태초의 순간 '우주의 0시' 포착 가능성

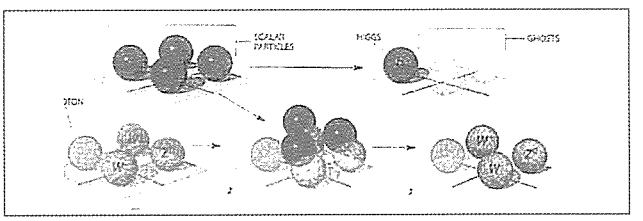
21세기의 물리학을 조망한다

글 _ 김제완 과학문화진흥회장 risec@hanmail.net

21세기 물리학의 주된 연구는 무엇이 될까? 아무도 확실한 대답을 모른다. 그러나 미래를 짐작하는 것은 역시 과거의 역사를 되돌아보는데서 시작될 수 있다. 지나간 1백년을 뒤돌아보면 19세기 말의 물리학계는 자만심에 차 있었다. 뉴턴의 역학이 천체의 운동을 정확히 예측하고 있었고, 열역학에 힘입어 산업혁명이 일어났으며, 맥스웰의 전자기 이론은 완벽하다고 믿었던 물리학자들은 이 세상의 모든 것을 적어도 원리적으로는 이해하고 있다는 자신감에 차 있었다.

물리학자들은 궁극적인 이론(the final theory)의 완성이 눈앞에 다가 왔다고 생각했다. 그러나 20세기 들어서면서 미시의 세계인 원자의 구조를 이해하는데서 양자론이 싹트고, 빛의 속도가 관측자의 운동에 관계없이 일정하다는 실험적인 사실이 우리들의 시간과 공간에 대한 이해를 완전히 뒤집는 아인슈타인의 상대론을 탄생케 했다.

21세기를 맞이한 우리들도 비슷한 처지에 놓여 있다. 전자기작용과 약한 핵력을 통합하여 전약이론(electro-weak theory)을 완성하였고 물질의 최소단위인 쿼크 모형을 그려내는데 성공을 거두었다(그림 1 참조).



(그림 1) W-S 전약이론

물리학자들은 네 가지 힘을 통합하는 궁극적인 이론을 또 다시 꿈꾸고 있다. 지나간 역사가 조금이라도 우리의 장래를 이끌어 주는 지표가 된다면 우리는 또 한번 19세기 말의 자만심에 차 있다고 생각된다. 어떤 물리학이 21세기의 주역이 될까? 앞에서 말한 것처럼 아무도 모른다. 과거 역사는 상상 못할 놀라움이 도사리고 있다는 것을 우리들에게 암시한다.

그러나 개인적인 편견과 제한된 지식에서 짐작하면 극대와 극소가 융합되는 '우주론과 입자물리학'의 놀라운 발전과 복잡한 세상을 대표하는 다양성 문제를 다루는 카오스, 프랙탈 그리고 생명을 연구하는 생명체물리학(biophysics)이 새로운 밀레니엄의 견인차가 되리라 생각된다. 먼저 이러한 분야를 조명하기 전

기획연재순서

❶ 21세기의 물리학
❷ 21세기의 화학
❸ 21세기의 생명과학
❹ 21세기의 수학
❺ 21세기의 지구과학

에 지난 20세기의 굵다란 두 줄기인 '상대론'과 '양자론'을 뒤돌아보도록 하자.

우주론과 입자물리학의 놀라운 발전 기대

우선 특수상대론이 뉴턴적인 시간과 공간, 즉 무한히 퍼져 있는 절대공간과 그 옛날로부터 무궁한 미래로 흐르는 시간의 개념을 어떻게 바꾸었는지부터 살펴보자.

