

2019 Vol.03

차세대리포트



과학은 끝없이 증명할 뿐이다

양자 기술



차세대리포트 2019 Vol.03

양자 기술

과학은 끝없이 증명할 뿐이다

펴낸곳

한국과학기술한림원
031)726-7900

펴낸이

한 민 구

발행일

2019년 12월

홈페이지

www.kast.or.kr

기획·편집

배승철 한림원 정책연구팀 팀장
이동원 한림원 정책연구팀 주임
조은영 한림원 정책연구팀 주임
박주이 한림원 정책연구팀 주임

디자인·인쇄

경성문화사
02)786-2999

이 보고서는 복권기금 및 과학기술진흥기금의 지원을 통해 제작되었으며,
모든 저작권은 한국과학기술한림원에 있습니다.

발간사

지난해 한국과학기술한림원은 젊은 과학자들의 생각과 아이디어를 담은 정책제안서인 ‘차세대리포트’를 신설했다. ‘젊은 과학자를 위한 R&D정책’, ‘과학자가 되고 싶은 나라를 만드는 방법’ 등의 주제에 대해 우수한 젊은 과학기술인 그룹인 ‘한국차세대과학기술한림원(Young Academy of Science and Technology, Y-KAST)’ 회원들의 목소리를 담았다. 이를 통해 정책관계자들에게 새로운 정책의 실마리를 제공하고 과학기술계에서 소통과 공감을 이끌어내는데 조금이나마 일조하고자 했다.

특히 ‘영아카데미, 한국과학의 더 나은 미래를 위한 엔진’을 주제로 발간된 차세대리포트 2018-04호에서는 Y-KAST로 모인 젊은 과학기술인들은 어떤 목적을 향해 무슨 일들을 해나가야 하는지에 대한 설문조사와 소규모 인터뷰를 진행한 바 있다. 흥미롭게도 이들은 성별, 지역, 전공분야에 상관없이 일치된 바람을 드러냈다. **Y-KAST는 정부와 젊은 연구자들 사이의 통로로 기능해야하며 차세대회원들은 후속세대 양성에 대한 깊은 책임감으로 미래를 위한 나침반이 되어야 한다**고 입을 모았다.

올해 차세대리포트는 이들이 제기한 두 개의 목표를 향해 나아갈 수 있는 발판이 되기를 바란다. 미래 핵심기술(머신러닝, 수소기술, 양자기술)의 연구개발 이슈와 함께 해당 분야에서 우리나라가 확실한 우위를 선점하기 위해서는 어떤 정책적 지원이 필요한지 살펴보고, 이공계 인재들이 진로를 선택하는 데 있어 도움이 될 만한 생생한 정보를 전달하고자 한다.

차세대리포트 제3호에서는 반도체와 전자공학, 첨단 정보통신 기술 등을 통해 현대 문명에 지대한 영향을 끼치고 있는 양자기술에 대해 다루고자 한다. 보이지 않는 원자 세계의 이해를 바탕으로 컴퓨터와 스마트폰, 레이저와 원격통신, 원자시계와 GPS를 넘어 이제 양자컴퓨터에 이르기까지 21세기 인류의 새로운 대도약을 꿈꾸게 하고 있는 양자 혁명의 이모저모를 살펴보고 해당 분야를 선도하기 위해 필요한 과학기술정책까지, 현장에서 직접 연구하고 있는 젊은 과학자들의 생각과 아이디어를 담았다. 이들이 전하는 목소리가 개개인뿐만 아니라 국가의 미래를 치열하게 고민하는 청소년들과 정책입안자들에게 작은 빛이 될 수 있기를 기대한다.

함께해주신 분들



고려대학교
물리학과 교수

박홍규

양자암호기술의 핵심 소자인 차세대 단일광자원 개발과 함께 광자의 제어 기술 연구에 힘쓰고 있다. 나노레이저에 미세한 압력이 가해지면 레이저 색깔(파장)이 바뀌는 것을 이용해 민감도가 뛰어나고 측정범위가 넓어진 압력 센서를 세계 최초로 개발했다. 미시세계에서 일어나는 양자역학적 특성들에 대해 이해하기 쉽게 설명하는 한편, 양자역학의 공학적 응용과 실생활에 미치게 될 영향들에 대해 구체적인 전망을 소개했다.

서울대학교
물리천문학부 교수

신용일

원자시계와 레이저, 정밀측정기술 등 현대 산업의 중요한 기초지식들을 제공하고 있는 원자물리학 분야의 연구자이다. 최근 낮은 온도에서 발현되는 양자물성을 밝히는 데 필요한 극저온 원자기체 실험 기술 개발에 연구력을 집중하고 있다. 양자기술이 불러올 사회경제적 변화상과 함께 향후 국제무대를 선도하기 위한 R&D정책에 대한 방향성을 제시했다.



서울대학교
물리천문학부 교수

양범정

응집물질물리 분야의 촉망받는 젊은 연구자이다. 원자들의 집단체에서 발현되는 독특한 형질의 탐구를 통해 기존의 물질로는 상상하기 어려웠던 혁신적인 미래 소재의 가능성을 찾고 있으며, 특히 부도체와 도체의 성질을 동시에 가지는 위상물질에 대한 연구로 주목받고 있다. 본 리포트에서는 양자기술 시대의 신진연구자 육성을 위한 다양한 정책방향들을 제안했다.





들어가기 : 퀀텀점프(Quantum jump)의 입구	06
의제 1 양자 세계를 향한 과학자들의 항해	
1. 창과 방패, 양자컴퓨터와 양자암호기술	10
2. 세상의 기준은 원자가 결정한다	14
3. 도체면서 부도체, 매력적인 혼종 위상물질	19
의제 2 기초가 미래를 결정한다	
1. 지식의 경계를 개척하는 사람들	24
2. 연구실에서 학생들이 사라진다	25



퀀텀점프(Quantum jump)의 입구



양자기술에 대한 세간의 시선이 이례적이라 할 만큼 뜨겁다. 지난 9월 구글의 양자 컴퓨터 개발 소식이 중대한 도화선이 됐다. 연일 “꿈의 컴퓨터, 제2의 스푸트니크, 전 세계 치열한 개발 경쟁” 등의 헤드라인이 신문지면을 장식하는 가운데 관련 기술의 파급력을 전망하는 각계 전문가들의 움직임 역시 부쩍 잦아지고 있다.

◆ 양자기술의 조용한 파장

파장은 과학계를 넘어 사회 곳곳에서도 감지되고 있다. 대중적 관심의 척도인 유튜브에 양자기술 관련 영상이 급속도로 늘고 있으며 소수의 전공자들이나 찾았을 법한 양자역학 서적들이 베스트셀러 순위에 진입하는 기현상도 빚어지고 있다. 극장가에서는 ‘인터스텔라’가 촉발한 상대성이론 열풍이 ‘어벤저스 엔드게임’, ‘앤트맨과 와스프’ 등의 흥행작들을 통해 양자역학으로 옮겨 붙는 모양새다.

양자역학은 상대성이론과 함께 현대 물리학을 떠받치는 두 개의 큰 기둥 중 하나이다. 20세기 이후의 물리학 연구는 대부분 이 두 개의 큰 기둥 사이를 오가며 이뤄지고 있다고 해도 과언이 아니다. 상대성이론이 우주를 상대한다면, 양자역학은 원자라는 미시세계를 파고들며 자연의 진실을 찾고 있다.

자연계의 이해와 응용은 인류 문명을 이전과는 전혀 다른 차원으로 이끄는 힘의 원천이다. 그간 잘 알려지지 않았을 뿐, 양자역학 역시 이미 오래 전부터 우리의 삶 구석구석에 지대한 영향을 미쳐 왔다. 현대인들의 일상이 된 전자기기와 화학소재, 생명과학과 의료기술에 이르는 첨단문명 대부분이 원자라는 미시세계의 이해 없이는 탄생하지 못했을 것들이다.

1987년의 영화 ‘백 투 더 퓨처’는 길거리에서 전자기기로 정보를 검색하는 미래를 그리고 있다. 자연 상태의 물질은 모두 도체 혹은 부도체 둘 중의 하나여야 했던 고전역학의 틀을 넘어 전자들의 성질을 제어하는 반도체의 존재를 설명할 수 있게 한 양자기술은 영화 속 상상에 불과했던 미래를 불과 30여 년 만에 더 이상 새로운 것 없는 일상으로 만들어버렸다.

