

『4단계 BK21사업』 미래인재양성사업(과학기술분야)

연세물리교육연구단 자체평가보고서

접수번호	4199990114260							
사업 분야	기초과학	신청분야	물리	단위	전국	구분	교육연구단	
학술연구분야 분류코드	구분	관련분야		관련분야		관련분야		
		중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류	
	분류명	물리학	응집물질물리	물리학	입자및장물리	물리학	광학및양자전자학	
	비중(%)	40%		30%		30%		
교육연구 단명	국문) 연세 물리 교육연구단 영문) Yonsei Physics Education and Research Institute							
교육연구 단장	소 속	연세대학교		이과대학	물리학과			
	직 위	교수						
	성명	국문	오경환		전화	02)2123-5608		
		영문	KYUNGHWAN OH		팩스			
				이동전화				
				E-mail	ohkyunghwan@gmail.com			
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 (2019~21.2)	2차년도 (21.3~22.2)	3차년도 (22.3~23.2)				
	국고지원금	486,125	972,250	998,263				
총 사업기간	2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)							
자체평가 대상기간	2021.9.1.-2022.8.31.(12개월)							
<p>본인은 관련 규정에 따라, 『4단계 BK21사업』 관련 법령, 귀 재단과의 협약에 따라 다음과 같이 자체평가보고서 및 자체평가결과보고서를 제출합니다.</p>								
2022년 10월 5일								
작성자	교육연구단장				오 경 환			



〈자체평가 보고서 요약문〉

중심어	연세 물리 교육연구단	학생 중심	교육-연구 선순환
	C³ : Creativity, Critical Thinking, Connection	sp³ : 학생, 신진인력, 교수, 인프라	Q³ : Quantum Universe, Quantum Matter, Quantum Application
	낙오자 없는 교육	산업·사회 기여	사람과 사람간의 네트워크
교육연구단의 비전과 목표 달성정도	<ul style="list-style-type: none"> • [延世(연세) : 세상을 이끄는] 창의적·도전적 문제 해결형 인재 양성 연구수월성을 최우선으로 하는 문화정착, 융합적/초연결적 활동 추구 • 낙오자 제로, 학생 중심의 교육-연구 선순환 체계 구축 연구발표중심의 자격시험개편, 학생주도형 교과과정 확립 • 미래 기술 사회 핵심 기반 지식인 양자물리 분야 연구혁신 127 Qubit 양자컴퓨터 도입예정, 양자정보기술연구원 설립, 양자정보관련 강의 개설, 양자컴퓨터 세미나 개최 • 산업·사회에 실효성 있는 연구 성과를 환원하는 사회 기여 대중강연, 기업문제 해결을 위한 공동연구, 연구소와의 협동과정 개설 		
교육역량 영역 성과	<ul style="list-style-type: none"> • 학생중심 교과과정 개편, 학생 자율 과목 선택 연구중심과목: 첨단물리연구방법론, 물리천문학을 위한 딥러닝 및 인공지능, 최신물리학 동향 산업체연계 및 커리어개발: 첨단산업과 물리학, 물리커리어멘토링 양자정보인력양성: 최신고급연구방법론: 머신러닝, 빅데이터, 양자컴퓨팅 • 자격시험 개선 연구에 전념할 수 있는 시간을 앞당기기 위해 연구계획 발표방식으로 전환 • 유수의 연구기관, 산업체에 졸업생 취업 Weizmann Institute의 입자물리이론그룹, KIST 양자광학 연구그룹, 삼성전자 메모리 사업부 등 		
연구역량 영역 성과	<ul style="list-style-type: none"> • 산업체 연구비 수주 예년 대비 4배로 증가, 1인당 총 연구비 34% 증액 • 논문 1편당 환산 보정 임팩트 팩터는 선정평가 당시 0.06으로부터 당해년도 0.08로 33% 증가, 논문 1편당 환산 보정 아에겐 스코어는 선정평가 당시 0.19로부터 당해년도 0.53으로 179% 향상 • 김재훈 교수는 2021년 11월 Nature (IF: 69.504)에 교신저자 논문을 게재 • 조만호 교수는 2022년 4월 Nature Electronics (IF: 33.255)에 교신저자 논문을 게재 		
미흡한 부분 / 문제점 제시	<ul style="list-style-type: none"> • 사회문제 해결 기여를 높이기 위해 산학협력을 확대하고, 사회문제의 파악 및 이를 해결할 가능성 모색이 필요 • “포스트 코로나” 상황에 대비한 국제화 강화 프로그램 개발 필요 		
차년도 추진계획	<ul style="list-style-type: none"> • 대학원생 교과 과목을 단계별로 세분화하여 각 학생이 단계별로 수강할 수 있는 입문, 심화, 연구수행 과목을 개발 • 온라인-오프라인 국제협력을 강화하여 공동연구 거점으로 성장하기 위한 전략 및 계획 수립 • 신진연구인력의 연구, 교육 및 경력관리를 위한 체계적 대책 수립 		

I

교육연구단의 구성, 비전 및 목표

1. 교육연구단장

성명	한글	오경환	영문	KYUNGHWAN OH
소속기관	연세대학교		이과대학	물리학과

2. 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진

<표 1-1> 교육연구단 대학원 학과(부) 전임 교수 현황 (단위: 명, %)

대학원 학과(부)	학기	전체교수 수	참여교수 수	참여비율(%)	비고
물리학과	2021년 2학기	27명	20	74%	
	2022년 1학기	26명	20	77%	

<표 1-2> 최근 1년간(2021.9.1.~2022.8.31.) 교육연구단 대학원 학과(부) 소속 전임 교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	전출/전입	변동 사유	비고
1	장수경	2021년 2학기	전출	정년 퇴직	
2	이삼현	2022년 1학기	전출	정년 퇴직	

<표 1-3> 교육연구단 대학원 학과(부) 대학원생 현황

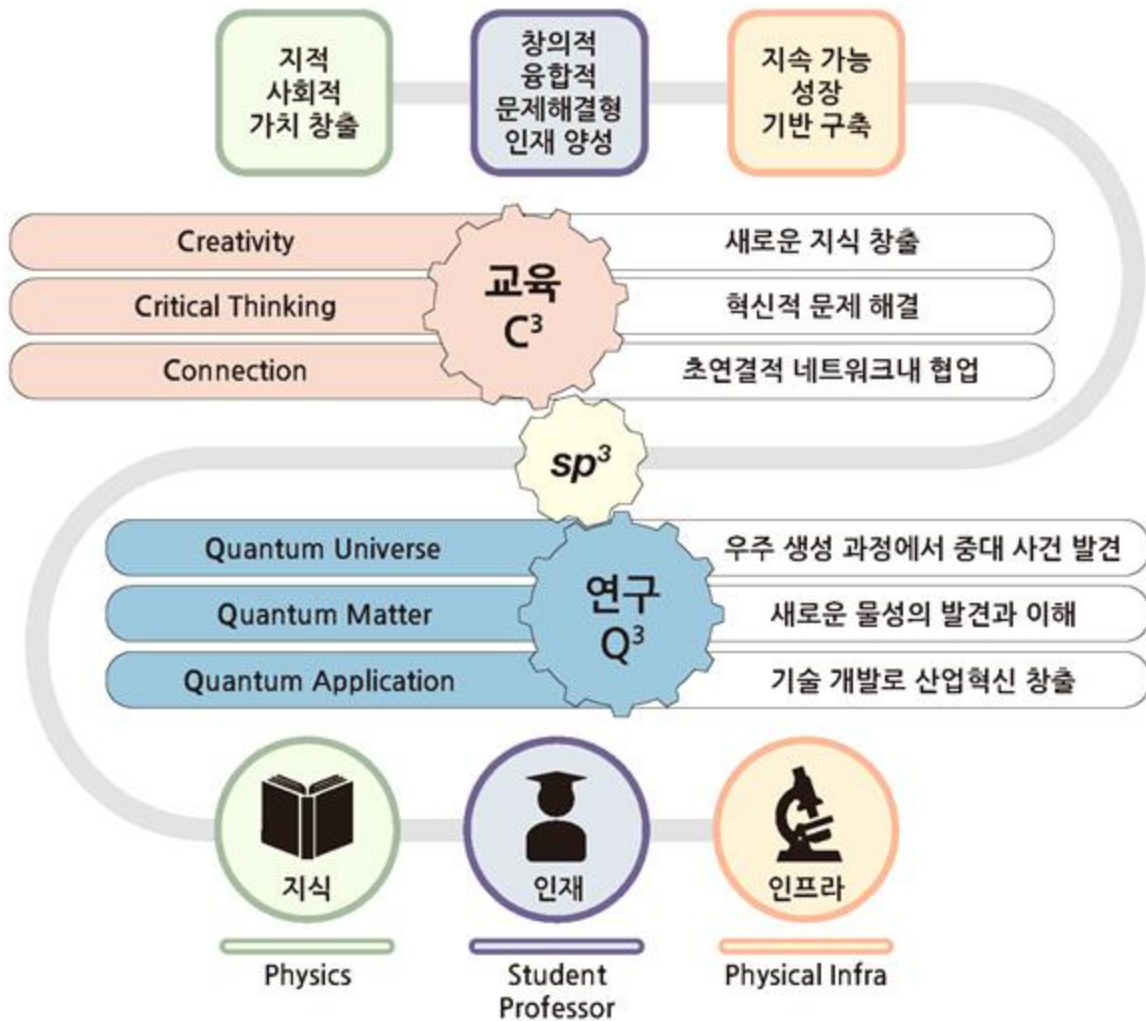
(단위: 명, %)

대학원 학과(부)	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	2021년 2학기	16	12	75%	18	6	33%	110	80	72.7%	144	98	68%
	2022년 1학기	21	16	76%	17	3	17.6%	111	89	80%	149	108	72.4%
참여교수 대 참여학생 비율				25.7%									