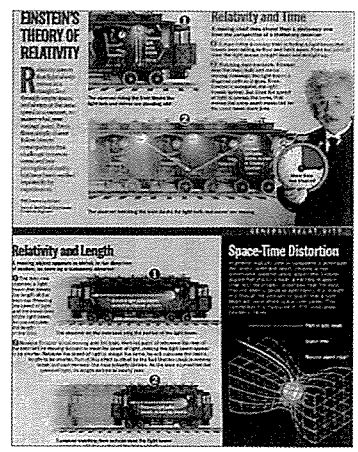
19세기 말 미국인 마이켈슨과 몰리는 빛의 속도에 관심을 가지고 있었다. 특히 그들은 절대공간에 꽉 차있다고 믿어지는 '에테르'(ether)라는 매질에 대해서 빛은 어떻게 움직이고 있는지 알아보려고 했다. 그 시대의 사람들은 절대공간에서 움직이고 있지 않는 에테르라는 눈에 보이지 않고 무게도 없는 매질이 있고, 우주에 있는 해와 달 그리고 별들은 이 에테르의 바다에서 움직이는 작은 배와 같다는 인식을 하고 있었다. 그들은 지구상에서 발사한 '빛'이 지구가 공전운동을 하는 방향과 같은 방향으로 전파할 때와 그 반대방향일 때는 분명 그 속도에 (에테르에 대한)변화가 있으리라 생각했다. 이는 마치 기차가 시속 10㎞로 가고 있을 때 기차 위에서 사람이 기차의 진행방향과 같은 방향으로 시속 10㎞로 뛸 때는 지상에서 보면 시속 20㎞로 뛰고 있고, 사람이 기차의 진행 방향과 반대로 시속 10㎞로 뛰고 있으면 지상에서 볼 때 이는 시속 0㎞, 즉 정지하고 있다고 할 것이다. 그런데 마이켈슨과 몰리 박사의 실험결과는 완전히 이 상상을 뒤엎고 빛의 속도는 운동에 관계없이 일정하다는 것이다. 발사하는 광원의 운동이나 관측자에게 관계없이 10㎞/h라는 결과를 얻었다.

사람의 속도도 빛의 속도처럼 같은 법칙을 따른다면 이는 마치10㎞/h+10㎞/h = 10㎞/h 또는 10㎞/h −10㎞/h = 10㎞/h라고 우기는 것과 같다. 무엇이 잘못되었을까? 셋 중의 하나이다. 속도란 간 거리를 시간으로 나눈 것이기에 가능성은 셋밖에 없다. 거리를 잘못 이해하고 있거나, 시간을 잘못 이해하고 있거나, 그렇지 않으면 거리와 시간 모두를 잘못 이해하고 있는 것이다. 아인슈타인은 이를 곰곰이 생각해 보았더니 거리와 시간 모두를 다 잘못 이해하고 있다는 결론을 얻었다. 그의 결론은 시간과 공간은 절대적인 것이 아니고 시간과 공간이 일체가 된 4차원의 세계이고 시간과 공간은 관측자에 따라 다르다는 결론을 얻었다.

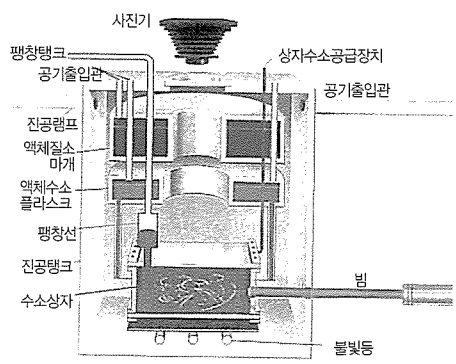
그는 또한 서로 등속도로 움직이는 좌표계에서는 물리법칙이 같다는 '상대성 원리'를 적용하면 유명한 $E=mc^2$ 등 '특수상대론'의 틀을 마련할 수 있었다. 아인슈타인은 한 걸음 더 나아가서 등속운동이 아니라 어떤 운동을 하는 좌표계에서도 물리법칙이 같다는 '일반상대론'의 원리에 입각하여 중력을 시공의 휘어짐이란 기하학적 개념으로 대치할 수 있다는 일반상대론을 세상에 선보이게 된다. 일반상대론에 의하면 무거운 물체가 있는 주변의 시공은 휘어지고 심지어는 빛조차 빠져 나올 수 없는 '블랙홀'을 만든다는 것이었다. 이렇게 뉴턴의 절대시간과 공간의 개념은 상대적이며 휘어진 시공의 개념으로 바꾸게 된 것이다.