하루 일과 대부분을 함께하는 스마트폰과 노트북, 집안을 밝히는 조명과 텔레비전, 나노기술이 적용된 기능성 의류, 건강검진을 위한 MRI와 유전자검사, 레이저와 원격통신 등 21세기 거의 모든 과학기술의 바탕에 양자역학이 존재하고 있다. 우리는 이미 양자기술 없이는 한 발자국도 나아가지 못하는 세상에 살고 있는 것이다.

● 양자기술이란?

양자론의 개척자이자 천재 물리학자였던 리처드 파인먼 교수가 1982년에 더 이상 나눌 수 없는 에너지 최소단위인 양자(量子, Quantum)의 성질을 컴퓨터 개발에 활용하는 아이디어를 내면서 시작됐다. 양자의 중첩성·불확정성·비가역성·얽힘 원리를 활용해 0 또는 1 하나만 표현하는 기존 컴퓨터에 비해 0과 1을 동시에 가지게 되어(큐비트 Qbit-양자컴퓨터의 정보처리 단위) 폭발적 능력을 발휘한다. 본 고에서는 양자기술을 양자역학을 증명하기 위한 기술과 상용화하기 위한 기술을 모두 포함하는 개념으로 다루고자 한다.

◆ [표 1] 양자의 기본 개념과 특징(자료: 정지형 외(2019))

명칭	속성	양자의 특징
양자 (Quantum)	<ul style="list-style-type: none"> • 더 이상 작게 나눌 수 없는 에너지의 최소 단위를 가진 입자 상태 	<ul style="list-style-type: none"> • (중첩성) "0" 또는 "1"의 상태 값을 가지면서 중첩상태("0"이면서 동시에 "1"인 상태)의 선형결합도 형성할 수 있는 성질 • (불확정성) 서로 교환가능하지 않은 물리량(예: 위치와 운동량)을 함께 측정할 때 두 물리량을 동시에 측정할 수 없는 성질
광자 (Photon)	<ul style="list-style-type: none"> • 입자와 파동의 성질을 갖는 빛의 양자상태가 광자(光子, Photon)임 	<ul style="list-style-type: none"> • (비가역성) 양자 상태 측정은 시간에 대해서 되돌릴 수 없는 과정으로 관측 후에는 이전 상태로의 복원이 불가능한 성질 • (얽힘) 거리에 무관하게 두 개의 양자 쌍에 대한 특수 상관관계가 존재하여 무한대의 원격지에서도 하나의 입자 상태 값이 변경되면, 다른 쪽의 양자 상태 값도 즉각적으로 변동하는 성질
양자역학의 역사와 영향력		

하지만 일반인은 물론 해당 분야의 과학자들 역시 누구 하나 선뜻 자신 있게 설명하기 어려운 특유의 난해함으로 인해 대중적인 스포트라이트를 받을 기회가 극히 적었다. 양자역학이 탐구하는 원자의 세계가 고전역학 시대의 상식과 언어로는 도통 표현하기 힘든 이상한 현상들로 가득하기 때문이다.

◆ 대도약의 시대를 살아가다

퀀텀점프(Quantum jump)라는 양자역학 용어가 있다. 원자에 에너지를 가하면 낮은 궤도에서 핵 주위를 돌던 전자가 높은 궤도로 도약하면서 에너지 준위계단을 오르듯 불연속적으로 증가하는 현상을 말한다. 마치 순간이동처럼 보이는 이런 느닷없는 점프의 개념을 경제학이나 증권가에서는 단기간의 비약적 혁신과 실적 호전을 설명하는 단어로 차용하고 있다.

‘패러다임’의 개념을 창안한 미국의 과학사학자 겸 철학자 토마스 쿤은 그의 저서 <과학혁명의 구조>에서 과학 혁명이 개별적 발견이나 지식의 축적에 의해 점진적으로 이루어지는 것이 아니라 급진적이고 혁명적인 사건을 계기로 이루어진다고 말하고 있다.

인간이 자연의 이치를 깨달아온 과정, 즉 물리학의 발전 단계에서도 이런 퀀텀점프 내지 패러다임 교체의 시기들이 있었다. 위대한 자연철학자들의 시대였던 기원전 3세기, 눈에 보이는 자연현상 대부분을 뉴턴역학으로 설명할 수 있게 된 17세기, 그리고 양자역학으로 보이지 않는 물질 내부의 성질을 미리 예측할 수 있게 된 지금이 바로 그런 때에 해당된다. 더욱 고무적인 것은 이 양자 혁명의 시대가 완성형이 아니라 이제 막 무대의 막이 오르는 서막이란 점이다.

최근에는 나노기술, 양자계산과 양자컴퓨터 등으로 양자혁명은 계속되고 있으며, 미시세계를 향한 과학자들의 끝없는 도전 역시 현재진행형이다. 과학자들의 가장 큰 미덕은 자신이 아는 것과 모르는 것을 분명히 구분해 말하는 것이다. 이번 차세대리포트 제작에 함께한 Y-KAST 3인의 차세대회원들 역시 마찬가지이다. 이들은 여전히 아는 것보다 모르는 것이 더 많은 양자의 세계, 계속해서 밝혀질 원자의 비밀들이 인류를 또 어떤 신대륙으로 이끌어갈지 감히 예단하기 어렵다고 말한다. 다만 물리학의 발전 과정을 통해 알게 된 경험법칙 하나에서만큼은 분명한 의견일치를 이루고 있다.

“과학자들의 역할은 풀리지 않는 문제들을 향해 끊임없이 묻고, 실험하고, 증명하는 것입니다. 수많은 불확실성으로 과학자들을 괴롭혀 왔지만 또 어떤 과학이론보다 정확한 예측을 가능하게 하는 양자 현상들의 이해와 통합으로 자연에 대한 인식의 지평이

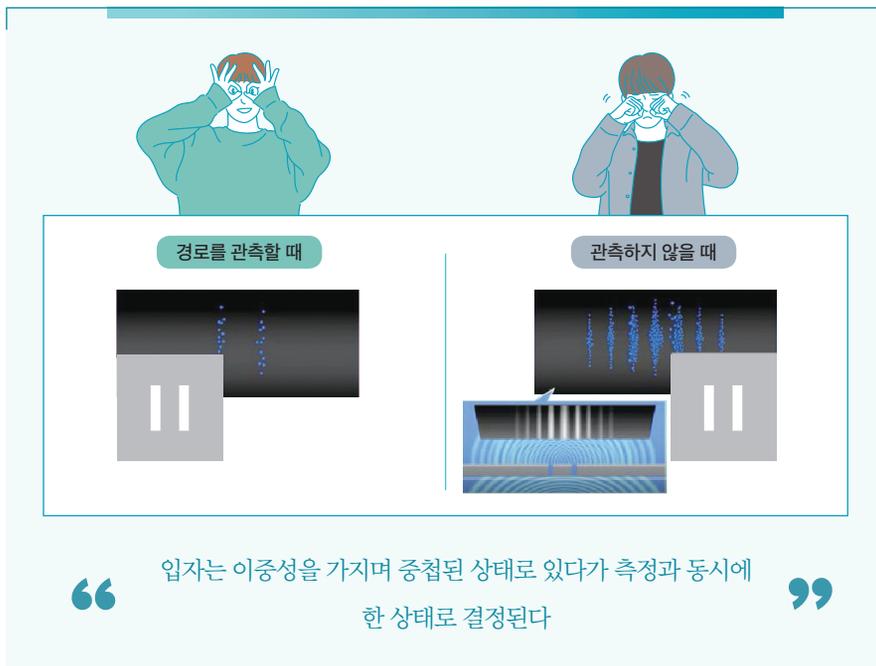
넓어질수록, 우리 혹은 다음 세대가 누리게 될 기회 역시 전에 경험하지 못한 차원으로 확대될 게 분명합니다.”