3. 교육연구단의 비전 및 목표 달성정도

1 연세 물리 교육연구단의 비전

연세 물리 교육연구단의 비전	
01	[延世(연세) : 세상을 이끄는] 창의적·도전적 문제 해결형 인재 양성
02	낙오자 제로, 학생 중심의 교육-연구 선순환 체계 구축
03	미래 기술 사회 핵심 기반 지식인 양자물리 분야 연구혁신
04	산업·사회에 실효성 있는 연구 성과를 환원하는 사회 기여



2 연세 물리 교육 연구단의 목표달성 정도

(1) 교육목표 및 실적

	목표	실적
01	학생중심 교육	<ul style="list-style-type: none"> • 학생제안 커리큘럼 실시 (1) 첨단물리연구방법론: 이론과실재 (2022-1) - 학생주도의 연구실간 공동연구 강화 프로그램 (2) 물리커리어멘토링 (2022-1) - 학생 스스로 필요한 교육을 찾아 자신의 미래를 설계, 독립적인 물리연구자로서 커리어를 펼쳐나갈 수 있도록 안내 (3) 첨단산업과 물리학 (2022-1) - 첨단산업과의 접점을 늘려 산업계 현황과 첨단 기술을 이해하고 미래 산업 발전을 위해 필요한 지식과 기술에 대하여 논의 • 기존문제풀이 위주의 자격시험을 연구계획 발표 방식으로 전환: 과정 전반에 걸쳐 자격시험위원회의 관리로 낙오자 제로 기여 • LT (Learning by Teaching) 강의 개설: 가르치면서 배울 수 있는 대학원생 교육 참여 프로그램 진행 (1) Quantum Universe 특별연구 (2022-2, 반가영) (2) 박막 및 물성물리학 (2022-2, 윤태근)
02	신입생 확보 및 정착 프로그램 제공	<ul style="list-style-type: none"> • BK-장학제도 및 연구 분야를 소개하는 설명회를 매학기 진행, 포스터 발표회 정례화 • 학부생에게 연구 분야별 튜토리얼 과목 소개: 첨단물리학의 세계, 양자물질연구, 응용물리입문 • 연세물리교육연구단 Winter School 개최: 학부생 및 신입생들에게 연구분야 탐색 기회 제공 • 입학성적이 우수한 신입생들에게 동문회 병학장학금, 이영진 장학금 지급 • 학부-대학원 연계제도를 활용 우수학생 우선선발 • Becker Graduate Fellowship: 우수 신입생에게 대학원 입학후 5학기 동안 매학기 1인당 300만원씩 지급
03	교육의 국제화	<ul style="list-style-type: none"> • 복수-공동학위제도: 프랑스 Lyon Université, 파리 소르본 대학과 복수/공동학위 프로그램을 위한 MOU 체결을 논의 • 해외석학 강의개설: 레이저물리학 (2022-1, 키산 돌라키아) • Pre-doc 제도: 교육연구단 우수 대학원생을 pre-doc으로 선정하여 해외 우수 연구기관에 파견함으로써 학위 취득 후의 현지 기관으로의 취업 기회를 실질적으로 제고 • 외국인 대학원생 특별지원 프로그램: 백양누리 글로벌라운지에 외국인 대학원생 지원센터 운영, 글로벌리더펠로십, 우수외국인 장학금 I / II / III 등을 활용하여 외국인 학생을 적극적으로 수용

(2) 연구목표 및 실적

	목표	실적
01	연구비 수주 향상	<ul style="list-style-type: none"> • 연구비 수주실적 (1) 산업체 연구비 수주 총 입금액이 예년 약 5억원으로부터 당해연도 약 20억원으로 4배로 증가 (2) 참여교수 1인당 연구비 수주액이 예년대비 35% 증가 (선정 당시를 기준으로 하면 2배로 증가)
02	세계적 수준의 연구실적	<ul style="list-style-type: none"> • 최상위 저널 논문 성과 게재 (1) 김재훈 교수는 2021년 11월 Nature (IF: 69.504)에 교신저자 논문을 게재 (2) 조만호 교수는 2022년 4월 Nature Electronics (IF: 33.255)에 교신저자 논문을 게재 • 논문의 질적 지표 향상 (1) 논문 1편당 환산 보정 임팩트 팩터는 선정평가 당시 0.06에서 당해년도 0.08로 33% 증가, 논문 1편당 환산 보정 아예겐 스코어는 선정평가 당시 0.19에서 당해년도 0.53으로 179% 향상 (2) 전체적으로 단순한 논문의 양적 팽창을 지양하고 대표업적 중심으로 질적 지표 향상을 목표로 삼았던 본 교육연구단의 방향에 잘 부합하는 성과
03	산업혁신 창출 및 사회문제 해결 기여	<ul style="list-style-type: none"> • IBM 양자 컴퓨터 센터 유치: 문경순 교수는 미국 기업 IBM과 협력하여 송도 국제캠퍼스에 IBM의 양자컴퓨터를 도입하는데 공헌 • 산학협력연구센터 운영: 연세-삼성 반도체 전략산학연구센터, 삼성디스플레이 연구센터를 지속적으로 운영 및 참여를 통해 지식 교류를 정기화 (김관표, 이연진, 조두희, 조만호 교수) • 특허출원 및 등록: 산업계와의 실직적인 융합연구 추구, 해외 특허 출원 1건, 국내 특허 등록 4건, 국내 특허 출원 14건 등 매우 활발한 발명 성과
04	연구의 국제화	<ul style="list-style-type: none"> • 국제적 리더십 (1) 최형준 교수: 아시아 태평양 지역의 국가별 물리학회 연합단체인 Association of Asia Pacific Physical Societies (AAPPS) 차기회장으로 선출 (2) 권영준 교수: 2018년 4월부터 Belle Collaboration의 공동대표로 선출되어 직분을 계속 수행 • 학술대회 개최: APPC15 국제학술대회(15th Asia Pacific Physics Conference) 연세대 개최 (2022. 8. 21 - 26)

3 미래 기술 사회 핵심 기반지식인 양자물리 분야 교육 및 연구

(1) 양자 컴퓨팅 기반 교육 및 연구기회 확대

	주제	내용
01	연세-IBM 퀀텀 컴퓨팅 센터 구축	<ul style="list-style-type: none"> 연세-IBM 퀀텀 컴퓨팅 센터 구축 본계약 체결 (2022. 7. 15) 2024년 상반기 국내최초 IBM 127-Qubit 양자 컴퓨터 도입 예정 클라우드 서비스 제공으로 국내 양자 컴퓨팅 생태계 확대
02	양자정보기술연구원 설립	<ul style="list-style-type: none"> 연세사이언스파크 내 양자정보기술연구원 설립 연세물리교육연구단의 주도적 참여 (원장: 문경순 교수, 연구원: 최영재 교수) 우수한 교수진 및 연구인력들과 산업계를 결집해 다양한 연구 및 개발 목적에 부응하는 양자컴퓨터 기반 연구클러스터를 구축
03	양자물리·정보·딥러닝 교육 및 인력양성	<ul style="list-style-type: none"> 양자우주, 양자물질, 양자정보 및 응용관련 다수의 교과목 개설 2021-2학기 최신고급연구방법론: 머신러닝, 빅데이터, 양자컴퓨팅 최신물리학동향 2022-1학기 물리·천문학을 위한 딥러닝 및 인공지능 첨단물리연구방법론: 이론과실재(1) 양자광학(1)

(2) 양자정보기술연구원 세미나 개최

일시	주제	강연I - 오후 4:00~4:50	강연II - 오후 4:50~5:40
8.18 (목)	양자컴퓨터와 응용	김재완 교수 고등과학원 계산과학부	박경덕 교수 연세대학교 응용통계학과
9.15 (목)	양자컴퓨터 개발 현황	백한희 박사 IBM 퀀텀 연구원	정연욱 교수 성균관대학교 나노공학과
10.13 (목)	양자컴퓨터와 응용	최만수 교수 고려대학교 물리학과	이재진 교수 서울대학교 컴퓨터공학부
11.17 (목)	양자컴퓨터와 응용	Prof. Petruccione Univ. of KwaZulu-Natal	문경순 교수 연세대학교 물리학과

II

교육역량 영역

본 교육연구단은 교육-연구 선순환 체계를 확립하여 1) 새로운 미래지식을 창출하는 창의적 인재 2) 혁신적 문제해결책을 제시하는 비판적 인재 2) 초연결 네트워크 내 협업을 주도하는 융합적 인재를 양성을 위해 교육과정과 학사운명을 진행해 왔다. 교육연구단 운영 2차년도에는 아래와 같은 교육과정과 학사 운영을 통해 미래 지식과 기술의 근간인 양자 물리학 전문 연구인재 양성에 기여하였다.