$E = mc^2$은 20C 시공개념 바꿔

20세기 초에는 시공의 개념을 바꾸어 놓는 아인슈타인의 상대론(그림 2 참조)과 더불어 물리학에서 생각 못했던 또 하나의 혁명이 일어났다. 흑체복사에서 나오는 복사열의 법칙을 설명하기 위해서는 빛도 역시 물질의 원자처럼 빛의 원자인 광양자로 이루어져 있다는 이론이 나왔다. 파동으로 알려진 빛이 입자로



(그림 2) 아인슈타인의 상대론



(그림 3) e + e− 생성

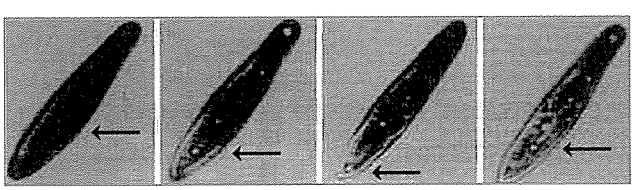
되어 있다면 입자인 전자 역시 또한 파동이 아닐까? 이러한 드 브로이의 생각은 데이비슨과 저머에 의해서 확인되었다. 이렇게 입자와 파동의 이중성을 가지는 미시의 세계에서 뉴턴의 방정식 대신 통용되는 '슈뢰딩거 방정식'이 세상에 선을 보이면서 위치와 운동량, 시간과 에너지를 동시에 정확히 알 수 없다는 불확정성 원리가 지배하는 '양자역학'의 탄생을 보게 된다. 곧이어 영국의 천재 디락은 특수상대론과 양자역학을 결합한 상대론적 양자역학(디락 방정식)을 탄생시킨다.

이 이론의 필연적인 결과인 반입자(양전자, 반양성자, 반중성자 등)들이 발견된다. 이들은 상대론의 공식 $E=mc^2$에 의하여 에너지로부터 입자와 더불어 생성도 되고 또한 서로 만나서 소멸되어 순수한 에너지인 빛으로 되돌아가기도 한다는 것이 실험에 의하여 확인된다. 20세기 중엽인 1960년대로부터 양성자와 중성자 등 원자핵을 이루고 있는 소립자들이 사실은 더 기본적인 소립자인 '쿼크'로 이루어져 있음이 확인되고 이들은 서로 묶어주는 글루온의 역학(quantum chromodynamics)이 탄생한다. 또한 아인슈타인의 꿈이었던 통합이론의 일부가 전자기와 약한 핵력을 통합한 전약이론으로 나타나게 된다. 한 걸음 더 나아가서 강한 핵력까지 통합하는 대통일 이론도 설득력을 얻고 있다. 그런데 21세기에는 극미의 세계를 다루는 이 분야에서 어떤 일들이 기대될까? 우선 생명과 다양성에 대한 전망부터 해보자. 필자의 편견을 가능한 한 피하도록 하겠지만 그렇게 하는 것은 물론 불가능한 일이다.

생명 그리고 그 다양성에 도전한다

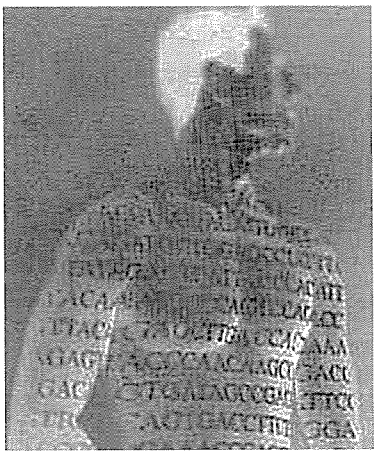
첫째, 물리학이 생명과학을 파고드는 첫번째 혁명은 지금껏 없었던 관측 수단일 것이고 20세기 물리학의 꽃인 '양자론'을 뇌를 비롯한 생명현상에 응용하는 것이라고 생각된다.

레이저를 이용한 핀셋(그림 4 참조)은 생체내 세포의 염색체를 생명에 지장 없이 움직일 수 있는 수단이다. 이를 이용하면 인체



(그림 4) 레이저 핀셋

게놈 프로젝트와 연결하여 많은 생체실험이 가능할 것이다(그림 5 참조).



(그림 5) 인체의 구조

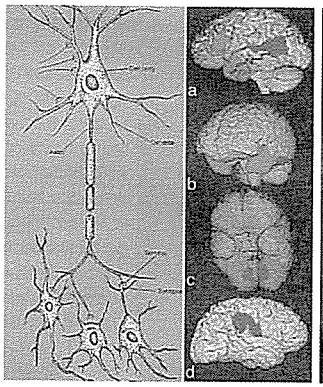
둘째, 물은 통과하되 탄소원자에는 흡수되는 소위 '물의 창문' X선 레이저를 써서 생체내의 바이오 분자들이 움직이는 상태에서 3차원 영상을 만들어 생명의 신비를 좀 더 깊이 있게 연구할 수 있을 것이다.

