

---

Vol. 07

FALL 2018

---

# Department of Physics Newsletter



## 03 학과장 인사말

## 04 학과소식 및 동문동향

## 06 Research Highlights

- + 김효섭 박사, 안재욱, 심흥선 교수님
- + 윤승주 학생, 이용희 교수님
- + 심기백 학생, 이성빈 교수님
- + 한상은 학생, 문은국 교수님

## 10 학부 학생회 소식

## 12 대학원 학생회 소식

## 13 연구실 소개

- + 강명수 교수님 연구실
- + 이성빈 교수님 연구실
- + 김용관 교수님 연구실
- + 최재윤 교수님 연구실
- + 김갑진 교수님 연구실

## 17 장기주 교수님 인터뷰

## 19 교수님 기고문

- + 안재욱 교수님
- + 김승중 교수님

## 26 유학생 소식

- + 윤혜옥, 천고운, 김만기, 박상우 학생

## 28 물리학과 발전기금 안내





## 학과장 인사말

http://physics.kaist.ac.kr



안녕하세요?

존경하는 물리학과 가족 여러분,

변함없는 물리학과 가족 여러분의 지지와 관심에 감사드립니다. 2018년이 저물어 가는 요즈음, 가족 여러분의 가정에 기쁨과 행복이 넘치시길 바랍니다.

2018년 가을학기에도 KAIST 물리학과는 많은 소식들로 풍성한 한 학기를 보냈습니다. 물리학 학계 그리고 카이스트 물리학과의 발전을 위해 평생을 불철주야로 봉직해주신 장홍영 교수님께서 정년퇴임을 하셨습니다. 교수님의 은퇴를 기념하는 강연이 12월 3일에 거행되었으며, 퇴임 교수님의 경험과 업적을 계승하고자 다짐하는 자리가 되었습니다. 이러한 빈자리를 역량 있는 신입교원을 초빙하여 채워가고자 응집 물리를 전공하시는 양용수 교수님, 양자 광학을 전공하시는 라영식 교수님께서 카이스트 구성원으로 부임하셨습니다. 물리학과는 신입교원들이 새로이 도착하는 KAIST와 물리학과의 큰 기둥이 되도록 지속적으로 지원할 것입니다.

2018년 가을학기에는 많은 기쁜 소식이 전해졌습니다. 장기주 특훈 교수님께서서는 초세대 협업 연구실 지원 대상자로 선정이 되셔서, 연구업적과 노하우를 후배 교수들에게 계승할 수 있게 되었습니다. 또한, 박용근 교수님께서서는 네이처 포토닉스에 초청 리뷰 논문을 게재하였습니다. 우리 학교 졸업생인 김세정 박사는 2018년 미래 인재상 수상자로 선정되었습니다.

KAIST 물리학과는 끊임없는 도약을 통해 과학 기술 인력 양성과 연구에서 선도적인 역할을 할 것을 약속드립니다. 저희는 세계 최고 수준의 학술 활동과 창의적 물리 인재를 양성하기 위한 노력 하고 있습니다. KAIST 물리학과의 Quantum Jump를 위해 여러분의 지속적인 관심과 지원을 부탁드립니다. 물리학과 구성원 및 동문, 학부모님의 가정의 승승장구를 기원합니다.



2018년 12월 17일  
물리학과장 김은성 올림





## 학과소식 및 동문동향

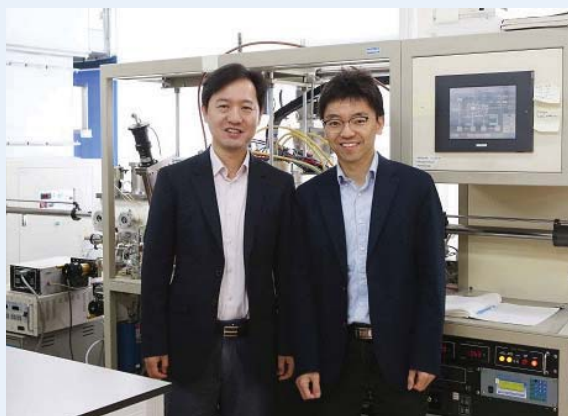
학과소식

### 제1회 신중훈 장학금 수여식

2018년 2월 23일 금요일 기초과학동 101호 신중훈 강의실에서 제1회 신중훈 장학금 수여식이 진행되었습니다. 신중훈 장학기금은 故 신중훈 교수의 업적과 뜻을 오래도록 기리고 물리학과와 나노과학기술 대학원의 후학 인재를 양성하기 위해 제정되었습니다. 그 첫 번째 대상자로 이겨레 박사, 김대석 박사가 신중훈 우수논문상을 류영훈 학생이 신중훈 우수 졸업 상을 받았습니다.



### 김갑진 교수님, 고효율 스핀 신소재 개발



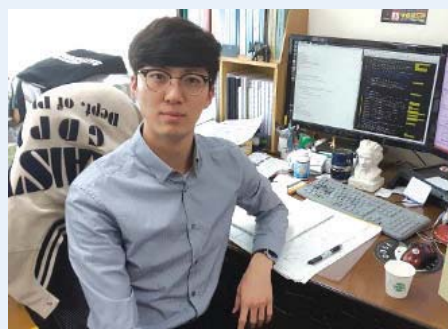
물리학과 김갑진 교수 연구팀이 자성메모리(Magnetic Random Access Memory, MRAM) 구동의 핵심인 스핀 전류를 효율적으로 생성하는 새로운 소재를 개발했습니다. 이 연구는 '네이처 머티리얼즈(Nature Materials)' 3월 19일에 게재되었으며, 본교 신소재 공학과 박병국 교수, 고려대 이경진 교수, 美 국립연구소 NIST의 Stiles 박사 연구팀 등과 공동으로 수행되었고, 물리학과 석사과정 이근희 학생이 공동저자로 참여하였습니다.

이번 연구는 강자성-전이금속 이중 층이라는 새로운 소재에서 스핀 전류의 방향을 임의로 제어할 수 있음을 이론 및 실험을 통하여 규명하였습니다. 또한, 외부 전원 공급 없이도

정보를 유지할 수 있고, 집적도가 높아, 차세대 메모리로 주목받고 있는 자성 메모리의 실용화를 앞당길 수 있는데에 큰 도움을 줄 것으로 기대하고 있습니다.

### 박재선 학생, 모나코 ITER 박사후연구원 펠로우십 선정

물리학과 박재선 학생(석.박 통합과정)이 모나코-ITER 박사후연구원 펠로우십(Principality of Monaco/ITER Postdoctoral Fellowships)에 최종 선정되었습니다. 이 펠로우십은 매 2년마다 ITER에 근무할 박사 후 연구자들을 선발하는 프로그램으로 전 세계에서 총 5명만 선발하는 경쟁력 높은 프로그램입니다. ITER은 대한민국, 유럽연합, 미국, 중국, 일본, 러시아, 인도의 총 7개의 회원국이 참여하는 초거대 규모의 프로젝트로 핵융합에너지 개발을 위하여 힘쓰고 있는 프로젝트입니다. 선발된 박사후연구원은 2년 동안 ITER 국제기구에 근무하며, 분야를 선도하는 뛰어난 핵융합 연구자들과 공동으로 연구과제를 수행하게 되며, 박재선 학생은 2019년 초부터 근무를 시작하게 될 예정이라고 합니다.





## 학과소식 및 동문동향

학과소식

### 장기주 교수님, 한명준 교수님, 김용현 교수님, 초세대 협업 연구실 선정

물리학과 특훈 교수님이신 장기주 교수님께서 '초세대 협업 연구실' 지원 대상으로 선정되었습니다.

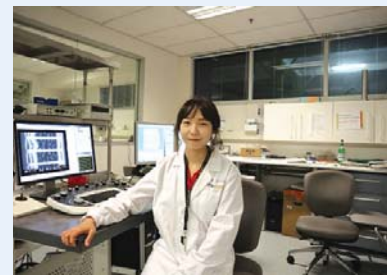
'초세대 협업연구실'은 학문적 업적이 뛰어난 교수가 퇴직과 동시에 연구실 문을 닫아 그동안 축적한 연구업적과 노하우 등 학문적 유산이 사장되는 것을 막고 후배 교수가 선배 교수의 연구를 계승해 발전시키기 위한 제도입니다. 장기주 특훈 교수님께서서는 나노과학기술대학원 김용현 교수님, 물리학과 한명준 교수님과 함께 '응집물질 계산 물리'연구실을 운영하게 될 것이며, 새로운 양자 현상을 예측하고 기능성 물질 개발을 목표로 제1 원리 전자구조 계산을 통해 물질의 물리적 특성을 규명하고 신물질을 디자인하는 연구를 수행하게 됩니다.



### 김세정 박사, 2018 미래 인재상 수상

물리학과 졸업생인 김세정 박사가 2018년 미래 인재상 수상자로 선정되었습니다. 2018 미래 인재상은 한국여성과학기술단체총연합회가 주관하여, 자연과학, 생명, 공학 전 분야에서 박사 학위 취득 후 활발하게 활동하고 있는 촉망 받는 과학자 총 10명에게 시상되는 상입니다. 김세정 박사는 물리학 분야 대표 수상자로 선정되었습니다. 김세정 박사는 본교에서 물리학 박사 학위 (지도교수 이용희)를 취득한 후, 같은 학과 박사 후 연구원 (지도교수 조용훈)으로 재직하였으며, 현재는 호주 시드니 공과 대학교에서 박사후연구원 과정을 진행 중입니다. 광학 분야에서 다양한 주제로 연구를 하였으며, 특히 올해 Nature Communication에 2차원 물질을 이용한 광결정 소자에 관하여 논문을 게재하였습니다.

김세정 박사는 "그동안의 연구 성과와 대외 활동을 인정받아 이번 상을 받게 돼 매우 기쁘다"며 "앞으로도 더욱 열심히 연구하라는 격려로 알고 광학 연구에 매진하겠다"고 수상소감을 전하였습니다.



### 양용수 교수님 부임

10월 8일, 양용수 교수님께서 카이스트 물리학과 교수님으로 부임하셨습니다. 양용수 교수님께서서는 서울대학교 물리학과에서 학사과정을 마치신 후, 미시간 대학교에서 박사 학위를 취득하시고, UCLA에서 박사후연구원 과정 동안 다양한 연구들을 진행하셨습니다. 연구 분야는 Atomic Electron Tomography study on 2-d heterostructure system, functional interface system, ferroelectric system, amorphous system, magnetic nano structure system입니다.



### 라영식 교수님 부임

11월 19일, 라영식 교수님께서 카이스트 물리학과 교수님으로 부임 하 셧 습 니 다 . 라 영 식 교수님께서서는 포항공과대학교 물리학과에서 학사과정을 마치신 후, 같은 학교에서 박사 학위를 취득하시고, 마리 퀴리 대학교 Laboratoire Kastler Brossel 에서 박사후연구원 과정 동안 Quantum optics에 관한 많은 연구를 진행하셨습니다. 연구 분야는 Quantum information processing based on a complex optical quantum system입니다.



KAIST 물리학과 뉴스레터에서는 보다 많은 동문들의 다양한 동향을 소개하고자 합니다. 동문 여러분의 소식을 학과로 많이 알려주시길 부탁드립니다. [sphanbit@kaist.ac.kr]



## Research Highlights

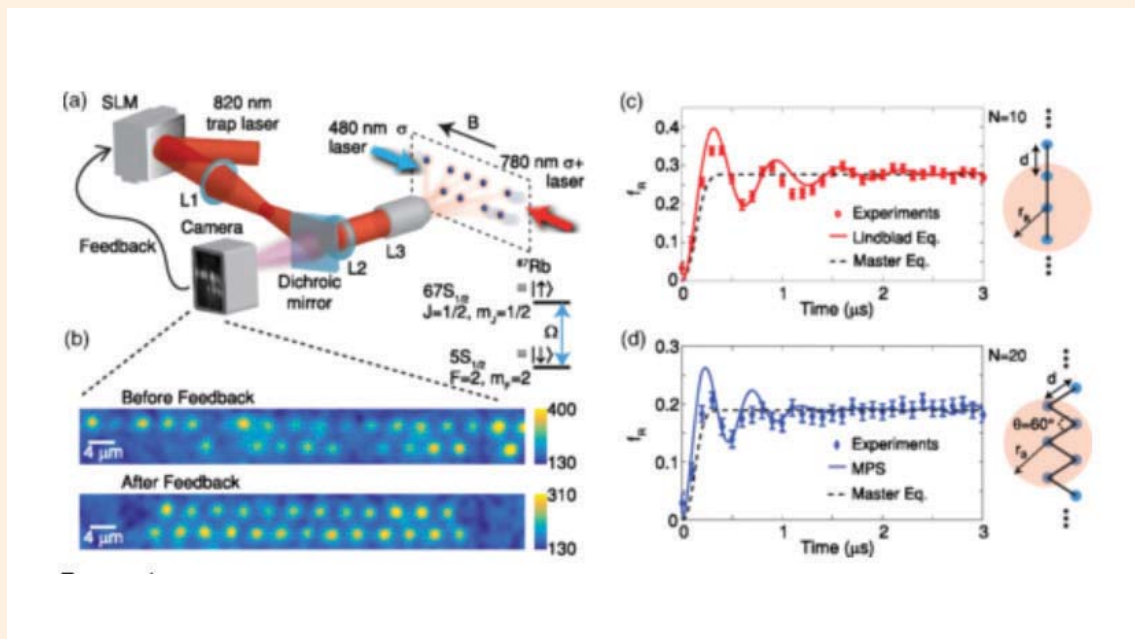
김효섭 박사 · 안재욱 교수 · 심흥선 교수

### Detailed Balance of Thermalization Dynamics in Rydberg-Atom Quantum Simulators

Physical Review Letters 게재

양자 다체계(quantum many-body system)가 정적 상태(steady state)로 진행할 때 그 근간에 놓인 동역학이 무엇인지에 대한 질문은 양자역학에서 중요하면서도 어려운 문제 중 하나이다. 안재욱, 심흥선 교수 연구팀은 그러한 양자 다체계를 모방하는 저온 원자 실험을 통해 그 결과가 최근 연구된 이론으로 기술될 수 있음을 보였다.

