 상이한 자기 이방성을 가지는 소자를 만들어 스핀-오빗트로닉스 소자로의 효용을 보였다.

Flat-Band Electronic Bipolarity in a Janus and Kagome van der Waals Semiconductor Nb₃TeI₇, Adv. Mater. 37, 264 (2024)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

- 야누스(Janus) 2D 물질은 위·아래 면의 화학 조성이 달라 면(面) 의존적 전하 비대칭과 내부 전기장을 만들 수 있어, 촉매·광전자·스핀전자 응용에 유망한 물질임.
- 자연계에 존재하는 야누스 물질은 매우 드물고 특히 반도체 특성을 유지하는 물질은 보고된 바가 없음.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

- 기존 야누스 후보 물질은 적층 결합 또는 반대 극성 도메인의 형성, 불가피한 전하 도핑에 취약하고 인위적인 선택적 화학 치환 기법도 결합·합금화를 유발하기 때문에 실제 물질에서 구현이 힘들.
- 본 연구에서는 야누스 결정구조를 가지면서 카고메 격자로 인한 평탄 밴드 전자구조를 동시에 갖는 물질을 합성하여 면 의존 전자 양극성을 반도체 상태에서 구현된 최초의 물질을 제시함.

(연구결과)

- 본 논문은 야누스 + 브리딩 카고메(breathing-Kagome) 격자를 동시에 갖는 Nb₃TeI₇ 물질을 제시하고, 평탄 밴드(flat bands) 구조와 강상관 특성이 결합된 면 의존적 전자 양극성(n/p 양면성)을 실험적으로 확증함.
- 면 의존 n형(I₄ 면) / p형(TeI₃ 면) 반도체 동작을 소자 수준으로 실증했다는 점이 독창적임.

(의의 및 기대효과)

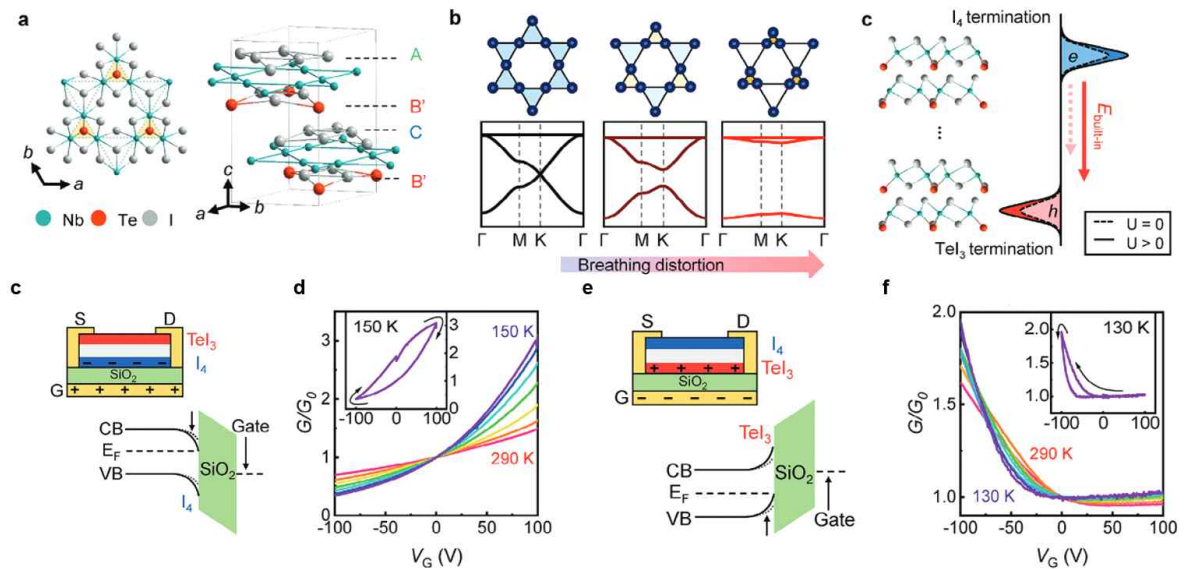
- 평탄밴드, 야누스 특성, 반도체 물성이 결합된 새 재료 플랫폼을 제시함.
- 면 선택적 n/p 채널, 큰 내부 전기장을 바탕으로 선행 광응답, 열전, 정류/포토다이오드형 수직 소자 등에 활용될 수 있음.
- 자연 성장 벌크/플레이크에서 균일 분극·반도체성을 동시에 확보했다는 점에서, 기존 야누스 재료의 도메인/결합·금속성 문제를 넘어서는 범용 2D 반도체 응용의 기반을 마련함.

(비고)

- 본 연구단의 참여교수() 및 국내 연구진과의 공동연구 성과임.

야누스 - 카고메 결정구조를 갖는 Nb₃TeI₇의 면 의존적인 반도체 특성

Nb₃TeI₇은 평면방향으로는 카고메 구조를 가지면서 수직방향으로는 야누스 구조를 갖는 반데르발스 반도체임. 카고메 구조의 숨쉬기 변형으로 인해 평탄 밴드 구조가 발현되면 야누스 적층 구조로 인해 면 의존적인 전하 비대칭과 내부 전기장이 유도된다. 본 연구에서는 해당 물질의 단결정



특성을 최초로 확인하고 실제 전계효과 소자 구조를 활용하여 n형(I_4 면) / p형(Tel_3 면) 반도체 동작을 동일한 물질에서 실증하였다.

High momentum two-dimensional propagation of emitted photoluminescence coupled with surface lattice resonance, Light: Science & Applications 14, 218 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

-차세대 전자소재로 주목받는 2차원 반도체는 두께가 불과 수 원자층이기 때문에 유연하면서도 뛰어난 전기적·광학적 특성을 가짐. 이 때문에 TSMC 등 글로벌기업들이 반도체칩 양산을 위한 차세대 소재로 이미 상용화 연구를 진행하고 있음.

-하지만 단위부피당 발광효율이 매우 높은 것에 비하여, 수 원자층 두께에서 발생하는 빛의 절대적인 세기는 여전히 낮아서 디스플레이 소재로의 활용을 위해서는 발광효율 향상이 필요함.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

5

-기존의 금속 구조 안테나를 이용한 2차원 반도체 발기 증강 기술은 두 가지 핵심 문제가 있었음. 첫째, 금속과 반도체의 접촉면에서 에너지 손실이 크다는 점. 둘째, 국소적인 영역의 발기만 증강되어 대면적 디스플레이 응용에는 적합하지 않다는 점.

-연구팀은 이를 해결하기 위해 바비넷 원리를 적용하여 속이 빈 금속 안테나 구조를 설계하였음.

(연구결과)

-연구팀은 금속과 반도체의 접촉면을 최소화하고 높은 발기 증강을 유도할 수 있었음.

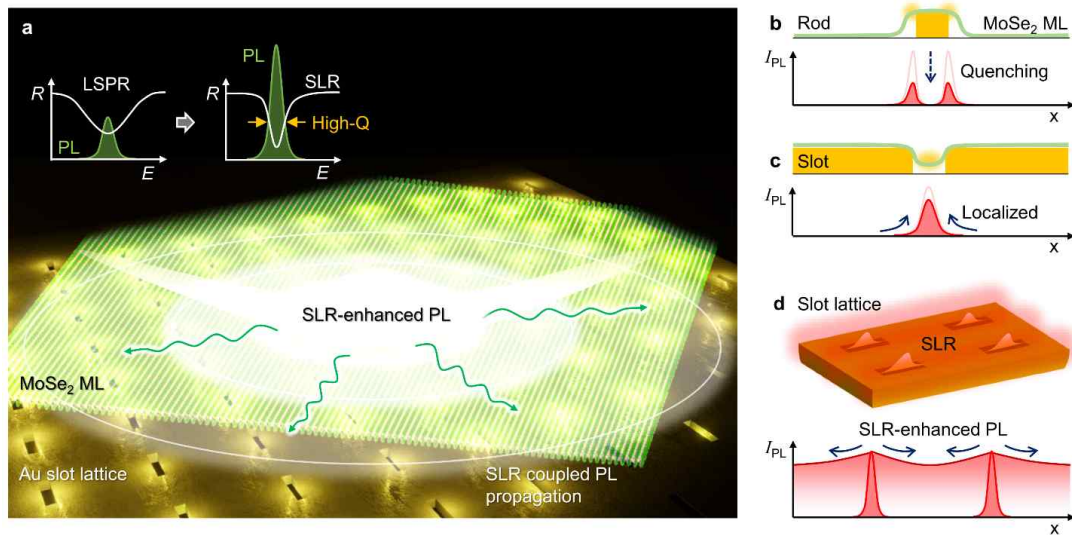
-뿐만 아니라, 금속 안테나를 평면상에 특정 주기로 배열하면 표면격자공명 현상을 유도할 수 있었음. 표면격자공명은 단순히 여러 개별 안테나 효과의 합이 아니라, 멀리 떨어진 안테나끼리 서로 연결되어 공명현상을 일으켜 더욱 증폭된 빛을 만들어 낼 수 있음. 이는 마치 여러 명이 동시에 트램펄린 위에서 리듬을 맞춰 점프할 때 한순간에 더 높은 도약이 가능해지는 것과 같은 원리로 설명할 수 있음. 이 효과를 이용하여 기존보다 적은 영역의 전원만으로 더 넓은 면적을 밝힐 수 있으며 발광 휘도도 기존보다 1600배나 증강할 수 있었음.

(의의 및 기대효과)

- 2차원반도체가 직면한 발광소재로서의 한계를 극복함.
- 차세대 디스플레이와 광반도체 기술 상용화에 중요한 돌파구를 제시함.

(비고)

- 본 연구단의 참여교수() 및 국내외 연구진과의 공동연구 성과임.



특정 주기로 배열된 금속 안테나를 통해 비약적으로 향상된 발광효율

(좌) 2차원 반도체의 대면적 발광효율 증강 모식도이고 (우) 바비넷 원리와 표면격자공명 현상을 설명한 그림이다.

Frustrated phonon with charge density wave in vanadium Kagome metal, Nat. Commun. 16, 4861 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

- Kagome 금속은 전자가 격자 구조 내에서 기하학적으로 찢찢매는 (frustration) 양자물질로, 전자 밀도파 (CDW), 초전도, 위상물성 등이 공존하는 복합 양자 상으로 주목받고 있음.
- 일반적인 CDW 물질에서는 특정 포논 모드가 연화 (softening) 되며 CDW가 유도되지만, Kagome 금속에서는 포논 연화 (phonon softening) 가 관측되지 않는 비정상적인 거동이 반복적으로 보고 되어 왔음.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

- 기존 연구에서는 CDW 형성 과정에서 전자구조 변화에 초점을 맞췄으며, 포논의 동역학적 역할은 실험적으로 명확히 규명되지 않았음.
- 특히 Kagome 금속에서는 전통적인 phonon softening이 나타나지 않아 기존 CDW 이론으로 설명할 수 없는 구조적 모순이 존재했음.

-본 연구는 이러한 한계를 극복하고, CDW 상태에서 특정 포논 모드가 오히려 억제되는 ‘찢찢매는 포논 (phonon frustration)’ 현상이 존재함을 최초로 제안하고 실험을 통해 입증하였음.

(연구결과)

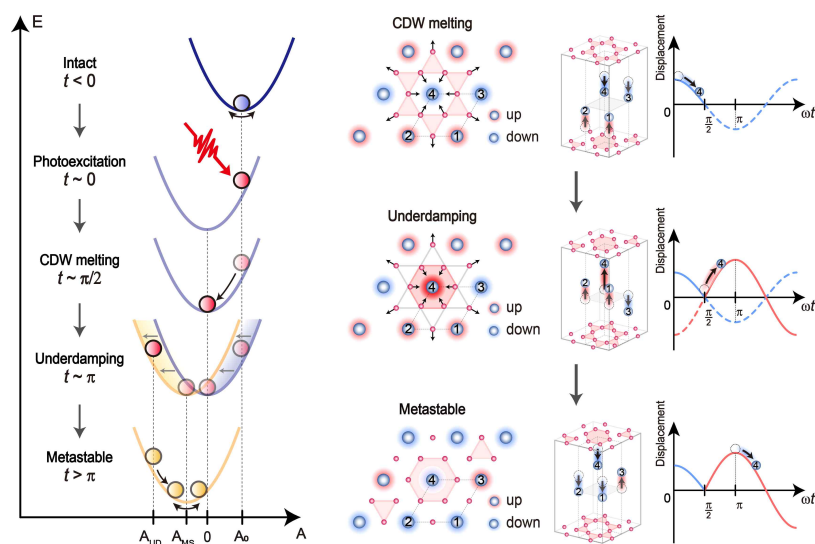
- XFEL 기반 초고속 X선 산란 실험을 통해, 광자극 직후 CDW 상이 급격히 소멸되고 억제되어 있던 세슘 원자의 포논 진동이 해방되며 결맞는 진동 (coherent oscillation) 이 나타남.
- 이로 인해 기존의 대칭 구조가 비대칭적으로 재배치되고, 새로운 준안정 (metastable) CDW 상이 형성됨을 실험 및 이론적으로 확인함.
- 형성된 metastable 상은 나노초 수준까지 유지되며, 이는 비평형 상태에서 phonon frustration이 해소되며 새로운 상이 유도됨을 실험적으로 보여준 첫 사례임.