셋째, 다양성을 지닌 다체 문제도 21세기에는 각광을 받을 것이다. 노벨 물리학상(1998년도)을 받은 러플린 교수의 말을 빌리면 이 분야의 물리학 발전은 전통적인 연역법에서 나올 것 같지 않고 양자론의 플랑크 공식처럼 관측에서 발생(창발, emerge)진화할 것이라는 생각이다. 그러한 좋은 예의 하나는 분수양자 홀 효과(fractional quantum hall effect)이다. 분수양자 홀 효과란 2차원 반도체 물질에서 마치 전기량이 (1/2)e, (1/5)e (여기서 e는 전자의 전량으로서 -10^{-19}쿨롱)인 입자가 있다는 것을 시사하는 효과이다(그림 3 참조). 정수를 아무리 더하고 빼도 분수가 되지 않는데 이런 효과가 일어나는 것은 진공이 축퇴되어 있어서 전하의 스케일이 달라지는데서 생긴다고 러플린은 믿고 있다. 그는 이런 다체 문제의 다양성에서 언젠가는 쿼크를 포함한 표준모형도 설명될 수 있다는 희망을 가지고 있다.

넷째, 21세기에는 분명 이러한 맥락에서 많은 연구가 있을 수 있다. 이러한 연구는 고온초전도체의 이해도 이끌어낼 수 있고 간접적으로는 인공 원자 및 신소재 물리학에도 많은 영향을 미칠 것이다. 또한 카오스 이론을 양자론적인 입장에서 이해하면 양자 컴퓨터의 탄생도 기대할 수 있으리라.

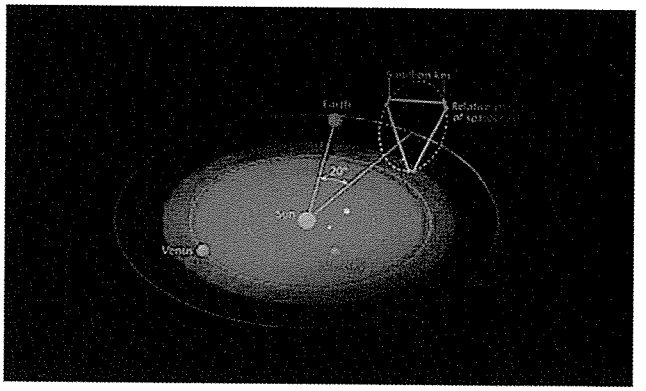
극대 극 속의 세계도 펼쳐 나갈 것이다

첫째로는 초끈 이론(superstring theory)의 진전이다. 양자론의 발달이 플랑크의 공식에서 비롯된 것처럼 초끈 이론의 시작 역시 베네치아노라는 젊은 물리학자가 우연히 발견한 베네치아노 공식에서 시작된다.



(그림 6) 뉴런의 기능

(그림 7) 극대극소(꽃)



(그림 8) LISA

이 우연한 발견의 뜻을 처음 터득한 사람은 남부와 닐슨이었다(필자가 처음 접한 끈 이론은 디락의 1965년 컬럼비아 대학 물리학과 세미나였다. 이는 베네치아노 공식 이전이지만 어떤 이유인지 물리학사에 남아 있지 않다). 그들은 소립자들이 입자가 아니라 진동하는 작은 끈이라면 그들의 작용이 베네치아노 공식을 따른다는 것을 보였다. 끈이라면 있어야 될 여러 가지 소립자와 그 성질이 실험결과에서 뒷받침되지 않음으로써 끈 이론은 물리학계에서 사라졌다. 모든 사람들이 끈 이론에서 떠난 뒤에도 칼텍의 슈바르츠, 퀸 메리 대학의 그린, 그리고 프랑스의 슈렉은 끈 이론에 매료되어 있었다.