실험은 루비듐 단원자(single atom)가 스핀-1/2 입자의 특성을 모방할 수 있음에서 착안하였다. 이를 구현하기 위해 마이크로미터 크기의 광 집계에 저온 (70 WmK) 루비듐 단원자를 포획하였다. 그리고 포획된 단원자들을 공간상에 지그재그로 배치하고 리드버그 상호 작용을 가하여 양자 이징 모델(정확히는 longitudinal-field quantum Ising model)을 구현하였다(그림 1(a)). 리드버그 상호 작용은 원자간 거리  $r^{-6}$ 에 비례하기 때문에 원자 열의 지그재그 각도를 조절하여(그림 1(b-d)) 근사적으로 nearest neighbor 상호 작용과 next-nearest neighbor 상호 작용의 비율을 조율하였다. 그리고 상호 작용 이후 각각의 스핀들을 projection measurement 하여 힐버트 공간 전체의 확률분포를 탐색하였다. 그 결과 전체 계의 스핀-up 비율(그림 1(c, d))의 동역학이 처음 몇 번의 결맞음 진동(coherent oscillation) 이후 이론적으로 예측된 평형 값으로 수렴하며 열화(thermalization)를 일으키는 미세 균형(detailed balance) 및 이를 기술하는 Fokker-Planck 방정식을 따름을 알 수 있었다. 이로써 양자-스핀 계의 열화가 분산(diffusion)을 통해 기술되는 고전 통계역학의 열화 방식과 유사한 경우가 존재함을 실험적으로 보일 수 있었다.





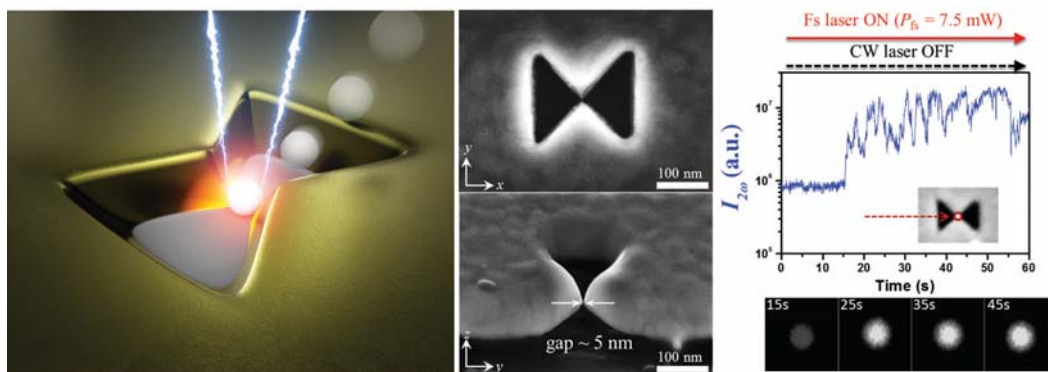
## Research Highlights

윤승주 학생 · 이용희 교수

Non-fluorescent nanoscopic monitoring of  
a single trapped nanoparticle via nonlinear point sources

NATURE COMMUNICATIONS 게재

단일 나노 입자 및 분자에 관한 연구는 물질의 근본적인 단위에서 현상을 이해하기 때문에, 정밀 의료 진단, 신약 개발뿐 아니라, 물리, 화학, 생물 등 기초과학 연구와 같은 다양한 분야에서 지금까지 극복되지 않은 여러 문제를 해결할 가능성을 제시해주고 있다. 지금까지 수많은 단일 나노 입자 및 분자를 검출하는 방법들이 제안되어 왔으나, 이들 대부분은 외부의 미세 형광 물질을 표적 물질에 붙여 단일 입자를 검출하는 이른바 형광검출방식을 사용하고 있다. 그러나 형광검출방식은 검출할 수 있는 표적 물질의 범위를 제한할 뿐만 아니라 형광 물질 자체가 표적 물질의 성질을 변화시키는 문제를 일으킬 수 있다. 본 연구에서 단일 나노 입자 포획 및 무형광검출 기술은 3차원 플라즈몬 나노 안테나를 이용해 외부에서 입사한 빛을 초미세 공간( $5\text{nm} \times 5\text{nm} \times 7\text{nm}$ ) 안에 직접 집속 시키고, 집속된 빛의 강한 전기장 분포 변화를 이용해 주변의 단일 나노 입자를 광포획하는 방식을 사용하였다. 또한, 강하게 집속된 빛은 국소된 공간 안에 강한 비선형 신호를 발생시키는데, 이 신호를 이용해 포획된 입자의 움직임을 매우 높은 해상도(약  $1\text{nm}$  이하)로 검출해낸다. 이번 연구에서는 지름이  $4\text{nm}$ 인 단일 양자점을 포획하는데 성공했고, 금속에서 발생하는 비선형 이차조화파를 이용하여 포획된 양자점의 움직임을 높은 해상도로 검출하였다. 특히, 포획된 단일 나노 입자가 약  $5\text{nm}$  간극 안에서 매우 느리게 (1초당 3번 왕복) 움직이는 독특한 크래머스 호핑 (Kramers hopping) 현상을 직접 실험적으로 밝히는 성과도 거뒀다. 이번 연구는 단일 나노 입자를 직접 포획하고 이들을 무형광으로 분석할 수 있는 새로운 플랫폼을 개발한 것에 의의가 있다.





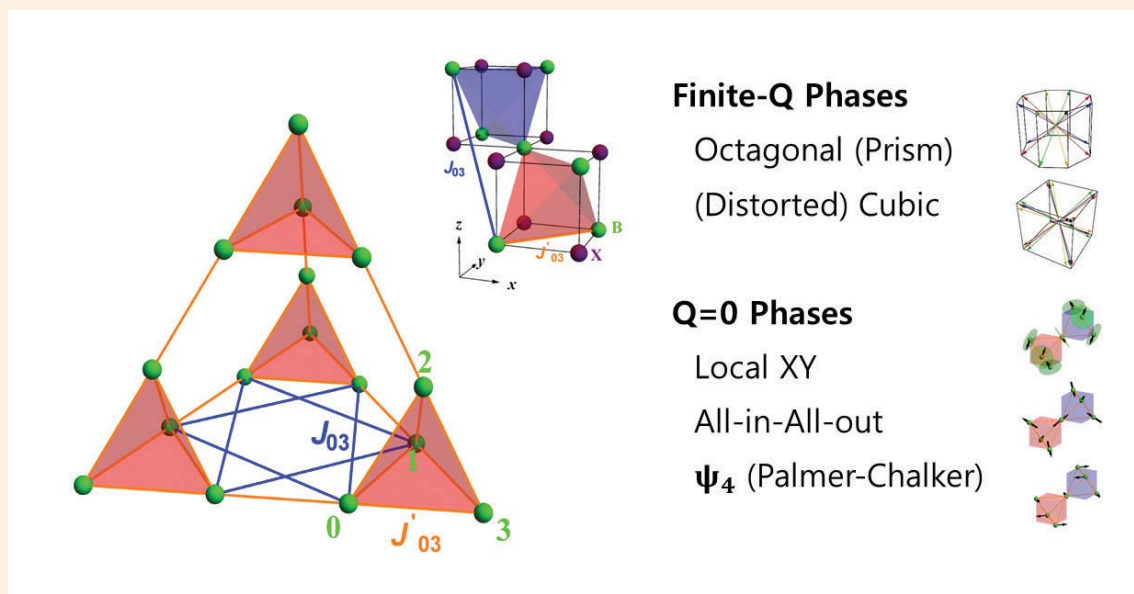
## Research Highlights

심기백 학생 · 이성빈 교수

### Discovery of a new type of magnetic order on pyrochlore spinels

Physical Review B 게재

우리 학과 이성빈 교수 연구팀은 강한 스핀-궤도 상호작용(spin-orbit interaction)과 기하학적 찢찢매(geometrical frustration)에 의해 형성되는 새로운 자성 상태(magnetic order)들을 제안하였다. 일반적으로 기하학적 찢찢매가 존재하는 자성 시스템은 특별한 자기적 질서를 가지게 되고, 이러한 시스템에서는 다강체(multiferroic), 고온초전도(high temperature superconductivity) 또는 비정상 홀 효과(anomalous hall effect) 등 다양한 물리적 현상이 발생할 것으로 기대되고 있다. 이번 연구는 기하학적 찢찢매가 존재하는 B-site 스피넬 구조에서 스핀-궤도 상호작용에 의해 생기는 비등방성(anisotropic) 스핀 모델에 집중하였고, 복잡한 superexchange 경로에 의해서 생기는 효과로 2nd 최인접(nearest neighbor) 상호작용이 자기적 질서를 결정하는 데 중요한 역할을 하는 것을 검증하였다. 검증을 위해서 반복 최소화 방법과 Luttinger-Tisza 방법을 통해서 격자의 대칭성이 허락하는 일반적인 고전적 스핀 모델의 자성학적 기저 상태를 조사하였고, local XY, all-in all-out, Palmer-Chalker 상태들과 선행연구들에서 보고되지 않은 자기적 질서 상태들이('octagonal (prism)', '(distorted) cubic') 존재함을 발견하였다. 'octagonal (prism)' 상태에서는 Mott 절연체에서도 스칼라 스핀 나선성(chirality)이 유도하는 궤도함수(orbital) 전류가 측정될 수 있음을 보았다. '(distorted) cubic' 상태의 발견은 스피넬 물질 중의 하나인  $\text{GeCo}_2\text{O}_4$ 의 구조적 변이(structural distortion) 현상을 설명할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 본 연구 결과는 2018년 7월 PHYSICAL REVIEW B에 게재되었다.







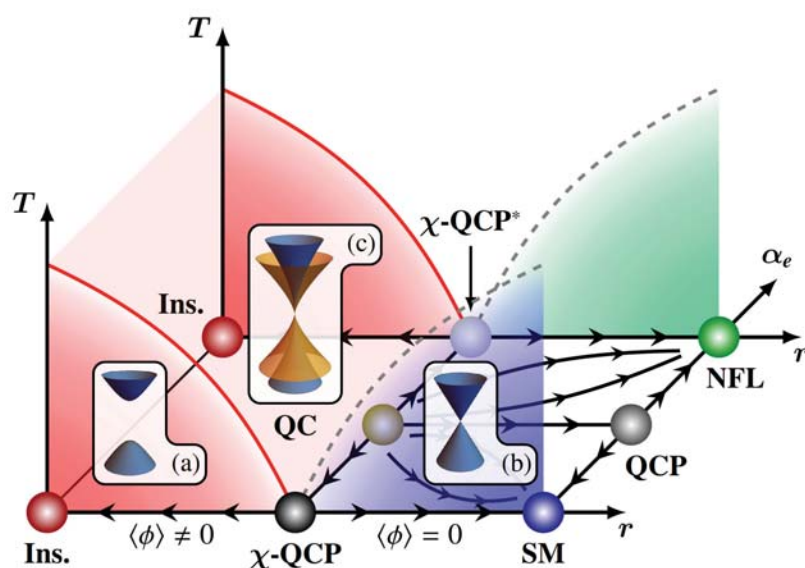
## Research Highlights

한상은 학생 · 문은국 교수

Long-range Coulomb interaction effects  
on the topological phase transitions between semimetals and insulators

Physical Review B 게재

우리 학과 문은국 교수 연구팀은 원거리 쿨롱 상호작용(long-range Coulomb interaction) 하에서의 디랙 준금속(Dirac semimetal)과 절연체 사이의 위상학적 상전이 양자 임계점의 성질을 규명하였다. 위상학적 준금속에서의 위상학적인 상태는 격자대칭성에 의해 보호받는다. 3차원의 경우, 간격이 없는 여기상태(gapless excitation)에서 베리다발(Berry flux)을 이용하여 카이랄리티(chirality)를 정의할 수 있는데, 이를 보호하는 대칭성을 카이랄 대칭성(chiral symmetry)이라 부른다. 왜곡된 스피넬 구조를 가진 BiZnSiO<sub>4</sub>와 같은 디랙 준금속에서 디랙 점(dirac point)이 거울 대칭성에 의해 보호받는 것을 카이랄 대칭성의 예로 들 수 있다. 이 연구에서, 연구팀은 카이랄 대칭성에 대한 질서변수(order parameter)와 쿨롱 상호작용 사이의 상호작용의 특성에 대해서 재규격화군 방법을 이용하여 연구하였다. 연구팀은 쿨롱상호작용 하에서 카이랄 대칭성에 대한 위상학적 상전이가 안정적이고, 전자의 속도가 카이랄 대칭성에 대한 질서변수의 속도보다 빨라짐을 보였다. 이는 원거리 쿨롱 상호 작용이 있을 때 디랙 준금속과 절연체 사이의 양자 임계점의 성질이 상대론적이지 않으며, 쿨롱상호작용에 의해서 초대칭성이 금지됨을 의미한다. 또한, 본 연구에서는 에너지 간격 비 등의 물리량들에 대한 점근적으로 정확한 보편적인 비를 얻었고, 임계점에서의 상호 작용으로 인한 보정 효과를 통하여 실험과의 연계성을 논하였다. 본 연구 결과는 2018년 6월 Physical Review B Rapid communication에 게재되었다.