1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

(1) 연세물리교육연구단 교육과정 개편

대학원 전공과목 개설학점							
2021학년도 1학기		2021학년도 2학기		2022학년도 1학기		2022학년도 2학기	
학점	개설과목수	학점	개설과목수	학점	개설과목수	학점	개설과목수
45	18	48	18	51	19	54	20

2021학년도 1학기				2021학년도 2학기			
학정번호	교과목명	담당교수	비고	학정번호	교과목명	담당교수	비고
PHY7910	연구윤리교육	오경환		PHY7999	연구지도1	오경환	
PHY7999	연구지도1	오경환		PHY9999	연구지도2	오경환	
PHY9999	연구지도2	오경환		PHY5102	수리물리학II	이수형	
PHY5101	수리물리학I	이수형		PHY6030	전기자기학II	김덕영	
PHY6010	고전역학	김관표		PHY6050	양자역학II	박상아	
PHY6020	전기자기학I	김덕영		PHY6060	통계역학	김재훈	
PHY6040	양자역학I	현승준, 박상아	Learning by Teaching	PHY6100	고체물리학II	최형준	
PHY6090	고체물리학I	최형준		PHY6110	양자장 이론 I	현승준	
PHY7903	이론물리특강 II	첸포옌		PHY8120	강입자물리와 QCD II	권영일	
PHY8110	강입자물리와 QCD I	권영일		PHY8250	박막및물성물리학	김관표	
PHY8510	푸리에광학	오경환		PHY8260	고체분광학	김재훈	
PHY8590	레이저물리학	돌라키아 키산		PHY8430	유기무기반도체박막소자이론	임성일	
PHY8610	고급물리특강 I	조만호, 김대경	Learning by Teaching	PHY8540	광소자 물리	오경환	
PHY8620	고급물리특강 II	오경환		PHY8591	레이저물리및 응용	오경환	
PHY9013	최신물리학동향3	조만호		PHY8595	최신고급연구 방법론: 머신러닝, 빅데이터, 양자컴퓨팅	유휘동	신규개설 & 학생제안교과목
PHY9903	입자물리특별연구3	박성찬, 조용수	Learning by Teaching	PHY8640	고급물리특강 IV	오경환	
PHY9913	응집물리특별연구3	조두희		PHY9014	최신물리학동향4	조만호	
PHY9923	응용물리특별연구3	이연진		PHY9924	응용물리특별연구4	이연진	

2022학년도 1학기				2022학년도 2학기			
학정번호	교과목명	담당교수	비고	학정번호	교과목명	담당교수	비고
PHY7999	연구지도1	오경환		PHY7999	연구지도1	오경환	
PHY9999	연구지도2	오경환		PHY9999	연구지도2	오경환	
PHY5101	수리물리학I	이수형		CSE6126	병렬과학계산	최정일	타과 공동개설
PHY6010	고전역학	권영준		MEU5021	바이오메디칼 광학 이미징	주철민, 성백천	타과 공동개설, Learning by Teaching 강의
PHY6020	전기자기학I	김덕영		OPT6030	간섭광학및실험	박승한	공동개설
PHY6040	양자역학I	박상아		PHY5102	수리물리학II	이수형	
PHY6090	고체물리학I	최형준		PHY5110	전산물리와데 이터의시각화	오경환	신규개설, 학 생제안교과목
PHY6120	양자장이론II	현승준		PHY6030	전기자기학II	김덕영	
PHY7035	첨단물리연구방 법론:이론과실재 (1)	최영재	신규개설	PHY6050	양자역학II	정동원	
PHY7050	첨단산업과물리 학	이연진	신규개설	PHY6060	통계역학	권영일	
PHY7055	물리학을위한유 한요소법	김덕영	신규개설	PHY6100	고체물리학II	최형준	
PHY7070	물리커리어멘토 링	오경환	신규개설	PHY8250	박막및물성물 리학	김관표, 윤태근	Learning by Teaching
PHY7080	물리·천문학을위 한딥러닝및인공 지능	이재현	신규개설	PHY8410	소자공정및측 정물리학	조만호	
PHY8250	박막및물성물리 학	조만호		PHY8430	유기무기반도 체박막소자이 론	임성일	
PHY8440	고체광학물성	김재훈		PHY8540	광소자 물리	오경환	
PHY8510	푸리에광학	오경환		PHY8591	레이저물리및 응용	오경환	사회문제해결 형 교과목
PHY8590	레이저물리학	돌라키 아키산		PHY8630	고급물리특강 III	이연진	
PHY8001	양자광학(1)	조영욱	신규개설	PHY9012	최신물리학동 향2	조두희	사회문제해결 형 교과목
PHY9011	최신물리학동향 1	김관표		PHY9904	QUANTUM UNIVERSE 특 별연구4	박성찬, 반가영	Learning by Teaching
				PHY9921	QUANTUM APPLICATION 특별연구1	이연진	

교육연구단 내규 지정 타학과 전공 선택 인정과목				
학과	학정번호	교과목명	2022-1학기 개설여부	2022-2학기 개설여부
광과학협동과정	OPT6030	간섭광학및실험	X	o
융합반도체협동과정	SMC9110	고급반도체물리학	O	X
	SMC9120	유기반도체	X	X
계산과학공학	CSE7830	물리기반모델링및시뮬레이션1	X	X
	CSE7840	물리기반모델링및시뮬레이션2	X	X
	CSE7860	수학적모델링및수치해석1	X	X
	CSE7870	수학적모델링및수치해석2	X	O
	CSE5851	딥러닝과데이터과학	O	X
인공지능학과	AAI5002	데이터사이언스와강화학습	O	X
	AAI5106	병렬및분산처리프로그래밍	X	O
	AAI5006	AI창업기초	X	X
	AAI5206	AI창업기초2	X	X
	AAI5207	AI창업기초3	X	X
신소재공학과	MSE8650	투명전자소재	O	X
	MSE8090	반도체공정	X	O
	MSE8460	2차원나노물질특론	X	X
기계공학과	MEU5021	바이오메디칼광학이미징	X	O
	MEU6170	첨단레이저공공학	X	X

(2) 교육과정·학사운영 현황 및 계획

<p>교육과정/학사 운영현황</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 연구 중심, 학생 수요 반영 프로그램 "첨단물리연구방법론: 이론과실재": 교육-연구연계 교육 (최영재 교수) "응집물리특별연구": 융합적 사고 및 연구지식 습득 (조두희 교수) "레이저 물리학": 외국인 교수 강의 개설 (키산 돌라키아) • 자격시험 개선 연구계획서 발표방식으로 전환하여 연구수월성 확보 • 과학기술, 산업, 사회문제 해결 프로그램 "첨단산업과 물리학": 달팽이 강의 시리즈 (박성찬 교수) • 수강 필수과목 지정 최소화, 학생본인의 진로 및 연구관련성을 고려 자율적 수업 이수, 융합적 사고 신장을 위한 폭넓은 인접 분야 탐색 장려 • Learning by Teaching (LT): 대학원생이 교육의 적극적인 참여자 역할 수행 • 동문회 병학장학금, 이영진 동문기념 장학금, 연세물리우수연구상
-------------------------	---

교육과정/학사운영 개선계획	<ul style="list-style-type: none"> 온라인 강좌 활용: Flipped Class, 콜로퀴움 강연 동영상 보관, on-demand 대여 해외 석학 방문 특강 프로그램 활용 해외 대학과의 복수/공동학위 제도: 국제적 커리어 형성 기간 단축 장학제도 확대: Y-GF (Yonsei Graduate Fellow), 대학원생 연구집중년 제도 학업지도위원회 운영 지도교수 포함 3인으로 구성, 매학기 해당 학생의 학업 진행 상황 검토, 논문 연구의 진척 상황에 따라 연구방법 조언
-------------------	--

(3) 자격시험 개선

- 2022년도 1학기부터 기존 문제풀이 위주의 자격시험을 연구계획발표 방식으로 점진적으로 전환 중에 있음. 자격시험을 연구계획서 발표방식으로 전환하여 연구에 전념할 수 있는 시점을 최대한 앞당기도록 유도.
- 과정 전반에 걸쳐 자격시험위원회의 관리로 낙오자 제로에 기여.
- 입학 후 가능한 한 빠른 시기에 자격시험을 통과하도록 지도 (박사과정 4학기 이내, 석박사 통합 과정 6학기 이내).

학기	자격시험 응시자	지필고사 응시자	전과목 면제	발표 평가 응시자
2020년 1학기	5	5	-	-
2020년 2학기	7	7	-	-
2021년 1학기	8	7	1	-
2021년 2학기	6	5	1	-
2022년 1학기	9	5	1	3
2022년 2학기	9 (예상)	5 (예상)		4 (예상)
2023년 1학기	9 (예상)	4 (예상)		5 (예상)

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

입학·정착 단계	<ul style="list-style-type: none"> 신입생 확보 및 정착 프로그램 BK 장학제도 및 연구분야를 소개하는 설명회 매학기 진행 연구분야별 튜토리얼 과목 (학부3-4학년): 첨단물리학의 세계 (조두희 교수), 양자 물질 연구 (김근수 교수), 응용물리입문 (김관표 교수) 연세물리원터스쿨 개최, 연구실 인턴프로그램 운영 자율성을 최대한 보장하는 지식창출 교육 자율적 교과목 선택, 다학제간 팀티칭, 인접분야 교과목 수강 허용 수요자 중심의 학생요구 교과목 지속 개발 외국인 대학원생 특별 지원 프로그램 백양누리 글로벌라운지에 외국인 대학원생 지원센터 운영 외국인 학생 멘토제도 글로벌리더펠로십, 우수외국인장학금
성장·발전 단계	<ul style="list-style-type: none"> 낙오자 제로 시스템 구축

	<p>구술형 연구주제 발표 중심으로 자격시험 개선, 합리적 연구주제 선정 및 빠른 연구 정착에 도움</p> <ul style="list-style-type: none"> • 연구 맞춤형 수업 개설 최신물리학동향 (김관표 교수), 물리커리어 멘토링 (오경환 교수), 물리·천문학을 위한 딥러닝 및 인공지능, 첨단산업과 물리학 (이연진 교수)
사회진출 준비 단계	<ul style="list-style-type: none"> • 대학원생 교육 참여 프로그램 Learning by Teaching (LT), Undergraduate Tutorial (UT) 대학원생 강의 참여 • 취업 지원 프로그램 Pre-doc 제도 (졸업 전 해외 기관 연구원 지원 프로그램) 산업·사회문제 연계과목 개설을 통해 산업체에서 필요한 지식을 습득할 수 있는 기회를 제공

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.1 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

<표 2-1> 교육연구단 소속 학과(부) 참여대학원생 확보 및 배출 실적

(단위: 명)

대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사 통합	계
확보 (재학생)	2021년 2학기	16	18	110	144
	2022년 1학기	21	17	111	149
	계	37	35	221	293
배출 (졸업생)	2021년 2학기	3	14		17
	2022년 1학기	1	9		10
	계	4	23		27