(의의 및 기대효과)

- 전통적인 CDW 형성 이론을 넘어, 포논이 오히려 억제되는 ‘phonon frustration’ 개념을 실험적으로 제시함으로써 전자-격자 상호작용에 대한 새로운 이해를 제공함.
- 이 결과는 향후 고온 초전도체 및 층상 2차원 물질 내 초전도 상태의 복잡한 기원을 밝히는데 중요한 단서를 제공하며, 특히 전자-격자 상호작용이 초전도 상에서 어떤 방식으로 경쟁하거나 협력하는지를 이해하는 데 기초적인 통찰을 제공함.
- 이러한 포논 동역학은 타 물질 군에서도 보편적으로 나타날 수 있으며 후속 연구의 필요성을 시사함.

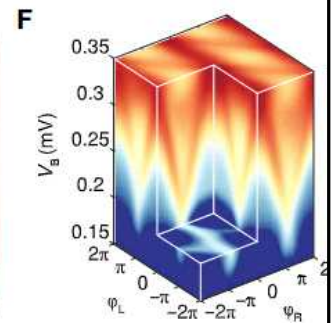
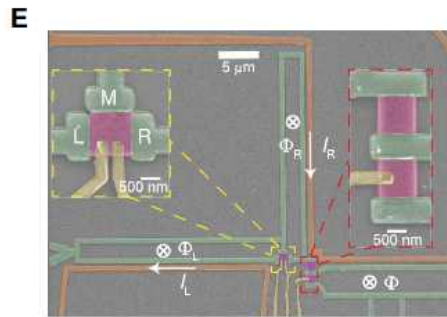
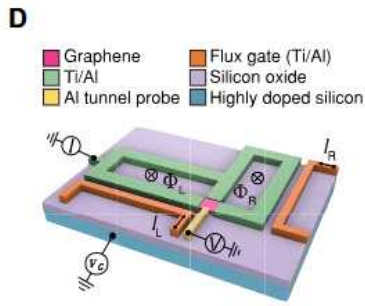
(비고)

- 본 연구단의 참여교수 및 국내 연구진과의 공동연구 성과임.



비평형 상태에서 포논 찢찢매 현상으로부터 나타나는 새로운 준안정 상태
레이저 자극에 의해 CDW 상태가 무너지고, 포논 진동이 대칭에서 비대칭 형태로 전환되며 새로운 준안정 상태에 도달하는 과정을 시각적으로 나타낸 그림이다.

7	<i>Tunneling spectroscopy of Andreev bands in multiterminal graphene-based Josephson junctions</i>, Sci. Adv. 11, eads0342 (2025) BK 참여대학원생: 사업단 참여교수: (기본 개념 및 연구 배경) -조셉슨 접합(JJ)은 초전도체 사이의 전자 터널링을 통해 초전류가 흐르는 양자소자의 기본 단위로, Andreev 준위(Andreev bound state, ABS)가 소자의 위상과 전압에 따라 형성됨. -특히 다중단자 조셉슨 접합(multiterminal JJ, MTJJ)은 2단자 JJ에서 접근하기 어려운 위상학적 Andreev 밴드를 구현할 수 있어, 고차원 위상 밴드 물리를 모사할 수 있는 새로운 플랫폼으로 주목받았으나 지금까지는 MTJJ의 위상적 특성이 실험적으로 직접 관측된 사례가 없었음. (기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성) -기존 연구는 전류-전압 특성 등 간접적인 수송 특성에 의존했으며, Andreev 밴드의 실공간 분포나 위상공간에서의 밴드 구조를 직접 측정한 사례가 부재함. -본 연구에서는 그래핀 기반 3단자 조셉슨 접합을 제작하고, 초전도 터널 프로브를 이용한 고분해 터널링 분광법(tunneling spectroscopy)을 통해 두 개의 독립적인 위상차에 따른 2차원 Andreev 밴드 구조를 직접 관측함. (연구결과) -측정된 Andreev 밴드가 영 에너지에서 교차하는 ‘노달선(nodal line)’을 형성하며, 서로 다른 위상수를 갖는 위상적으로 구별된 영역을 분리함을 확인함. -Random matrix theory를 적용한 이론 모델과의 비교를 통해, 실험에서 관측된 Andreev 밴드가 예측된 위상적 밴드 전이를 충실히 재현함을 입증함. -게이트 전압을 조절하여 각 단자의 결합 강도(anisotropy)를 조절함으로써, 3단자 Andreev 밴드가 2단자 밴드로 탈결합되는 과정을 실시간으로 제어함. (의의 및 기대효과) -그래핀 기반 조셉슨 접합에서 위상적 Andreev 밴드의 직접 분광 관측을 세계 최초로 실현. -MTJJ 내 Andreev 밴드의 위상적 성질(노달선, 와인딩수, 밴드 전이)을 실험적으로 규명함으로써, 고차원 위상 물질과 양자 시뮬레이터 연구의 새로운 장을 열었음. -전기적 게이팅만으로 위상 밴드 구조를 조절할 수 있어, 향후 스핀-궤도 결합이 포함된 초전도 스핀 큐비트 및 마요라나 상태(Majorana states) 구현으로 확장 가능. (비고) 본 연구단의 참여교수()와의 공동연구 성과임. 다중단자 조셉슨 접합으로 구현된 위상적으로 특별한 Andreev 밴드 구조
---	--



그래핀 기반 다중단자 조셉슨 접합은 위상적으로 특별한 Andreev 밴드 구조를 실현함을 실험적 이론적으로 밝혔다.

Observation of symmetry-forbidden rectification in an inversion-symmetric Weyl metal, Nat. Commun. 16, Article number: 4153 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

- 기존 금속은 페르미면의 존재로 약한 전자기장에 대한 전류의 비선형성이나 정류 현상을 보일 수 없음.
- 특히, 반전 대칭성이 존재하는 물질의 경우 정류 현상은 나타날 수 없음.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

- 본 연구에서는 바일 금속의 위상적으로 특별한 성질에 의해 Bi_{1-x}Sb_x (x=3-4%) 물질 자체는 반전 대칭성이 존재함에도 불구하고 자발적인 반전 대칭성의 깨어짐 현상이 나타나 약한 전류의 흐름 상태에서도 정류 작용이 나타남을 실험적으로 관측하였음.
- 나아가 바일 금속의 위상적 특성이 고려된 볼츠만 방정식과 맥스웰 방정식이 결합한 비선형 맥스웰 방정식을 해석적으로 풀어 약한 전류가 흐르는 바일 금속 상태에서 자발적인 반전 대칭성의 깨어짐 현상이 존재함을 수학적으로 증명하였음.

(연구결과)

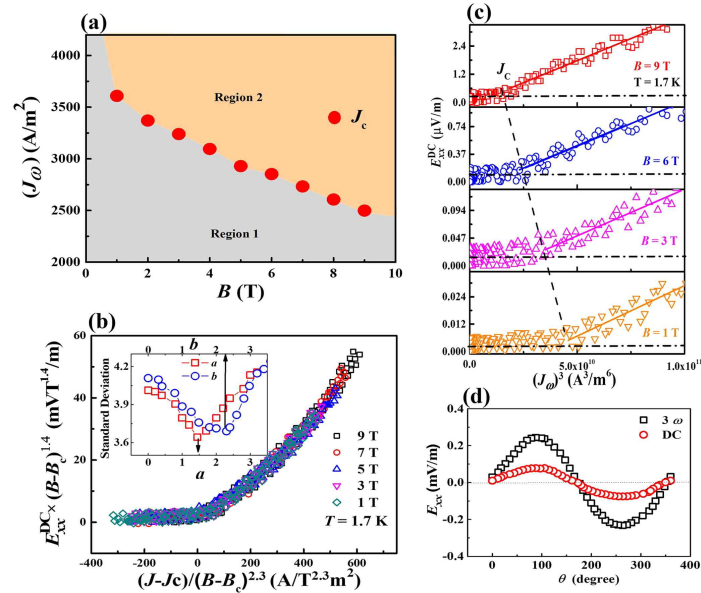
- 외부에서 걸어 준 자기장의 세기와 가한 전류의 크기에 대한 함수로 전기장의 세기를 측정하여 정류 작용이 나타나지 않고 비선형성만 존재하는 영역과 정류 작용과 비선형성이 동시에 존재하는 영역에 대한 상그림을 실험적 이론적으로 밝힘.
- 반전 대칭성이 존재하는 바일 금속에서 정류 작용이 나타날 수 있는 근본 원리가 반전 대칭성의 자발적인 깨어짐이라는 사실을 바일 금속의 위상적 성질을 고려한 비선형 맥스웰 방정식을 해석적으로 분석하여 증명함.

(의의 및 기대효과)

- 전자기적으로 선형 응답 영역에서 나타나는 바일 금속의 비선형성과 정류 작용 관측.
- 바일 금속 트랜지스터의 존재성 증명.
- 새로운 금속 디바이스 기술에 영향을 줄 것으로 기대.

(비고)

- 국내외 (대구대학교 & 일본) 연구진과의 공동연구 성과임.



반전 대칭성이 존재하는 Bi1-xSbx (x=3-4%) 금속에서 나타나는 정류 작용

외부에서 걸어 준 자기장의 세기와 가한 전류의 크기에 대한 함수로 전기장의 세기를 측정하여 정류 작용이 나타나지 않고 비선형성만 존재하는 영역과 정류 작용과 비선형성이 동시에 존재하는 영역에 대한 상그림을 밝혔고 그에 대한 근본 원리가 반전 대칭성의 자발적인 깨어짐이라는 사실을 바일 금속의 위상적 성질을 고려한 비선형 맥스웰 방정식을 해석적으로 분석하여 증명하였다.

Harnessing magnetic octupole Hall effect to induce torque in altermagnets, Phys. Rev. Lett. 135, 076705 (2025)

BK 참여대학원생:

사업단 참여교수:

(기본 개념 및 연구 배경)

-교자성체는 강자성체 및 반강자성체와 구별되는 새로운 형태의 자성체로서 강자성체와 반강자성체의 중간 성질을 가짐. 알짜 자기모멘트가 0이라는 점에서는 반강자성체와 유사하고 에너지 준위가 스핀 방향에 따라 갈라진다는 점에서는 강자성체와 유사함.

-스핀-궤도 결합이 강할 때만 생긴다고 믿어졌던 스핀 홀 전류, 스핀 토크 등의 현상이 교자성체에서는 스핀-궤도 결합이 없어도 생길 수 있다는 이론 예측이 학계의 관심을 받고 있음.

(기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성)

-이론 예측된 효과들이 실험에서는 아주 미세하게만 관측됨. 그 원인으로, 교자성체가 하나의 자구(magnetic domain)를 이루지 못하고 여러 개의 자구로 이루어져 이런 괴리가 생기는 것으로 추정됨.

-강한 자기장을 가해 교자성체를 단일 자구로 만들려는 시도가 있으나 교자성체는 알짜 자기쌍극

자가 0이어서 이 방법의 효율이 좋지 않음. 본 연구에서는 교자성체의 자기 다중극이 (magnetic multipole) 유한하다는 성질을 활용해 교자성체의 자화상태를 제어하는 새로운 방법을 제안함.

(연구결과)

-자기 팔중극(magnetic octupole)이 유한한 값을 가지는 d -파형(wave) 교자성체에 교자성체의 자기 팔중극과 방향이 다른 자기 팔중극을 외부에서 주입하면 교자성체의 자화 상태가 변화됨을 확인.

-또한, α -W와 같은 전이금속에 전류를 가하면 전이금속 내부 전자 상태가 변형되면서 전자 파동함수가 자기 팔중극을 가지게 되고 자기 팔중극이 전류에 수직 방향으로 흐른다는 것을 확인함. 따라서 이런 전이금속을 d -파형 교자성체와 접합한 자기접합구조에서는 계면에 평행하게 전류를 흘려주면 전이금속에서 생성된 자기팔중극이 교자성체로 흘러들어가면서 교자성체의 자화 상태를 변화시킨다는 것을 수치계산을 통해 확인함.