## 학부 학생회 소식

# 학부 학생회 소식 전해드립니다!!



물리학과 학부 17학번  
과대표 \_ 정 지 혁



### 1. 개강 파티

가을 학기 개강 직후 개강 파티를 열었습니다. 학과장이신 김은성 교수님과 정하웅 교수님을 비롯한 여러 교수님이 참여해 주셨습니다. 교수님들과 물리학과 학우들이 저녁을 함께하며 친목을 다지는 시간을 가질 수 있었습니다. 또한, 식사 이후에는 뒤풀이를 통해 더 깊이 있는 대화를 가졌습니다.

### 2. 야구 잠바 단체 제작

가을은 일교차가 큰 계절이죠? 이런 날씨에는 겉옷이 상당히 유용합니다. 이 때문에 물리학과 학생회에서는 학우들의 편의를 단체 야구 잠바를 제작하였습니다. 디자인 및 시안 제작은 17학번 집행부의 디자인부 소속인 신동윤 학생이 수고해 주었습니다. 전체적인 디자인 및 색상은 투표를 통해 작년과 같이 검은 바탕에 푸른색의 고양이를 배치하기로 하였습니다. 또한, 팔에는 physics의 phy를 고양이로 형상화한 로고를 새로이 추가하였습니다. 이러한 예쁜 디자인 덕분인지(?) 배송 이후 여러 학생이 물리과 야구 잠바를 애용하는 모습들이 자주 포착되고 있다고 합니다.

### 3. 비어파티

물리학과 하면 혹시 공부만 하는 학생들이 떠오르지는 않으신가요? 하지만 물리학과 학생들도 공부만 하는 건 아닙니다!! 저희는 중간고사 이후인 11월 2일 비어파티를 개최하였습니다. 장영신 학생회관 1층의 울림홀을 예약하여 피자, 감자튀김 등의 간식과 함께 맥주를 즐기는 시간을 가졌습니다. 또한, 1부에는 영화 <데드폴2>를 관람하면서 학우들끼리 가족 같은 시간을 보낼 수 있었고, 2부에는 공포영화 <그것>의 오싹함을 통해 학기 중 쌓인 스트레스를 날려버릴 수 있었습니다.



## 학부 학생회 소식

### 4. 중간/기말고사 간식이벤트

시험 기간에 지친 학우들에게 힘을 불어넣어 주기 위해 시험 기간 간식 이벤트를 진행하였습니다. 해당 이벤트는 물리과 과방에서 진행되었고, 햄버거 세트를 학우들에게 나누어 주었습니다. 카이스트 내부에서 자주 먹기 힘든 메뉴들 덕분에인지 많은 학우가 적극적으로 참여해 주었습니다. 또한, 과방에서 받은 간식을 먹으며 학우들 간의 대화를 나누면서, 바쁜 시험 기간 중 잠깐의 여유를 즐길 수 있었습니다.

### 5. 일반물리학 헬프데스크 진행

일반물리학은 새내기 학생들에게 중요하면서도, 다른 기초 필수 과목에 비해 어려울 수 있는 과목입니다. 그래서 저희는 새내기들의 일반물리학 공부에 도움을 주고, 물리학에 대한 흥미를 고취하기 위해 매 학기 시험에 앞서 헬프데스크를 진행하고 있습니다. 이번 학기에도 마찬가지였는데, 물리학과 학생이 강사로 나서 중요 개념을 정리해 주고, 이후 중요 문제 혹은 기출 문제들을 설명해 주는 형식으로 진행되었습니다. 새내기들에게 직접적인 도움을 주는 동시에 강사들에게 재능 기부의 뿌듯함을 주는 의미 있는 활동이었습니다.

### 6. 물리학과 학과설명회

가을학기에는 전기 새내기 학생들이 본인들의 전공을 선택하는 시기입니다. 하지만 새내기 학생들의 대부분은 전공과목을 겪지 않았기에 고민이 깊어질 수밖에 없습니다. 이를 위해 물리학과 학생회에서는 학과설명회를 진행함으로써 새내기들의 전공 결정에 도움을 주고자 하였습니다.

물리학과 학과설명회는 11월 13일에 창의학습관에서 진행되었습니다. 150여 명의 새내기가 참여한 가운데 물리학과 정하웅 교수님과 17학번 과대표 학생이 물리학을 왜 공부해야 하는지, 그리고 물리학과에서는 어떤 생활을 하는지에 대해 설명하였습니다. 또한, 질의응답을 통해 물리학과에 대한 새내기들의 궁금증을 해소하는 시간을 가졌습니다. 발표 이후에는 동측 식당으로 이동하여 새내기들과 교수님, 물리과 선배 단이 함께 치킨을 먹으면서 대화할 수 있는 자리를 마련하였습니다. 또한, 경품 추첨을 통해 물리학과 전공 서적 상품권을 증정하였습니다.

### 7. 2019학년도 학부 학생회장단 선출

12월 중순, 학과 내 자체선거를 통해 내년 물리학과를 이끌어 나갈 학부 학생회장단을 선출하였습니다. 선거는 학부생으로 구성된 선거관리위원회(위원장 이준호)의 주도하에 진행되었습니다. 선거 결과, 물리학과 김성훈 학생(17학번)이 학생회장에, 정지혁 학생(17학번)이 부학생회장에 당선되었습니다.





## 대학원 학생회 소식

# 대학원 학생회 소식

안녕하세요, 저는 물리학과 대학원 18학번 학생대표 이근희입니다. 봄학기에는 부 대표인 류영훈 학생이 훌륭한 필력으로 소식을 전했는데요, 대부분 학생이 연구실에 배정이 되면서 자연스레 행사 숫자 및 계획이 줄었습니다. 다들 열심히 연구하는 증거라고 생각이 되어 물리학과 대학원 18학번들의 향후 성취가 기대되네요.

그래도 다수의 학우가 모인 자리가 있었습니다. 9월 7일 금요일 가을학기 신입생 오리엔테이션 및 환영회 자리인데요, 가을학기 신입생과 봄학기 재학생이 처음으로 만난 자리입니다. 봄학과와 마찬가지로 조성재 교수님과 안재욱 교수님이 졸업요건, 박사과정 인정 시험 및 연구실 배정에 관한 안내를 해주시고, 다른 여러 교수님과 점심을 먹으며 이야기를 나눌 수 있는 유익한 시간이었습니다.

같은 날 저녁, 어은동 '세 번째 우물'이라는 찜닭 전문점에서 가을학기 신입생 환영회 및 가을학기 개강 파티를 진행했습니다. 서로 어색했던 봄학기 신입생 환영회와는 다르게, 재학생들은 서로 매우 친해져 스스럼없는 사이가 되어 즐기는 모습을 볼 수 있었습니다. 더불어, 행사 중간에 최형순 교수님과 김용관 교수님이 방문을 해주셔서 가을학기에 새로 입학한 학우들이 물리학과 대학원에 더 잘 녹아들 수 있지 않았나 생각이 드네요. 개인적으로 저는 전날에도 과음해서 그렇게 가고 싶은 자리는 아니었는데, 참석하지 않았으면 후회했을 뻔했습니다:D

이후에는 이렇다 할 큰 행사가 없었습니다만, 소규모로 동기들끼리 모여서 같이 식사도 하고 술도 마시며 즐거운 대화를 나누고, 서로의 힘듦을 공유하는 자리는 계속 있는 것 같습니다. 시간이 허가한다면 가을학기 종강 파티 및 송년회도 진행할 계획입니다. 놀기도 잘 놀고, 연구할 때는 연구에 집중하는 18학번 학우들, 파이팅입니다!



글쓴이 : (대학원 18학번 학생대표) 이근희





## 연구실 소개

### Micro/Sub-micro optics Laboratory 강명수 교수님 연구실

우리 연구실은 마이크로/서브 마이크로 광학 연구실로, 빛과 물질의 상호 작용에서 나타나는 비선형 현상과 양자적 현상을 연구하고 있습니다. 현재 연구 주제는 크게 도파로에서의 비선형광학, 솔리톤 펄스 동역학, 박막의 비선형 동역학, 광 공진기 동역학 등으로 나눌 수 있습니다.

#### 1. 도파로에서의 비선형 광학

도파로는 빛이나 전파 등 전자기파를 원하는 방향으로 유도하여 진행 시키기 위해 개발된 구조물로, 광통신에 이미 널리 사용되고 있는 광섬유가 대표적인 도파로입니다. 도파로에 강한 빛을 진행 시키면 빛이 도파로를 구성하는 물질의 특성을 변화시키고, 이 변화가 다시 전자기파에 영향을 주는 상호 작용이 일어납니다. 이 과정에서 빛의 세기에 따라 상호작용의 크기가 정해지는데, 그 결과로 비선형 현상이 나타납니다. 도파로에서 나타나는 비선형 현상으로는 고차 조화파 발생, 매개 하향 변환, 4 광자 혼합, 라만산란, 브릴루앙 산란 등이 있습니다. 우리 연구실에서는 이와 같은 현상이 나타나는 조건과 매커니즘을 이해하고, 이를 기반으로 도파로를 설계 및 제작하여 원하는 현상이 나타나거나, 또는 나타나지 않도록 제어하는 연구를 진행하고 있습니다.

#### 2. 솔리톤 펄스 동역학

솔리톤은 펄스가 그 시간적, 공간적 형상을 유지한 상태로 매우 먼거리에서 전달되는 현상입니다. 보통의 펄스를 도파로에 진행 시키면 도파로의 분산 특성때문에 펄스 폭이 길어지고 세기가 약해져서 펄스 신호끼리 구분할 수 없게 됩니다. 이때, 펄스의 세기와 펄스 폭을 적절히 맞춰서 솔리톤을 형성시키면, 비선형 현상에 의해 펄스 폭이 길어지지 않고, 세기가 약해지지도 않은 상태로 전달됩니다. 이때, 솔리톤이 진행하는 도파로의 광학적 특성을 바꾸거나 주기적인 섭동을 도파로에 인가하면 솔리톤 펄스의 파장, 펄스 폭, 반복률, 밴드 폭 등의 특성을 바꿀 수 있습니다. 우리 연구실에서는 이 과정에서 도파로와 솔리톤이 상호작용하는 매커니

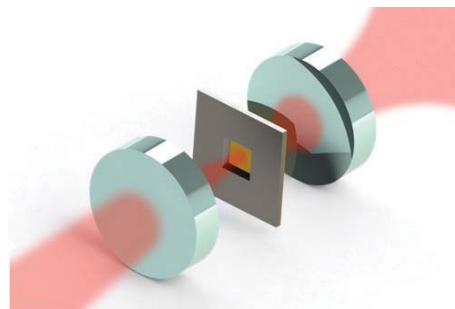
즘을 연구하고, 아직 밝혀지지 않은 새로운 비선형 현상을 찾아내는 연구를 진행하고 있습니다.

#### 3. 박막의 비선형 동역학

공간 중에 설치된 박막을 광 펄스나 압전소자 등을 이용해 진동시키면 박막은 고유의 진동 모드로 떨게 됩니다. 이때, 각 진동 모드는 기본적으로는 상호작용 하지 않고 공존하는데, 진폭이 커지게 되면 박막의 비선형성이 강화되면서 모드들 사이에 상호 작용이 일어날 수 있습니다. 이와 같은 비선형적인 상호작용의 예로 공진주파 수 이동, 모드 간 에너지 교환, 고차조화파 발생 등이 나타납니다. 우리 연구실에서는 박막에서 나타나는 비선형 현상을 통하여 빛과 물질의 상호 작용, 박막의 잡음 제어, 거시적 규모의 양자 현상 등을 연구하고 있습니다.

#### 4. 광 공진기 동역학

광 공진기는 빛이 내부에서 빠져나가지 못하고 지속적으로 보강 간섭을 일으켜서 오랫동안 머물게 되는 장치입니다. 그 결과, 공진기에 갇힌 빛은 공진기 자체, 또는 공진기의 내부 물질과 큰 상호 작용이 발생하여 이 과정에서 빛과 공진기는 비선형적인 거동을 보이게 됩니다. 우리 연구실에서는 이 과정을 구체적으로 조사하고 이해하여 고품위 공진기 설계, 빛의 파장 변환 및 제어, 펄스의 초고속 변조 등을 연구하고 있습니다.