2.2 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

인재양성 원칙	<ul style="list-style-type: none"> • 본 교육연구단은 인재-지식-인프라가 선순환 되는 교육 혁신 생태계 속에서 자율성과 자주성을 갖춘 창의적 인재 (Creativity), 비판적 사고를 가지고 탐구하는 인재 (Critical Thinking), 초연결 네트워크에서 협업을 통한 문제해결력을 갖춘 융합적 인재 (Connection)를 양성하기 위한 우수대학원생 확보를 위한 다양한 프로그램을 계획 운영 중 • 입학 후 중도 하차하는 일 없이 (“낙오자 Zero”) 사회에 우수한 인재로 사회에 진출할 수 있도록 입학-성장/발전-사회진출 단계별 맞춤형 지원 계획을 수립하여 지원
---------	---

우수대학원생 확보 프로그램 운영현황 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 입학전 대학원 장학제도 소개 학부생 및 대학원 신입생들에게 BK-장학제도 및 연구 분야를 소개하는 설명회를 매학기 진행, 투명하고 공정한 장학제도 운영 • 연구분야별 튜토리얼 과목 제공 학부 3~4학년 학생들과 대학원 입학생들의 진로 탐색을 위한 기회를 얻고자 하는 요구를 교수님들의 개별 면담 사례들로부터 파악하고 이를 위한 분야별 다양한 과목들을 전공 선택 과목으로 개설 • Yonsei Physics Winter School 개최 매년 Yonsei Winter School을 개최하여 학부생 및 대학원 신입생들에게 연구분야 탐색기회 제공 2022년 1월 13-14일 18명의 강사를 모시고 다양한 연구분야에 대한 기본 개념 및 최신 연구동향등에 대한 강의 진행
---	---

2.3 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

<표 2-2> 2022년 2월 및 2022년 8월 졸업한 교육연구단 소속 학과(부) 대학원생 취(창)업률 실적(단위: 명, %)

구 분		졸업 및 취(창)업현황 (단위: 명, %)					취창업률% (D/C)×100
		졸업자 (G)	비취업자(B)		취창업대상 자 (C=G-B)	취(창)업 자 (D)	
			진학자				
			국내	국외			
2022년 2월 졸업자	석사	3	0	0	1	2	100%
	박사	14	X		0	14	
2022년 8월 졸업자	석사	1	0	0	0	1	87.5%
	박사	9	X		1	8	

참여대학원생의 우수 취업 실적					
이름	조용수	지도교수	박성찬	취업기관	Weizmann Institute of Science
2022년 8월 졸업 후 곧바로 Weizmann Institute의 particle theory group에 박사 후 연구원으로 재직을 시작하였음. 현재 가벼운 암흑물질과 검출, 렙톤수 위반 시 새로운 물리의 기여도 및 flavor 관련 입자물리에 관한 연구를 수행하고 있음.					
이름	김병주	지도교수	오경환	취업기관	KIST
2022년 2월 졸업 후 KIST에서 박사후 연구원으로 재직 중. 광섬유 기반 레이저에 대한 연구 수행 후 KIST에서 학생 연구원으로 1학기 연구활동을 진행하였고 현재 양자광학 연구 수행 중.					

이름	정재훈	지도교수	조만호	취업기관	삼성전자
2차원 반도체 물질에 strain을 가해 ferroelastic 특성을 확인하였으며, strain을 이용한 결정 구조 방향 조절을 이용해 물성의 변화를 주는 연구를 진행하였고 2022년 2월에 졸업 후 삼성 전자 메모리 사업부에 취직하였음.					

3. 참여대학원생 연구실적의 우수성

① 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

참여대학원생 논문의 우수성					
이름	이지은	지도교수	김재훈	게재연월	2021년 11월
게재지	Nature			IF	69.504
이지은 석박통합과정생은 위상 자성 반도체 물질 중 Mn ₃ Si ₂ Te ₆ 단결정에서 외부 자기장을 이용해 스핀의 방향을 조절하면서 비저항 측정과 테라헤르츠(Terahertz) 분광 실험을 진행했고, 외부 자기장의 방향에 따라 전도성이 10억 배 이상 변화하는 것과 부도체 상태가 금속 상태로 돌변하는 '부도체-금속 상전이 현상'이 나타나는 것을 관측했다.					
이름	권기현	지도교수	조만호	게재연월	2022년 4월
게재지	Nature Electronics			IF	33.255
권기현 석박통합과정생은 학과 조만호 교수와 삼성전자 종합기술원 이은하 전문연구원 연구진과의 공동연구를 통해 금속·반도체 접합에서 2차원 반도체 물질과 이상적인 접촉을 형성하는 방법을 고안했다. 반도체·금속 계면에서 피할 수 없이 나타나는 결함 형성으로 인해 반도체 소자 특성을 제한하는 근원적인 문제를 갖고 있다. 이를 해결하기 위한 많은 연구가 진행됐지만 결함의 원인을 규명하지 못했다. 연구진은 3차원 반도체와 달리 2차원 반도체는 표면의 반데르발스 결합을 형성하는 특성으로 인해 금속과 화학적 결합을 억제할 수 있어 결함 형성을 최소화할 수 있다는 점을 이용했다. 계면에 화학적 결합이 없으면서도 금속과 접촉 시 금속 원자들의 충돌을 완화할 수 있는 완충층을 새롭게 고안하여 이상적인 금속·반도체 계면 형성에 성공했다.					
이름	이성묵	지도교수	박성찬	게재연월	2022년 2월
게재지	Journal of High Energy Physics			IF	6.379
이성묵 석박통합과정생은 최근에 제안된 Swamp-land conjecture 중 하나인 Festina-Lente (FL) bound을 이용해 힉스 포텐셜 및 급팽창 시기의 특성을 분석했다. 위 bound은 암흑에너지가 있는 우주에서 블랙홀 붕괴를 양자중력 관점으로 접근해 U(1) 대칭성을 가진 대전 입자의 질량에 하한값을 제공한다. 표준모형에서 이런 대전 입자들이 힉스 메커니즘으로 질량을 가지기에, 본 bound과 일관되는 힉스 포텐셜의 고에너지(UV) 특성에 제약 조건을 부여할 수 있었다. 더불어서 본 연구에서 FL bound 로부터 허용되는 허블 상수 및 힉스 진공 기댓값을 얻었으며, 이를 통해 급팽창 중에 힉스는 약한핵력 진공 기댓값에서 벗어난 진공 기댓값을 가져야 함을 보였다.					

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

분야	참여학생	개최국	구두/포스터	학회명
QM	신현준	미국	구두	American Physical Society March Meeting
Anisotropic magnetoresistance reversal in a two-dimensional helical antiferromagnet				
QM	김종혁	미국	구두	American Physical Society March Meeting
Spin-flip-driven anisotropic magnetoresistance in antiferromagnetic spin-valve-like structure Ca _{0.9} Sr _{0.1} Co ₂ As ₂				
QA	이슬	미국	포스터	Microscopy and Microanalysis (M&M) 2022
In-situ TEM imaging of Novel Edge Reconstruction in Bilayer Phosphorene				
QA	박진섭	한국	구두	The 15th Asia Pacific Physics Conference
STEM image analysis based on deep learning identifying vacancy of defects and polymorphs of MoS ₂				
QU	정동연	프랑스	구두	LIO International Conference and France-Korea STAR Workshop
The Inflaton that Could : Primordial Black Holes and Second Order Gravitational Waves from Tachyonic Instability induced in Higgs-R2 Inflation				
QA	이교석	미국	구두	Materials Research Society (MRS) Spring Meeting
Antibiotic susceptibility testing in blood using vertical capacitance aptasensors				

4. 신진연구인력 현황 및 실적

① 교육연구단 신진연구인력 현황

구분	성명	연구분야	비고
연구교수	김미경	QM: 응집물리	2022.03.01~2023.02.28
박사후연구원	류세희	QA: 응집물리	2021.01.01~2022.2.28
	와타누키 순	QU: 입자물리	2021.04.24~2022.04.23
	백나연	QM: 응집물리	2021.09.01~2022.08.31
	프라마닉 타누모이	QA: 양자정보	2022.06.21~2022.09.30

② 교육연구단 신진연구인력 연구실적

연번	신진연구인력	참여역할	논문명	학술지명
----	--------	------	-----	------

01	김미경	공동 1저자	Sign-tunable anisotropic magnetoresistance and electrically detectable dual magnetic phases in a helical antiferromagnet	NPG Asia Materials
02	김미경	공동 1저자	Spin-flip-driven reversal of the angle-dependent magnetic torque in layered antiferromagnetic $\text{Ca}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Co}_2\text{As}_2$	Scientific Reports
03	와타누키 슌	공저자	Search for $B0 \rightarrow \tau \pm l \mp$ ($l=e, \mu$) with a hadronic tagging method at Belle	PHYSICAL REVIEW D

5. 참여교수의 교육역량 대표실적

분야	참여교수	종류	기여
QA	김관표	수상	교육관련 수상실적
2022년 2월 연세대학교 대학원 우수강의교수상 수상			
QM	최영재	신규강의 개설	내부 교육역량 제고
"첨단물리연구방법론: 이론과실재(1)" (2022년 1학기): 연세물리교육연구단 내 공동연구 네트워크 형성			
QA	김관표	대학원 혁신 LT 과목	학문후속세대 기회 제공
"대학원 [혁신 LT] 과목 개설: 박막 및 물성물리학"(2022년 2학기)			
QM	조두희	강의 개설	사회 문제 해결형 과목
"최신물리학동향 2" (2022년 2학기): 고등교육혁신원/대학원 주관 사회문제해결형 교과목 선정			
QU	조만호	산학협력 교과목	표준과학연구원과 교류
"고급반도체물리학" (2022년 1학기 신규개설)			
QA	이연진	첨단산업 교과목	첨단기술 이해
"첨단산업과 물리학" (2022년 1학기 신규개설): 미래 산업 발전을 위해 필요한 지식과 기술 논의			
QM	유휘동	양자정보 교과목	양자물리 인재 양성
"최신고급연구방법론: 머신러닝, 빅데이터, 양자컴퓨팅" (2021년 2학기 신규 개설)			
QA	오경환	학생제안 교과목	커리어 개발