(의의 및 기대효과)

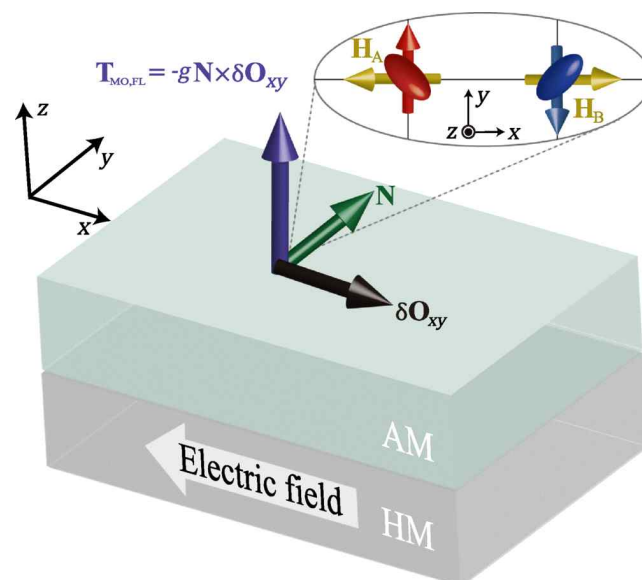
- 전기적 자화 상태 제어에 대한 기존 연구는 자기 쌍중극에 국한되어 있었으나 이번 연구를 통해 자기 다중극의 활용 가치를 발견함.

- 교자성체의 자화 상태를 자기장을 걸지 않고 전기적인 방법으로 제어할 수 있는 가능성을 열었음.

- 이 방법을 사용하여 교자성체를 단일 자구를 만드는 것이 실험에서 확인된다면 교자성체의 소자 활용 가능성을 크게 높일 수 있음.

(비고)

- 본 연구단의 참여교수 와 스웨덴 연구진과의 공동연구 성과임.



d -파형(wave) 교자성체에서 자기 팔중극(magnetic octupole)효과로 인한 자화 상태 조절 원리
자기 팔중극(magnetic octupole)이 유한한 값을 가지는 d -파형(wave) 교자성체에 교자성체의 자

	기 팔중극과 방향이 다른 자기 팔중극을 외부에서 주입하면 교자성체의 자화 상태가 변화된다. 이것은 교자성체의 자화 상태를 자기장을 걸지 않고 전기적인 방법으로 제어할 수 있는 가능성을 보여 준다.
10	<i>Exploring new constraints on Kahler moduli space of 6d $N=1$ supergravity</i>, JHEP 10, 217 (2024) 사업단 참여교수: (기본 개념 및 연구 배경) - 최근 끈이론 분야에서 가장 각광받는 연구분야인 Swampland 프로그램은 블랙홀 등 다양한 양자효과에서 유도되는 양자중력과 양립 가능한 유효장론들의 조건들을 얻어내고, 이를 바탕으로 모순 없이 존재할 수 있는 이론들을 선별하는 연구 방향임. - 다만 유효장론만으로 Swampland 조건을 직접 도출하려면 비섭동적 양자중력 현상에 대한 정량적 접근이 필요하나, 아직 체계적 방법론이 부재하여 난관이 있음. (기존연구 한계, 기존 연구 대비 독창성) - 기존 연구는 대체로 정성적 논의에 머물거나 섭동적 계산에 의존해, 유효장론의 엄밀한 정합성 검증이 어려움. - 본 연구는 양자중력에서 허용되는 결합연산자의 유니타리티 조건과 특정 극한에서 등장하는 등각장론(SCFT) 분류 결과를 결합해, 유효장론 정합성을 비섭동적으로 검증할 수 있는 새로운 방법론을 제안함. (연구결과) - 본 연구에서는 6차원 최소 초대칭 (1,0) 유효장론을 대상으로, 결합연산자의 유니타리티와 등각장론 분류를 활용해 Swampland 조건을 정량화하는 획기적 방법론을 구축함. 특히 차원 내림을 통해 5차원 SCFT 분류가 6차원 양자중력 분석에 직접 활용될 수 있음을 최초로 보임. - 이 방법을 적용하여, 텐서 자유도가 없는 6차원 초대칭 $SU(2)$, $U(1)$ 게이지 이론이 섭동적으로 1-form 대칭성을 가질 때, 이 대칭성이 비섭동적으로 반드시 게이지화 되어야 한다는 가설을 엄밀한 계산으로 최초 증명함. (의의 및 기대효과) - 5차원 SCFT 분류를 6차원 양자중력 연구에 접목하는 새로운 연구 경로를 제시. - 결합연산자 물리와 고차원 등각장론 분류를 결합해 Swampland 조건을 정량적으로 도출한 첫 사례. - 초대칭 양자중력의 비섭동적·정량적 연구에 새로운 지평을 열었다는 점에서 학문적 파급효과가 큼. (비고) • 본 연구단의 참여교수 와 (Harvard University)의 공동연구성과임.

③ 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

○ 참여교수 특허실적

: 참여교수의 대상 기간 특허실적은 본 보고서의 내용 중 가장 주목할 만한 성장세를 보임. 특허 등록 5건을 포함하여 15건의 특허 출원 실적을 보임.

■ 표: 물리교육연구단 참여교수 특허 등록 내용 (발명자중 주발명자는 보울드페이스, BK 참여 대학원생은 괄호로 표시)

연번	참여교수	발명자	출원번호	출원일자	발명명칭	등록번호	등록일
1			10-2023-7025614	2023-07-26	초업힘을 이용한 내잡 음성 양자 통신을 위한 시스템 및 방법	10-2783721	2025-03-14
내용: 초업힘을 이용한 내잡음성 양자 통신을 위한 시스템은 복수의 큐비트를 포함하는 양자 시스템, 프로세서 및 메모리를 포함한다. 메모리는 저장된 명령을 포함하고, 명령이 프로세서에 의해 실행될 때 양자 시스템은, 복수의 큐비트를 포함하는 양자 시스템의 신호에 접근하고, 업힘 광원을 통해 복수의 큐비트에 대한 초업힘을 획득하게 된다. 복수의 큐비트에 대한 초업힘은 제1 차원 및 제2 차원을 포함하는 적어도 2개의 차원에서 일어난다. 명령이 실행될 때 양자 시스템은 추가로 통신 채널을 통해 초업힘 복수의 큐비트를 전송하고 적어도 2개의 차원 중 제1 차원과 신호의 통신을 수행하며 적어도 2개의 차원 중 제2 차원에 기초하여 통신된 신호의 결과를 필터링하게 된다.							
2			10-2023-0094495	2023-07-20	페라이트 자성 재료, 이를 포함하는 페라이트 소결 자석 및 페라이트 소결 자석의 제조 방법	10-2721339	2024-10-21
내용: 본 발명은 페라이트 자성 재료, 이를 포함하는 페라이트 소결 자석 및 이의 제조 방법에 대한 것이다.							
3			10-2022-0069221	2022-06-08	베시클의 표지 방법 및 이를 이용한 베시클-타겟 단백질 상호작용의 검출 방법	10-2846387	2025-08-11
내용: 세포 내 물질 수송 및 세포 간 커뮤니케이션을 수행하는 지질 베시클을 높은 효율로 형광 표지하는 방법을 개발함.							
4			10-2023-0057678	2023-05-03	조정된 불화 그래핀을 포함하는 양자 소자 및 이의 제조 방법	10-2797353	2025-04-14
내용: 본 발명은 조정된 불화 그래핀(moderate fluorinated graphene)을 포함하는 양자 소자 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 구체적으로, 기판 위에 제1 절연층과 그래핀 층을 형성하고, 그래핀 층의 일부 영역							

(제1 영역 및 제2 영역)을 조정된 불화 그래핀으로 만든 후 금속층을 접촉시키며, 나머지 영역(제3 영역)은 제2 절연층으로 덮여 구성된다. 이를 통해 조정된 불화 그래핀이 금속층과 접촉하는 양자 소자가 제공된다.						
5		10-2024-0130138	2024-09-25	전자 장치 및 그의 동작 방법	10-2781292	2025-03-10
내용: 기존의 라이더는 고전적인 광원을 사용하여 표적을 탐지하고 거리를 측정한다. 그러나 이러한 시스템은 잡음 환경에 노출되는 경우 불필요한 신호들이 표적 탐지 성능을 크게 저하시키는 문제점이 있다. 본 특허는 광자 쌍 사이의 양자 상관관계를 이용하여 상관관계를 가지지 않는 불필요한 신호를 걸러내어 표적 탐지 성능을 향상시키는 기술(양자 라이더)에 대한 기술이다.						
■ 표: 물리교육연구단 참여교수 특허 출원 내용 (발명자중 주발명자는 보울드페이스, BK 참여 대학원생은 괄호로 표시)						
연번	참여교수	발명자	출원번호	출원일자	발명명칭	
1			19/264,727	2025-07-09	군속도 분산 생성 장치 및 이를 이용한 양자 통신 시스템	
내용: 초엄힘을 이용한 내잡음성 양자 통신을 위한 시스템은 복수의 큐비트를 포함하는 양자 시스템, 프로세서 및 메모리를 포함한다. 메모리는 저장된 명령을 포함하고, 명령이 프로세서에 의해 실행될 때 양자 시스템은, 복수의 큐비트를 포함하는 양자 시스템의 신호에 접근하고, 엄힘 광원을 통해 복수의 큐비트에 대한 초엄힘을 획득하게 된다. 복수의 큐비트에 대한 초엄힘은 제1 차원 및 제2 차원을 포함하는 적어도 2개의 차원에서 일어난다. 명령이 실행될 때 양자 시스템은 추가로 통신 채널을 통해 초엄힘 복수의 큐비트를 전송하고 적어도 2개의 차원 중 제1 차원과 신호의 통신을 수행하며 적어도 2개의 차원 중 제2 차원에 기초하여 통신된 신호의 결과를 필터링하게 된다.						
2			10-2024-0193483	2024-12-23	군속도 분산 생성 장치 및 이를 이용한 양자 통신 시스템	
내용: 본 발명에 따른 군속도 분산 생성 장치는 광섬유로 구성되고 정보가 인코딩된 적어도 하나 이상의 채널 신호에 군속도 분산을 적용하여 인접한 두 채널 신호 사이의 시간 차이를 조정하는 군속도 분산 모듈 및 광섬유 길이 정보를 수신한다. 상기 광섬유 길이 정보에 기초하여 상기 군속도 분산 모듈을 제어하는 제어부를 포함하되 상기 군속도 분산 모듈은 상기 양자 신호가 입력되는 입력 라인과 연결되고 상기 양자 신호에서 정보가 인코딩된 복수의 신호를 분리하며 적어도 하나의 신호에 라인 길이 차이에 따른 군속도 분산을 적용해 인접한 두 채널 신호 사이의 시간 차이를 조정하는 군속도 분산 생성 라인 및 상기 각 신호를 출력하는 출력 라인을 포함한다.						
3			18/962,413	2024-11-27	탐침 증강 현미경	
내용: 기판 상에 위치하는 반데르발스 위상절연체로 구성된 비자성층, 및 비자성층에 접하는, 반데르발스 강자성체로 구성된 자성층을 포함하는 SOT 소재, SOT 소재의 제조방법, 및 SOT 소재를 포함한 자기 메모리 소자가 제공된다.						
4			10-2024-0143391	2024-10-18	초고속 전도성 광 공진기	
내용: 플라즈모닉 나노 광 공진기에 전기장 모듈을 결합하여 나노 수준 공간 분해능으로 나노 고아학 현상을 관찰 및 유도하고 초고속 전기적 제어를 할 수 있는 장치로 초고속 모듈레이션 되는 광학적 신호의						