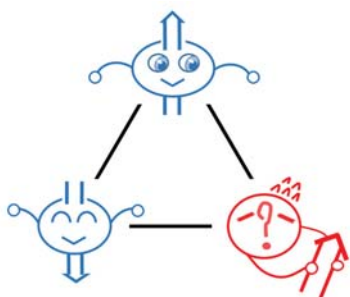




## 연구실 소개

### Quantum Magnetism Theory Group 이성빈 교수님 연구실

양자 물질의 상 (phase)에 대한 이해는 응집물질 물리학의 중요한 이슈 중 하나입니다. 본 연구실에서는 양자 자성체에서 발견되는 상의 이론적 모델링과 그 물리적 결과들을 연구하고 있다. 특히 강상관계 시스템에서 양자 및 기하학적 찢찢매 (frustration) 현상에 따른 양자 스핀액(Quantum spin liquids), 전이금속에서 확인되는 스핀-궤도 결합 (Spin-Orbit coupling)에 의한 위상 절연체 현상, 콘도 물질에서 나타나는 다극성질서 (multipolar order), 초전도체 현상 등을 다루고 있으며, 최근 중요한 이슈로 부상한 이중겹층 그래핀과 준결정(quasicrystal) 문제에도 관심 가지고 있습니다.



### Electronic structure Research Laboratory 김용관 교수님 연구실

우리 연구실은 초전도 현상을 중심으로 강상관계 물질들에서 나타나는 다양한 양자 현상들을 이해하기 위해 전자구조 관측을 수행하는 연구를 진행하고 있습니다. 전자구조 관측은 고체 내 전자의 상태 및 상호작용의 정보를 직접 관측할 수 있는 ARPES (Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy)를 사용하여 연구를 수행하고 있습니다.





## 연구실 소개

### Laboratory for cold atoms and quantum optics 최재윤 교수님 연구실

우리 연구실은 나노 켈빈 영역의 극저온 원자 기체를 생성하고 이를 통해 양자 다체 상의 새로운 이해와 다체 상의 물성을 이용한 양자 정보 연구를 목표로 연구하고 있습니다. 극저온 원자 기체 시스템은 다양한 물리변수를(차원, 불순물의 유무, 상호 작용의 형태와 세기 등) 넓은 범위에서 조절할 수 있습니다. 그뿐만 아니라, 최근 이미징 시스템의 발전으로 인해 광 격자 시스템에 존재하는 양자 다체 상을 단일 원자 단위로 관측 및 조작을 할 수 있게 되었습니다. 이에 양자 기체 시스템은 모델 해밀토니안을 정확하게 모사할 수 있으며, 이론 근사법의 새로운 지표를 제공하는 양자 시뮬레이터로 (Quantum Simulator)로 간주하고 있습니다. 우리는 이 양자 시뮬레이터를 통해 고전적 컴퓨터로 예측하기 어려운 물리 현상에 대한 미시적인 이해를 얻고, 새로운 양자 다체 상을 발견할 수 있을 것으로 기대하고 있습니다.

우리 실험실은 2017년 7월에 연구를 시작한 신생 연구실로, 극저온 원자 기체 생성하는 시스템과 단일 원자를 조작할 수 있는 양자 기체 현미경 시스템을 개발 중입니다. 저희는 리튬-7 원자를 사용하고 있으며, 온도를 1 micro-Kelvin 이하로 낮추어 보즈-아인슈타인 응집체(Bose-Einstein Condensates)를 생성하는데 성공하였습니다. 계발 중인 양자 기체 현미경 시스템은 여러 가지 해밀토니안을 모사할 수 있어 다방면의 연구로 확장이 가능할 것으로 기대하고 있습니다. 가장 주력으로 관심을 두고 있는 연구 목표는 다체 국소 상전이(Many-body localization phase transition)에서 보일 수 있는 임계현상의 관측 그리고 원자로 이루어진 분수 양자 홀 상태의 구현입니다.

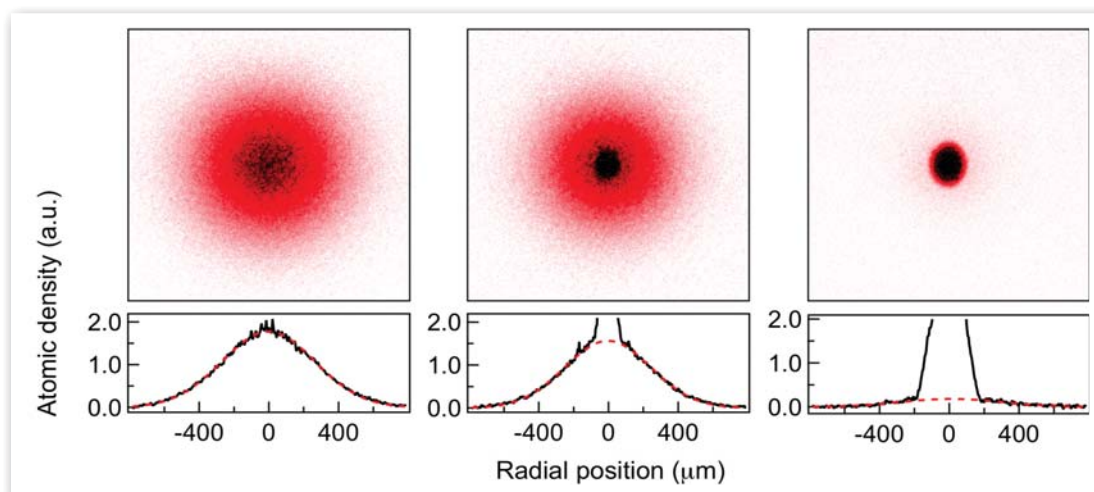


그림1. 보즈-아인슈타인 상전이 현상. 온도를 낮춰줄 때 (왼쪽에서 오른쪽) 맥스웰 볼츠만 분포를 따르는 일반 기체 상태에서 운동량이 거의 없는 보즈-아인슈타인 응집체가 형성됨을 확인할 수 있다.



## 연구실 소개

### Ultrafast Spin Dynamics Laboratory 김갑진 교수님 연구실

우리 연구실 이름은 Ultrafast Spin Dynamics Lab(이하 USDL)으로 고체 물질의 초고속 스핀 역학을 연구하는 연구실입니다. 페리자성체의 초고속 자구벽 움직임, 테라헤르츠(THz) 수준의 자기 공명 측정, 수십 기가헤르츠(GHz) 수준의 나노 사이즈 발진기 연구 등을 진행하고 있습니다.



#### 1. 페리자성체의 초고속 자구벽 움직임

강자성체(Ferromagnet)의 자구벽 움직임은  $\sim 102\text{m/s}$  수준의 속도를 보이지만, 페리자성체(Ferrimagnet)의 자구벽 움직임은 특정 온도에서 수  $\text{km/s}$  수준의 속도를 보이는 것이 관찰되었습니다. 이는 스핀-각운동량 합이 0이 될 때 워커 붕괴 현상이 사라져 나타나는 결과로, 반강자성체(Antiferromagnet) 물질의 성질을 간접적으로 측정한 결과입니다. 향후 초고속 자기 메모리 장치(Racetrack memory) 개발에 핵심적인 이바지를 할 것으로 보이며 반강자성체 연구를 진행하는 데 매우 중요한 지표가 될 것입니다.

#### 2. 테라헤르츠 자기 공명 측정

테라헤르츠(Terahertz, THz)란  $10^{12}\text{Hz}$  이상의 진동수로 단백질과 DNA를 포함하는 많은 생물분자의 공명 진동수가 수 THz 수준인 것으로 알려져 있습니다. 이에 각종 의료기기와 공항 마약 단속 등 많은 분야에서 주목받고 있으며 자성체 중에서는 반강자성체가 수 THz 수준의 공명 진동수를 가질 것으로 예상되어 THz 발진 및 감지 소자로서의 가능성이 점쳐지고 있습니다. 현재 펨토세컨드(fs) 레이저를 펄스 프로브 방식으로 구동하여 THz 신호를 감지하는 장비가 설치 중이며 이후 반강자성체 물질을 연구하는 데 많은 도움이 될 것으로 보입니다.

#### 3. 스핀-홀 나노 발진기 연구

현재 스핀-홀 효과를 이용한  $\sim 102\text{nm}$  길이의 자성체 발진 소자에 관한 연구를 진행 중입니다. 스핀-궤도 결합(Spin-Orbit Coupling)이 큰 중금속 물질에서 스핀-홀 효과가 발생하여 인접한 자성체의 감쇠 효과를 저하해 자화 방향이 진동하도록 만드는 원리로, 직류 전류를 입력하여 수 GHz 수준의 교류 신호를 얻을 수 있는 기술입니다. 페리자성체에서는 진동수가 수십 ~ 수백 GHz, 반강자성체에서는 THz 수준의 교류 신호를 얻을 수 있을 것으로 예상되어 현재 상용화된 컴퓨터 소자들보다 훨씬 빠른 수행 능력을 보여줄 것으로 기대됩니다.





## 장기주 교수님 인터뷰

### 장기주 교수님

1976: Seoul National Univ. (B.S in Physics)  
 1978: Seoul National Univ. (M.S in Physics)  
 1986: UC, Berkeley (Ph.D in Physics)  
 1986~1987: Univ. of California, Berkeley, Post Doc.  
 1987~1989: Xerox Palo Alto Research Center, Research Associate  
 1989~Present: KAIST, Professor



#### Research Interest:

Theoretical Solid State Physics Including Structural and Electronic Properties of Solids  
 Stability and Electronic Structure of Surfaces, Interfaces, and Defects in Semiconductors  
 P-Type Doping in ZnSe and GaN and Mechanism for Blue Laser Devices  
 Superconducting Mechanism in High T<sub>c</sub> Materials

1989년도 카이스트 물리학과에 부임하시고, 오랜 기간 고체 물리 이론을 연구해 오신 후, 지난 2018년 8월에 은퇴하신 장기주 교수님께서 친절히 인터뷰에 응해 주셨습니다. 본 글은 12월 21일 오한빛 학생과 진행한 인터뷰를 바탕으로 요약하였습니다.

#### [ Q ▶ 오한빛 학생 A ▶ 장기주 교수님 ]

**Q ▶** 안녕하세요, 장기주 교수님. 인터뷰하게 되어 영광입니다! 정년퇴임 이후에도 물리학과 학생들을 위해 강의해주시고, 열심히 연구도 하고 계시는 교수님께 인터뷰를 드리고자 인터뷰 자리를 마련하였습니다. 귀한 시간 내주셔서 감사드립니다. 첫 번째 질문은 교수님께서 오랜 기간 연구하신 분야에 관한 질문입니다. 교수님께서 DFT 분야의 선구자이신데, 어떠한 계기를 통해 고체 물리 이론 분야를 연구하시게 되셨는지 궁금합니다.

**A ▶** 서울대학교에서 석사 학위를 받으면서 임계현상에 관한 주제로 연구를 했기 때문에, 원래는 통계 물리를 전공하려 했었어요. 유학을 준비하다 보니 버클리 대학교에 합격했는데, 그 대학교가 통계 물리보다는 고체 물리 쪽을 활발하게 연구하고 있는 분위기다 보니, 고체 물리를 해야겠다고 생각을 했었죠. 당시에 세 명의 고체 이론 분야 교수님들이 있었는데, 나는 코헨 교수님 연구실에 들어가야겠다고 생각을 해서 들어가게 되었어요.

**Q ▶** 교수님께서 대학원과정 때는 어떤 연구를 하셨나요? 대학원과정 중에 가장 기억에 남는 연구나 기억들이 있으신지요. 혹시 교수님께서 연구가 잘 풀리지 않으셨을 때 어떻게 해결하셨는지 궁금합니다

**A ▶** Kon-Sham equation은 1960년대에 제안이 되었지만, 모든 과학 기술이 그러하듯 실제 물질에 응용하는 데까지 시간이 걸리잖아요. 당시 제가 연구실에 들어갔을 때는 응용을 시작하는 단계였어요. 대학원에 들어간 후, 맨 처음에는 BeO의 전자구조에 관하여 연구를 했어요. 이론적으로, O atom이 localized 되어있는 성질과 이방성 육각 구조 때문에, convergence와 accuracy를 동시에 높이는 방법이 어려웠는데, 이를 적절한 ab initio pseudo potential 방법을 이용해서 해결을 했었죠. 버클리에서 학위를 받고 나서 제록스 팔로알토 연구소에 갔어요. 가보니 버클리에서 연구했을 때보다 컴퓨터라던가 연구 환경이 좋지 않았어요. 그 당시 Chadi 박사랑 GaAs에서의 DX 결합 문제에 관해 연구했는데, 처음에는 쉽게 풀리지 않더라고요. 그런데 생각을 잘 해보니 머리를 잘 쓰면 계산을 복잡하게 할 필요가 없겠다고 생각이 들고 문제를 해결했죠. 그러고 나니 컴퓨터보다 참신한 아이디어를 내는 것이 훨씬 중요하다는 것을 느꼈었죠.