물리커리어멘토링 (2022년 2학기 신규 개설): CV 작성, 논문작성, 연구계획서 작성, 박사후 연구원 지원제도 등 커리어 개발			
QA	이연진	산학협력	산업계 내부인력 재교육
LG 디스플레이 강의: 대학의 지식기반 활용, 산업계의 직무변경자 및 신입직원 교육			

6. 교육의 국제화 전략

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

교육의 국제화 주요성과	<ul style="list-style-type: none"> • 해외석학 강의 개설 University of St Andrews의 키산 돌라키아 (Kishan Dholakia) 교수는 2018년부터 물리학과 겸임교수로 재직 중에 있으며, 2022년 1학기 온라인으로 대학원 광학 수업 등을 진행하며 본 연구단 교육에 큰 기여 • Pre-doc 제도 최영우 학생 (지도교수: 최형준)은 본 연구단에서 주최한 연세-버클리 국제 물리 워크샵에 참석 공동연구 진행 후, 박사후 연구원으로 버클리 대학 그룹에 채용 • 장단기 해외연수, 해외연사 초청세미나 시리즈 활발한 국제 교류 및 연구력 향상을 위해 장단기 해외 연수를 지원 15건 이상의 해외 연사 초청 세미나가 진행되어, 최신 연구 동향 습득, 공동 연구 기회 제공
교육의 국제화 추진 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 공동 복수 학위제 추진 프랑스 Lyon Université의 Giacomo Cacciapaglia 교수, 파리 소르본 대학의 Benjamin Fuks 교수와 복수/공동학위 프로그램을 위한 MOU 체결을 논의 중, 양교의 학위 취득 조건 등을 구체적으로 논의할 예정 • 추진계획 최근 코로나 사태가 한층 나아지고 있어 국제 교류와 공동 연구 활동이 최근 증가하는 추세를 보이고 있음. 이에 맞추어 본 교육연구단은 국제 교육 프로그램의 활성화를 더욱 적극적으로 추진할 계획

② 참여대학원생 국제공동연구 현황

참여자	참여교수	방문 기관	방문 국가	연수 기간	실적 내용
조용수	박성찬	CERN	스위스	2021.07.01. ~2021.12.20. (6개월)	세계적인 연구소인 CERN의 이론물리학 그룹에서 한-CERN 교류사업의 일환인 박사과정생 양성사업을 통해 방문 대학원생으로 연구함. 입자 이론 그룹 내 활동 참여 및 렙톤 수 위반 시의 새로운 입자 검출에 관한 연구를 수행.
이성목	박성찬	콜로라도 대학교	미국	2022.06.05. ~2022.07.0	고에너지 이론물리학 분야의 저명한 스쿨 중 하나인 TASI에 참여하여 이론물리학의

		볼더 캠퍼스		3. (1개월)	최신 발전 동향에 대해 배우고, 저명한 물리학자들과 교류할 기회를 갖음.
이성묵	박성찬	CERN	스위스	2022.07.03. ~2023.03.3 1. (9개월)	세계적인 연구소인 CERN의 이론물리학 그룹에서 한-CERN 교류사업의 일환인 박사과정생 양성사업을 통해 방문 대학원생으로 연구하며 중력파 물리학에 대한 프로젝트를 진행 중.
황규영, 조국, 김성원, 김동운, 어윤, 장하은	유휘동	CERN	스위스	2022.08.03. ~2022.08.2 5. (3주)	스위스 CERN연구소에 방문하여 north area에서 SPS 가속기의 다양한 고에너지 beam을 활용하여 test-beam experiment를 수행함. 이 실험에 사용된 검출기는 본 연구팀이 3년여에 걸쳐 제작한 세계 최고 기술이 적용된 검출기 모듈임.
김석진, 최혁수, 정성훈	오경환	콜로라도 대학교 볼더 캠퍼스	미국	2022.02.01. ~0.2.28 (1개월)	미국 콜로라도주립대학 (볼더)에 방문하여 공동연구자인 Prof. Shuo Sun 연구실에서 양자 광원 연구 수행하였음.

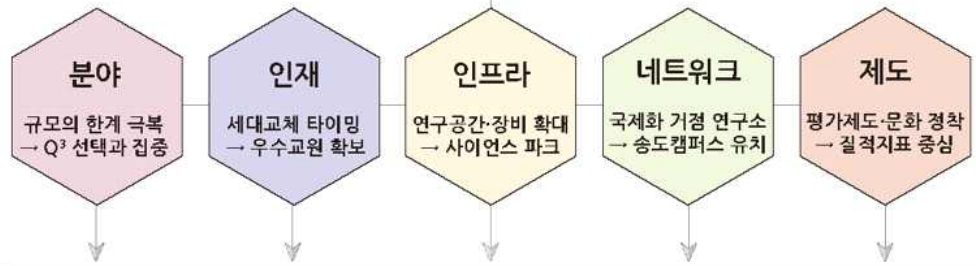
III

연구역량 영역

본 교육연구단의
현주소

연세 물리 교육연구단의 연구역량은 질적 지표에서 국내 최고 수준

4단계 BK를 통한
발전전략



본 교육연구단의
지향점

질적 지표를 더욱 향상시켜 TOP20 수준에 근접, 명품 인재 양성

1. 참여교수 연구역량

1.1 연구비 수주 실적

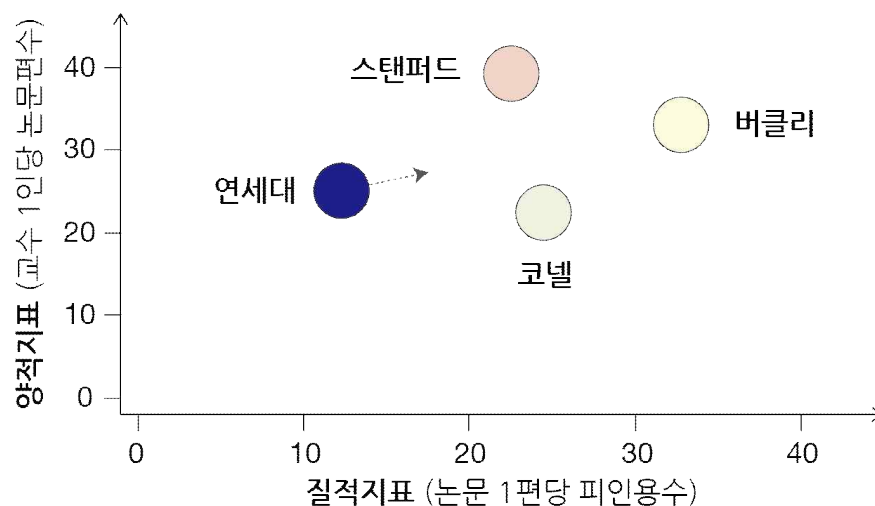
<표 3-1> 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 참여교수 1인당 정부, 산업체, 해외기관 등 연구비 수주 실적

항 목	수주액(백만원)		
	1차년도 (2020901 - 20210831)	2차년도 (20210901 - 20220831)	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	7,289백만원	8,458백만원	16% 증가
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	496백만원	2,026백만원	4배로 증가
1인당 총 연구비 수주액	389백만원	524백만원	35% 증가
참여교수 수	20	20	

<p>연구비 수주 결과 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 당초 기획한 교육 연구 인프라 구축하기 위해 정부, 산업체 등으로부터 연구비를 확장하고자 노력한 결과, 아래 표와 같이 1차년도 대비 놀랄만한 연구비 수주 실적을 달성했다. • 특히 주목할 점은 산업사회 기여를 장려하는 4단계 BK사업의 방향성에 발맞춰 산업체 연구비 수주를 독려한 결과 2차년도에서는 1차년도 대비 무려 4배에 달하는 연구비 증가를 이뤄냈다. • 뿐만 아니라 전임교원 1인당 정부 연구비 수주의 규모도 1차년도 대비 35% 증액되어 전체적으로 교육 연구의 인프라가 잘 갖춰지고 있다고 자체 평가한다. 이는 향후 본 교육연구단이 목표하고 있는 다양한 연구 교육 프로그램을 더욱 힘차게 추진할 밑거름이 될 것이다.
<p>3차년도 연구비 수주 및 활용 계획</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 위와 같은 연구비 수주 규모의 증가에 힘입어 2차년도 현재 총 연구비 수주액은 참여교수 1인당 5억원을 상회하기에 이르렀다. • 이 규모의 연구비라면 본 교육연구단이 추진하는 다양한 교육연구 사업을 뒷받침하기에 충분한 수준에 이른 것으로 판단하고 있다. 따라서 3차년도부터는 연구비 규모의 양적 증가만을 목표로 하기 보다는 수주한 연구비와 구축된 실험 장비 인프라를 바탕으로 논문, 특히, 산업 사회 기여와 같은 실적을 달성하는 데 초점을 맞추고자 한다. • 3차년도 완료 후 예정된 중간 평가 시점에 맞춰 당초 연구계획서에 제시한 교육 연구의 양적 질적 목표를 달성하고자 한다.