입자이자 파동인 양자의 상보성처럼, 고전역학의 수호자이기를 원했으나 양자역학의 창시자로 불리게 된 한 물리학자는 이런 이야기를 후세에 남기고 있다. 오늘 이 시간에도 21세기 인간 지식의 최전선인 양자기술의 세계에서 분투를 거듭하고 있는 프런티어들에게는 더없는 위로이자 헌사가 아닐 수 없다.

“ 학문 수행은 그 성향상 다수결 원칙을 절대 받아들일 수 없을 것이다. 이론이건 가설이건, 저급한 인기가 아니라 단지 학문의 순서에서 볼 때 최고인 사람들의 힘겨운 연구를 통해서만 결정된다. ”

-에른스트 페터 피셔, <막스 플랑크 평전>에서

◆ [그림 1] 양자의 기본 개념



☹ 상보성 : 대립적인 것은 상호보완적이다

양자역학은 물질을 입자로 볼 수도 있고, 파동으로 볼 수도 있다는 것에서 시작한다. 상보성(Complementarity)은 “전자의 위치가 확정된 상태에는 운동량이 완전히 결정되지 않고 운동량이 확정된 상태에서는 위치가 결정되지 않는다”는 하이젠베르크의 불확정성 원리에 착안한 닐스 보어의 논리이다. 물질을 이루는 기본입자들은 입자로 취급할 수도 있고, 파동으로 취급할 수도 있지만, 두 성질을 동시에 관찰하는 것은 불가능하다. 입자적 성질을 보고자 하면 파동적 성질을 볼 수 없으며, 파동적 성질을 보고자 하면 입자적 성질을 볼 수 없다는 것이다. 마치 동전의 양면을 동시에 보기 어려운 것과 같다. 전자는 물질을 이루는 기본 입자이지만 양자역학적으로 파동성을 갖는다. 그래서 가속기에서는 전자들을 입자처럼 취급할 수 있지만 전자현미경에서는 파동처럼 취급할 수 있다.



양자 세계를 향한 과학자들의 항해

1. 창과 방패, 양자컴퓨터와 양자암호기술



중국 전국시대의 초나라에서 창과 방패를 파는 상인이 “이 창은 예리하기로 어떤 방패라도 꿰뚫을 수가 있다. 그리고 이 방패의 견고함은 어떤 창으로도 꿰뚫지 못한다”고 자랑하였다. 어떤 사람이 “자네의 창으로 자네의 방패를 찌르면 어떻게 되는가?” 하고 물었더니 상인은 대답하지 못하였다.

고사성어 모순(矛盾)의 이야기는 양자컴퓨터와 양자암호의 미래상이기도 하다. 양자정보기술(Quantum information technology)은 중첩과 얽힘, 관측의 영향에 따라 정보가 바뀌는 양자 현상을 통신과 정보처리, 암호화 등에 사용하는 것이다.

◆ 성큼 다가온 ‘양자 우위’ 시대

현재 우리가 쓰는 디지털 컴퓨터는 정보의 기본단위인 비트가 0과 1 중 어느 하나를 취한다. 반면 양자컴퓨터는 중첩의 성질을 이용하는 정보의 기본단위 큐비트가 0과 1의 양쪽값을 동시에 취한다. 또 얽힘 현상으로 큐비트가 추가로 연동될 때마다 성능이 기하급수적으로 높아져 동시에 막대한 연산을 수행할 수 있다. 기존의 비트로 00, 01, 10, 11의 네 값 중에 하나만 처리할 수 있다면, 2개의 큐비트로 이 네 개를 동시에 모두 처리할 수 있는 것이다.

현재의 슈퍼컴퓨터로는 수십에서 수백 페타바이트(PB·1PB는 10^6 기가바이트) 정도의 데이터를 처리할 수 있는데, 이는 50큐비트를 비트로 환산한 것과 비슷하다. 즉 50큐비트보다 높은 연산 속도를 가진 양자컴퓨터를 개발하면 현존하는 슈퍼컴퓨터를 뛰어넘는 ‘양자 우위’를 달성할 수 있는 것이다.

양자컴퓨터는 양자 현상을 이용하기 때문에 초저온 초고진공 상태가 필요하다. 온도와 진동 등 아주 미세한 변화에도 양자 거동이 붕괴되기 때문이다. 그 탓에 양자컴퓨터의 가능성은 오래 전부터 알려졌지만 상용화가 가능할지는 미지수였다. 기존 컴퓨터에 최적화된 알고리즘으로 양자 컴퓨팅 연산을 할 수 없다는 것도 문제였다.

하지만 구글은 고성능의 양자 논리 게이트로 구성된 '시카모어' 프로세서를 개발하고 기존 슈퍼컴퓨터로 1만 년에 걸쳐 수행해야 하는 연산을 불과 200초 만에 해결할 수 있다는 논문을 게재했다. IBM과 인텔 등의 경쟁자에 앞서 기술력의 우위를 과시하려는 것일 뿐 여전히 양자컴퓨터의 실용화는 미래의 일이라는 평가가 지배적이지만, 곧 양자컴퓨터를 이용해 AI연구, 신약 개발, 에너지 및 우주 등의 분야에서 다양한 난제를 해결할 수 있게 되리라는 기대감이 점점 더 높아지고 있다.

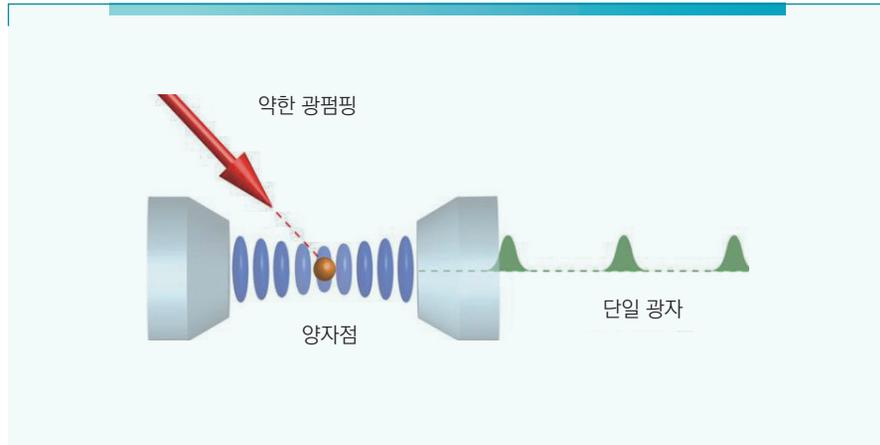
이런 가운데 특히 양자컴퓨터 개발에 대한 기대감 내지 우려가 더욱 큰 분야는 안보 분야이다. 고성능 양자컴퓨터의 실현은 현존하는 암호체계의 붕괴를 의미한다. 핵무기처럼 어떤 재래식 무기로도 대응이 어려운 비대칭 전력의 등장하게 되는 셈이다.

◆ 양자암호의 핵심 ‘단일광자원’

고전적인 암호 기술은 소인수분해가 기반이다. 기존의 디지털 컴퓨터로는 이 문제를 풀기가 쉽지 않다. 자릿수에 따라 계산 시간이 기하급수적으로 늘어나기 때문이다. 하지만 1990년대 중반 미국 벨연구소의 응용수학자 피터 쇼어가 양자컴퓨터로 소인수분해를 쉽게 할 수 있는 알고리즘을 개발했다. 만약 이 알고리즘을 수행할 수 있는 양자컴퓨터가 완성된다면 기존 암호체계의 무력화는 시간문제다.

이에 따라 미국과 중국, 영국, EU 등의 국가들은 양자컴퓨터 이상으로 양자암호 개발에 팔을 걷어붙이고 있다. 우리나라의 대학과 연구소, 기업들 역시 높은 보안성의 양자암호기술을 개발하기 위한 연구를 추진하고 있다. 이 가운데 특히 관심을 끌고 있는 분야는 양자통신과 정보처리 기술의 핵심 소자인 ‘단일광자원’ 연구이다.

◆ [그림 2] 단일광자원의 구현



수많은 빛 알갱이들이 오가는 광통신과 달리 하나의 광자, 즉 단일광자원 방식의 암호기술은 양자역학의 기본원리 중 하나인 불확정성의 원리에 근거를 두고 있기 때문에 양자 정보의 복사가 불가능하고, 양자 측정이 비가역적이어서 도감청이 원천적으로 불가능해진다.