유도 및 관찰과 초고속 전기제어가 동시에 가능함.				
5		19/290,631	2025-08-05	초정밀 전자 밀도 조절기
내용: 전도성 원자간력 현미경 기술에 나노 초 수준으로 전기장을 제어하는 전기장 모듈과 광측정 모듈을 결합하여 나노 수준에서 샘플 전자밀도를 초정밀하게 조절하는 동시에 전기적, 광학적 특성을 측정할 수 있는 초고속 전도성 광 공진기이다.				
6		10-2024-0143388	2024-10-18	초정밀 전자 밀도 조절기
내용: 전도성 원자간력 현미경 기술에 나노 초 수준으로 전기장을 제어하는 전기장 모듈과 광측정 모듈을 결합하여 나노 수준에서 샘플 전자밀도를 초정밀하게 조절하는 동시에 전기적, 광학적 특성을 측정할 수 있는 초고속 전도성 광 공진기이다.				
7		19/126,635	2025-05-01	비 네오디뮴(Nd) 영구자성재료 및 이를 이용한 영구자석
내용: 본 발명에서는 기존의 네오디뮴 자석 Nd ₂ Fe ₁₄ B 대체 영구자석으로 CeFe ₁₂ 기반 화합물이 제시되었다. 정방정계의 결정을 가지며 층상으로 철 원소들이 복잡한 망을 가진 Ce ₂ Fe ₁₄ B 에 비해 철이 균일하게 분포한 ThMn ₁₂ 형태의 구조인 CeFe ₁₂ 화합물은 적은 희토류 조성에 비해 많은 철 원소 조성을 가진다. 따라서, CeFe ₁₂ 계열 화합물들의 큐리온도는 높아 영구자석으로써 성능이 우수할 것으로 예상되어진다. 하지만 CeFe ₁₂ 는 동적 불안정성과 낮은 자기이방성에 기인한 낮은 보자력에 인하여 영구자석성능이 떨어지고 실제 합성과 응용에 어려움이 있다. 본 발명에서는 CeFe ₁₂ 의 자석 특성이 향상시킬 수 있는 방안으로 비금속원소 삽입과 Fe 보다 원자 크기가 큰 원소 삽입을 통하여 CeFe ₁₂ 시스템에 전자를 공급하여 Ce f-궤도 안정을 통해 CeFe ₁₂ 계열 화합물의 불안정성을 제어 하였고, Ce f-궤도의 궤도각운동량 증가를 통하여 자기이방성을 증가시켜 보자력을 향상시키는 방안을 제일원리 계산을 통하여 제시하였다. 더 나아가 Fe 보다 스핀-궤도 상호작용이 큰 4d, 5d-전이금속 치환을 통하여 보자력이 향상된 CeFe ₁₂ 계열 화합물을 디자인하였고, 동적 불안정성이 해소된 CeFe ₁₁ M에 보자력 증가를 위한 비금속 원소를 삽입함으로써 실제 합성과 응용에서도 유용함을 증명하였다.				
8		19/127,687	2025-05-06	범용 보석 커팅 감별 장치 및 방법
내용: 범용 보석 커팅 감별 방법이 제공된다. 방법은, 보석 샘플 지지부에 커팅된 보석 샘플을 마운팅하는 단계와, 측정 대상 보석의 제1 면과 제2 면의 경계선에 레이저 빔을 조사하는 단계 및 상기 레이저 빔이 상기 경계선으로부터 회절된 제1 회절 성분 및 제2 회절 성분의 각도 차를 기반으로 상기 제1 면과 제2 면 사이의 각도를 측정하는 단계를 포함한다.				
9		19/128,543	2025-05-08	광섬유와 광도파로간 결합기, 그리고 이를 포함하는 광 집적회로
내용: 본 발명의 일 실시예에 따른 광섬유와 광도파로간 결합기는 광섬유의 단부에 위치하며 경사진 경사 단면을 가지는 광섬유 결합부; 광도파로의 일부에 해당하며, 상기 광섬유 결합부와 접촉하는 광도파로 결합부; 그리고 상기 광섬유 결합부 및 상기 광도파로 결합부를 덮으며 상기 광섬유 결합부와 상기 광도파로 간의 굴절률을 정합시키는 굴절률 정합부를 포함하고, 상기 광섬유 결합부는 상기 광섬유의 코어를 노출하고, 상기 광도파로 결합부의 일부의 폭은 상기 광도파로의 연장 방향을 따라 점차 변경된다.				
10		10-2025-0088515	2025-07-02	단결정 구리(Cu) 박막 기반의 나노 소자 제조방법 및 탄도 전도 특성을 갖는 나노소자
내용: 본 발명은 단결정 구리(Cu) 박막을 기반으로 한 나노 소자 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명의 소자는 전자 산란을 억제할 수 있는 구조를 통해 탄도 전도 특성을 구현할 수 있다.				
11		10-2025-0037320	2025-03-24	단결정 Cu 박막을 기반으로 한 나노디바이스에서의 탄도수송
내용: 본 발명은 단결정 구리(Cu) 박막을 기반으로 한 나노 소자 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 본 발				

명의 소자는 전자 산란을 억제할 수 있는 구조를 통해 탄도 전도 특성을 구현할 수 있다.				
12		10-2025-0 040225	2025- 03-28	반데르발스 물질과 전극 간 이차원 접합을 포함하는 소자 및 이의 제조방법
내용: 본 발명의 실시예들은 반데르발스 물질과 전극 간 이차원 접합을 포함하는 소자 및 이의 제조 방법에 관한 것으로, 높은 전하 운송 투과도를 가지는 반데르발스 물질과 전극 간 이차원 접합을 포함하는 소자 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.				
13		PCT/KR202 5/007486	2025- 05-30	안드레브 준위 큐비트 소자 및 이의 제조방법
내용: 본 발명은 초전도 큐비트 중 하나인 안드레브 준위 큐비트의 제어 및 측정을 위한 공진 주파수의 조절을 위한 새로운 방법을 제시한다. 이 방법을 구현하기 위해서 안드레브 준위 큐비트를 구성하는 소자인 조셉슨 접합을 겹층 그래핀을 이용하여 제작한다. 겹층 그래핀에 게이트 전압을 인가하면 페르미 속도가 변화하는 특성을 이용하면 안드레브 준위의 에너지를 실시간으로 조절할 수 있으며 이를 통해 큐비트의 공진 주파수를 조절할 수 있게 된다.				
14		10-2024-0 144494	2024- 10-22	안드레브 준위 큐비트 소자 및 이의 제조방법
내용: 본 발명은 초전도 큐비트 중 하나인 안드레브 준위 큐비트의 제어 및 측정을 위한 공진 주파수의 조절을 위한 새로운 방법을 제시한다. 이 방법을 구현하기 위해서 안드레브 준위 큐비트를 구성하는 소자인 조셉슨 접합을 겹층 그래핀을 이용하여 제작한다. 겹층 그래핀에 게이트 전압을 인가하면 페르미 속도가 변화하는 특성을 이용하면 안드레브 준위의 에너지를 실시간으로 조절할 수 있으며 이를 통해 큐비트의 공진 주파수를 조절할 수 있게 된다.				
15		18/954,931	2024- 11-21	다이오드 소자 및 반도체 장치
내용: 서로 다른 제1 원소와 제2 원소를 포함한 5d 전이 금속 산화물을 포함하는 활성층을 포함하고, 상기 활성층의 두께 방향을 따라 상기 제1 원소와 상기 제2 원소의 조성비가 변하는 다이오드 소자 및 이를 포함한 반도체 장치에 관한 것이다.				

2. 산업·사회에 대한 기여도

산업사회 문제 해결 기여를 위한 연구단의 운영 계획 및 실적

✓ 포스텍 물리교육 연구단은 산업·사회·과학 의 중요 3대 현안 과제로 ‘산업체 미래성장 동력원 확보’, ‘학령인구 감소에 따른 과학 전문인력 부족해소’, 그리고 ‘과학기술 발전으로 인해 급변하는 사회에 대한 능동적 대처’를 선포하였으며 이를 위한 아래와 같은 구체적 전략을 제시 함. 이러한 운영 전략에 따른 교육 연구단의 수립 계획과 구체적 운영 실적, 그리고 향후 추진계획을 다음과 같이 정리함.

○ 전략 1: 과학 대중화 및 지식환원

■ 연구 특허 출원 독려.

[계획]

- 특허 출원 과정 소개 세미나 상시운영 - 특허의 이해도 증진.

- 산업체 활동 전문가 초청 강연.

[실적]

- 없음.

[실적 분석 및 향후 추진 계획]

- 원 계획 유지, 해당 부분에 대한 지속적인 노력이 요구됨.

■ 기초과학 중심의 산학연구 및 기술 컨설팅 활동 장려.

[계획]

- 대학의 벤처밸리 창업인큐베이팅 센터 참여.
- 기초과학 연구 중심의 산학과제 수주.
- 산업체 대상 기술 컨설팅 활성화.

[실적]

- 기초과학 연구 중심 산학 협력 연구과제 수행.

: 아래와 같이 본 연구단은 10건의 삼성미래기술육성재단 연구과제를 지원받아 관련연구를 수행하고 있음. 또한 주식회사 삼성전기, 삼성전자 등과 2건의 산학협력과제를 수행하였음. 이러한 과제들은 양자물질 및 전자산업발전에 직결된 연구내용으로 본 연구단에서는 전략적인 소재, 부품, 장비의 개발을 아울러, 국가적 위기상황인 소재/부품/장비의 국제적 경쟁력확보에 적극적으로 기여하고 있음.

- 삼성미래기술육성재단 연구과제 (총 10건).

- ◇ 교수: 오비트로닉스 (2020. 08. ~ 2025. 07.).
- ◇ 교수: 초끈 이론을 이용한 완전한 위상 물질 분류법 연구 (2021. 06. ~ 2025. 05.).
- ◇ 교수: 차세대 고온초전도체 발굴 (2022. 06 ~ 2027. 05.).
- ◇ 교수 : 위상마디선 제어 고성능 자성 반도체 소재 및 소자 개발 (2022. 06 ~ 2025. 11.).
- ◇ 교수 : 폴라리톤 보즈-아인슈타인 응축을 이용한 위상양자컴퓨팅 연구 (2022. 12 ~2025. 11.).
- ◇ 교수: 그래핀 검출기를 활용한 가벼운 암흑 물질 탐색 (2023. 06. ~ 2026. 05.).
- ◇ 교수: 원자 기울기 기반의 신기능성 극성 소재 개발 (2023. 06. ~ 2026. 05.).
- ◇ 교수: 극저온 쌍극성 분자들의 적층 페르미 쌍맺음 및 초유체성 연구 (2023. 08. ~ 2025. 08.).
- ◇ 교수: 1 nm³ 양자터널 캐비티-스펙트로스코피를 이용한 엑시톤 거동 능동제어 (2023. 12. ~ 2026. 11.).
- ◇ 교수: 지속적 플로켓 소자를 이용한 비평형 응집물질 연구 (2024. 06. ~ 2029. 05.).

- 산학 협력과제 (총 2건).

- ◇ 교수: UV-레이저 및 주사탐침 현미경 기반 CONFOCAL RAMAN 시스템
협력기관: 삼성전기 (2025. 01. ~ 2025. 12.).
- ◇ 교수: TOPOLOGICAL PROPERTY INSPECTION OF MOP
협력기관: 삼성전자 (2025.07 ~ 2025.09).

[실적 분석 및 향후 추진 계획]

: 당초 계획을 넘어서는 수준의 기초연구 기반 산업체 연계 연구과제가 활발하게 진행되는 좋은 성과를 보이고 있음. 원 계획을 그대로 유지하며 산학관련 과제 유치를 적극 지원하도록 함.

■ 열린 캠퍼스 과학 대중화 프로그램 활성화.

[계획]

- ‘내 연구를 소개합니다: 내연소’ 프로그램 참여.
- ‘미리보는 과학자’ 프로그램 추진.
- ‘재미있는 물리시연’ 프로그램 추진 등.

[실적]

- 과학 대중화 및 지식 환원 (총 6건).
 - 고교생 대상 이공계 대탐험 학과탐방
 - ◇참여 교수:
 - ◇일시: 2025.01.14. - 2025.01.15.
 - ◇내용: 물리학 전공 설명 및 실험 수행
 - 고교생 대상 이공계학과 대탐험
 - ◇참여 교수:
 - ◇일시: 2025.01.24. - 2025.01.22.
 - ◇내용: 물리학 전공 설명 및 실험 수행
 - 고교생 대상 이공계학과 대탐험
 - ◇참여 교수:
 - ◇일시: 2025.07.24. - 2025.07.25.
 - ◇내용: 물리학 전공 설명 및 실험실 견학
 - 부산일과학 학과탐방
 - ◇발표자:
 - ◇일시: 2025.05.13
 - ◇내용: 물리학 관련 진로 소개 및 재학생 면담
 - 포항고 학과탐방
 - ◇발표자:
 - ◇일시: 2025.07.17
 - ◇내용: 물리학 관련 진로 소개 및 재학생 면담
 - 인천진산과학고 대상 특강
 - ◇발표자:
 - ◇일시: 2025.05.29
 - ◇내용: 초전도와 양자의 만남: 미래 기술의 열쇠

[실적 분석 및 향후 추진 계획]

- 고등학교 재학생 대상 학과 탐방 프로그램을 활발하게 수행.
- 온라인 활동을 포함하여 더욱 적극적인 활동으로 사회 지식 환원 활동 참여.