1.2 연구업적물

① 참여교수 연구업적물의 우수성



벤치마킹 대학과의 논문실적 비교. SciVal (<https://www.scival.com>) 이용, 2015.03~2019.12 기간 논문 실적 조사(거대과학 제외). 양적 지표는 각 학과 소속 전체 교수(거대과학 제외)를 대상으로 1인당 논문 편 수. 질적 지표는 각 학과에서 출판된 전체 논문(거대과학 제외)을 대상으로 논문 1편당 피인용 수

항목	4단계 BK사업 전	최근 1년간 실적* (20210901-20220831)	증감률
양적 지표 (참여교수 1인당 논문 환산편수)	1.18	0.85	-28%
질적 지표 (논문 1편당 환산보정 IF)	0.06	0.08	+33%
질적 지표 (논문 1편당 환산보정 ES)	0.19	0.53	+179%

*최근 1년간 실적의 경우 2022년 발표된 JCR 데이터를 기준으로 IF, ES, 보정 IF, 보정 ES 계산

해외 벤치마킹 대학과의 비교분석	<ul style="list-style-type: none"> 연세 물리 교육연구단은 지난 BK 선정평가 시 참여교수의 교수 1인당 논문 편수 및 논문 1편당 피인용수를 국내 타 대학 및 해외 벤치마킹 대학의 물리학과와 비교/분석하였다. 양적 지표에서는 세계 TOP 20 물리학과와 근접한 논문 편수를 보여주고 있음에 비하여 질적 지표에 있어서는 Top20로부터 거리가 있었다 이에 따라 4단계 BK사업 기간 동안 연구의 양적 지표보다는 연구의 질적 수준을 향상시켜 연세 물리 교육연구단의 새로운 도약을 추구하기로 하였다.
정량적 분석	<ul style="list-style-type: none"> 양적 지표에서는 BK사업 전 대비 최근 1년 실적이 약 28% 감소를 보였으나, 질적 지표에서는 IF와 ES 각각 33%와 179% 증가를 보였다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 단순한 양적 지표를 늘리는 것을 지양하고, 질적 지표를 향상시켜 벤치마킹 대학에 근접하고자 하는 교육연구단의 지향점에 잘 부합하는 결과로 해석된다. 또한 대외적인 요소로서 최근 우크라이나-러시아 전쟁의 여파로 대규모 집단 실험 연구 분야에서 러시아 기관 소속 연구자에 대한 저자 표기 논쟁으로 논문의 수가 감소된 부분도 영향을 주었을 것으로 사료된다.
3차년도 연구성과 향상 계획	<ul style="list-style-type: none"> 전반적으로 4단계 BK사업 전후로 논문 성과의 질적 지표가 꾸준히 향상되고 있다는 점은 매우 고무적이다. 비록 교육연구단의 지향점을 양적 지표 확장 보다는 질적 지표 향상으로 잡았으나, 질적지표가 지나치게 떨어지는 것은 문제가 될 수 있으므로, 내년에는 이 부분을 집중 개선하기 위해 노력하고자 한다. 그리하여 양적 지표에서는 4단계 BK전 수준을 유지하며, 질적 지표에서는 향상을 도모함으로써, 벤치마킹 대학의 수준에 근접하고, 국내 경쟁 대학 대비 우위를 점하는 것이 본 교육연구단의 연구 수월성 목표에 해당한다.

② 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 1년(2021.9.1.-2022.8.31.))

연세물리교육연구단 대표업적 리스트

분야	참여교수	역할	저널명	볼륨	페이지	게재연월	IF
QM	김재훈	교신	Nature	599	7886	202111	49.962

Colossal angular magnetoresistance in ferrimagnetic nodal-line semiconductors							
Mn ₃ Si ₂ Te ₆ 에서 외부 자기장을 이용해 스핀의 방향을 조절하면서 테라헤르츠 분광 실험을 진행했고, 외부 자기장의 방향에 따라 전도성이 10억 배 이상 변화하는 '부도체-금속 상전이 현상'을 관측했다.							
QA	조만호	교신	Nature Electronics	5	241	202204	33.255
Interaction- and defect-free van der Waals contacts between metals and two-dimensional semiconductors							
반데르발스 물질의 접촉 저항 문제를 해결하기 위해 계면에 화학적 결합이 없으면서도 금속과 접촉 시 금속 원자들의 충돌을 완화하고 제거 가능한 완충층을 고안하여 이상적인 금속-반도체 계면을 만들었다.							
QM	최형준	교신	Physical Review Letters	127	167001	202110	9.161
Dichotomy of Electron-Phonon Coupling in Graphene Moire Flat Bands							
비틀린 그래핀 다중층의 전자-포논 상호작용을 연구하여 마법의 각도 근처에서 발견되는 초전도성 현상에 전자-포논 상호작용이 중요한 역할을 함을 밝혀내었다.							
QA	이연진	교신	Advanced Materials	34	2107882	202203	32.086
Observation of 3D Biexcitons in Pristine-Quality CH ₃ NH ₃ PbBr ₃ Single Crystals							
3차원 페로브스카이트 단결정을 특정 방향으로 잘라 고순도 결정면을 확보하였고, 바이엑시톤의 존재와 안정성을 이론과 실험의 조합으로 논증하였다.							
QA	임성일	교신	Advanced Materials	33	2103079	202109	32.086
Ambipolar Channel p-TMD/n-Ga ₂ O ₃ Junction Field Effect Transistors and High Speed Photo-sensing in TMD Channel							
이차원 물질과 삼차원 산화물 반도체의 이종접합을 통한 고속 빛 반응 소자를 구현하였다.							
QA	유경화	교신	Advanced Functional Materials	32	1	202201	19.924
GeTe Nanosheets as Theranostic Agents for Multimodal Imaging and Therapy of Inflammatory Bowel Disease							
크론병 마우스 모델에 GeTe 나노시트를 구강 투여한 후 GeTe 나노시트가 소화기 내장 광음향 이미징 조영제 및 감염 치료제로 응용될 수 있음을 보였다.							
QU	유휘동	참여 (대형 실험)	Physical Review Letters	128	050401	202202	9.185
Using Z Boson Events to Study Parton-Medium Interactions in Pb-Pb Collisions							

<p>힉스 보존 발견 10주년을 기념하며 CMS 실험에서 지난 10년간 축적한 데이터를 분석하여 측정된 힉스 보존의 성질들에 대한 최신 연구 결과를 집대성하여 출판하였다.</p>							
QU	권영준	참여 (대형 실험)	Physical Review Letters	127	181802	202110	9.185
<p>Search for $B^+ \rightarrow K^+ \nu(\bar{\nu})$ Decays Using an Inclusive Tagging Method at Belle II</p>							
<p>Belle II 실험 데이터를 새로운 태깅 방법으로 분석하여, 암흑물질 입자의 존재 등에 매우 민감한 반응인 $B \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$ 특이붕괴 반응을 탐색하였다.</p>							
QA	박성찬	교신	Journal of High Energy Physics	2	100	202202	6.379
<p>Festina-Lente bound on Higgs vacuum structure and inflation</p>							
<p>Festina-Lente bound를 이용하여 힉스 포텐셜 및 급팽창 시기의 특성을 분석한 결과 U(1) 대칭성을 가진 대전 입자의 질량에 하한값을 제공하고, 힉스 포텐셜의 고에너지(UV) 특성에 제약 조건을 부여할 수 있었다.</p>							
QU	이수형	교신	Physical Review D	105	014014	202201	5.407
<p>Masses of hadrons in the chiral symmetry restored vacuum</p>							
<p>강입자들의 질량과 카이랄 대칭성 깨짐현상이 어떠한 관계가 있는지를 이해하기 위해 이론적으로 기저상태의 모든 강입자에 대해서 그 관계를 이론적으로 밝혔다.</p>							

연세 물리 교육연구단 언론보도 리스트

연번	구분	언론사명/ 수상기관	보도일자/ 수상일자	제목	관련 URL
		주요내용 (200자이내)			
01	성과	뉴시스 외 2건	21.11.30	연세대, '자성 반도체에서 초거대 각자기저항 및 부도체-금속 상전이 현상' 발견	https://newsis.com/view/?id=NISX20211125_0001664335&cID=10201&pID=10200
		연세대학교 김재훈 교수(물리학과)는 김준성 교수(POSTECH, IBS), 김규 박			

		<p>사(한국원자력연구원), 양범정 교수(서울대, IBS) 연구진과 공동연구를 통해 위상 자성 반도체에서 '초거대 각자기저항 현상'을 관측하고 규명했다. 초거대 각자기저항 현상(Colossal Angular Magnetoresistance)은 자성 반도체에서 정렬된 스핀의 결정축 대비 각도에 따라 저항이 10억 배까지 변화하는 현상이다. 연구진은 위상 자성 반도체 물질 중 Mn₃Si₂Te₆ 단결정에서 외부 자기장을 이용해 스핀의 방향을 조절하면서 비저항 측정과 테라헤르츠(Terahertz) 분광 실험을 진행했고, 외부 자기장의 방향에 따라 전도성이 10억 배 이상 변화하는 것과 반도체 상태가 금속 상태로 돌변하는 '부도체-금속 상전이 현상'이 나타나는 것을 관측했다. 또한 초거대 각자기저항 현상이 위상학적 전자 상태를 통해 정렬된 스핀의 각도에 따라 나타나는 것을 이론적으로 규명했다.</p>			
02	성과	뉴시스 외 4건	22.04.25	연세대 물리학과 연구팀, 금속·반도체 접합 관련 난제 해결	https://newsis.com/view/?id=NISX20220425_001846773&cID=10201&pID=10200
		<p>연세대 물리학과 조만호 교수는 삼성전자 종합기술원 이은하 전문연구원 연구진과 공동연구를 통해 금속·반도체 접합에서 2차원 반도체 물질과 이상적인 접촉을 형성하는 방법을 고안했다. 이를 통해 반도체·금속 접촉저항 문제뿐 아니라 반도체·금속 접합의 난제였던 '페르미 준위 고정 현상'(Fermi-level pinning)을 이상적으로 해결하는 데 성공했다. 금속·반도체 접합 특성은 반도체 소자의 전자 공급 및 전자기장에 의한 조절에서 절대적인 특성을 좌우하는 매우 중요한 특성이다. 반도체·금속 계면에서 피할 수 없이 나타나는 결합 형성으로 인해 반도체 소자 특성을 제한하는 근원적인 문제를 갖고 있다. 이를 해결하기 위한 많은 연구가 진행됐지만 결합의 원인을 규명하지 못했다. 연구진은 3차원 반도체와 달리 2차원 반도체는 표면의 반데르발스 결합을 형성하는 특성으로 인해 금속과 화학적 결합을 억제할 수 있어 결합 형성을 최소화할 수 있다는 점을 이용했다. 계면에 화학적 결합이 없으면서도 금속과 접촉 시 금속 원자들의 충돌을 완화할 수 있는 완충층을 새롭게 고안하고 금속층 형성 후 간단하게 완충층을 제거할 수 있는 방법을 확보해 이상적인 금속·반도체 계면 형성에 성공했다. 이를 통해 2차원 반도체뿐만 현재까지 관찰되지 않은 물리적 현상들을 새롭게 얻을 수 있을 것이라고 밝혔다.</p>			
03	성과	한국경제 외 6건	22.02.28	서강·연세대 반도체 공동연구, 국제학술지 실렸다	https://www.hankyung.com/it/article/2022022851131
		<p>국내 대학 연구팀의 반도체 관련 협업연구 결과가 재료과학 분야의 세계적인 학술지 '어드밴스드 머티리얼스'(Advanced Materials)에 실렸다. 서강대</p>			