## 장기주 교수님 인터뷰

**Q ▶** 교수님께서, 대학원생들 해주고 싶은 조언이 있으시다면, 듣고 싶습니다.

**A ▶** 항상 새롭게 변해 가는 학문의 흐름을 따라 새로운 연구에 도전하고 성과를 낼 수 있도록 노력하며 도전하는 삶을 살아야 한다고 생각합니다. 사실 연구라는 것이 인생과 똑같아서 항상 시련이 있고 어려운 부분이 있기 마련이에요. 어려움이 있을 때, 도망가려 하지 말고, 어려움 중에 어떠한 부분이 어려운지 잘 파악해야 하죠. 오히려 그런 부분을 해결하다 보면 새로운 아이디어가 떠오르기도 하고 더 중요한 문제를 해결하게 되는 경우도 있어요. 그러기 위해서는 자기 분야가 아닌 분야의 세미나들도 적극적으로 들으면서 다양한 방향으로 생각을 하는 방법도 배워야 한다고 생각합니다.

**Q ▶** 물리학과 교수님들께 학생 지도나 연구에 관련하여 조언 해주실 것이 있으신지요?

**A ▶** 내가 지금 물리학과 교수님들한테 조언해도 되는지는 모르겠지만, 학생들 입장을 좀 더 생각해 주어야 한다고 생각을 해요. 나도 처음부터 완벽하지는 않았었는데, 오랫동안 많은 학생을 가르쳐 보니 그런 생각들이 들더라고요. 내가 대략 30년 동안 평균적으로 1년에 한 명씩 학생들을 받았는데, 학생들 능력과 성향이 참 다양해서 교수님들도 그런 부분들을 잘 파악해서 학생들을 지도해야 하는 것 같아요.

**Q ▶** 교수님께서 요즘 관심 가지고 계시는 물리는 무엇인가요? 그리고 앞으로 이 분야의 전망에 대해 말씀해 주실 수 있으신가요.

**A ▶** 내가 대학원에 다닐 때쯤에는 고온 초전도체가 물리학 전반적으로 주목을 받았고 그 이후에 쿼텀 닷 같은 저차원 물질 그리고 요새는 위상학적 물질이 떠오르고 있지요. 요즘 다시 그래핀이나 고온 초전도체도 다시 주목을 받고 있는데 앞으로도 당분간은 초전도나 자성이 얹여있는 물질들에 관해 관심을 가질 것 같네요.

**Q ▶** 물리학과 학생들이 장기주 교수님께서 은퇴 후의 계획이 있으신지 궁금해합니다. 혹시 특별한 계획을 가지고 계신가요?

**A ▶** 은퇴한 이후에도 계속 연구를 할 예정이에요. 일단은 삼성 미래 기술 육성 사업은 올해로 마쳤고, 지금은 미래소재디스커버리 사업이란 과제를 하고 있어요. 2019년부터는 KAIST에서 최초로 시행하는 초세대 협업 연구실이란 제도로 나노과학기술대학원 김용현 교수와 물리학과 한명준 교수와 함께 응집물질계산 물리 연구실을 운영하게 될 거예요. 정년퇴임을 하면 학생을 더 받지 못하는데, 이 제도를 통해서 두 연구실의 학생들과 계속 연구를 할 수 있게 되죠.

**Q ▶** 앞으로도 교수님께 듣고 싶은 말씀이 많을 것 같습니다. 교수님을 찾아뵙고 싶은 재학생들이나 졸업생들이 연락드릴 수 있는 방법을 알고 싶습니다.

**A ▶** 진짜 그런 학생들이 있나요?^^ 나는 계속 2303호에 있어서 만나고 싶으면 연락하고 그리로 오면 되요.

장기주 교수님과 인터뷰를 통해 연구에 대한 무한한 열정과 도전정신을 배울 수 있는 정말 값진 시간이었습니다. 교수님, 다시 한번 좋은 말씀 해주셔서 정말 감사합니다! 교수님을 본받아 훌륭한 후학이 되도록 노력하겠습니다!





# 광집게와 펄스 레이저 증폭기술

## - 2018년 노벨물리학상 -

정 희 정 (한국과학기술원 연구조교수) / 안 재 욱 (한국과학기술원 교수)

해마다 가을이 깊어가는 이맘때 어김없이 노벨상 수상자들이 발표되고 있다. 올해는 문학상의 공석과 평화상 수상자에 대한 관심 속에서 10월 1일 생리의학상을 시작으로, 2일 물리학상, 3일 화학상, 5일 평화상, 8일 경제학상이 발표되었다.

2018년 물리학상은 “레이저 물리의 위대한 발명 (Invention in laser physics)”이라는 업적으로 광집게 (optical tweezers)의 아서 애슈킨 (Arthur Ashkin, 96), 펄스 레이저 증폭기술 (chirped-pulse amplification)의 제라르 모로우 (Gerard Mourou, 74)와 도나 스트리클랜드 (Donna Strickland, 59)에게 수여된다. 노벨상 위원회 수상 업적 인용은 “invention in laser physics”와 “tools made of light”, 즉 “레이저 물리학을 혁명적으로 바꾼 발명들을 기린다”며, 이 두 개의 발명은 아주 작은 입자와 극초단 시간을 제어하는 기술로서 물리학적 원리만이 아니라, 분자(화학), 세포(생물), 의학 연구의 정밀한 도구를 제공하여 획기적 발전을 이끌고 실생활에도 커다란 영향을 미쳤다는 것이 이번 물리학상 선정의 이유이다.

애슈킨 박사가 발명한 광학 집게 (optical tweezers)는 아주 작은 입자(atoms, molecules, dielectric/metallic micro-beads)를 레이저 빛의 초점에 잡을 수 있다. 심지어 바이러스나 박테리아 또는 살아있는 세포와 같은 물체를 파괴하거나 실제 접촉하지 않고 포획할 수 있게 되어, 생물학 및 의학 분야에서는 대상을 관찰하고 제어할 수 있는 획기적인 발명이라고 할 수 있다.

펄스 레이저 증폭기술 (chirped pulse amplification) 발명의 업적으로 공동 수상한 제라르 모로우와 도나 스트리클랜드는 매우 짧은 시간 동안 세기가 매우 큰 레이저 펄스를 가능하게 하였고, 이를 통하여 다양한 산업 분야와 의학 분야에 영향을 미쳤다. 예를 들어, 실생활에서 가장 흔한 펄스-라식 수술에 이 기술이 쓰인다.

이 시점에서 가질 수 있는 하나의 의문은, 물리학적 원리의 “발견(discovery)”이 아닌 “발명(invention)”이 과연 물리학이라고 할 수 있는지에 관한 것이다. 하지만 기존에 선정된 노벨 물리학상의 예를 살펴보면 발견이 아닌 발명의 경우를 많이 찾아볼 수 있다. 노벨은 자신의 유언에서, “물리학상을 물리 분야에서 가장 중요한 발견이나 발명을 한 사람에게 주라”로

정하고 있다. 당시는 현재의 많은 공학 분야가 성립되기 전의 시기이고, 따라서 현재의 학문 분야 분류로는 물리학뿐만 아니라 물리 기반의 공학 분야가 모두 물리학상이 수여될 수 있는 분야라고 할 수 있다. 2000년부터 2018년까지의 물리학이 수상 분야를 보아도, 발명에 해당하는 “청색 LED” (2014년), “광섬유와 CCD 센서” (2009년), “semiconductor heterostructures” (2000년)는 현재의 시점에서는 전자공학의 영역으로 보인다. 이러한 광공학분야는 양자 컴퓨팅에 기반이 되는 “개별 양자 시스템의 제어 방법” (2012년), “양자 광학 및 레이저 기반 초정밀 분광학” (2005년), “Bose-Einstein condensation (BEC)” (2001년) 등을 함께 원자-분자-광학분야로 구분되어 물리학상의 약 3분의 1이 수여되고 있으며, 나머지 2/3는 각각 고체 물리 분야와 입자 전체 물리 분야에 수여되고 있다.

다시 올해 물리학상으로 돌아와서 수상자들의 특징을 보면, 애슈킨이 97세 최고령 수상자, 도나 스트리클랜드는 3번째 여성 물리학상 수상자이다 (1963년 이후 55년 만의 여성 수상자). 노벨상 발표 3일 전에 타계한 랄프 스타인만 (2011년 생리의학상)의 예외적 경우를 제외하고는, 노벨상은 생존한 사람에게 주어지고 직전 해에 얻은 업적에 주어지는 것이 원칙이지만, 최근에는 영향력이 가시화된 후에 주고 있기 때문에 전반적으로 수상자의 연령이 높아지고 있는 추세이다. 전체 연령대를 보면 80~90대부터 30대 초반, 심지어 17세 (2014년 평화상)까지 다양하다. 특이한 점은 30대 수상자 Bragg (1915년, 30세), Heisenberg (1932년, 31세), Dirac (1933년, 31세), Anderson (1936년, 31세), T-D Lee (1957년, 31세) 모두 물리학상이라는 점이다. 또 하나 특이한 점은 마리 퀴리 (Marie Curie, 1903년, radiation phenomena), 마리아 괴페르트 매이어 (Maria Goeppert Mayer, 1963년, nuclear shell structure)에 이어 올해 세 번째 여성 물리학자가 배출되었다는 점이다. 여성 노벨물리학상은 평균 60여 년의 주기로 상당히 드문 케이스이다. 노벨화학상의 경우도 여성 수상자는 현재 5명뿐이었고 그중 1명은 마리 퀴리이다. 생리의학상은 12명, 문학상은 14명이다. 물리학상 여성 수상자의 수상 지분을 보면 마리 퀴리가 1/4, 매이어도 1/4, 스트리클랜드도 1/4 이므로 모두 더해도 3/4 밖에 안된다. 아직 한 개의 노벨물리학상도 온전히 여성에게 주어지고 있지 않은 점이 아쉽다고 하겠다.



## 교수님 기고문

올해 노벨물리학상이 수상된 발명의 내용을 살펴보면, 우선 광집계 (optical tweezers)는 “single- beam gradient force trap”으로도 불리며, 애슈킨은 이 방법을 이용하여 1970년대부터 집속한 레이저의 초점을 이용하여 원자를 공간상에 잡을 방법을 연구하였으나, 1985년에 마이크로미터 크기의 유전체를 포획하는 것을 성공하였다. 결국, 애슈킨의 원자 포획의 꿈은 이후 레이저를 이용한 냉각-포획 방법으로 스티브 추(1997년 노벨물리학상 수상)에 의해 구현되었다.

광 집계의 기본 원리는 운동량 보존 (momentum conservation)을 이용하여 마이크로 사이즈의 유전구체를 빛의 세기가 가장 센 광 초점에 잡아당기는 것이다. 구형 유전체에 입사하는 레이저 빔은, 굴절에 의해 광초점방향으로 알짜힘을 만들게 되어, 마치 용수철의 복원력 (restoring force,  $F=-kz$ , 이때  $k$ 는 용수철 상수)과 같이, 광초점에 입자를 끌어당겨서 포획하게 된다. 입자의 크기가 빛의 파장보다 매우 큰 입자 경우 ( $d \gg \lambda$ )의 기하광학 (ray optics) 모델로 설명되고, 더 작은 나노 사이즈 입자의 경우 전기쌍극자 (electric-dipole)가 전기장 (electric-field)에 의해 느끼는 힘으로 계산하여 동일한 결과를 보일 수 있다. 광집계가 활용되는 경우는 물리학 분야의 레이저 원자광포획과 광학 각운동량 실험 (orbital angular momentum experiments)에서 부터, 생물학 분야의 cell sorting, in vitro fertilization, stretching DNA 등에 이르기 까지 다양한 분야에 광범위하게 분포하고 있다. 이번 애슈킨 박사 수상의 대표 논문인 1986년 Optics Letters 는 6200회 인용되었으며 스티브 추 (Steve Chu)가 저자 중 한명인 점이 눈길을 끈다. 앞서 언급한 것처럼, 원자 포획을 위해 이미 1970년 Phys. Rev. Lett. (4600 citation) 논문부터 광집계 연구가 시작되었으나, 초반 몇십 년간은 평균인용수가 수백을 유지하다가 2000년대 이후 생물학 의학 등 다양한 분야에 파급 효과를 주며 급격하게 인용 수가 증가하는 것을 관찰할 수 있다.