양자정보통신을 위한 고효율의 순도 높은 단일광자원 개발에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 반도체 기반의 양자점(Quantum dot)이나 다이아몬드 내에 존재하는 질소정공(Nitrogen vacancy)을 이용하여 단일광자원이 개발되고 있다. 좁은 선포의 방출 곡선과 광자 안티번칭 현상(Photon antibunching)을 측정함으로써 단일광자의 명확한 특성을 확인하고 있다. 하지만 이 물질들은 높은 굴절율로 인하여 광추출 효율이 낮다는 단점을 갖는다.

최근 국내에서 진행되고 있는 단일광자원 연구 중 주목할 만한 것은 원자수준으로 얇은 2차원 물질인 전이금속 칼코젠(Transition-Metal Dichalcogenides, TMDs)을 이용하는 것이다. 얇은 층 전이금속 칼코젠 화합물은 2차원이라는 구조적 특징으로 인해 구조에 의한 전반사를 고려할 필요가 없기 때문에 발생하는 빛의 광 추출효율에 있어서 1차원 또는 3차원 물질과 비교하여 매우 높은 광 추출효율을 갖는다.

반도체 전이금속 칼코젠 물질 중 하나인 텅스텐 셀레늄 화합물(WSe_2)은 가시광 영역에서 직접 밴드갭을 갖는 물질로, WSe_2 내부의 결함이 단일 광자를 방출하는 것으로 보고되고 있다. 하지만 WSe_2 에서 광자 방출의 중심 역할을 하는 결함의 분포는 무작위이기 때문에 소자로 개발하려는 목적으로 제어하기 매우 어려워 단일광자원을 이용한 양자 광소자 응용을 가로막는 요소가 되고 있다.

우리나라 연구진은 이런 문제점을 극복하기 위해 원자 수준의 얇은 전이금속 칼코젠 2차원 물질을 이용하는 단일광자원의 위치를 제어하고, 방출되는 광자의 공간적·광학적 특성을 정밀하게 측정하는 기술 개발에 주력하고 있다. 단일층 텅스텐 셀레늄 화합물(WSe₂) 또는 몰리브덴 설파이드 화합물(MoS₂)에 제어가 가능한 나노-스트레인을 국부적으로 가하는 방법을 사용해 엑시톤을 구속할 수 있음을 증명하는 게 목표이다. 연구진은 이러한 국부적 스트레인을 이용한 보어 반지름 수준의 정밀하고 효과적인 엑시톤 구속 기술이 안정적이고 사용이 편리한 차세대 단일광자원 개발에서 중요한 일익을 담당하게 될 것으로 기대하고 있다.

☉ 양자위성 '묵자(墨子)'와 스텔스 쫓는 양자 레이더



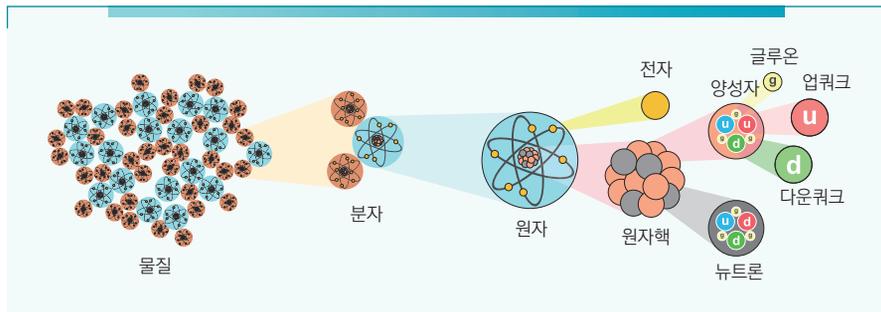
자료 : Popular Mechanics, 'How Quantum Radar Could Completely Change Warfare' by Kyle Mizokami

인공지능의 주도권을 둘러싼 미·중 간 패권전쟁은 현재 양자기술로도 빠르게 전장이 확대되고 있다. 한 발 앞선 쪽은 중국이다. 이미 수 년 전부터 양자 통신기술 분야에서 우위를 점하기 위해 기초 연구에 매달려온 중국은 2014년 베이징과 상하이를 잇는 2,000km 구간의 양자정보통신 기간망을 구축한 데 이어, 2016년에는 세계 최초의 양자통신 실험위성 미쉴스(Micius, 묵자) 발사에 성공했다. 중국 과학기술대 연구진은 발사 이듬해인 2017년 이 양자통신위성을 이용해 약 1,200km 떨어진 지저들 간의 광자 전송에 성공했다고 발표했다. 제3자가 훔쳐보는 순간 양자 상태가 달라져 정보의 내용이 변해버리기 때문에 원천적으로 해킹이 불가능한 양자 암호 통신을 이용해 가장 먼 거리까지 신호를 주고받은 것이다. 중국의 실험은 대량의 정보를 순식간에 원격 이동시킬 수 있는 양자 얽힘의 공간적 거리가 1,200km에 달할 수 있다는 사실을 세계 최초로 증명한 것이기도 하다. 최근 미·중·러 등 군사강국들은 '스텔스 킬러'로 불리는 양자 레이더 개발에도 열을 올리고 있다. 양자 레이더는 얽힘, 결 어긋남 등의 양자 현상을 레이더 탐지 영역에 적용해 기존에 탐지가 어려웠던 스텔스기를 원거리에서 탐지할 수 있도록 하는 기술이다. 2008년 F-35 스텔스 전투기 제조사인 미 록히드마틴사가 스텔스 비행체의 원격탐지를 위한 양자 레이더 관련 특허를 공개하였고 MIT 역시 저반사체 탐지를 위한 양자 조명이론을 제시한 바 있다. 중국은 2016년 정부 산하 군사기술업체가 개발한 양자레이더가 100km 밖의 스텔스 목표물을 탐지하는 데 성공했다고 발표했다. 우리 군 역시 2019년 7월 양자 레이더의 자체개발 착수를 공식화했다.

2. 세상의 기준은 원자가 결정한다

진동은 우주에 존재하는 가장 근본적인 물리현상입니다. 기본적으로 모든 물체는 떨고 있는 것이지요. 원자에도 진동이 있습니다. 같은 종류의 원자는 같은 주기의 내부 진동을 갖는데, 이를 이용해 “ 시간의 초(Second)가 결정되었습니다. 또한 이 진동은 외부 환경에 민감하게 반응하여 중력 등의 아주 미세한 영역을 정밀하게 측정하는데 사용됩니다. 극저온에서는 원자가 움직임이 거의 없는 정지 상태가 됩니다. 이러한 느린 원자들이 무리지어 있을 때 새로운 양자물성이 발현되기도 합니다.

◆ [그림 3] 물질의 구성 요소



약 2,500년 전 그리스의 자연철학자 데모크리토스는 세상의 모든 물질이 믿을 수 없을 만큼 작은 존재들의 합이라는 주장을 펼치고 이것에 아토모스(Atomos)라는 이름을 부여했다. 원자(Atom)의 어원인 아토모스는 그리스어로 ‘더 이상 나눌 수 없다’는 뜻이다.

데모크리토스가 다양한 크기와 질량, 구조를 갖고 있을 것이라 유추했던 원자의 실체가 실험을 통해 증명되기 시작한 것은 18세기에 이르러서다. 1897년 톰슨의 음극선 실험을 통해 원자들이 더 작은 입자들로 구성되었음이 알려졌다. 1911년 러더퍼드는 얇은 금박에 알파선을 보내는 실험으로 원자 내부가 텅 비어 있고 원자핵 주위를 전자가 회전할 것이라는 원자모형을 발표한다. 하지만 전자기학에 따르면 원 운동은 하는 전하는 외부로 전자기파를 방출해야 하고, 에너지를 잃은 전자는 나선형 궤도를 그리며 원자핵으로 떨어져야 했다. 원자 속 전자가 어떤 모습으로 존재하는지 알기 위해서는 원자 내부에 대한 더 많은 정보가 필요했다.