		<p>는 물리학과 장준익 교수 연구팀(제1저자 류홍선 석·박 통합과정, 공동저자 남서현 석사)과 연세대 물리학과 이연진 교수 연구팀(박지홍·박준우·김기태 학생)의 공동연구 논문이 이 학회지에 온라인 게재됐다고 28일 밝혔다. 공동연구팀은 반도체나 절연 물질에 빛을 쏘면 만들어지는 입자 '엑시톤'(전자-정공 쌍) 두 개가 결합한 바이엑시톤이 일반적인 3차원 구조에서도 존재한다는 것을 세계 최초로 밝혔다.</p> <p>기존 학설은 바이엑시톤이 초저온·고밀도의 극한 조건에서만 나타나며, 특히 페로브스카이트(perovskite) 물질 군에서는 저차원 나노구조에서만 관측되는 것으로 설명했다. 페로브스카이트는 부도체·반도체·도체 성질은 물론 초전도 현상까지 갖는 산화물인데, 공정 단가가 낮고 에너지 전환 효율은 높아 차세대 태양전지와 발광다이오드(LED) 등 소재로 주목받고 있다. 장 교수 연구팀은 이론적 모델을 통해 3차원 구조의 페로브스카이트에서 바이엑시톤의 존재 가능성을 예측했다. 고순도의 3차원 결정면에서 온도와 빛의 세기를 조정하는 분광학 기법을 이용해 관련 개념을 실험적으로 증명했다. 이 교수팀은 X선 회절(전자빔이 원자 배열의 특정한 각도에서 강한 반사를 일으키는 현상)과 X선 광전자 분광 분석법으로 3차원 페로브스카이트 단결정을 특정 방향으로 정밀하게 자르면 원자 수준의 고품질 결정면을 확보할 수 있음을 밝혀냈다.</p>
--	--	---

③ 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

분야	참여교수	출원국	등록 / 출원	등록번호 / 출원번호	출원일
QA	조만호	미국	출원	17/469,279	20210908
반도체 구조물을 포함하는 적층 구조물 및 이의 제조 방법					
본 발명은 단일 배향으로 정렬되는 금속 버퍼층을 이용하여 비정질 기판 상에 반도체 구조물을 포함하는 적층 구조물을 제조하는 방법을 제공하는 것이다					
QA	조만호	대한민국	등록	10-2348736	20220104
상변화 물질의 산화층의 측정 방법 및 이의 제어 방법					
본 발명은 상변화 물질의 스위칭 특성을 정확하게 제어하기 위해 상변화 물질의 전기적 저항을 결정하는 oxidation layer를 측정, 조절하는 것을 목표로 한다.					
QA	조만호	대한민국	등록	10-2346781	20211230
위상 절연체 및 전이금속 산화물을 포함하는 전자 장치					
본 발명은 높은 스핀궤도토크 효율을 가지는 위상절연체를 포함하여 높은 에너지효율의 스핀 메모리 장치를 제공하고, 스핀궤도 토크의 크기를 전기적으로 제어하여 스핀 로직 장치를 제공하는 것이다.					
QA	유경화	대한민국	출원	10-2022-0016693	20220209
자가 게이트 효과를 이용한 이단자 메모리 소자 및 이의 제조방법					

본 발명은 자가 게이트 효과를 이용한 이단자 메모리 소자 및 이의 제조방법에 관한 것으로 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 셀렉터 없이 누설전류를 차단하면서도 안정적으로 구동 가능한 자가 게이트 효과를 이용한 2단자 메모리 소자를 제공할 수 있다.					
QA	김덕영	대한민국	출원	10-2021-0191213	20211229
구조조명 현미경 시스템 및 이의 제어방법					
본 발명은 구조조명 현미경의 조사부에 관한 것으로, 초고해상도 이미징을 위한 구조조명을 디지털 미소 반사 표시기로 만드는 방법에 관한 것이다.					
QA	오경환	대한민국	출원	10-2021-0119137	20210907
주파수 및 편광 분할 알칼리 원자 증기 광증폭 시스템 및 알칼리 원자 증기광증폭 방법					
본 발명은 세습 기체가 자기장 내에서 주파수에 따라 편광상태가 변화하는 것을 착안, 편광상태 및 주파수에 따라 광경로를 분리, 증폭시켜 재결합 시키는 것이다.					

2. 산업·사회에 대한 기여도

분야	참여교수	종류	관련기관	기여일
QM	문경순	센터 유치	IBM	202207
미국 기업 IBM과 협력하여 연세대학교 국제캠퍼스에 양자컴퓨팅 센터를 유치하는 데 공헌하였다.				
QU	박성찬	저역서	사이언스북스	202110
“궁극의 질문들 - 현대 과학의 최전선”이란 제목의 대중 과학 서적을 저역하는 데 공헌하였다.				
QA	김관표	산학과제	삼성전자, LG 디스플레이	202109 - 202208
삼성전자 및 LG 디스플레이와 전략 산학협력 과제를 수행하여 기업과의 교류 협력에 공헌하였다.				
QM	김근수	심사	서울과학고등학교	202111, 202207
서울과학고 학생들의 R&E 발표회와 졸업 논문 심사를 통해 고등학교 교육에 기여하였다.				
QU	권영준	저역서	서대문구	202202
서대문구와 함께 하는 대중강연 물질과 자연에 대한 과학콘서트 내용을 책으로 저술하는 데 공헌하였다.				
QA	임성일	저역서	서대문구	202202
서대문구와 함께 하는 대중강연 물질과 자연에 대한 과학콘서트 내용을 책으로 저술하는 데 공헌하였다.				
QM	최영재	교육원	서울시	202109 - 202208
서울시에서 수학, 과학 분야 최우수 학생들을 선발하여 교육하는 과학영재교육원의 주임교수로 봉사하였다.				

QA	이연진	협동과정	LG디스플레이	20210908
LG 디스플레이와의 계약학과 신설에 공헌하였고, 소속 교수로서 산업 사회에 기여하고 있다.				
QA	조만호	협동과정	한국표준과학연구원	202109 - 202208
한국표준과학연구원의 첨단시설과 대학의 교육 인프라를 연결하는 협동과정을 지속 운영하고 있다.				

3. 참여교수의 연구의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

(1) 국내외 학계에서의 리더십

아시아태평양 물리학회 연합회 회장 배출				
분야	참여교수	기관	직함	기간
QM	최형준	아시아태평양 물리연합회	부회장(회장 선출)	202109 - 202208

본 교육연구단의 최형준 교수는 2020년부터 2022년까지 아시아태평양 지역 20개 물리학회의 연합회인 아시아태평양물리학회 연합회(Association of Asia Pacific Physical Societies, AAPPS)의 부회장직을 맡고 있다. 최형준 교수는 제15차 아시아태평양 물리학 학술대회(The 15th Asia-Pacific Physics Conference, APCC15)의 국제조직위원회 부위원장 및 국제프로그램위원회 위원장으로서 학술 발표 프로그램의 기획과 진행을 총괄하여 성공적인 개최를 이끌었으며, AAPPS의 차기 회장으로 선출되었다.