두 번째 주제는 다소 생소한 이름의 chirped-pulse amplification (CPA)로 여기서 chirp의 의미는 새가 지저귄 때 나타나는 소리의 낮은 주파수에서 높은 주파수로 변하는 현상 혹은 그 반대로 일어나는 주파수와 시간의 상관관계, 즉 주파수 변조를 의미한다. CPA는 극초단 레이저 펄스 (ultrashort laser pulse)의 세기를 증폭하기 위하여 주파수에 따라 시간 지연을 주어 증폭하고 이를 다시 모아서 강력한 세기의 펄스를 구현하는 기술이다. 이는 얼마나 강력한 레이저의 세기를 얻을 수 있는지에 대한 이슈에서 출발하며, 이전의 한계를 뛰어넘은 결정적 발명이라 할 수 있다. 펄스 형 레이저는 Q-switching과 mode-locking 등의 기술개발에 의해 발전하였으며, 더 강한 세기의 펄스 레이저를 얻기 위해서 초점 거리가 아주 짧은 렌즈를 썼는데, 이때 self-focusing이라는

비선형 광학 현상에 의하여 공기 등 빛이 전달되는 매질을 태우며 광모드가 파괴되어 더 강한 세기를 얻지 못하는 한계에 다다르게 된다. 이를 극복하기 위하여 시간 축으로 에너지를 분산하고 다시 모으는 CPA 방법을 써서 이후 레이저 기술의 비약적 발전과 파급력을 가져오게 된다. 현재 세계 각국에 건설되어 운영중인 초강력 레이저 시스템은 모로우와 스트리클랜드의 CPA기술에 기반하고 있으며, 광주 과학원의 고등광기술연구소가 보유한 페타-와트급 레이저 시스템 (1021~1023W/cm<sup>2</sup>)도 그중에 하나이다. 이러한 레이저가 집속할 수 있는 빛의 양은 태양에서 지구에 도달하는 모든 빛을 연필심 끝에 모아 놓은 것과 같다. 이번 수상에 인용된 논문은 1985년 Optics Communications에 발표된 것으로, stretch-amplification-compress의 CPA 삼단계 기술은 기존 레이더 기술에 있던 것으로 이를 레이저에 적용하여 self-focusing이라는 비선형 현상을 극복한 것이 핵심이다. 극초단 펄스는 기본적으로 모든 주파수가 동시간에 도달하는 것으로 회절격자 쌍 (grating pair)를 이용하여 주파수 별로 다른 시간에 도달하도록 분산시켜서 입사 세기를 줄여 증폭을 한 후, 또 다른 회절격자 쌍의 음의 분산 (negative dispersion)을 이용하여 순간적으로 에너지를 다시 모으는 방식이다.

CPA 기술을 이용하는 초강력 펄스 레이저는 다양한 연구에 쓰이며, 원자의 초고속 동역학 연구, 플라스마 발생, 초분해능 분광학, 상대론적 효과에 의한 입자 가속 등이 대표적이다. 초고속 동역학 연구는 이미 노벨 화학상 (Zewail, 노벨화학상, 1999년)이 수여되었으며, 펄스초 주파수빔을 이용한 정밀분광은 노벨 물리학상 (Hansch, 노벨물리학상, 2005년)이 수여되었다. CPA 기술을 통하여 새로운 입자의 생성, 핵융합연구 등의 새로운 물리학 분야에 응용되기도 하고, 비선형 현상에 기반한 고차 조화파 발생을 통하여 가시광선에서 X-ray까지의 다양한 광원을 개발하고 있으며, 비열적 용융 (non-thermal melting) 현상에 의해 레이저 마이크로가공 (laser micromachining)에 다양하게 산업적으로 활용되고 있다. 일상에서 가장 쉽게 발견할 수 있는 활용의 예는 펄스-라식 수술로서, 기존의 라식에서 각막 절편을 위해 초정밀 절삭기를 쓰는 대신 펄스초 레이저를 이용하고 있다.

이번 노벨물리학상이 수여된 광집계와 펄스초레이저 증폭기술은 80년대 중반에 물리학 실험실에서 개발된 레이저기술이지만, 현재는 물리학, 화학, 생물학 등의 과학 연구에서 뿐 아니라 의료, 산업기계 등 실생활에 직접 활용되는 등 막대한 파급효과를 내고 있다. 노벨은 인류를 위해 가장 공헌한 사람들에게 자신의 재산을 남겼으며, 수상자의 국적이나 성별을 차별하지 않도록 부탁하였다.





## 신임 교수님 기고문

# 물리/화학/생물/계산과학적 방법론을 통합 적용하여, 살아 있는 세포 안에서 Nuclear Pore Complex (NPC)를 통해 일어나는 DNA 바이러스 감염과 NPC의 Self-Assembly 과정 규명

(Integrative Approaches for Studying Viral Infection Process through the Nuclear Pore Complex (NPC) and Self-Assembly of the NPC in a Living Cell)

김 승 중 (한국 과학기술원 물리학과 교수)

살아있는 생명체에서의 생명현상은 원자 및 분자 단위부터 시작해서 세포 및 조직, 그리고 더 나아가 생태계까지 아우르는 다양하고 복잡한 규모로 나타난다. 이러한 생명현상은 궁극적으로 DNA에 저장된 대용량 "생명 정보"가 어떻게 저장, 해석, 교환, 그리고 발현하는지에 따라 정해진다. 물리/화학/생명과학적 실험방법의 진보에 따라 여러 생명현상들을 이해하기 위한 대용량 "실험 데이터"들이 생성되었는데, 여기에 digital media와 계산과학의 발전과 맞물려 이러한 대용량 "생명 정보" 및 각종 "실험 데이터"를 효율적으로 인지, 저장하면서 동시에 체계적으로 통합 분석 및 관리하는 것이 매우 중요하게 되었다<sup>1)</sup>.

하지만 살아있는 세포 내에서 매우 중요한 역할을 하는, 수십~수백 개의 단백질로 이루어진 거대 단백질 복합체 (macromolecular complex) 또는 분자 기계 (molecular machine)들에 대해서는, 학계에서 이에 대한 대용량 "생명 정보" 및 "실험 데이터"들은 대부분의 경우 단편적으로 각각 논문으로 출판되거나 개별적으로 database에 저장 되어 왔다. 게다가 정보 및 데이터의 유통이 물리/화학/생명/계산과학 학문영역의 인위적인 분류를 따르게 되어, 거대 단백질 복합체 규모의 복잡한 생명현상에 대한 학문의 경계를 넘나드는 통섭적인 이해가 어려웠다<sup>1)</sup>. 따라서, 이러한 어려움을 극복하며 학문의 경계를 넘어 통섭/통합적으로 생명현상을 이해하고 해석할 수 있는, 보편적인 통합 방법론 (integrative approach)의 개발 및 적용이 매우 시급하고 중요한 문제이다. 우리 연구실에서는 이를 위해 거대 단백질 복합체 및 분자 기계를 연구하기 위한 integrative approach를 개발 및 확장하고, 이를 생명 현상들에 적용하여 독창적인 생물학적 발견과 이해, 그리고 예측할 수 있도록 한다. (그림1)

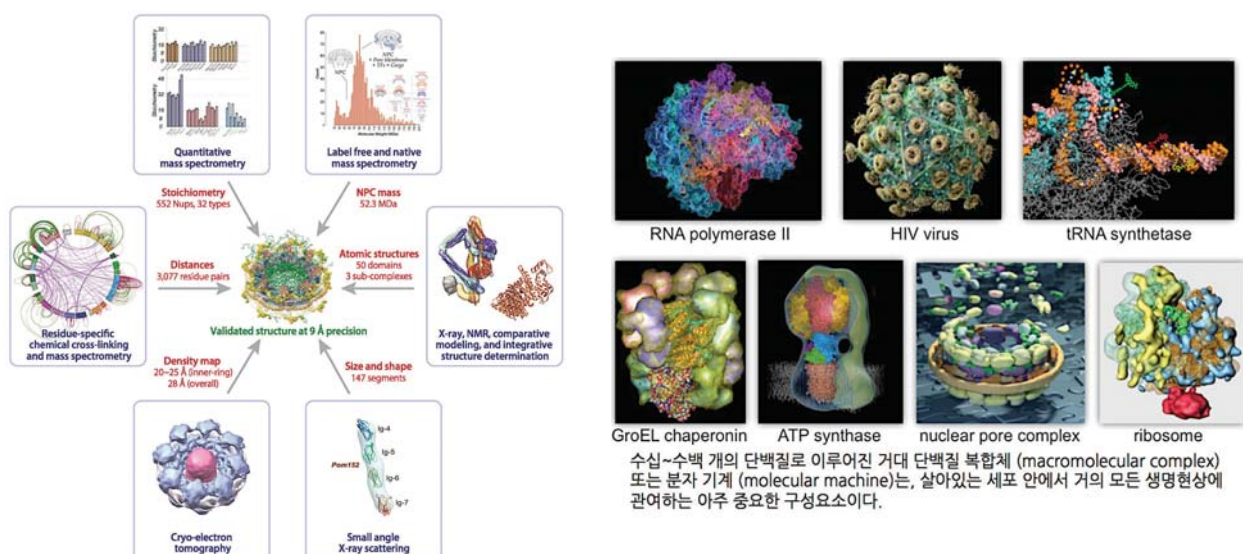


그림 1. (좌) Nuclear Pore Complex (NPC)의 전체 구조 규명을 위한 integrative approach의 적용<sup>2)</sup> (우) 대표적인 거대 단백질 복합체 / 분자 기계들



## 신임 교수님 기고문

### 1. Integrative approach의 개발 및 확장

수십~수백 개의 단백질로 이루어진 거대 단백질 복합체 (macromolecular complex) 또는 분자 기계 (molecular machine)들은 살아있는 세포 안에서 일어나는 거의 모든 생명현상에 관여한다. 따라서 살아있는 세포의 작동원리를 이해하기 위해선, 세포 하나당 수천 가지에 이르는 거대 단백질 복합체 및 분자 기계들의 전체 세부 구조, dynamics, 그리고 세포 내에서의 상호 작용들을 이해하는 것이 필수적이다<sup>(3)</sup>. 특히 수십~수백 개의 작은 단백질 하나하나가 어떻게 상호 작용하고 배열하여서 전체 거대 단백질 복합체 및 분자 기계를 이루는지를 이해하고, 또 동시에 그들의 생물학적 기능을 밝히는 것은, 새로운 의학적 진단과 질병 퇴치 (예: HIV, Cancer, 그리고 Viral Infection)에 크게 공헌할 수 있는 중요한 밑거름이 된다<sup>(4)</sup>. 따라서, 우리 연구실에서는 integrative approach를 개발 및 확장하여 다양한 생명 정보 및 실험 데이터, 물리/화학 법칙, 그리고 생물학적 database (예: PDB, EM-DB, SASBDB 등)에서 추출된 체계적인 지식과 모두 부합하는 거대 단백질 복합체의 구조 및 동적 특성을 규명하고, 동시에 이러한 데이터 통합과정을 통해서 얻은 최종 결과물의 효율성, 정확성, 해상도, 그리고 완결성을 극대화하고자 한다.

전통적인 생물물리학 또는 구조생물학에서 많이 쓰이는 실험방법으로는 NMR, X-ray 결정학, small angle X-ray scattering (SAXS), Cross-linking mass spectrometry (XL-MS), Fluorescence resonance energy transfer (FRET), Super-resolution microscopy, Cryo-전자 현미경 (Cryo-EM) 등이 있다. 하지만, 이 각각의 방법은 수십~수백 개의 단백질 하나하나로 이루어진 거대 단백질 복합체의 다이나믹한 복잡한 특성을 고려하면 그 한계가 명확하다<sup>(5)(6)</sup>. 각각의 실험방법을 하나씩 적용해서는 거대 단백질 복합체의 전체 특성을 한번에 이해할 수 없고, 우리는 단지 부분적이고 단편적인 정보만을 얻을 수 있을 뿐이다 (그림2). 예를 들어, X-ray 결정학의 눈부신 발전으로 수많은 단백질 각각에 대한 원자 수준의 정보를 얻게 되었지만, X-ray 결정학을 이용해 거대 단백질 복합체를 한꺼번에 결정화하여 전체 정보를 얻는 것은 그 거대 단백질 복합체의 복잡성과 자유도를 고려했을 때 현실적으로 불가능하다. 한편으로는 Cryo-EM의 발전으로 거대 단백질 복합체의 대략적인 큰 그림을 얻을 수 있게 되었지만, 복합체를 이루는 각각의 단백질 구성요소를 명확히 파악하고 단백질 구성요소 사이의 세부 상호작용 및 배열, 그리고 전체적인 dynamics를 이해하는 데는 뚜렷한 한계가 있다.

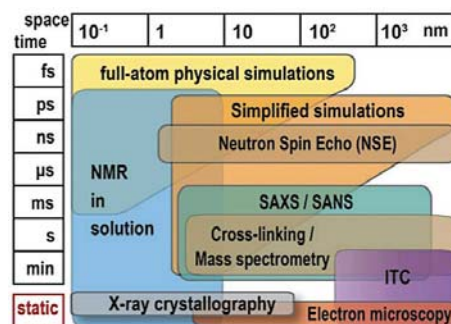


그림 2. 모든 실험 또는 계산 방법들은 각각 고유의 시공간적 스케일과 분해능을 가지고 있다. 따라서 한 가지 방법만 사용해서는 거대 단백질 복합체의 전체 특성을 이해할 수 없고 부분적이고 단편적인 정보만을 얻는다.

따라서 여러 다양한 실험방법들로부터 얻어져서 이미 학계에 알려졌거나, 또는 앞으로 새로 생성되는 "생명 정보" 및 "실험 데이터"들을 상호 보완적으로 통합하여, 모든 정보와 데이터를 동시에 만족하는 해답을 찾기 위한 보편적인 integrative approach가 필요하다. Integrative approach는 대용량 클러스터 서버를 이용하는 High-throughput 병렬 계산과정을 아울러 아래와 같은 4가지 반복되는 과정을 거친다<sup>(14) 7)</sup>. (그림3).

[Step 1] 여러 실험방법을 적용하여 다양한 분해능과 신뢰도를 가지는 데이터 생성 및 수집.