◆ 분광학에서 원자물리학으로

19세기에 이르자 스펙트럼을 이용해 빛의 파장별 또는 진동수별 세기를 연구하는 분광학이 매우 발달했다. 태양의 빛을 프리즘에 통과시키면 수많은 검은 선이 보이는데, 이것이 태양의 흡수선 스펙트럼이다. 많은 실험실에서 기체를 연구하기 위해 분광계를 사용하기 시작했으며, 전기방전관에 기체를 넣고 관을 통해 전류를 흘려서 기체가 방출하는 빛을 연구했다.

1895년 X선이 발견되었고 이듬해에는 방사선이 발견되었다. 1913년 보어는 방사선이 원자핵에서 나오는 것이라 생각하고 핵 주위 전자운동에 양자 개념을 도입해 고전물리학으로 이해되지 않았던 수소 원자의 스펙트럼 규칙성을 훌륭하게 설명해낸다.

원자물리학은 이런 원자의 스펙트럼을 이해하기 위한 시도에서 비롯된 학문이라 해도 좋을 것이다. 전자의 운동과 관련된 지식은 주로 전자가 방출 또는 흡수하는 빛의 스펙트럼에서 얻을 수 있기 때문에 분광학의 발전은 원자물리학의 중요한 기반이 됐다. 20세기의 과학자들은 분광학이 사용할 수 있는 빛의 파장의 범위가 점점 더 넓어짐에 따라 얻을 수 있는 원자의 정보는 비약적으로 증가했다.

빛과 전자가 파동이자 입자라는 양자역학의 이론이 원자물리학 실험들을 통해 명백히 증명되었고 이는 인류의 물질관에 큰 변혁을 불러 일으켰다. 원자물리학을 통해 넓어진 양자 세계의 이해는 원자시계와 레이저 같은 현대 산업의 중요한 기초기술들을 탄생시켰고, 빛을 이용한 고도의 정밀측정기술은 2016년 일반 상대성이론이 예측한 현상들 가운데 마지막까지 풀리지 않고 있던 중력파의 실체마저 증명했다. 아인슈타인이 그 존재를 예언한 지 꼭 100년 만의 일이었다.

◆ 고요한 원자들의 이상한 물성

단 한 세기만에 놀라운 발전을 거듭한 원자물리학 실험기술은 레이저와 자기장 제어 기술의 발달로 또 다른 전기를 맞고 있다. 20세기의 원자물리학 실험이 원자의 빛을 수동적으로 관측하는 데 머물렀다면, 오늘날은 공기 중에서 초속 300m로 이동하는 원자를 원하는 위치에 붙잡아두고 측정할 수 있을 만큼 능동적인 수준에 이르고 있다.

이렇게 원자의 속도와 위치가 거의 정지 상태에 이르면 원자는 입자보다 파동처럼 행동하게 되는데 여기서는 또 다른 이상한 현상들이 나타나기 시작한다. 고요한 상태의 원자들이 가만있는 것이 아니라 서로 모종의 상호작용을 하며 특이한 물성을 발현하는

것이다. 낮은 온도에서 발견된 고온 초전도체와 양자 자성체 등도 고체 내 전자들의 상호작용으로 발현된 특이 물성들이다.

하지만 고온 초전도체와 양자 자성체 등의 양자물성은 발견 초기부터 많은 관심을 받아왔음에도 불구하고 여전히 근본적인 이해를 구하지 못하고 있다. 변수들에 대한 통제가 어렵고 완벽히 깨끗한 시료를 만드는 게 불가능한 고체 시료 실험의 한계 때문이다.

반면 최근 국내에서도 활발한 연구가 이뤄지고 있는 ‘극저온 원자기체 실험’은 고도의 변수 통제가 가능하다. 극저온 원자기체는 수백 나노 켈빈의 온도까지 냉각된 원자기체로, 이 상태에서는 기체를 구성하는 원자들의 움직임이 철저하게 통제되어 보다 미세하고 정밀한 물리 현상 연구가 가능하다.

특히 원자기체는 많은 수의 입자로 구성된 다체계 시스템으로 낮은 온도에서 발현되는 양자물성 연구에 새로운 실험 방법을 제공하고 있다. 이로 인해 극저온 원자기체 실험기술은 기초 상수의 정밀 측정, 양자정보기술뿐만 아니라 미래 신물질 개발에서도 중요한 원동력이 될 것으로 기대를 모으고 있다. 점성이 사라져 마찰 없이 영원히 회전할 수 있는 초유체(超流體, Superfluid) 현상, 전기저항이 0이 되는 초전도 현상이 대표적인 다체계 양자물성이다.

◆ 고온초전도 현상이 구현된다면

양자물성 연구를 위한 극저온 원자기체 실험기술들 가운데 최근 가장 주목받는 기술로는 ▲나노 켈빈 냉각 기술 ▲광격자 기술 ▲상호작용 조절 기술 ▲유효 자기장 생성 기술 등을 꼽을 수 있다.

나노 켈빈 냉각 기술은 레이저 냉각과 증발 냉각이라 불리는 기술들을 사용한다. 원자는 운동량을 갖는 광자를 흡수·방출하면서 힘을 받게 되는데, 이때 원자의 움직임과 반대방향으로 진행하는 광자를 선택적으로 잘 흡수하고 방출하도록 유도하여 원자의 움직임을 늦추는 것이 레이저 냉각 기술의 핵심이다. 마치 날아가는 야구공에 수만 개의 탁구공을 반대 방향으로 충돌시켜 야구공이 날아가는 속도가 느려지도록 하는 것과 비슷하다.

원자기체가 양자 현상을 보이기 위해서는 수백 나노 켈빈까지(원자 속도로 환산하면 약 수 cm/s) 냉각되어야 하는데, 이러한 나노 켈빈 영역으로 가기 위해서는 추가적인 증발 냉각 기술이 필요하다. 이는 원자기체를 구성하는 원자들 중 빠르게 움직이는 원자들만을

양자기체 실험에서 주목할 만한 또 다른 핵심 기술은 입자 간의 상호작용을 조절할 수 있는 기술이다. 양자물성은 입자들 간의 상호작용을 통해 발현된다고 볼 수 있는데, 이 상호작용의 세기를 조절할 수 있다면 보다 체계적인 양자물성 연구가 가능해진다. 최근 자연이 허락하는 최대치의 입자 간 상호작용을 갖는 페르미 기체가 상호작용 조절기술을 통해 구현된 바 있다. 대체로 페르미 기체는 금속, 반도체 내부의 전자나 중성자별 내부의 중성자 등으로 생각할 수 있다.

페르미 기체는 서로 잡아당기는 상호작용이 있을 경우 낮은 온도에서 초유체로의 상전이를 일으키는 것으로 알려져 있다. 이는 고전적인 초전도체의 상전이를 설명하는 물성이다. 최근 강하게 상호작용하는 페르미 기체에서 초유체성이 발현되는 것이 관측되었고, 이러한 연구는 고온 초전도체 현상의 물리적 이해를 위한 연구로 확장되고 있다. 고온 초전도체에 대한 이해를 바탕으로 상온에서 초전도체가 되는 물질이 구현된다면 에너지 손실이 없는 송전 시스템과 MRI, 초미세 전자소자 등 실생활에서도 큰 혁신을 불러일으킬 수 있게 된다.

또한 최근 원자의 스핀 혹은 유사 스핀 구조를 이용하는 ‘유효 자기장 기술’의 등장은 고자기장 현상을 연구할 수 있는 가능성을 높이고 있다. 양자물성 원자기체 실험의 근본적인 한계 가운데 하나는 원자가 중성입자라는 점이다. 이는 자기장 하에서 전자계가 보이는 다양한 현상들, 즉 양자홀 효과 등의 연구가 제한적이라는 의미이다.

자기장은 벡터 포텐셜로부터 유도되는데, 이 벡터 포텐셜은 양자역학적으로 위치에 의존하는 위상분포를 제공하는 역할을 한다. 레이저 빔과 원자의 결합 시에 공간상의 레이저 빔의 위상 변화로 인해 원자에게 유효 벡터 포텐셜이 생성된다. 이러한 기작을 이용한 유효 자기장 생성이 최근 중성원자 실험에서 확인되었다. 특별히 설계된 레이저 빔 환경 하에서는 유효 고자기장, 특히 유효 스핀-궤도 결합 효과도 얻을 수 있음이 확인되었다.