이는 본 교육연구단의 국제적 리더십을 보여주는 대표적인 사례이다. AAPPS의 아시아태평양 물리학 학술대회(APCC)는 3년마다 아시아 태평양 지역을 순회하며 개최되며, 제15차 대회는 AAPPS, 한국물리학회, 아시아태평양이론물리센터, 연세대학교 물리학과와 주최로 2022년 8월 21일-26일까지 연세대학교와 온라인으로 개최되었다. 최형준 교수의 AAPPS 차기 회장 선출은 조선일보, 한국경제신문, 매일경제신문, 서울경제신문, 연합뉴스 등에 보도되었다



국제 대형 공동연구에서의 리더십				
분야	참여교수	기관	직함	기간
QU	권영준	Belle Collaboration	Co-spokesperson	202109 - 202208
본 교육연구단의 권영준 교수는 2018년 4월부터 Belle Collaboration의 공동 대표로 선출되어 직분을 계속 수행하고 있다. 이는 한국인 과학자로서는 입자물리학 대형 실험연구 분야에서 역대 유일하며, 본 교육연구단의 국제적 리더십을 보여주는 대표적인 사례이다.				
QU	유휘동	CMS Collaboration	Advisory Committee	202109 - 202208
유휘동 교수는 CERN 연구소의 Advisory Committee of CERN Users의 non-member states의 대표로 활동하며 CERN 연구소의 프로그램에 참여하는 전세계 연구자들을 대변하고 있으며 임기가 2022년까지 연장되어 리더십을 인정받고 있다.				
국내 물리학회에서의 리더십				
분야	참여교수	기관	직함	기간
QA	이연진	한국물리학회	학술간사	202109 - 202208
본 교육연구단의 이연진 교수는 한국물리학회 실무이사회 학술간사로서 매년 2회 정기적으로 개최되는 한국물리학회의 전체 프로그램 조직의 실무를 이끌었다.				
15 th Asia-Pacific Physics Conference (APPC15) 조직위원회				
분야	참여교수	학회명	역할	기간
QM	최형준	APPC15	부위원장 / 프로그램 위원장	20220821 - 20220826
APPC는 아시아태평양 물리학회 연합회에서 3년마다 개최하며 일본, 중국, 대만, 인도, 호주, 동남아시아 등 20개국 이상이 참가하는 저명한 대규모 국제 학술대회이다. 2019년 말레이시아에서 개최된 뒤 3년이 지난 올해 15회를 맞아 8월 21일부터 26일까지 한국에서 온라인 형태로 개최되었다. 본 교육연구단의 최형준 교수는 APPC15의 조직위원회 부위원장이자 프로그램 위원장을 맡아 학회 조직과 프로그램을 주도적으로 기획하였으며, 학회는 성황리에 마무리되었다.				

(2) 국제학회/학술대회 활동을 통한 학문적 주도권 확보

분야	참여교수	발표형태	개최국가	학회기간
QU	이수형	초청강연	일본	202202

Reimei Wroskshop "Hadrons in dense matter at J-PARC"				
QU	박성찬	초청강연	프랑스	202206
LIO International Conference and France-Korea STAR Workshop on "Fundamental Forces from Colliders to Gravitational Waves"				
QU	유휘동	초청강연	이탈리아(온라인)	202112
RD_FCC INFN collaboration workshop				
QM	김근수	초청강연	영국(온라인)	202208
2 nd Global Summit on Graphene and 2D Materials				
QM	김재훈	초청강연	미국(온라인)	202205
2022 MRS SPRING MEETING & EXHIBIT				
QM	최형준	초청강연	한국(온라인)	202208
15 th Asia-Pacific Physics Conference				
QM	조두희	초청강연	한국(온라인)	202208
15 th Asia-Pacific Physics Conference				
QA	임성일	초청강연	영국	202208
2 nd Global Summit on Graphene and 2D Materials				
QA	김관표	초청강연	한국	202207
20 th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA 2022)				

② 국제 공동연구 실적

<표 3-6> 최근 1년간 국제 공동연구 실적

분야	참여교수	상대국	소속기관	공동연구자	논문
QM	김재훈	독일	HLD-EMFL	Yurii Skourski	Nature 576, 599 (2021)
Colossal angular magnetoresistance in ferrimagnetic nodal-line semiconductors					
QU	유휘동	다국적	CMS Collaboration		PRL 128, 050401 (2022) 외 36건
Using Z Boson Events to Study Parton-Medium Interactions in Pb-Pb Collisions					

QU	권영준	다국적	Belle Collaboration		PRL 127, 181802 (2021) 외 9건
Search for $B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$ Decays Using an Inclusive Tagging Method at Belle II					
QM	김재훈	영국	Diamond Light Source	K. J. Zhou	Adv. Mat. 34, 2109144 (2022)
Multiferroic-Enabled Magnetic-Excitons in 2D Quantum-Entangled Van der Waals Antiferromagnet NiI ₂					
QA	임성일	미국	Virginia Tech	Ting-Chung Poon	ACS Nano 15, 17917 (2021)
Near-Infrared Self-Powered Linearly Polarized Photodetection and Digital Incoherent Holography Using WSe ₂ /ReSe ₂ van der Waals Heterostructure					
QA	오경환	영국	Univ. St Andrews	Kishan Dholakia	Nanoscale 14, 5138 (2022)
A laser-driven optical atomizer: photothermal generation and transport of zeptoliter-droplets along a carbon nanotube deposited hollow optical fiber					
QU	박성찬	일본	Saga University	Tomo Takahashi	J. Cosmol. Astropart. Phys. 5, 045 (2022)
Non-minimally assisted chaotic inflation					
QU	이수형	일본	Japn Atomic Physics Agency	Philipp Gubler	Phys. Rev. D 105, 114053 (2022)
Phi meson properties in nuclear matter from QCD sum rules with chirally separated four-quark condensate					

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

연구자 교류 실적 ① 연구자 해외 파견 실적

분야	참여교수	상대국	파견 기관	파견 연구자
QU	유휘동	스위스	CERN	하승규, 황규영, 조국, 김성원, 김동운, 어윤, 장하은
2022년 8월 3일부터 25일까지 스위스 CERN 연구소를 방문하여 north area에서 SPS 가속기의 다양한 고에너지 beam을 활용하여 테스트 빔 실험을 수행함.				
QM	김근수	미국	ALS	류세희, 허민재, 정윤아, 차세영, 김민수, 강창모, 박도윤, 장한결, 김윤이, 김예린, 진창민, 박수빈
2021년 12월 12일부터 26일까지, 2022년 3월 9일부터 24일까지, 2022년 6월 22일부터 7월 6일까지, 8월 23일부터 31일까지 미국 LBNL의 ALS 방사광가속기 ARPES 빔라인을 방문하여 빔타임 실험을				

수행함.				
QA	김관표	미국	UC Berkeley	이양진
2021년 6월 17일부터 12월 1일까지, 2022년 4월 29일부터 9월 9일까지 미국 UC Berkeley의 Alex Zettl 그룹에서 고분해능 투과전자현미경(TEM)을 활용한 연구를 진행하였다.				
QU	박성찬	미국	University of Colorado Boulder	이성묵
2022년 6월 5일부터 7월 3일까지 고에너지 이론물리학 분야의 저명한 스쿨 중 하나인 TASI에 참여하여 이론물리학의 최신 발전 동향에 대해 배우고, 저명한 물리학자들과 교류할 기회를 마련하였다.				
QU	박성찬	스위스	CERN	조용수, 이성묵
2021년 7월 1일부터 12월 20일까지, 2022년 7월 3일부터 오늘날까지 세계적인 연구소인 CERN의 이론물리학 그룹에서 방문 대학원생으로 연구하며 중력과 물리학에 대한 프로젝트를 진행 중이다.				
QM	조두희	네덜란드	Leiden University	조용준, 방준호, 김은서, 이병인
2022년 7월 24일부터 29일까지 라이덴 대학에 방문하여 극저온 주사 터널링 현미경을 이용한 초전도 연구 방법에 대한 협력 연구를 진행하고 향 후 공동 연구 및 인력 교류에 대한 논의를 진행하였다.				

연구자 교류 실적 ② **해외 석학 초빙**

<p>Joint Affiliation을 통한 해외 석학 초빙</p>	<ul style="list-style-type: none"> • University of St Andrews의 키산 돌라키아 (Kishan Dholakia) 교수는 2018년부터 물리학과 겸임교수로 재직 중에 있다. • 키산 돌라키아 교수는 코로나19 상황으로 최근 한국 직접 방문이 어려웠으나 온라인으로 대학원 광학 수업 등을 진행하며 본 연구단 교육에도 큰 기여를 하였다. 또한 오경환 교수 등을 포함한 연구그룹과 활발한 공동연구를 진행하고 있으며, 본 교육연구단 참여 대학원생이 주저자로 논문을 게재하는 등 효과를 보이고 있다. • 지난 1년간 다양한 방법을 통해 해외기관과의 인적 교류를 확대해나가고 있으나, 코로나 19라는 특수 상황으로 인한 제약이 작다고 할 수 없다. 단기적으로는 코로나19 상황에서도 진행할 수 있는 부분을 중점적으로 진행해나가는 동시에 “위드 코로나”상황을 대비하여 국제화 역량 강화에도 힘쓰고자 한다.
--	---

해외 연구자 교류 계획

<p>“포스트 코로나” 대비 국제화 역량 강화</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 해외 대학과의 복수/공동학위 제도: 대학원생/신진연구인력의 국제적 커리어 형성 기간 단축 및 비용 절감을 통한 취업 및 진학 지원 • 해외 첨단 연구시설 활용 등 장단기 해외 연수 적극 지원 • 해외 석학 방문 특강 프로그램: 국내 장기 체류가 어려운 해외석학을 초청하여 집중강의를 운영하고 이를 정규학기 개설 교과목으로 인정
--------------------------------------	--

	<ul style="list-style-type: none"> • Pre-doc 제도: 교육연구단 우수 대학원생을 pre-doc으로 선정하여 해외 우수 연구기관에 파견함으로써 학위 취득 후의 현지 기관으로의 취업 기회를 실질적으로 제고
<p>국외 첨단 연구시설 활용 확대</p>	<ul style="list-style-type: none"> • QU: 일본 KEK 연구소의 Belle / Belle II 실험을 통한 연구를 지속적으로 확대 발전하며 유휘동 교수가 참여하는 스위스 CERN 연구소의 CMS 실험으로 다변화 • QM: 김근수 교수 그룹은 미국 ALS, 영국 DLS 방사광가속기를 활용한 국제 공동연구를 지속하고 이를 미국 SSRL, 일본, 중국 등으로 확대한다. 조두희 교수 그룹은 네덜란드 그룹과 협력하여 첨단 STM을 활용한 국제 공동연구를 새롭게 추진한다. • QA: 첨단연구시설을 활용한 공동연구의 새로운 채널을 모색하여 대학원생 방문연구 확대 (김관표 교수: Lawrence Berkeley National Lab, 이연진 교수: 독일 Bessy-II 방사광가속기 등)

IV

교육연구단 자체평가 결과

*별도 첨부자료