[Step 2] 거대 단백질 복합체의 구성요소 구축 및 통합 최적화 계산을 위한 데이터 분석/변환; 각각의 입력 데이터마다 고유의 Scoring function (또는 data evaluation score)을 정의하고, 거대 단백질 복합체 모델 최적화를 위한 시공간적 제약 (Spatial and/or Time Restraints)을 입력 데이터의 분해능과 신뢰도를 동시에 고려하여 설정한다.

[Step 3] 대용량 클러스터 서버를 이용한 병렬 샘플링 및 최적화된 모델 앙상블 계산 (CPU/GPU 동시 활용).

[Step 4] 최종 결과 앙상블 분석 및 평가, dynamics 및 생물학적 기능 예측

네 번째 단계에서 얻어진 결과 앙상블이 특정 생명 정보 및 실험 데이터와 잘 맞지 않는다면, 다시 첫 번째 단계로 돌아가 특정 실험을 반복하여 이것이 실험 오류인지 또는 계산 오류인지를 판별해내고, 상황에 따라 위의 1-4단계를 다시 반복 적용할 수 있다<sup>(1)</sup>.



## 신임 교수님 기고문

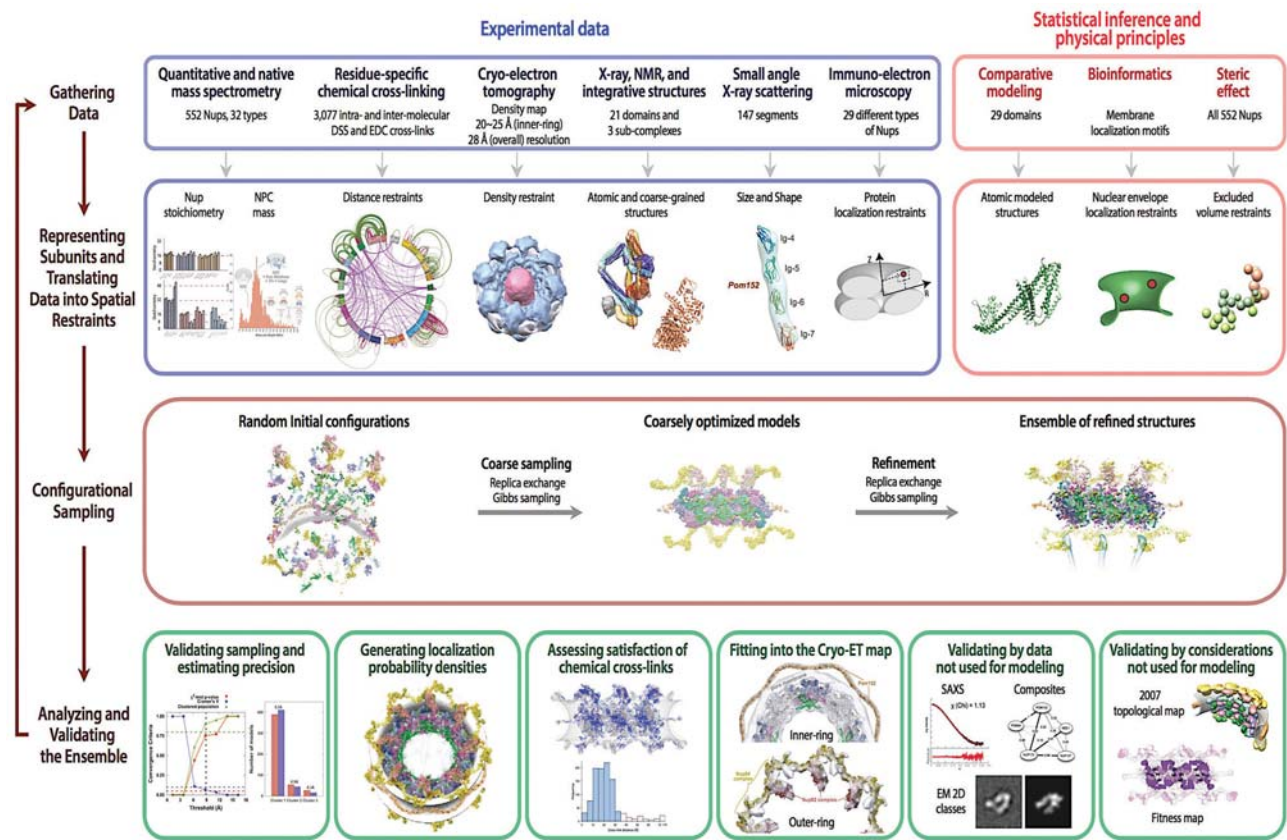


그림 3. Nuclear Pore Complex (NPC)의 전체 구조를 규명하기 위한 4단계 과정으로 이루어진 integrative approach의 조감도

Integrative approach는 그 사전적 의미처럼 다른 연구자들과의 교류와 협업이 무척 중요하고, 이를 위해 국제 협업 네트워크 (<http://integrativemodeling.org>)가 설립되어왔다. 우리 연구실도 마찬가지로 국내/외의 연구팀들과 공동 실험 및 데이터 공유를 통한 협업을 추구하고, 또한 새로운 정보와 데이터들을 함께 포괄해서 통합하도록 보편적인 integrative approach를 개발 및 확장하고자 한다.

## 2. Integrative approach를 거대 단백질 복합체 및 분자 기계들에 적용

위에 기술한 integrative approach를 적용하여 규명하려는 거대 단백질 복합체 및 분자 기계들에 관한 중요한 생물학적 문제로는 Nuclear Pore Complex를 통해 일어나는 DNA 바이러스의 감염과정 규명과 세포 분열 및 성장할 때 Nuclear Pore Complex의 Self-Assembly 과정에 대한 이해가 있다.

### 1) Nuclear Pore Complex를 통해 일어나는 DNA 바이러스의 감염 과정 규명

바이러스는 다른 유기체의 살아있는 세포 안에서만 생명 활동을 하는 작은 감염원 (또는 전염성 미생물)이며 보통의 바이러스 크기는 평균 박테리아 크기의 약 100분의 1에 해당한다. 바이러스는 RNA나 DNA의 유전물질과 그것을 둘러싸고 보호하는 단백질 껍질(capsid)로

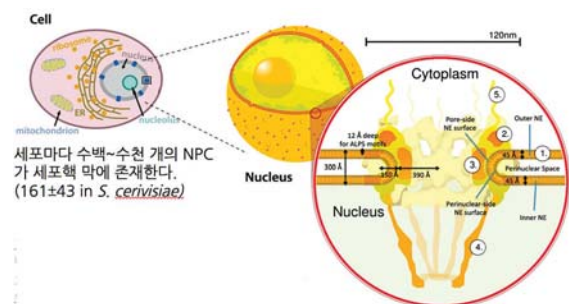


그림 4. NPC는 단백질 500여 개로 이루어진 거대 단백질 복합체며, 세포핵 막에 위치하여 세포핵 안과 밖의 물질 수송을 관장하는 유일한 통로이다.





## 신임 교수님 기고문

구성되는 매우 간단한 구조를 가진다. capsid는 구슬 모양의 단백질(capsomere)이 모여 이루어진 것이며, 바이러스의 종류에 따라 다양한 구조를 가진다. 바이러스는 스스로 번식/복제를 하기 위해 살아있는 다른 세포에 반드시 침투해야 하며, 이때 바이러스 자신의 유전정보 (예: DNA)를 세포핵 안으로 주입하게 된다. 세포핵 안으로 바이러스의 DNA를 주입할 때는 반드시 Nuclear Pore Complex<sup>(2) 10) 19)</sup> (NPC: 단백질 500여 개로 이루어진, 세포핵 막에 위치하여 세포핵 안과 밖의 물질 수송을 관장하는 거대 단백질 복합체<sup>(2) 8) 9) 10) 11)</sup> (그림4)와 바이러스 간의 직/간접적인 상호 작용이 일어나고, 이를 통해 최종 바이러스 감염이 일어나게 된다<sup>10)</sup>. 각각의 DNA 바이러스는 스스로 번식/복제를 위한 필수과정인 potential barrier인 NPC를 넘어서려는 자신만의 고유 전략을 진화/발전시켜 왔으며, 아래 그림에서 간략히 기술하는 것처럼 크게 세 가지 형태의 감염 경로를 거치게 된다고 알려져 있다<sup>10)</sup> (그림5).

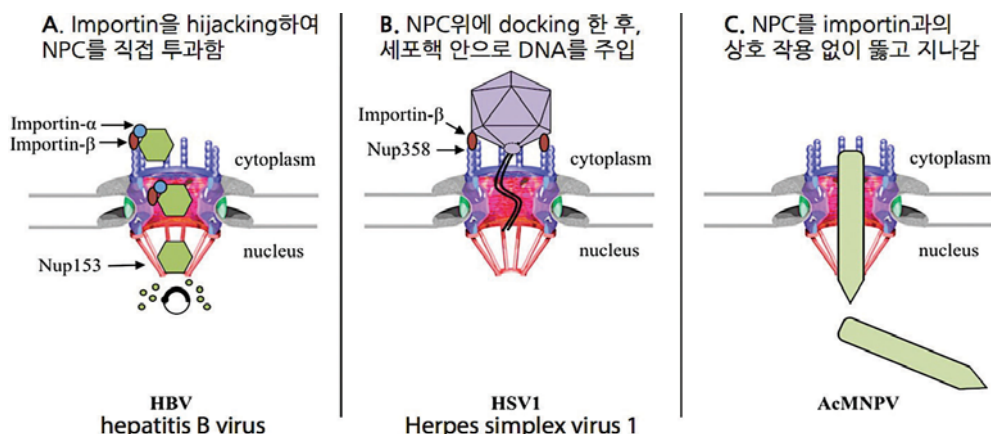


그림 5. Nuclear Pore Complex를 통해 일어나는 DNA 바이러스의 3가지 감염 경로<sup>10)</sup>

우리 연구실에서는 위와 같은 DNA 바이러스의 감염이 NPC와 어떤 동적인 상호 작용을 통해 이루어지는지 integrative approach를 기반으로 알아내려 한다. 바이러스의 감염과정을 좀 더 자세히 이해하면, 이는 궁극적으로 바이러스의 감염을 막는 antiviral therapy의 개발 및 발전에 중요한 밑거름이 된다. 우리 연구실에서는 SAXS, Cryo-EM, chemical cross-linking, FRET, Super-resolution Microscopy 등의 실험을 각각 수행하거나 국내/외 다른 연구팀과 데이터 공유를 통해 필요한 정보를 얻고, 궁극적으로 이를 integrative approach에 통합 적용한다. 통합 계산과정의 효율성을 위해 대용량 클러스터 서버에서 High-throughput 병렬 컴퓨팅 기법으로 CPU와 GPU를 동시에 이용한다.

### 2) 세포 분열 및 성장할 때 Nuclear Pore Complex의 Self-Assembly 과정 이해

최근에 와서야 sub-nanometer 수준의 NPC 구조가 밝혀졌음에도 불구하고<sup>(2)</sup>, 단백질 500여 개로 구성된 NPC의 self-assembly 전체 과정을 이해하는 것은 여전히 근본적이면서 매우 어려운 문제이다<sup>(9)</sup>. 세포 분열 및 성장 초기에는 거의 평평했던 세포핵 막이, 어느 순간 막 단백질과 상호 작용함에 따라 휘어져서 torus 곡선을 이루고, 결국에는 지름 40nm에 달하는 큰 구멍, 즉 핵공(nuclear pore)이 생성될 것이다. 이와 동시에 500여 개에 달하는 단백질들이 대단히 정교한 순서로 8-fold symmetry를 따라서 하나하나 조립되는데, 이러한 self-assembly 과정의 중간 단계에 관해서는 학계에 전혀 알려지지 않았다<sup>(9)</sup> (그림6). NPC self-assembly 과정을 이해하게 되면, 세포가 분열 및 성장할 때 세포핵이 어떻게 생물학적 기능을 시작하고 유지하는가에 대한 근본적인 해답을 얻을 수 있게 된다.

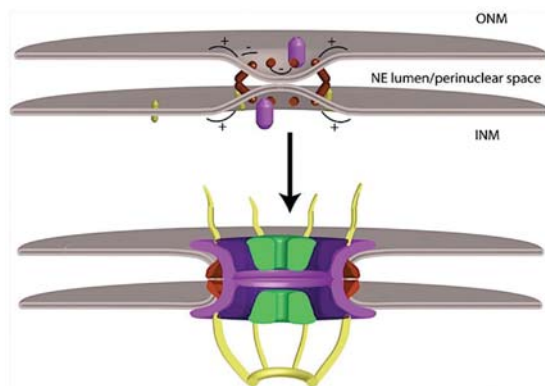


그림 6. NPC의 self-assembly 과정 모식도<sup>(9)</sup>.