3. 도체면서 부도체, 매력적인 혼종 위상물질



“ 인류의 역사는 석기 시대, 청동기 시대, 철기 시대로 구분됩니다. 어떤 재료를 주로 사용하였는지를 기준으로 역사의 발전 단계를 구분하는 것이지요. 그만큼 재료가 중요합니다. 현재는 반도체 시대라고 할 수 있습니다. 그중에서도 위상물질은 특별한 반도체라고 할 수 있지요. 현재 응집물질물리 분야에서 시시각각 전 세계의 경쟁이 가장 치열한 분야가 바로 위상물질 연구입니다. ”

앞서 본 원자기체 실험기술의 급격한 발전은 1995년 보스-아인슈타인 응집 현상을 최초로 관측할 수 있게 했다. 보스-아인슈타인 응집 현상은 양자역학의 태동기인 1920년 보스와 아인슈타인이 제시한 개념으로 많은 수의 보존 입자들이 낮은 온도에서 동일한 바닥 양자상태에 모이는 현상을 가리킨다.

매우 낮은 온도가 되면 원자들 사이의 거리가 좁아져 중첩(Superposition) 현상이 일어나는데, 이 과정에서 어느 순간 원자들이 내놓는 물질파들의 결이 맞아 하나의 거대 입자처럼 행동한다. 이 순간이 보스-아인슈타인 응축 순간이다.

응집물질물리학은 물질이 응집된 상태의 물리적 특성을 다루는 분야이다. 가장 흔하게 접할 수 있는 응집 상태로는 액체나 고체 같은 것을 들 수 있고, 조금 더 특이한 응집 상태는 일부 물질을 저온으로 냉각시켰을 때 볼 수 있는 초전도 현상, 원자 격자의 스핀이 이루는 상인 강자성, 반강자성, 그리고 극저온에서 볼 수 있는 보스-아인슈타인 응축물 등이다.

응집물질물리 연구자들의 주요 관심사 중 하나는 보스-아인슈타인 응축물처럼 많은 수의 입자로 구성된 다체계 시스템에서 나타나는 이상한 양자물성이다. 다체계 양자물성은 물리계를 구성하는 입자 개개의 움직임으로는 단순히 이해될 수 없는 물성들이 상호작용하는 많은 수의 입자 간 응집 효과로 발현되는 것을 의미한다.

그 가운데 특히 최근 큰 관심의 대상이 되고 있는 것이 일반 금속이나 반도체와 다른 독특한 성질을 지녀 ‘별난 물질’로 불리는 위상물질이다.

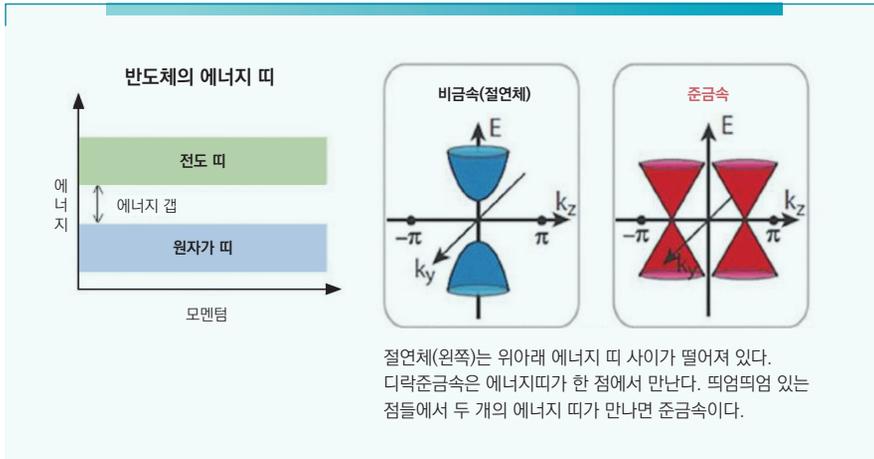
◆ 위상절연체에서 위상준금속으로

위상물질 중 가장 먼저 발견된 것은 ‘위상 절연체(Topological insulator)’다. 최근 몇 년 사이 위상절연체 연구는 매우 급속한 발전이 있었고 이에 대한 과학계 전반의 관심도 비례하여 높아졌다. 물질 내부는 전기가 흐르지 않는 절연체인데도 불구하고 물질의 표면은 전류가 잘 흐르는 도체 성질을 가진 이 물질은 이제까지의 상식에서 벗어나는 독특한 물질로서, 위상절연체의 발견은 물질에 대한 학문적 이해를 한 단계 높은 수준으로 끌어 올렸다. 또 위상절연체가 가지는 전자 산란에 관한 특이한 성질 때문에 기존의 다른 물질로는 구현하기 어려웠던 소자를 구현할 수 있다는 가능성들도 제시되고 있다. 위상절연체는 에너지의 손실 없이 전기 전도가 가능하기 때문에, 최근에는 저전력 소자, 양자컴퓨터 등의 소재로 주목받고 있다.

위상절연체의 특성은 원자번호가 큰 물질인 비스무트와 셀레늄 등의 화합물에서 잘 나타난다. 원자구조가 큰 이들은 ‘스핀 궤도 결합’이라는 물리적 특성이 강하다. 전자의 스핀과 전자의 궤도가 서로 상호작용한다. 즉 전자가 돌고 있는 원자 내 궤도가 바뀌면 전자의 스핀 방향이 달라질 수 있으며, 이로 인해 위상성질의 변화가 생길 수 있다. 가벼운 원소로 된 물질에서는 위상성질이 중요하지 않지만, 무거운 물질인 비스무트와 셀레늄 등을 잘 조합하면 위상물질이 될 가능성이 높다.

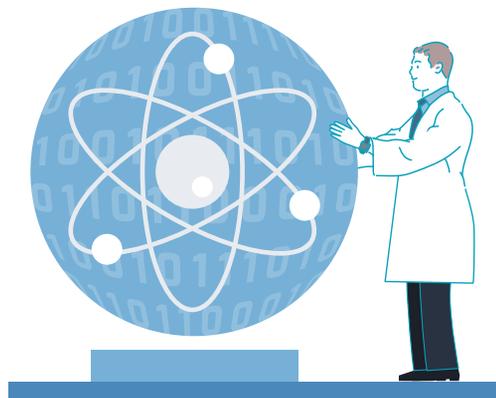
응집물질물리 분야의 연구자들은 위상절연체에 이어 위상준금속(Semi-metal)도 찾아냈다. 응집물질의 기본 물성은 페르미 준위(Fermi level)에 존재하는 저에너지 들뜸(Low energy excitations)을 기술하는 입자의 종류와 이들 간의 상호작용을 통해서 이해할 수 있다. 지금까지 연구되어 온 대부분의 금속들에 존재하는 저에너지 들뜸은 2차 분산 관계(Quadratic dispersion relation)를 만족시켜서 해당 입자들의 동역학이 슈뢰딩거 방정식을 통해서 이해될 수 있었다.

◆ [그림 5] 위상절연체와 위상준금속(자료: 주간조선)



그런데 그래핀의 발견으로 저에너지 들뜸이 1차 분산 관계(Linear dispersion relation)를 가지고 해당 입자들이 디랙 방정식(Dirac equations)으로 기술될 수 있는 시스템이 고체 내에서 구현될 수 있음이 널리 알려지게 되었다. 디랙 방정식은 상대론적인 양자 입자의 움직임을 설명하기 위한 방정식이고, 디랙 입자는 빛처럼 유효질량이 0인 상태로 움직이는 상대론적인 입자를 말한다.

이러한 디랙 입자의 존재는 그래핀이 가지는 독특한 물성의 근본적인 이유가 된다. 최근 들어서는 국내 연구를 통해 그래핀 같은 2차원 시스템뿐만 아니라 몇몇 3차원 시스템에서도 저에너지 들뜸이 디랙 입자로 기술될 수 있음이 알려지게 되었다.