○ 전략 2: 건강한 과학 리더십 구축

- 과학 기술 지식 환원 활동 활성화.

[계획]

- 국가 과학기술 자문활동.
- 지자체 주관 과학 정책 및 산업화 프로그램 자문 활동.
- 대중매체 활용 과학 대중화 활동.
- 일반인 대상 방문 특강 - 과학 대중화.

[실적]

- 대중매체 활용 과학 대중화 활동 (1건).
 - SBS 그랜트퀘스트 특집 프로그램에 교수가 출연하여 솔리톤을 사용한 정보전달체와 반도체소자의 미래에 대하여 강연 (2025.04.25.)
(<https://www.youtube.com/watch?v=-GI-Yr8QGqM>)
- 이공계 대학원생을 대상 유튜브 강연 (<https://www.youtube.com/watch?v=zjPOsuA1iec>).
 - 진행: 교수가 기존에 시행해왔던 이공계 대학원생을 대상으로 한 연구력 강화.
 - 내용: 영어 논문 쓰는법 9개 강의, 연구방법가이드 5개 강의.
- 해외 석학 초청강연 (총 14건).
 - 해외석학 초청강연 1
 - ◇ 연사: (University of Hamburg)
 - ◇ 2024.09.30 (세미나)
 - ◇ Quenched Pair Breaking by Interlayer Correlations as a Key to Superconductivity in $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$
 - 해외석학 초청강연 2
 - ◇ 연사: (Sorbonne Université, CNRS, France)
 - ◇ 2024.10.16. (세미나)
 - ◇ Spectral density of an individual trajectory of an arbitrary Gaussian stochastic process
 - 해외석학 초청강연 3
 - ◇ 연사: (Columbia University)
 - ◇ 2024.10.21. (세미나)
 - ◇ All-Crystalline van der Waals Josephson Junctions for Enhanced Coherence and Scalability for Superconducting Qubits
 - 해외석학 초청강연 4
 - ◇ 연사: (University of Glasgow)
 - ◇ 2024.10.21. (세미나)
 - ◇ Quantum Engineering with Coherent Superconducting Devices and Circuits
 - 해외석학 초청강연 5
 - ◇ 연사: (Tel-Aviv University)
 - ◇ 2024.10.23. (세미나)
 - ◇ Enhanced light-electron interactions via plasmonic metasurfaces
 - 해외석학 초청강연 6
 - ◇ 연사: (Tel-Aviv University)
 - ◇ 2024.10.30. (세미나)
 - ◇ Optical Metasurfaces: a new approach for Beam shaping, Sensing and Authentication
 - 해외석학 초청강연 7
 - ◇ 연사: (Stanford University, SLAC)
 - ◇ 2024.11.04. (세미나)
 - ◇ Atomic-scale imaging of valence electron motion in solids
 - 해외석학 초청강연 8
 - ◇ 연사: (Harvard University)
 - ◇ 2024.11.29. (세미나)
 - ◇ Fluxoid-parity-controlled superconducting diode effect and Corbino-Josephson interferometry on an intrinsic topological insulator surface
 - 해외석학 초청강연 9

- ◇ 연사: (Chinese Academy of Sciences)
- ◇ 2025.01.17. (세미나)
- ◇ Theory, prediction and detection for topological and chiral phonons
- 해외석학 초청강연 10
- ◇ 연사: (CNRS & ESPCI)
- ◇ 2025.06.16. (세미나)
- ◇ Transport and thermodynamics in topological magnets
- 해외석학 초청강연 11
- ◇ 연사: (McMaster University & Perimeter Institute)
- ◇ 2025.06.26. (세미나)
- ◇ Antiferromagnetic quantum critical metal and Kondo effect
- 해외석학 초청강연 12
- ◇ 연사: (The Univ. of Texas at Austin)
- ◇ 2025.08.11. (세미나)
- ◇ Chiral Light Meets Chiral Quantum Materials
- 해외석학 초청강연 13
- ◇ 연사: (National Univ. of Singapore)
- ◇ 2025.08.20. (세미나)
- ◇ Integrated Photonic Circuits for Quantum Science and Technology
- 해외석학 초청강연 14
- ◇ 연사: (Tokyo University of Science)
- ◇ 2025.08.20. (세미나)
- ◇ Superconducting quantum circuit

[실적 분석 및 향후 추진 계획]

- 활발한 대중매체 활동과 해외 석학 초빙 강연 활동이 이루어짐. 특히 석학 초빙의 경우 예년 대비 1.4배 이상 활동.
- 상대적으로 미비했던 ‘일반인 대상 방문 특강 - 과학 대중화’의 실효성과 활동을 제고함.

■ Amusing Physics Club (APC) 프로그램 진행.

[계획]

- APC 프로그램 (초중고 과학교사 대상 물리교육 및 시연) 진행.

[실적]

- COVID-19 이후 전면적으로 활동이 중단됨, 시연행사 미실시.

[실적 분석 및 향후 추진 계획]

- 활동 재개까지 다소의 시간이 소요될 것으로 예상.

○ 전략 3: 첨단과학 지역 생태계 조성

■ 지역사회 연계 (connecting 포항) 활동 진행.

[계획]

- 지역사회와 연계된 연구 클러스터링 추진.
- Advanced Pohang Forum (APF) - 프로그램 활용 지역사회와의 사회적 공감대 형성.

[실적]

- 총 5건

연번	참여교수명	상세내용
1		① 행사 주관: 한국연구재단
		② 일시: 2025년 3월 28일
		③ 내용: 초중고생 및 학부모 대상 금요일에 과학터치 강연 (대구)
		④ 효과: 대구경북첨단의료복합 단지 등 협력 기관과의 협력 시너지 창출.
2		① 행사 주관: 구미시 (구미시장
		② 일시: 2024년 11월 21일
		③ 내용: 구미 미래도시 포럼 참석 및 발표
		④ 효과: 지역사회와 연구자 간 협력 강화 및 시너지 효과 창출 논의
3		① 행사 주관: 포스텍 (물리학과)
		② 일시: 2025.08.21
		③ 내용: APEC 2025 기념 대중강연 <양자역학이 보여주는 세상의 참 모습>을 포스텍 체인지업 그라운드에서 개최
		④ 효과: 양자의 해에 맞추어 지역 시민 및 학생들에게 기초과학 소양증진
4		① 행사 주관: 포스텍 (물리학과)
		② 일시: 2024.03.01~2024.12.31
		③ 내용: <APCTP 과학도서 10권 선정식 및 저자 강연 시리즈>를 포스텍, 포항 소재 도서관과 경북 소도시에서 개최.
		④효과: 대구경북첨단의료복합 단지 등 협력 기관과의 협력 시너지 창출.
5		① 행사 주관: 포스텍 (물리학과)
		② 일시: 2025.04.19~2025.04.20
		③ 내용: <포항가족과학축제>와 <과학자와의 만남>을 포항시가족행복센터에서 개최
		④효과: 포항시민들을 위한 다양한 과학 체험 및 교양 증진 프로그램 제공.
[실적 분석 및 향후 추진 계획]		
• 구체적인이고 지속적인 활동이 가능한 새로운 프로그램 발굴 추진.		

3. 참여교수의 연구의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

○ 국제학술대회 초청강연
기조 강연
• Shanghai SXFEL Annual Users' Meeting, <i>XFEL, single-particle imaging and further for ultrafast imaging</i> , 2024.11.28.
• Lithium Niobate Photonics Conference 2025 (LiNC-2025), <i>On-chip quantum light sources and frequency conversion via nonlinear optical effects</i> , 2025.04.23.
• The 14th Joint European Magnetic Symposia (JEMS 2025), <i>Electron orbital dynamics in solids</i> , 2025.08.29.
그외 강연
• 15th APCTP-IACS-KIAS Joint Conference on Emergent Phenomena in Novel Oxide Materials and Low Dimensional Systems, <i>Large anomalous Hall effect induced by spin-chirality fluctuation in an ultraclean frustrated antiferromagnet PdCrO₂</i> , 2024.11.19.
• The 4th Korea-China Symposium on High Pressure: Quantum Materials at Extreme conditions, <i>Pressure-driven magnetic and superconducting transitions in a nodal-line ferrimagnet Mn₃Si₂Te₆</i> , 2024.10.27.

- The Korea–Europe Workshop on Quantum Materials, *Novel magnetotransport properties of topological nodal–line fermions*, 2024.09.09.
- Nature conference: Frontiers of High–Pressure Research – Science under Extreme Conditions, *Pressure–induced electronic and magnetic transitions in topological materials*, 2025.05.10.
- Quantum 2025, *Two–photon induced coherence without induced emission*, 2025.05.21.
- Quantum Innovation 2025, *Quantum–inspired classical optical metrology*, 2025.07.29.
- The 12th International Conference on Nanophotonics, *Dynamical control of tip–induced light–matter interactions at the nanoscale*, 2024.09.10.
- ISSP International Workshop, *Tip–enhanced nano–spectroscopic modulator for single quantum dots*, 2024.10.29.
- TERS9: Tip–enhanced Raman Spectroscopy, *Tip–enhanced cavity–spectroscopy to induce, probe, and control nanoscale quantum light–matter interactions*, 2024.11.05.
- The 6th International Workshop on Scanning Probe Microscopy (IWSPM2025), *Tip–enhanced strong coupling and nano–optical trapping spectroscopy of single quantum dots*, 2025.08.28.
- The 15th Asia–Pacific Conference on Near–field Optics (APNFO15), *Dynamical control of tip–induced light–matter interactions at the nanoscale*, 2025.08.19.
- SPIE Optics + Photonics 2025, *Tip–enhanced strong coupling and nano–optical trapping spectroscopy of single quantum dots*, 2025.08.05.
- International Nanophotonics and Nanoenergy Conference 2025 (INPEC 2025), *Tip–enhanced strong coupling and nano–optical trapping spectroscopy of single quantum dots*, 2025.07.01.
- GOLD2025, *Tip–enhanced strong coupling and nano–optical trapping spectroscopy of single quantum dots*, 2025.05.13.
- 70 years of Tanabe–Sugano diagrams, *Non–trivial magnetic moments and break–down of the Cruik–Weiss law in divalent Cobaltates*, 2024.09.10.
- Frontiers in Theoretical Biophysics, *Single–molecule approaches to study biomolecular interactions*, 2024.12.09 ~ 2024.12.12
- APCTP–MPI PKS Joint Workshop on Statistical and Biological Physics, *Single–molecule approaches to study biomolecular interactions*, 2024.11.26. ~ 2024.11.28.
- International Small–Angle Scattering Conference (SAS2024), *Space and time domain super–resolution coherent diffraction imaging with extreme lights*, 2024.11.03.
- 7th International Conference on Advanced Nanoparticle Generation and Excitation by Lasers in Liquids (ANGEL), *Ultrafast time–resolved X–ray imaging of nanoparticle melting and disintegration*, 2024.05.26.
- Emergent quantum matter with topology and correlation, *Steady Floquet–Andreev state and multi–dimensional Andreev band*, 2024.11.27.
- 2024 MRS Fall Meeting & Exhibit, *Topological Josephson Effect in Hinge State of WTe₂*, 2024.12.04.
- Korean Quantum Material Symposium, *Review on Topological/twisted Materials and Devices*, 2025.02.06.
- The 15th APCTP Workshop on Multiferroics, *Functional perovskite oxides with atomic gradients*, 2024.08.22.

- SML 2024 (The 6th International Workshop on Spintronic Memory and Logic), *Electron orbital dynamics in solids*, 2024.10.18.
- Brainstorming Workshop Roadmap for Altermagnetism, *Harnessing magnetic octupole Hall effect to induce torque in altermagnets*, 2025.01.08.
- SPIN & ORBIT Conference: SPEAR Conference & 3rd Orbitronics Workshop, *Electron orbital dynamics in solids*, 2025.04.03.
- International Conference of Asian Union of Magnetism Societies (IcAUMS 2025), *Electron orbital dynamics in solids*, 2025.04.21.
- Workshop on Altermagnets And School on Magnetic Symmetry, *Harnessing magnetic octupole Hall effect to induce torque in altermagnets*, 2025.06.25.
- The 12th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT 2025), *Electron orbital dynamics in solids*, 2025.07.01.
- Venice Meeting on Fluctuations in Small Complex Systems VII, *Dynamics, ergodicity, and thermodynamics of active viscoelastic systems*, 2024.09.23.