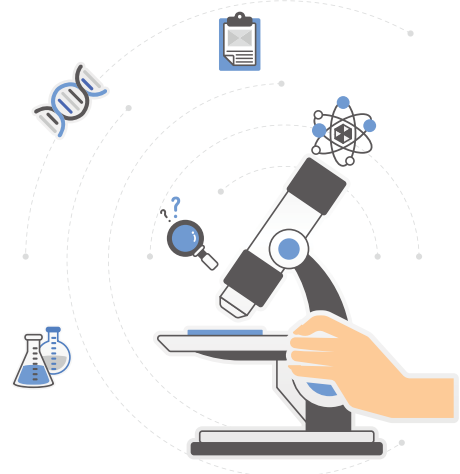


## 신임 교수님 기고문

더불어 자연적으로 일어나는 유전자 변이가 NPC 구조 및 물질 수송에 미치는 영향도 이해할 수 있을 것이다. 우리 연구실에서는 Integrative approach를 기반으로, Super-resolution microscopy와 Cryo-EM/tomography 등의 실험을 수행하여 세포 분열 및 성장 시 NPC의 self-assembly 과정, 그중에서 특히 중간 단계들에 대한 동적 이해를 추구 한다.

### [참고문헌(Reference)]

- 1) Russel, D. et al. Putting the pieces together: integrative modeling platform software for structure determination of macromolecular assemblies. PLoS Biol 10, e1001244 (2012).
- 2) Kim, S. J. et al. Integrative structure and functional anatomy of a nuclear pore complex. Nature 555, 475-482, doi:10.1038/nature26003 (2018).
- 3) Sali, A., Glaeser, R., Earnest, T. & Baumeister, W. From words to literature in structural proteomics. Nature 422, 216-225, doi:10.1038/nature01513 (2003).
- 4) Alber, F. et al. Determining the architectures of macromolecular assemblies. Nature 450, 683-694, doi:10.1038/nature06404 (2007).
- 5) Alber, F., Chait, B. T., Rout, M. P. & Sali, A. in Protein-protein interactions and networks: identification, characterization and prediction. (eds A. Panchenko & T. Przytycka) 99-114 (Springer-Verlag, 2008).
- 6) Alber, F., Forster, F., Korkin, D., Topf, M. & Sali, A. Integrating diverse data for structure determination of macromolecular assemblies. Annu Rev Biochem 77, 443-477, doi:10.1146/annurev.biochem.77.060407.135530 (2008).
- 7) Alber, F. et al. The molecular architecture of the nuclear pore complex. Nature 450, 695-701, doi:10.1038/nature06405 (2007).
- 8) Viswanath, S., Chemmama, I. E., Cimerancic, P. & Sali, A. Assessing Exhaustiveness of Stochastic Sampling for Integrative Modeling of Macromolecular Structures. Biophys J 113, 2344-2353, doi:10.1016/j.bpj.2017.10.005 (2017).
- 9) Sampathkumar, P. et al. Structure, dynamics, evolution, and function of a major scaffold component in the nuclear pore complex. Structure 21, 560-571, doi:10.1016/j.str.2013.02.005 (2013).
- 10) Kim\*, S. J. et al. Integrative structure-function mapping of the nucleoporin Nup133 suggests a conserved mechanism for membrane anchoring of the nuclear pore complex. Mol Cell Proteomics 13, 2911-2926, doi:10.1074/mcp.M114.040915 (2014).
- 11) Fernandez-Martinez, J. & Rout, M. P. Nuclear pore complex biogenesis. Curr Opin Cell Biol 21, 603-612, doi:10.1016/j.ceb.2009.05.001 (2009).
- 12) Fay, N. & Pante, N. Nuclear entry of DNA viruses. Frontiers in microbiology 6, 467, doi:10.3389/fmicb.2015.00467 (2015).





## 윤혜옥 학생 (Stanford)

안녕하세요. 저는 카이스트 물리학과를 2012년에 졸업하고 현재 스탠포드에서 응용물리학 박사과정 중에 있는 윤혜옥입니다. 학부 재학 중 1년여간 박용근 교수님 연구실에서 적혈구 이미징(imaging) 분석에 관한 연구를 했습니다.

박사 때는 해롤드 황(Harold Hwang) 교수님 연구실에서 스트론튬 타이타네이트( $\text{SrTiO}_3$ )의 초전도체 현상을 연구하고 있습니다.  $\text{SrTiO}_3$  은  $\text{ABO}_3$ 라는 결정구조를 가지는 페로브스카이트 반도체로서, 도핑을 하면  $10^{18}$ - $10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 의 전하 농도(Carrier concentration) 범위에서 초전도성( $T_c < 300 \text{ mK}$ )을 가지게 됩니다. 이렇게 전하 농도가 낮게 되면 Coulomb retardation이라는 BCS 이론으로는 설명할 수가 없는데, 반면에 실험적으로 보이는  $\text{SrTiO}_3$ 의 초전도성의 특성은 weak-coupling BCS 이론을 잘 따르고 있는 양면적인 물질입니다.

우리 연구실에서는  $\text{SrTiO}_3$ 를 포함한 산화물(oxide) 박막(thin film)을 PLD(Pulsed Laser Deposition)라는 방법으로 층층이 증착을 하고 있습니다. PLD는 레이저 펄스를 타겟 위 수  $\text{mm}^2$  면적에 집중시켜 생성된 플라즈마를 기판 위에 증착하는 방법으로, 기판의 온도와 챔버의 압력, 레이저 빔의 세기 등의 열역학적 변수에 따라 다양한 결정구조, 결함(defect)의 종류와 농도를 조절할 수 있습니다.

우리 연구실에서는 이렇게 만들어진 산화물 박막의 결정구조를 X-ray diffraction로 알아보고, 표면 구조를 atomic force microscopy로 측정합니다. 전자기적 특성은 four-point measurement를 통한 저항, 전하 농도, 전하 이동성(mobility)을 상온에서부터 저온( $T = 2 \text{ K}$ )까지 측정할 수 있습니다.  $\text{SrTiO}_3$ 과 같은 낮은  $T_c$ 를 가지는 물질은 sub-Kelvin까지 온도가 내려가는 희석냉동기(Dilution refrigerator)라는 장비를 통해 초전도성을 측정합니다.



## 천고운 학생 (Stanford)



저는 스탠포드 응용물리학과에서 박사과정을 밟고 있는 천고운입니다. 유학 가기 전에는 서민교 교수님 연구실에서 플라즈모닉스를 배웠고, 그전에는 독일 KIT에서 교환학생으로 있으며 Alexey Ustinov 교수님 연구실에서 메타물질 연구를 했습니다. 현재는 Evan Reed 교수님 연구실에서 데이터 사이언스 기법을 물리와 신소재 문제에 적용하는 연구를 하고 있습니다. 예를 들어, 2차원 물질은 저차원에서만 나타나는 물리적 현상들을 관찰할 수 있고, 나노 스케일의 전자 기기 등 다양한 기술 분야에 적용할 수 있어 널리 연구되고 있습니다. 하지만 아직 2차원 물질 연구는 그래핀과 TMD 등 몇 가지 물질들에 한정되어 있습니다. 저는 데이터 마이닝과 머신 러닝 기법을 이용해 1000개가 넘는 새로운 2차원 물질들을 발견하였고, 이 중 뛰어난 물리적 특성을 가진 물질들에 대한 연구를 계속하고 있습니다.



## 김만기 학생 (Cornell)

안녕하세요, 저는 코넬대학교에서 유학 중인 김만기입니다. 카이스트에선 이승준 교수님 연구실에서 BSM을 연구했습니다. 현재 저는 코넬 입자 물리 이론그룹에 소속되어있으며, 동 그룹의 Liam McAllister, Tom Hartman, 그리고 수학과의 Mike Stillman 교수님과 같이 연구를 하고 있습니다.

초끈이론은 유일한 양자 중력의 후보라는 점에서 매우 매력적인 이론입니다, 하지만 초끈이론을 검증할 수 있는 에너지 스케일인 플랑크 스케일이 현재의 가속기로 만들어내기엔 힘들기에 초끈이론은 실험으로 검증불가능한 이론이라는 비판을 받아왔습니다. 그렇지만, 예상과는 플랑크 스케일의 에너지를 만들어내지 않아도 초끈이론을 실험적으로 검증할 수 있을 것이란 주장들이 제기되었습니다, 바로 우주배경복사 그리고 이를 설명하는 인플레이션과 같은 초기우주의 역사가 플랑크 스케일의 물리와 밀접한 연관을 맺고 있다는 것이 알려져 있기 때문입니다.

이에 초끈이론이 예측하는 초기우주의 구조를 이해하는 것이 매우 중요한 문제가 되었습니다. 초기우주의 구조를 이해하기 위해선, 특히 초끈이론을 4차원의 공간으로 컴팩트화 시킬 때 생기는, 모듈라이 장들에 충분한 질량을 부여하는 것과 양수의 우주상수를 얻는 것이 매우 중요합니다. 이러한 모듈라이 장들에게 질량을 부여하는 과정을 모듈라이 안정화라고 부릅니다.

저는 초끈 이론이 내어놓는 반증 가능한 우주론적 예측에 관심을 두고 연구를 진행하고 있습니다. 현재우주와 양립가능한 초끈 우주 모델을 위해선 모듈라이 장의 안정성이 보장되어야 합니다. 특히 인플레이션이 일어나는 기간 동안, 인플라톤과 모듈라이 장 간의 상호작용이 모듈라이 장의 안정성에 어떠한 영향을 끼치는지에 대한 연구를 진행했으며, 액시온 모노드롬 인플레이션 시나리오중 액시온이 D7 막의 위치에 해당 하는 경우 인플레이션이 칼라 모듈라이를 불안정하게 한다는 결론을 얻었습니다. 현재는 모듈라이장들을 안정화하기 위한 칼라비-야우 다양체의 대수기하학적 성질에 대해 중점을 두고 연구를 하고 있습니다.

## 박상우 학생 (Cornell)

저는 코넬대학교 Biophysics에서 박사과정을 밟고 있는 박상우입니다. 유학 가기 전에는 크게 세분의 교수님 연구실에서 개별 연구 및 URP를 진행하였습니다. 최원호 교수님 연구실에서 플라스마 물리를 공부하였고, 정하웅 교수님 연구실에서 네트워크 및 복잡계를 공부하였습니다. 마지막으로 윤태영 교수님 연구실에서 단분자 생물 물리를 공부하면서 Biophysics에 많은 관심을 가지게 되었습니다. 현재는 Matthew Paszek 교수님 연구실에서 초해상도 현미경 (Scanning Angle Interference Microscopy) 개발과 세포막 내 존재하는 Glycocalyx의 길이 및 크기를 바꾼 Toolbox를 이용하여 세포막의 물리적 특성을 연구하고 있습니다. 저는 주로 현미경 개발과 세포막 형광 표지 방법 개발을 하고 있습니다. 또한, 이를 통하여 Compression 상황에서의 세포의 물리적 연구도 같이 진행하고 있습니다.



KAIST 물리학과 뉴스레터에서는 보다 많은 유학생의 다양한 동향을 소개하고자 합니다. 동문 여러분의 소식을 학과로 많이 알려주시길 부탁드립니다. [sphanbit@kaist.ac.kr]



# 물리학과 Donor가 되어주세요

**기부자 :**

강기천	강성희	강정구	고병국	공홍진	곽희동	권인소	김남억	김동진	김민준	김병규
김병윤	김상규	김수용	김승관	김영걸	김영선	김용관	김용우	김용운	김용현	김용훈
김윤수	김윤식	김은성	김을임	김재관	김재옥	김정형	김종진	김필한	김휘민	남창희
남택진	도윤지	류기한	류제경	무기명	문은국	민경옥	박상희	박수경	박승일	박오옥
박용근	박종철	박찬범	박희경	박희숙	방몽숙	배지은	변희수	서기석	서명은	서민교
선종호	성건용	성주연	소민호	손청기	송보광	송정기	송혜숙	신명금	신미혜	신석환
신성철	신성철	신영숙	신유나	신중훈	신창용	신창재	신평재	심흥선	안경원	안재욱
안화수	양문승	양신애	양찬호	여수아	예종철	오명숙	오옥진	우창헌	원종옥	유광자
유승협	유장현	유지연	윤동기	윤춘섭	윤태영	이경찬	이광철	이기혁	이남영	이미영
이미희	이병웅	이병훈	이상희	이성빈	이성식	이성진	이수중	이순철	이영훈	이용희
이우훈	이운정	이원희	이은강	이은재	이재형	이정일	이준엽	이진환	이진환	이한석
이해웅	임현근	장기주	장석복	장충석	장홍영	장홍영	정광화	정규수	정미정	정선은
정성웅	정용우	정우성	정지연	정하웅	정호승	조계춘	조영주	조용훈	조증숙	주강현
주무정	차대길	차상길	최광옥	최덕현	최삼관	최석봉	최영석	최원호	최형순	하진원
한동일	한우현	함진호	홍석태	홍순미	홍영은	황인선	황종택	황흥구	David Helfman	

FABIAN ROTERMUND	(재)동화산업장학재단	에스케이하이닉스 주식회사	유일기계공업(주)
(주)피큐브	(주)하이로닉	(주)맥스엔지니어링	(주)주성엔지니어링
(주)플라즈마트	(주)한빛레이저	조안상사(주) 제주지점	(조)안베어뮤지엄

**용 도 :** 물리학과 장학, 시설/건축, 행사, 학술연구활동, 도서확충 기금으로 활용

저희 KAIST 물리학과 발전과 도약을 위한 노력에 후원을 부탁드립니다.

여러분들의 후원에 최고의 과학인재 양성으로 보답하겠습니다.

후원 방법은 물리학과 사무실 (042-350-2599)로 전화 주시면 상세히 안내해 드리겠습니다.