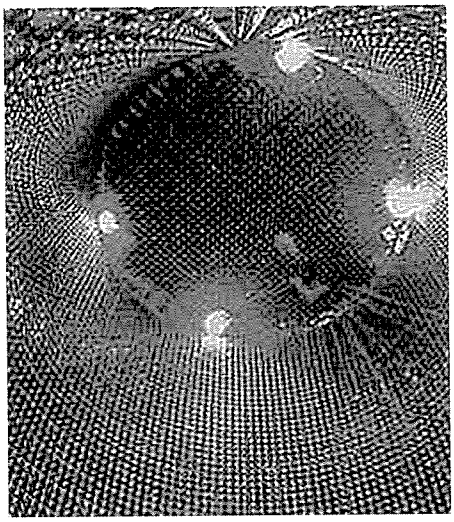
그들은 페르미온과 보존(페르미온은 스핀이 반 정수인 입자이고 보존은 스핀이 정수인 입자이다. 전자 및 양성자 등 물질을 이루고 있는 입자들은 페르미온이고 광양자, 글루온, 중력자 등 힘을 전달하는 입자들은 보존이다)이 본질적으로는 같은 역할을 한다는 초대칭 이론을 받아들여서 초끈 이론을 만들었더니 놀랍게도 이 이론 속에는 핵력을 전달하는 글루온과 같은 성질의 진동형태가 있을 뿐만 아니라 스핀이 2이고 중력을 전달하는 중력자도 있다는 것을 발견했다. 그들은 처음으로 중력, 핵력(강한 핵력과 약한 핵력) 및 전자기력을 통합할 수 있는 자연적인 이론체계를 발견한 것이었다. 초끈 이론에 의하면 그 크기는 10^{-33}cm 정도(플랑크 길이라 함)이고 끈의 장력은 10^{39}톤이어야만 중력을 설명할 수 있다는 것이었다(남부의 실수는 초대칭성을 생각 못했고 끈의 크기를 10^{-13}cm정도로 잡은 것이 화근 중의 하나였다).

그런데 10^{39}톤의 장력을 가진 초끈의 고유진동들이 우리가 알고 있는 쿼크와 전자 등이라면 이들 초끈들은 10차원 (1차원 시간과 9차원 공간)에서 존재해야 만 된다는 결론이었다(그렇지 않으면 계산이 안 되고 쿼크와 전자 등의 질량도 10^{33}eV 정도로 무거워야 한다). 그렇지만 우리들이 살고 있는 세상은 엄연히 4차원이기에 나머지 차원은 작게 말려서 안 보인다는 주장을 내세웠다. 작게 말린(compactify) 공간은 (그림7)에서 보는 바와 같이 카라비-야우 형태의 공간이어야 한다는 주장이다. 위튼에 의하여 개량된 초끈 이론에 따르면 초끈의 세계에서는 10^{-33}cm 이하의 공간은 의미가 없고 시공자체도 거품처럼 그 존재조차 없다는 생각이다. 그들은 질량이 없는 '블랙홀'은 광양자라는 주장도 하고 큰 세상과 미시의 세상은 그 이중성이 있다고도 주장한다. 이런 뜻에서 극대의 우주와 극소의 초끈 세계는 통일된 논리에서 이해가 될 것이다.

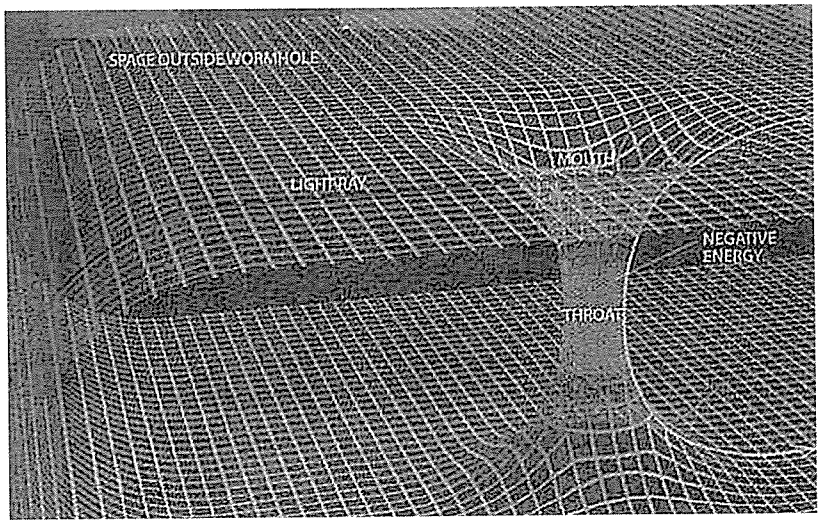
중성미자 망원경 발달 우주베일 벗길 것

둘째는 우주론과 천체 물리학의 진전이다. 한 변이 500km가 되는 거대한 삼각형 안테나를 우주에 띄우는 LISA(Laser Interference Space Antenna) 프로젝트가 진행되고 있으며 이 장치는 일반 상대론이 예언하는 중력파를 간접적으로 포착할 수 있어 우주의 구조를 이해하는데 획기적으로 기여할 것이다(그림 8 참조).