○ 국제위원회 활동
조직위원

- International conference on quantum magnetism and topology, 2025.06.18. ~ 2025.06.20.
- INTERNATIONAL WORKSHOP ON SCANNING PROBE MICROSCOPY, 2019.07.30. ~ 2024.12.31.
- QUANTUM MATERIALS SYMPOSIUM, 2024.07.08. ~ 2025.02.28.
- 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED MATERIALS AND DEVICES, 2025.01.01. ~ 2025.12.31.
- ALTA 2024, 2024.01.01. ~ 2024.12.31.
- 나노광학회 2024, 2024.01.01. ~ 2024.12.31.
- APLS 2025 국제학회, 2024.01.01. ~ 2024.12.31.
- N2D 2024 국제학회, 2024.01.01. ~ 2024.12.31. (조직위원장)
- IWSPM 2024 국제학회, 2024.01.01. ~ 2024.12.31.
- SPIE OPTICS AND PHOTONICS 2025 국제학회, 2024.08.31. ~ 2025.12.31.
- IWSPM 2025 국제학회, 2025.01.01. ~ 2025.08.31.
- APNFO15, 2025.01.01. ~ 2025.08.31.
- 16th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, 2023.06.22. ~ 2024.08.09.
- SPIE ABC 2025, 2025.04.21. ~ 2025.11.31.
- 한국물리학회 광학 및 양자전자 분과, 2024.01.01. ~ 2025.12.31.
- 31ST OPTOELECTRONICS AND COMMUNICATIONS CONFERENCE (OECC 2026), 2025.05.01. ~ 2026.08.31.
- APCTP FORUM AND SYMPOSIUM ON PROSPECTIVE QUANTUM TECHNOLOGY, 2025.06.01. ~ 2025.08.31.
- K-QMS, 2024.10.01. ~ 2025.02.28.

- ICAMD 2025, 2025.01.01. ~ 2025.12.31.
 - APCTP-MPI PKS JOINT WORKSHOP ON STATISTICAL AND BIOLOGICAL PHYSICS, 2024.11.26. ~ 2024.11.28.
 - FRONTIERS IN THEORETICAL BIOPHYSICS, 2024.12.09. ~ 2024.12.12.
 - 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED MATERIALS AND DEVICES, 2025.01.01. ~ 2025.12.07.
- 그 외
- Plasmonically Powered Processes Gordon Research Conference, 2025.06.08. ~ 2025.06.13.
(discussion leader)
 - COOC학회, 2025.01.24. ~ 2027.01.23. (양자기술 분과위원장)
 - ICAMD 2025, 2024.11.20. ~ 2025.12.12. (Spintronics & Magnetic Materials 분과 위원장)
 - 미국광학회(The Optical Society, OSA) 석학회원 (Fellow), 2021.11.02. ~
 - International Union of Pure And Applied Physics (IUPAP), Biological Physics Commission Member (한국대표), 2021.11.01. ~ 2027.10.31.
- 국제기구/대외기관 활동
- 과학기술.ICT 국제화사업 추진위원회, 과학기술정보통신부, 2025.01.12. ~ 2027.01.11.
 - 과학기술.ICT 국제화사업 추진위원회, 과학기술정보통신부, 2023.01.12. ~ 2025.01.11.
 - AAPPS General Council, *The Association of Asia Pacific Physical Societies (AAPPS)*, 평의원, Secretary, 2023.01.01. ~ 2025.12.31.
 - 아시아태평양이론물리센터 사무총장, 2023.03.15. ~ 2025.11.19.
- 국제학술지 활동
- Current Optics and Photonics, Associate editor (2023.11.01. ~ 2026.04.30.).
 - K-Light, 편집위원 (2023.01.01. ~ 2025.12.31.)
 - 한국진공학회, SCIE 등재추진위원회 위원 (2022.01.01. ~ 2025.12.01.)
 - Nano Convergence, Editorial board (2021.01.01. ~ 2025.01.02.)
 - Applied Science and Convergence Technology, Associate editor (2021.01.01. ~ 2025.12.01.)
 - Molecules and Cells, Editorial Board Member (2021.01.01. ~ 2026.12.31.)
 - Trends in Analytical Chemistry (ELSEVIER): Advances in radiation-based bio-imaging and tissue response, Special Issue Guest Editor (2024.01.01. ~ 2024.12.31.)
 - Frontiers in Nanobiotechnology, 편집위원 (2014.01.15. ~)
 - Journal of the Korean Physical Society, 편집위원 (2021.05.01. ~ 2027.04.30.).
 - Frontiers in Physics, associate editor (2020.01.01. ~ 2025.12.31.)
 - Physical Review Applied, Editorial Board Member (2020.01.01. ~ 2025.12.31.)

② 국제 공동연구 실적

〈표 3-6〉 최근 1년간 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국 /소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구단 참여교수	국외 공동연구자			
1			USA/Los Alamos National Laboratory	- PNPG Asia Materials 16, 44 (2024) - Vortex confinement through an unquantized magnetic flux - Geunyoung Kim; Jinyoung Yun; Jinho Yang; Ilkyu Yang; Dirk Wulferding; Roman Movshovich; Gil Young Cho; Ki-Seok Kim; Garam Hahn; Jeehoon Kim	10.1038/s41427-024-00564-6
2			United Kingdom/University of Oxford	- PHYSICAL REVIEW MATERIALS 9, 2 (2025) - Enhancing anomalous Hall effect and spin chirality correlation in $\text{Co}_3\text{Sn}_{2-x}\text{Bi}_x\text{S}_2$ through local Dzyaloshinskii-Moriya interaction engineering - Adhikari, D (Adhikari, Dilanath); Salawu, YA (Salawu, Yusuff Adeyemi); Gurung, G (Gurung, Gautam); Kim, JH (Kim, Jin Hee); Rhyee, JS (Rhyee, Jong-Soo); Lee, NS (Lee, Nam-Suk); Jin, MJ (Jin, Mi-Jin); Kim, KS (Kim, Ki-Seok); Kim, HJ (Kim, Heon-Jung)	10.1103/PhysRevMaterials.9.024201
3			USA/Princeton University	- PHYSICAL REVIEW D 111, 8 (2025) - Monotonicity of the RG flow in an emergent dual holography of a worldsheet nonlinear σ model - Kim, KS (Kim, Ki-Seok); Mitra, A (Mitra, Arpita); Mukherjee, D (Mukherjee, Debangshu); Ryu, S (Ryu, Shinsei)	10.1103/PhysRevD.111.086021
4			Japan/Yamagata University	- NATURE COMMUNICATIONS 16, 1 (2025) - Observation of symmetry-forbidden rectification in an inversion-symmetric Weyl metal - Salawu, YA (Salawu, Yusuff Adeyemi); Choun, Y (Choun, Yoonseok); Yoo, SJ (Yoo, Seung-Jong); Sasaki, M (Sasaki, Minoru); Kim, KS (Kim, Ki-Seok); Kim,	10.1038/s41467-025-59394-x

				HJ (Kim, Heon-Jung)	
5			USA/Argonne National Laboratory, Japan/Japan Synchrotron Radiation Research Institute, Germany/Karlsruhe Institute of Technology	- Nature Physics 20, 12 (2024) - Origin of the chiral charge density wave in transition-metal dichalcogenide - Kwangrae Kim; Hyun-Woo J. Kim; Seunghyeok Ha; Hoon Kim; Jin-Kwang Kim; Jaehwon Kim; Hyunsung Kim; Junyoung Kwon; Jihoon Seol; Saegyeol Jung; Changyoung Kim; Ahmet Alatas; Ayman Said; Michael Merz; Matthieu Le Tacon; Jin Mo Bok; Ki-Seok Kim; B. J. Kim	10.1038/s41567-024-02668-w
6			USA/Argonne National Laboratory	- Nature Communications 16, 1 (2025) - Liquid-like spin dynamics in a hybrid Heisenberg-Ising antiferromagnet - Jin-Kwang Kim; Hoon Kim; Junyoung Kwon; Hyun-Woo J. Kim; Kwangrae Kim; Seung-Hyeok Ha; Jaehwon Kim; Hyun-Sung Kim; Jimin Kim; Gahee Noh; Gi-Yeop Kim; Si-Young Choi; Jaeku Park; Intae Eom; Dogeun Jang; Sae Hwan Chun; Ayman Said; XianRong Huang; Jungcho Kim; B. J. Kim	10.1038/s41467-025-5635-x
7			USA/National High Magnetic Field Laboratory	- PHYSICAL REVIEW B 112, 4 (2025) - Evidence of massive Dirac fermions in the kagome nodal-line semimetal Ni₃In₂S₂ as revealed by high magnetic field studies - Kim, S (Kim, Sangjin); Kim, KT (Kim, Kwang-Tak); Choi, MH (Choi, Min Hyuk); Nam, H (Nam, Hyungwon); Lee, JS (Lee, Jun Seong); Choi, J (Choi, Joonyoung); Sur, Y (Sur, Yeahan); Nam, K (Nam, Kiwan); Hwang, H (Hwang, Hyunju); Choi, J (Choi, Jungwon); Choi, ES (Choi, Eun Sang); Kang, W (Kang, Woun); Jo, YJ (Jo, Youn Jung); Kim, JS (Kim, Jun Sung); Moon, S (Moon, Soonjae); Kim, KH (Kim, Kee Hoon)	10.1103/6jzx-mdjv
8			USA/Oak Ridge National Laboratory	- Physical Review Research 6 (2024) - Tunneling-tip-induced collapse of the excitonic gap - Dwoook Kim; So Young Kim; Jun Sung Kim; Arthur P. Baddorf; An-Ping Li; Tae-Hwan Kim	10.1103/PhysRevResearch.6.038001

9			The Netherlands/AMOLF, U.K./University of Cambridge, Germany/Max Planck Institute for Polymer Research, The Netherlands/University of Amsterdam, United States/Georgia Institute of Technology	• ACS ENERGY LETTERS 9, 12 (2024) • Atmospheric Exposure Triggers Light-Induced Degradation in 2D Lead-Halide Perovskites • Grimaldi, G (Grimaldi, Gianluca); Schuringa, I (Schuringa, Imme); Geuchies, JJ (Geuchies, Jaco J.); Rigter, SA (Rigter, Susan A.); Hoekstra, T (Hoekstra, Tom); Versluis, J (Versluis, Jan); Hidalgo, J (Hidalgo, Juanita); Correa-Baena, JP (Correa-Baena, Juan-Pablo); van de Groep, J (van de Groep, Jorik); Kim, H (Kim, Heejae); Bonn, M (Bonn, Mischa); Ehrler, B (Ehrler, Bruno)	10.1021/acsenergylett.4c02300
10			Germany/Max Planck Inst Polymer Res, Germany/Goeethe Univ, Netherlands/Leiden Univ	• NATURE PHYSICS 21, 6 (2025) • Mode-resolved, non-local electron-phonon coupling in two-dimensional spectroscopy • Qu, S (Qu, Sheng); Sharma, VK (Sharma, Vishal K.); Geuchies, JJ (Geuchies, Jaco J.); Grechko, M (Grechko, Maksim); Bonn, M (Bonn, Mischa); Pientka, F (Pientka, Falko); Kim, H (Kim, Heejae)	10.1038/s41567-025-02861-5
11			USA/Harvard University	• JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS 10 (2024) • Exploring new constraints on Kahler moduli space of 6d N=1 supergravity • Kim, Hee-Cheol; Vafa, Cumrun	10.1007/JHEP10(2024)217
12			United Kingdom/King's College London, Israel/Technion	• JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS 2 (2025) • On Ruijsenaars-Schneider spectrum from superconformal indices and ramified instantons • Kim, Hee-Cheol; Nedelin, Anton; Razamat, Shlomo	10.1007/JHEP02(2025)010
13			Japan/Tokai University	• JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS 3 (2025) • Spectra of BPS strings in 6d supergravity and the Swampland • Hirotaka Hayashi; Hee-Cheol Kim; Minsung Kim	10.1007/JHEP03(2025)123
14			Russia/ITMO University	• NATURE COMMUNICATIONS 15, 1 (2024)	10.1038/s41467-024-52813-5