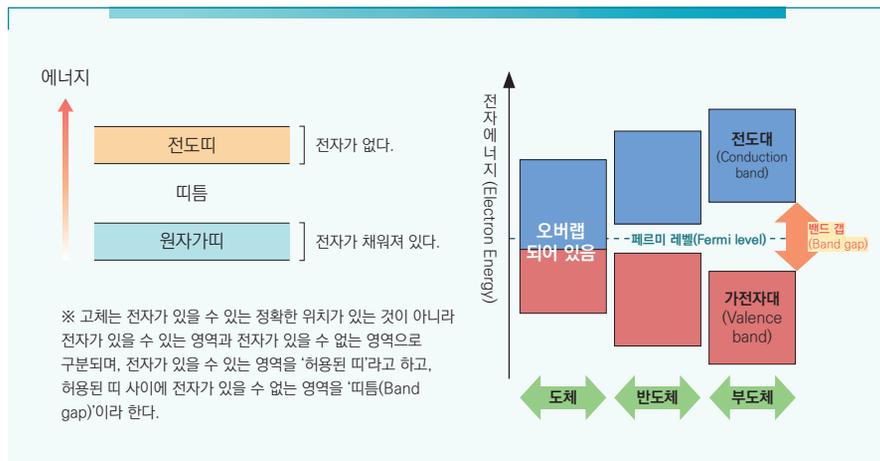


◆ 도체와 부도체의 중간 ‘디랙/바일 준금속’

3차원 디랙-바일 준금속의 발견으로 에너지 간격(Energy gap)이 없는 금속 상태도 위상성질을 가질 수 있다는 사실이 알려졌고, 이로 인해 기존에 부도체로 국한되어 있던 위상물질에 대한 연구가 준금속과 금속으로까지 확대되고 있다.

일반적으로 고체는 에너지 간격의 존재 여부 혹은 페르미 준위의 상태 밀도(Density of states)의 유무에 따라 도체와 부도체로 분류가 된다. 부도체는 에너지 간격이 존재하고 이에 따라 페르미 준위의 상태 밀도가 제로가 되는데 반해, 도체는 에너지 간격이 없고 페르미 준위의 상태 밀도도 유한하기 때문에, 빈 에너지 준위로 전자들이 자유롭게 움직일 수 있다. 그런데 재미있게도 디랙 준금속은 에너지 간격은 없지만 페르미 준위의 상태 밀도는 제로가 되어서 도체와 부도체의 중간적인 성질을 지닌다.

◆ [그림 6] 도체와 부도체의 차이



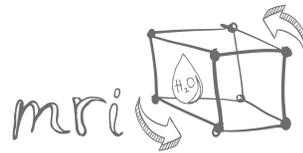
디랙 준금속의 이러한 독특한 물성을 가지는 근본 이유는 페르미 준위의 에너지 띠 구조(Band structure)가 가지는 특징 때문이다. 디랙 준금속에서는 전도띠(Conduction band)와 원자가띠(Valence band)가 운동량 공간(Momentum space)에서 하나의 점으로 교차하고 있는데 이로 인해 일반 도체와 달리 페르미 면(Fermi surface) 대신 페르미 점(Fermi point)을 가지고 있다. 또한 페르미 점 근방에서 선형 분산 관계를 가지게 되어 에너지 간격이 제로이면서 페르미 준위에서의 상태 밀도가 제로가 되는 것이다.

응집물질에 존재하는 디랙 입자에 대한 연구가 기존에는 그래핀 시스템에 국한되어 있었는데, 최근 들어 다양한 종류의 3차원 디랙-바일 준금속의 발견으로 관련 주제에 대한 관심과 연구 범위가 확대되고 있다. 특히 시스템의 대칭성에 따라 여러 가지 형태의 새로운

디랙 준금속 상태가 가능하다는 사실이 밝혀지면서 시스템의 대칭성과 에너지띠들의 겹침에 대한 보다 체계적인 연구가 필요함을 시사한다. 최근에 이루어진 일련의 자기수송 현상에 대한 연구들은 디랙/바일 준금속이 가지는 위상성질에 대한 다양한 증거들을 제시하고 있으나 아직 이 방향으로 더욱 많은 노력과 발전이 필요하다.

이와 함께 격자대칭성이 보호하는 새로운 위상 상태를 찾는 연구도 진행 중이다. 독특한 위상성질을 줄 수 있는 격자대칭성으로는 시공간 대칭성을 예로 들 수 있다. 물질의 공간 반전대칭성에 시간 역전대칭성이 합해져서 정의된 개념이다. 이런 대칭성이 있을 때 기존에 알려지지 않은 새로운 위상 상태가 있다는 것을 알아냈다. 시공간 반전대칭성이 보호하는 위상절연체, 위상준금속을 찾은 후 그들의 위상학적 성질에 대한 연구가 이뤄졌다.

시공간 반전 대칭성을 가지는 위상 물질의 한 예로 최근에 발견된 틀어진 두겹 그래핀 (Twisted bi-layer graphene)이 있다. 이 물질에서는 독특한 위상 성질과 더불어 강상관(Strongly correlated) 물리 현상도 관찰이 되어서 많은 관심을 받고 있다. 강상관계에서만 기대되는 물리 현상이 가벼운 물질인 그래핀에서 나타나는 원인을 이해하고 시공간 반전 대칭성이 보호하는 위상성질과의 상관관계를 밝혀내는 것이 주요 관심사다.



스핀과 MRI

양자의 기본 특성 중 하나인 스핀은 크기가 없는 물체의 회전운동을 표현하는 용어다. 2차원 복소수 행렬로 표현되는 스핀 공간은 직관적으로 이해하기가 쉽지 않다. 그렇지만 실제로 2차원 복소수 행렬 공간과 우리가 살고 있는 3차원 공간 사이에는 연결고리가 존재한다. 서로 상관없어 보이는 스핀 공간과 3차원 공간은 물체의 운동이 빛의 속력에 접근하는 상대론적 영역에서 필연적으로 서로 섞이게 된다. 우리는 이런 신기한 양자 현상을 자기공명영상장치(MRI, Magnetic Resonance Imaging)를 통해 일상에서 경험할 수 있다. MRI는 핵자기공명이란 원리를 이용해 찍는 사진이다. 사람의 체중은 약 60퍼센트가 물로 이뤄져 있다. 이 물은 수소와 산소 원자의 결합이다. 이중 수소원자의 원자핵은 양성자인데 스핀을 갖고 있어 자석의 성질을 띤다. MRI 장비는 강한 자기장을 만들어낸다. 그 자기장 속에서 세차운동을 하는 수소원자핵의 자기공명 분포를 측정할 이미지가 MRI 영상이다. 뼈나 혈관 등 인체 조직마다 물의 양이 다르고 수소원자의 밀도 역시 다르다. 수소원자 밀도의 분포는 영암에 영향을 주고 이렇게 조합된 MRI 영상은 생체 조직의 모습을 그대로 재현한다.



두 번째
의제

기초가 미래를 결정한다

I. 지식의 경계를 개척하는 사람들



양자역학을 제대로 이해하는 사람은 아무도 없다.

- 리처드 파인만



나는 평생 이해하지 못하는 물리학 이론에 매달리면서 마음 한구석
찝찝한 느낌을 떨쳐버릴 수가 없었다.



- 스티븐 와인버그

양자역학은 지금도 마치 모래 위에 집을 짓고 있는 것 같은 느낌.

- 미치오 가쿠

양자역학은 가장 성공적인 과학이론인 동시에 인간의 인지 능력을 시험하는 극한의 학문이기도 하다. 양자역학의 기초를 놓은 막스 플랑크뿐만 아니라 결정적인 공헌을 한 아인슈타인과 슈뢰딩거까지 양자역학을 반대하는 역설적 태도를 갖게 한 해석 문제는 철학의 영역으로까지 옮겨 가며 여전히 확실한 결론이 유보된 상태다.

그러나 ‘이유는 잘 모르지만 기막히게 맞을 내는 조리법 안내서’ 같다는 미치오 뉴욕시립대 교수의 표현대로, 양자역학을 이해하기 위한 과학자들의 끊임없는 실험과 증명은 우리 사회를 근본적으로 바꾸어놓고 있다. 빛의 이중성을 고민하며 측정기술의 한계를 뚫기 위한 시도들은 현대 전자문명의 기초인 트랜지스터로 이어졌고 원자시계의 발명과 GPS 개발을 가능케 했다.