2002년에 완성되는 LIGO(Laser Interference Gravitational Wave Observatory) 역시 중력파를 탐지하고 21세기에는 태초의 순간 0시의 우주를 포착할 수도 있을 것이다(30만년 된 우주의 모습을 포착한 '우주배경복사'는 1968년에 노벨상을 받은 바 있다). 그러나 무엇보다도 새로운 지평선을 여는 수단은 '중성미



(그림 9) 중성미자 망원경



(그림 10) 웜 홀

자 망원경' 의 발달이 될 것이다.

인류 역사상 처음으로 전자파를 벗어난 관측 수단인 중성미자파에 의한 관측이 활발해질 것이다. '중성미자 망원경' 을 통하여 은하계의 깊숙한 곳을 보고 그 구조를 알 것이며 별의 내부 구조역시 잘 알게 될 것이다(그림 9 참조).

시공에 대한 검증도 한층 더 발달되리라 믿어진다. 퀘이사의 정체가 중성미자 망원경을 통하여 더 뚜렷해지며 암흑 물질도 그 정체가 규명되며 우주상수와 허블 상수도 그 오차 범위를 좁혀서 현재의 관측을 명쾌히 풀어 주리라 생각된다. 극미의 세계에서는 시공 자체는 거품으로 대치되리라는 생각 역시 더 명확한 모습을 드러내리라 생각된다.

우주와 천체에 관한 물리학은 초끈 이론과 맞물려서 진전이 있을 것이다. 극소의 세계를 지배하는 양자론과 극대의 세상을 지배하는 중력, 즉 일반상대론이 초끈 이론을 통합되어, 해명되고 극미의 소립자와 극대를 상징하는 '블랙홀' 이 같은 대상으로 기술될 것이다. 질량, 스핀, 힘의 전하(강력, 약력 등 결합의 강도가 나타내는 넓은 의미의 전하) 등만 있으면 극미의 소립자든 극대의 '블랙홀' 이든 그 성질이 결정된다는 사실이 그러한 가능성을 시사하고 있다. 보통 원자핵이 거대화된 것이 중성자별이라고 말할 수 있듯 '블랙홀' 이란 거대한 소립자와 같다는 생각이 정당화될지도 모른다. 더 나아가서 조지 오웰의 공상소설에서 나오는 '타임머신' 을 만드는데(만들 수 있다면?) '웜홀' (wormhole)을 유지하는 것보다도 더 비어 있는 마이너스 에너지를 만들 수 있는지 또 그렇다면 어떤 형태인지도 가부간에 결정되리라 믿어진다(그림 10 참조).

에필로그

이제까지 말한 것은 그래도 추측이 가능한 현재 물리학의 연장선상에서 생각이지만 21세기에는 우리가 생각조차 못하는 패러다임이 등장할 수도 있다. 많은 사람들이 매달려 헤매고 있는 M이론만 해도 그렇다. 이론의 정체도 모르면서 11차원 (10차원 공간과 1차원 시간)에서 내려다 볼 때 10차원 세상에 살고 있는 초끈 이론을 확실하게 이해할 수도 있다. 우리들의 우주는 여러 우주가 (양자 역학에서 여러 상태가 공존하듯) 공존하는 다 우주일 수도 있고, 이상하게 들릴지도 모르지만 시공 자체는 실재하지 않을 수도 있다는 생각도 물리학자의 공감대를 점점 넓혀 가고 있다. 이렇게 미래의 예측은 어렵고 그렇기에 필자처럼 편견을 토해낼 수도 있는 것이다. ST

글쓴이는 서울대 물리학과를 졸업하고 미국 컬럼비아 대학에서 이학박사를 받았으며 일리노이대, 존스 홉킨스대, 서울대 등에서 물리학과 교수를 지냈다. 저서로는 「겨우 존재하는 것들」「빛은 있어야 한다」 등 다수가 있다.