				- Quantum tunneling high-speed nano-excitonic modulator - Lee, H (Lee, Hyeongwoo); Kim, S (Kim, Sujeong); Eom, S (Eom, Seonhye); Ji, G (Ji, Gangseon); Choi, SH (Choi, Soo Ho); Joo, H (Joo, Huitae); Bae, J (Bae, Jinhyuk); Kim, KK (Kim, Ki Kang); Kravtsov, V (Kravtsov, Vasily); Park, HR (Park, Hyeong-Ryeol); Park, KD (Park, Kyoung-Duck)	
15			Russia/ITMO University	- Light-Science & Applications 14, 1 (2025) - High momentum two-dimensional propagation of emitted photoluminescence coupled with surface lattice resonance - Koo, Yeonjeong; Oh, Dong Kyo; Mun, Jungho; Abramov, Artem N; Tyugaev, Mikhail; Kim, Yong Bin; Kim, Inki; Kim, Tae Ho; Yang, Sera; Kim, Yeseul; Kim, Jonghwan; Kravtsov, Vasily; Rho, Junsuk; Park, Kyoung-Duck	10.1038/s41377-025-01873-3
16			USA/University of Michigan	- JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS 3 (2025) - Towards quantum black hole microstates - Choi, Sunjin; Kim, Seok; Lee, Eunwoo; Lee, Siyul; Park, Jaemo	10.1007/JHEP03(2025)091
17			USA/Massachusetts Institute of Technology, USA/Stanford University, Italy/University of Trieste, Italy/Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy/Ca' Foscari University of Venice, USA/E. O. Lawrence Berkeley National Laboratory	- NATURE PHYSICS 21, 1 (2024) - Measurements of the quantum geometric tensor in solids - Mingu Kang; Sunje Kim; Yuting Qian; Paul M. Neves; Linda Ye; Junseo Jung; Denny Puntel; Federico Mazzola; Shiang Fang; Chris Jozwiak; Aaron Bostwick; Eli Rotenberg; Jun Fuji; Ivana Vobornik; Jae-Hoon Park; Joseph G. Checkelsky; Bohm-Jung Yang; & Riccardo Comin	10.1038/s41567-024-02678-8
18			USA/North Carolina State Univ	- INORGANIC CHEMISTRY 64, 28 (2025) - Polarization of a Rotationally Degenerate	10.1021/acs.inorgchem.5c01135

				Pair of Bands Causing the Uniaxial Magnetism of Permanent Magnets • Lee, CH (Lee, Changhoon); Park, T (Park, Taesu); Koo, HJ (Koo, Hyun-Joo); Park, JH (Park, Jae-Hoon); Shim, JH (Shim, Ji Hoon); Whangbo, MH (Whangbo, Myung-Hwan)	
19			USA/Brookhaven National Laboratory, UK/London Centre for Nanotechnology	• JOURNAL OF ELECTRONIC MATERIALS (2025) • Electronic Melting of Silicon in Nanostructures using X-ray Forbidden Bragg Reflections • Robinson, Ian; Yang, David; Wu, Longlong; Kim, Hyunjung; Ha, Sung Soo; Choi, Sungwook; Song, Changyong; Hwang, Junha; Heo, Seung-Phil; Park, Jaeku; Eom, Intae; Kim, Sunam	10.1007/s11664-025-11781-2
20			Germany/Max Planck Institute for the Structure and Dynamics of Matter	• NATURE COMMUNICATIONS 16, 1 (2025) • Frustrated phonon with charge density wave in vanadium Kagome metal • Heo, SP (Heo, Seung-Phil); Won, C (Won, Choongjae); Lee, H (Lee, Heemin); Kim, H (Kim, Hanbyul); Park, E (Park, Eunyoung); Lee, SY (Lee, Sung Yun); Hwang, J (Hwang, Junha); Choi, H (Choi, Hyeonggi); Park, SY (Park, Sang-Youn); Lee, B (Lee, Byungjune); Noh, WS (Noh, Woo-Suk); Jang, H (Jang, Hoyoung); Park, JH (Park, Jae-Hoon); Shin, D (Shin, Dongbin); Song, C (Song, Changyong)	10.1038/s41467-025-60219-0
21			USA/Univ Calif Los Angeles UCLA	• ADVANCED MATERIALS (2025) • Microstructural Evolution Dynamics in Rapid Joule Heating Densification of High-Nickel Cathodes • Kim, MH (Kim, Min-Ho); Seo, J (Seo, Jeongwoo); Shin, J (Shin, Jaeyong); Park, E (Park, Eunyoung); Choi, A (Choi, Ahreum); Choi, M (Choi, Myeongjun); Kim, E (Kim, Euna); Lee, SY (Lee, Su Yong); Jin, WY (Jin, Wooyoung); Jeon, SC (Jeon, Sang-Chae)	10.1002/adma.202508602
22			USA/Rutgers	• ADVANCED SCIENCE 12, 2 (2024)	10.1002/adv

			University	- Nanometer-Scale 1D Negative Differential Resistance Channels in Van Der Waals Layers - Yao, QR (Yao, Qirong); Park, JW (Park, Jae Whan); Won, C (Won, Choongjae); Cheong, SW (Cheong, Sang-Wook); Yeom, HW (Yeom, Han Woong)	.202408090
23			Australia/University of Technology Sydney, Japan/National Institute for Materials Science	- NANO LETTERS 24, 48 (2024) - Narrowband Electroluminescence from Color Centers in Hexagonal Boron Nitride - Park, G (Park, Gyuna); Zhigulin, I (Zhigulin, Ivan); Jung, H (Jung, Hoyoung); Horder, J (Horder, Jake); Yamamura, K (Yamamura, Karin); Han, Y (Han, Yerin); Cho, H (Cho, Hyunje); Jeong, HW (Jeong, Hyeon-Woo); Watanabe, K (Watanabe, Kenji); Taniguchi, T (Taniguchi, Takashi); Oh, M (Oh, Myungchul); Lee, GH (Lee, Gil-Ho); Jo, MH (Jo, Moon-Ho); Aharonovich, I (Aharonovich, Igor); Kim, J (Kim, Jonghwan)	10.1021/acs.nanolett.4c03824
24			Japan/National Institute for Materials Science	- NANO LETTERS 24, 49 (2024) - Engineering Superconducting Contacts Transparent to a Bipolar Graphene - Jang, S (Jang, Seong); Park, GH (Park, Geon-Hyoung); Park, S (Park, Sein); Jeong, HW (Jeong, Hyeon-Woo); Watanabe, K (Watanabe, Kenji); Taniguchi, T (Taniguchi, Takashi); Lee, GH (Lee, Gil-Ho)	10.1021/acs.nanolett.4c03767
25			Japan/National Institute for Materials Science	- NANO LETTERS 24, 50 (2024) - Edge Dependence of Nonlocal Transport in Gapped Bilayer Graphene - Jeong, HW (Jeong, Hyeon-Woo); Jang, S (Jang, Seong); Park, S (Park, Sein); Watanabe, K (Watanabe, Kenji); Taniguchi, T (Taniguchi, Takashi); Lee, GH (Lee, Gil-Ho)	10.1021/acs.nanolett.4c02660
26			Japan/National Institute for Materials Science	- ACS APPLIED NANO MATERIALS 8, 22 (2025) - Preserving Twist-Angle in Marginally Twisted Double-Bilayer Graphene Devices	10.1021/acsnm.5c00459

				during Fabrication: Implications for Highly Uniform Superlattice Device Applications	
				Jeong, Hyeon-Woo; Kim, Jiho; Chae, Boknam; Watanabe, Kenji; Taniguchi, Takashi; Lee, Gil-Ho	
27	이길호	Kenji Watanabe; Takashi Taniguchi	Japan/National Institute for Materials Science	- SCIENCE ADVANCES 11, 21 (2025) - Tunneling spectroscopy of Andreev bands in multiterminal graphene-based Josephson junctions - Jung, W (Jung, Woochan); Jin, S (Jin, Seyoung); Park, S (Park, Sein); Shin, SH (Shin, Seung-Hyun); Watanabe, K (Watanabe, Kenji); Taniguchi, T (Taniguchi, Takashi); Cho, GY (Cho, Gil Young); Lee, GH (Lee, Gil-Ho)	10.1126/sciadv.ads0342
28	이길호	Kim, Doojin	USA/Univ South Dakota, USA/Texas A&M Univ	- PHYSICAL REVIEW D 112, 1 (2025) - Graphene-based super-light invisible matter particle search - Kim, D (Kim, Doojin); Park, JC (Park, Jong-Chul); Lee, GH (Lee, Gil-Ho); Fong, KC (Fong, Kin Chung)	10.1103/1tyy-qfsc
29	이대수	Wei Peng; Wenjie Meng; Liang Si; Kesen Zhao; Shuai Dong; Yubin Hou; Chuanying Xi; Li Pi; Aditya Singh; Ana M. Sanchez; Richard Beanland; Qingyou Lu; Marin Alexe	UK/University of Warwick, China/HFIP S, China/University of Science and Technology of China, Austria/TU Wien, China/North west University	- NATURE NANOTECHNOLOGY (2025) - Ferroelastic writing of crystal directions in oxide thin films - Peng, Wei; Meng, Wenjie; Kim, Younji; Yoon, Jiyong; Si, Liang; Zhao, Kesen; Dong, Shuai; Hou, Yubin; Xi, Chuanying; Pi, Li; Singh, Aditya; Sanchez, Ana M.; Beanland, Richard; Noh, Tae Won; Lu, Qingyou; Lee, Daesu; Alexe, Marin	10.1038/s41565-025-01950-z
30	이현우	Vincent Cros	France/CNRS	- NATURE MATERIALS 23, 10 (2024) - Electric-field-induced orbital angular momentum in metals - Lee, KJ (Lee, Kyung-Jin); Cros, V (Cros, Vincent); Lee, HW (Lee, Hyun-Woo)	10.1038/s41563-024-01978-x
31	이현우	Tatiana G. Rappoport	Portugal/Minho University	- NATURE PHYSICS 20, 12 (2024) - Chirality and topology team up to produce orbital monopole - Lee, HW (Lee, Hyun-Woo); Rappoport, TG (Rappoport, Tatiana G.)	10.1038/s41567-024-02658-y
32	이현우	Kai-Xuan Zhang	USA/Washington University in St. Louis	- ADVANCED MATERIALS 37, 8 (2025) - Novel magnetic-field-free switching	10.1002/adma.202412037

				behavior in vdW-magnet/oxide heterostructure • Jihoon Keum; Kai-Xuan Zhang; Suik Cheon; Hyuncheol Kim; Jingyuan Cui; Giung Park; Yunyeong Chang; Miyoung Kim; Hyun-Woo Lee; Je-Geun Park	
33			China/Duke Kunshan University	• PHYSICAL REVIEW B 111, 9 (2025) • Diverging entanglement of critical magnons in easy-axis antiferromagnets • Lee, Jongjun M.; Lee, Hyun-Woo; Hwang, Myung-Joong	10.1103/PhysRevB.111.094402
34			Australia/Australian Nuclear Science and Technology Organization Australia/The University of Sydney, Switzerland/Paul Scherrer Institute	• PHYSICAL REVIEW LETTERS 134, 17 (2025) • Current-Driven Collective Control of Helical Spin Texture in van der Waals Antiferromagnet • Zhang, KX (Zhang, Kai-Xuan); Cheon, S (Cheon, Suik); Kim, H (Kim, Hyuncheol); Park, P (Park, Pyeongjae); An, Y (An, Yeochan); Son, S (Son, Suhan); Cui, J (Cui, Jingyuan); Keum, J (Keum, Jihoon); Choi, J (Choi, Joonyoung); Jo, Y (Jo, Younjung); Ju, H (Ju, Hwiin); Lee, JS (Lee, Jong-Seok); Lee, Y (Lee, Youjin); Avdeev, M (Avdeev, Maxim); Kleibert, A (Kleibert, Armin); Lee, HW (Lee, Hyun-Woo); Park, JG (Park, Je-Geun)	10.1103/PhysRevLett.134.176701
35			Sweden/Uppsala University, Germany/Johannes Gutenberg University Mainz, Germany/Forschungszentrum Jülich, USA/Rutgers University	• PHYSICAL REVIEW LETTERS 134, 19 (2025) • Weak Ferromagnetism in Altermagnets from Alternating g-Tensor Anisotropy • Jo, D (Jo, Daegeun); Go, D (Go, Dongwook); Mokrousov, Y (Mokrousov, Yuriy); Oppeneer, PM (Oppeneer, Peter M.); Cheong, SW (Cheong, Sang-Wook); Lee, HW (Lee, Hyun-Woo)	10.1103/PhysRevLett.134.196703
36			Japan/Univ Tokyo, Japan/RIKEN, Japan/Natl Inst Adv Ind Sci & Technol, Germany/Johannes Gutenberg	• NATURE COMMUNICATIONS 16, 1 (2025) • Nonlocal electrical detection of reciprocal orbital Edelstein effect • Gao, WG (Gao, Weiguang); Liao, LY (Liao, Liyang); Isshiki, H (Isshiki, Hironari); Budai, N (Budai, Nico); Kim,	10.1038/s41467-025-61602-7

			Univ Mainz, Germany/Forschungszentrum Jülich	J (Kim, Junyeon); Lee, HW (Lee, Hyun-Woo); Lee, KJ (Lee, Kyung-Jin); Go, D (Go, Dongwook); Mokrousov, Y (Mokrousov, Yuriy); Miwa, S (Miwa, Shinji); Otani, Y (Otani, Yoshichika)	
37			Sweden/Uppsala University	• PHYSICAL REVIEW LETTERS 135, 7 (2025) • Harnessing Magnetic Octupole Hall Effect to Induce Torque in Altermagnets • Han, S (Han, Seungyun); Jo, D (Jo, Daegun); Baek, I (Baek, Insu); Cheon, S (Cheon, Suik); Oppeneer, PM (Oppeneer, Peter M.); Lee, HW (Lee, Hyun-Woo)	10.1103/lxxkx-ypbg
38			Japan/Keio University	• NATURE COMMUNICATIONS 16 (2025) • Acoustic generation of orbital currents • Mari Taniguchi; Satoshi Haku; Hyun-Woo Lee; Kazuya Ando	10.1038/s41467-025-62703-z

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

사업단 해외 연구기관과의 교류 활성화 계획 및 실적

○ 전략 1: 기관 대 기관 국제연구 교류 플랫폼 구축 및 확대

- 포스텍 플래그십 중심으로 국제화 사업 육성.