원소의 원자번호가 원자핵에 들어 있는 양성자의 개수이고 원자핵 주위 전자들이 낮은 에너지 상태부터 차곡차곡 놓인다는 양자역학적 이해를 바탕으로 현대의 과학자들은 주기율표만으로도 많은 원소의 화학적 성질을 쉽게 이해할 수 있게 되었고, 생명도 원자나 분자 수준에서 이해될 수 있어야 한다는 슈뢰딩거의 주장은 왓슨과 크릭 같은 생명과학자들에게 큰 영감을 불러일으키며 DNA 이중나선 구조 발견으로 현실화됐다.

기초연구를 지원하는 데 있어 가장 중요한 것은 정부, 학계, 사회가 기초연구를 어떻게 인식하고 있느냐는 점이다. 기초연구는 새로운 지식을 창출한다는 것에서 그 가치를

찾을 수 있을 뿐 아니라, 경우에 따라서는 예기치 못했던 형태로 실제 현실에서 발생하는 문제들을 해결하기도 한다. 기초연구 역시 궁극적으로 다른 과학기술들과 융합될 수밖에 없고 산업으로 연계될 수밖에 없다.

하지만 양자기술의 연구자들은 대부분 그들이 창출하게 될 새로운 지식이 어떤 영역에서 어떻게 활용될지는 전망할 수 없다. 기초과학자들은 목표를 향해 달려가는 이들이 아니라 목표를 찾아가는 이들이다.

최근 양자기술 개발에 대한 정책적 투자와 관심 역시 이런 기초과학에 대한 성숙한 안목 없이 ‘경제발전’과 ‘산업경쟁력’ 등의 선정적 구호, 관리의 책임과 민원을 회피하기 위한 집단 내지 융합 R&D 사업의 기조로 추진된다면 질문과 실험, 증명이 끝없이 반복되는 기초연구자들의 외로운 싸움에 길잡이는커녕 또 다른 혼란만을 남기게 될 것이다.

2. 연구실에서 학생들이 사라진다

기초과학에 대한 우리 사회의 인식은 모순되는 면이 많다. 표면적으로는 세계 10위권의 국부 창출을 견인한 과학기술력에 대해 자부심을 갖지만, 그를 가능하게 하는 과학기술인들에 대해서는 물질적 안정이나 현실적 지위에서 초연한 선비가 되기를 바란다. 이는 과학도들에게도 마찬가지다.

요즘의 과학도들은 지극히 현실적이다. 돌려 말하지 않고 돌려 행동하지도 않는다. 그들은 사회가 암묵적인 동의에 이른 ‘성공한 삶’에 대해 이미 누구보다 잘 알고 있다. 일방향이 아닌 다층적 쌍방향 미디어의 세계에서 살아온 그들은 사회의 총체적인 모습을 인식하고 판단하는 데 있어 기성세대보다 더 객관적이고 솔직하고 민첩하다.

최근 양자기술 발전에 대해 젊은 과학도들 역시 관심이 높다. 하지만 그 같은 관심도를 흡수해 우수한 인재로 양성해내는 과정은 병목 현상을 빚고 있다. 양자 세계의 기초연구 현장에서는 어느 때보다 많은 인재의 유입을 기대하지만, 또 한편으로는 그들이 계속해서 한 분야에 매진할 수 있는지 장담해줄 수 없는 불확실한 전망이 적극적인 인도와 영입을 주저하게 만들고 있다.

지도하는 입장에서는 고작 2~3년에 한두 명씩 나오는 연구기관 정규직, 연구에 소질과 재능이 보여도 기업체의 응용물리 분야로 진로를 권해야 하는-누군가는 배부르다고 볼 수밖에 없는 현실이 답답할 수밖에 없다.

참고문헌



- °곽영직(2018), 물리산책, 네이버캐스트
- °김범준(2019), 김범준의 옆집 물리학, 경향신문
- °김상욱(2018), “떨림과 울림”, 동아시아
- °김영훈(2019), 알아두면 쓸모 있는 양자역학 이야기, 삼성디스플레이 뉴스룸
- °김재영(2018), 양자역학, 네이버캐스트
- °김재완(2018), 난공불락 양자암호에 도전하다, 네이버캐스트
- °김진태(2014), 10년 후의 물리학, 물리학과 첨단기술 2014년 4월호, 물리학회
- °미치오 가쿠(2012), 미래의 물리학, 김영사
- °박 권(2019), 믿기 힘든 양자, 고등과학원 웹진
- °볼프강 바우어, 게리 웨스트폴(2011), 현대 대학물리학2, 교보문고
- °신용일(2014), 양자물성 연구를 위한 극저온 원자기체 실험기술, 광학과 기술 18권 1호
- °양범정(2016), 디랙/바일 준금속의 분류, 물리학과 첨단기술 2016년 5월호, 물리학회
- °에른스트 페터 피셔(2010), “막스 플랑크 평전”, 김영사
- °유재준(2016), “호기심의 과학”, 계단
- °이강영(2016), 불멸의 원자, 사이언스북스
- °이현정·최만수(2011), 위상절연체의 응용 및 위상양자컴퓨터, 물리학과 첨단기술 2011년 3월호, 물리학회
- °임경순(2001), “현대물리학의 선구자”, 다산출판사
- °임재호(2018), 쉽게 알아보는 양자역학, 삼성디스플레이 뉴스룸
- °정선양(1996), 새로운 방향의 모색 및 독일 막스플랑크연구회의 경험, 한국연구재단 정책학회보
- °정지형 외(2019), 빛의 속도로 계산하는 꿈의 컴퓨터, 양자컴퓨터, 한국과학기술기획평가원, KISTEP Issue Paper 2019-07, Vol. 265
- °최무영(2008), “최무영 교수의 물리학 강의”, 책갈피
- °한정훈(2011), 위상 절연체: 요약과 전망, 물리학과 첨단기술 2011년 3월호, 물리학회

차세대리포트

- 2018 젊은 과학자들을 위한 R&D 정책은 무엇인가(上)
젊은 과학자들을 위한 R&D 정책은 무엇인가(下)
과학자가 되고 싶은 나라를 만드는 방법
영아카데미, 한국 과학의 더 나은 미래를 위한 엔진
10년 후 더 건강한 한국인을 위해 필요한 과학기술은 무엇인가?
- 2019 머신러닝, 인간처럼 보고 생각하고 예측하라
수소사회, 과학기술이 만들어가는 미래

한국과학기술한림원은,

과학기술 분야 한국을 대표하는 석학단체로서 1994년 설립되었습니다. 1,000여 명의 각 분야 연구리더들이 한림원의 회원이며, 각자의 역량과 지혜를 결집하여 기초 과학진흥을 위해 뛰고 있습니다. 국회와 정부 등 국가정책기관에 전문가 의견을 제시하고, 과학기술 분야 국제교류와 민간외교 활성화를 위해 노력 중이며, 국민들에게 한 발 더 다가가는 기관이 되기 위해 고민하고 있습니다.

한림석학정책연구는,

우리나라의 중장기적인 과학기술정책과 주요 현안에 대해 한림원 회원들이 직접 참여하는 연구 프로젝트로서 각 분야 전문가들의 지식과 의견을 담고 있습니다. 주제 및 보고서의 특징에 따라 한림연구보고서(중·장기 비전 마련을 위한 정책연구 보고서), 차세대리포트(차세대회원들의 의견과 아이디어를 담은 정책제안서) 등으로 다채롭게 발간하고 있으며, 국회, 정부 등 정책 수요자들에게 꼭 필요한 지식을 제공하기 위해 꾸준히 노력하고 있습니다.

한림원에 대해 더 자세한 내용보기

홈페이지
www.kast.or.kr

블로그
kast.tistory.com

포스트
post.naver.com/kast1994

페이스북
www.facebook.com/kastnews





KAST 한국과학기술원
The Korean Academy of Science and Technology

(13630) 경기도 성남시 분당구 돌마로 42
Tel 031-726-7900 Fax 031-726-7909 E-mail kast@kast.or.kr