[계획]

- 주력 연구센터와 해외연구기관과의 국제협력 MOU 협약 활성화.

[실적]

- 없음.

[실적 분석 및 향후 추진 계획]

- 원 계획 유지, 해당 부분에 대한 지속적인 노력이 요구됨.

[계획]

- 주력 연구센터 주관 bilateral 학회 및 정기행사를 통한 교류 및 양국 연구자의 중-장기 방문 교류 추진.
 - 막스플랑크 한국/포스텍 연구소(MPK)와 독일 MPI Dresden 연구자 간의 연례 학술행사.
 - 아태이론물리센터(APCTP)를 기반한 정기 학술행사 개최.
 - 포스텍 포톤사이언스센터와 포항가속기연구소와의 연계 활동과 이를 통한 국제 연구교류 프로그램 구축.

[실적]

- 2024년 한-독 글로벌 인재양성 인턴십 프로그램 참가자 모집.
 - 주관: 막스플랑크 한국/포스텍 연구소 (MPK).

- 기간: 2024년 파견 34명.
- 참조: http://mpk.or.kr/sub/sub04_02.php
- Integrability, Duality and related topics 2024.
- 주관: 포항공과대학교 / 아태이론물리센터 (APCTP).
- 참여 조직위원: 교수.
- 해외 연사:

- 기간: 2024. 09. 29 ~ 2024. 10. 06.
- 참조: <http://k2.ewha.ac.kr/focus2024.html>
- 29th APCTP Winter School on Fundamental Physics.
- 주관: 포항공과대학교 / 아태이론물리센터 (APCTP).
- 참여 조직위원: 교수.
- 해외 연사: Geoffrey Compère (ULB), Daniel Kapec (Harvard Univ.).
- 기간: 2025. 02. 10 ~ 2025. 02. 14.
- 참조: https://www.apctp.org/theme/d/html/activities/activities01_read.php?id=2225&page=3
- 2nd international workshop on Quantum Magnetism and Topology
- 주관: 포항공과대학교 / 아태이론물리센터 (APCTP).
- 참여 조직위원: 교수.
- 기간: 2025. 06. 18 ~ 2025. 06. 20.
- 해외 연사:

- 참조:

https://www.kps.or.kr/content/branch/branch_view.php?eid=c2VxX2lkPTI5MCZzdWJfaWQ9NzUxJnBvc3RfaWQ9MzA2JnBhZ2U9MSZwb3N0X2lkPTMwNyZtb2RlPXZpZXcmdHlwZT1icmFuY2g=

○ 전략 2: 개인 연구 우수성 중심의 국제 공동연구 활성화

- 참여교수 개개인의 연구 수월성을 바탕으로 해외 연구 그룹과 교류 확대 및 공동연구 활성화.

[계획]

- 개인 기반 국제 공동연구 네트워크 활용 및 발전.
- 국제 공동연구 활성화 및 이를 통한 국제적 인지도 고양.

[실적]

- 국제 연구과제 수행 없음.
- 국제 공동연구를 위한 연구자 교류 (아래 포함 총 13건: 전체 내역 물리교육연구단 별도 보관).
 - 교수와 Prof. (중국 Southern University of Science and Technology (SUSTech))

- ◇ 내역: 시냅스 내 생분자 응집체 연구 (2024. 09. 01. ~ 현재 진행중).
- 교수와 (독일 MPI)
- ◇ 내역: 강상관계물질연구 (2024. 09. 01. ~ 2025. 08. 31.).
- 교수와 Prof. (중국 Fudan Univ.)
- 내역: Tip-enhanced SHG 연구 (2024. 12.).
- 교수와 Prof. (중국 Tongji Univ.)
- ◇ 내역: IR s-SNOM 연구 (2024. 12.).
- 교수와 Prof. (미국 Columbia Univ.)
- ◇ 내역: 3R-MoS2 near-field SHG 연구 (2025.01.).
- 교수와 Prof. (호주 Univ. Melbourne)
- ◇ 내역: Metasurface nano-imaging 연구 (2025.01.).
- 교수와 Prof. (호주 Univ. Technol Sydney)
- ◇ 내역: Tip-enhanced single photon emission 연구 (2025.02.).
- 교수와 Prof. (미국 Columbia Univ.)
- ◇ 내역: 3R-MoS2 near-field SHG 연구 (2025.05.).
- 교수와 Prof. (미국 Univ. Pennsylvania)
- ◇ 내역: Tip-enhanced PL of TMD/ferro hetero 연구 (2025.05.).
- 참여교수 국제공동연구 총 13건 수행 중. 상세 정보는 아래 [포스텍 물리교육연구단 국제공동연구 현황] 표 참조.

○ 전략 3: 교육연구단이 주도하는 연구자 국제교류 프로그램 조성

- 교육연구단 차원에서 해외 연구자 교류 프로그램 개발 및 체계적인 관리.

[계획]

- 'On the Globe Fair' 행사 개최(연1회): 교내 체류 중인 외국인 연구자를 초청, 인적 교류의 폭을 넓힘.
- 대학원생 및 신진 연구자의 국제 학술대회 참여 지원 (교수 연구실당 연간 500만원).
- 해외석학 초청 세미나를 통한 국제 교류 활성화.

[실적]

- 국제 학술대회 참여 지원 내역.

대상자	지도교수	기관명	국명	도시명	기간
		Optica	미국	Denver	2024.09.22~2024.09.29
		Sociedade Brasileira de Física	브라질	Belo Horizonte	2024.11.01~2024.11.11
		APS	미국	Los Angeles	2025.02.14~2025.02.21
		APS	미국	Los Angeles	2025.02.14~2025.02.21
		APS	미국	Los Angeles	2025.02.14~2025.02.21
		APS	미국	Anaheim	2025.03.15~2025.03.23
		APS	미국	Anaheim	2025.03.15~2025.03.23
		APS	미국	Anaheim	2025.03.15~2025.03.23
		APS	미국	Anaheim	2025.03.15~2025.03.23
		APS	미국	Anaheim	2025.03.15~2025.03.23
		APS	미국	Anaheim	2025.03.16~2025.03.23
		APS	미국	Anaheim	2025.03.16~2025.03.23
		APS	미국	Anaheim	2025.03.12~2025.03.23
		APS	미국	Anaheim	2025.03.12~2025.03.23
		DAMOP	미국	Portland	2025.06.15~2025.06.22

		OIST	일본	Okinawa	2024.10.20~2024.10.26
		YITP	일본	KYOTO	2025.02.16~2025.02.19
		APS	미국	Anaheim	2025.03.15~2025.03.23

• 해외 석학 초청 강연을 통한 국제교류 활성화 (총 14건).

- 연사: (University of Hamburg)
 - ◇ 2024.09.30 (세미나)
 - ◇ Quenched Pair Breaking by Interlayer Correlations as a Key to Superconductivity in $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$
- 연사: (Sorbonne Université, CNRS, France)
 - ◇ 2024.10.16. (세미나)
 - ◇ Spectral density of an individual trajectory of an arbitrary Gaussian stochastic process
- 연사: (Columbia University)
 - ◇ 2024.10.21. (세미나)
 - ◇ All-Crystalline van der Waals Josephson Junctions for Enhanced Coherence and Scalability for Superconducting Qubits
- 연사: (University of Glasgow)
 - ◇ 2024.10.21. (세미나)
 - ◇ Quantum Engineering with Coherent Superconducting Devices and Circuits
- 연사: (Tel-Aviv University)
 - ◇ 2024.10.23. (세미나)
 - ◇ Enhanced light-electron interactions via plasmonic metasurfaces
- 연사: (Tel-Aviv University)
 - ◇ 2024.10.30. (세미나)
 - ◇ Optical Metasurfaces: a new approach for Beam shaping, Sensing and Authentication
- 연사: (Stanford University, SLAC)
 - ◇ 2024.11.04. (세미나)
 - ◇ Atomic-scale imaging of valence electron motion in solids
- 연사: (Harvard University)
 - ◇ 2024.11.29. (세미나)
 - ◇ Fluxoid-parity-controlled superconducting diode effect and Corbino-Josephson interferometry on an intrinsic topological insulator surface
- 연사: (Chinese Academy of Sciences)
 - ◇ 2025.01.17. (세미나)
 - ◇ Theory, prediction and detection for topological and chiral phonons
- 연사: (CNRS & ESPCI)
 - ◇ 2025.06.16. (세미나)
 - ◇ Transport and thermodynamics in topological magnets
- 연사: (McMaster University & Perimeter Institute)
 - ◇ 2025.06.26. (세미나)
 - ◇ Antiferromagnetic quantum critical metal and Kondo effect
- 연사: (The Univ. of Texas at Austin)

- ◇ 2025.08.11. (세미나)
- ◇ Chiral Light Meets Chiral Quantum Materials
- 연사: (National Univ. of Singapore)

- ◇ 2025.08.20. (세미나)
- ◇ Integrated Photonic Circuits for Quantum Science and Technology
- 연사: (Tokyo University of Science)

- ◇ 2025.08.20. (세미나)
- ◇ Superconducting quantum circuit

[실적 분석 및 향후 추진 계획]

- 최근 1년(2024.09.01.~2025.08.31.) 기간 동안 계획 대비 실적.
 - 주력연구센터 주도 학술행사 및 물리교육연구단 참여교수들의 국제 공동연구가 차질 없이 대부분 성공적으로 진행되었음. 국제 공동연구는 온라인 회의 및 오프라인 미팅을 통해 활발하게 이루어졌던 것으로 나타나며 기존 계획을 상회하는 공동연구가 1년간 진행되었거나 진행 중에 있음(아래 [포스텍 물리교육연구단 국제공동연구 현황] 표에서 상세히 기술).
 - 교육연구단 주도 해외 연구자 프로그램의 경우 활발한 학술행사를 개최 및 해외 석학 세미나를 지난 1년간 활발히 운영함.
- 향후 추진 계획.
 - “개인 연구 우수성 중심의 국제 공동연구”를 중점적으로 추진하고 이를 보완하기 위한 교육연구단 주관 온라인 & 오프라인 학술행사를 기존의 방식 그대로 활발하게 추진함.
 - 학생 및 신진연구자 방문 교류를 보완하기 위해 다음과 같은 프로그램이 계획되어 있음.
 - ◇ 2025년 한-독 글로벌 인재양성 인턴십 프로그램 참가자 모집.
 - 주관: 막스플랑크 한국/포스텍 연구소 (MPK).
 - 기간: 2025년 9월 파견 38명 진행중.
 - 참조: http://mpk.or.kr/sub/sub04_02.php
 - ◇ 대학원생 방문 연구 추진.
 - 대상: (지도교수: 교수).
 - 방문 기관: 미국 Advanced Photon Source.
 - 기간: 2025년 하반기 파견 확정.
 - ◇ 대학원생 방문 연구 추진.
 - 대상: (지도교수: 교수).
 - 방문 기관: 미국 Argonne National Laboratory.
 - 기간: 2025년 하반기 파견 확정.

※ 참고: 포스텍 물리교육연구단 국제공동연구 현황.

No.	참여교수	공동연구자	해외 기관	연구 주제
1			중국/Tongji Univ.	IR s-SNOM 연구
2			프랑스/Sorbonne University	Diffusing diffusivity model의 self-averaging 성질 연구
3			일본/Tokyo University of Science	Active trap model의 동역학 특성 연구
4			독일/Potsdam University	DICTY cell의 migration 동역학에 대한 머신러닝 분석 연구