

우주는 '10차원 진동'으로 존재한다

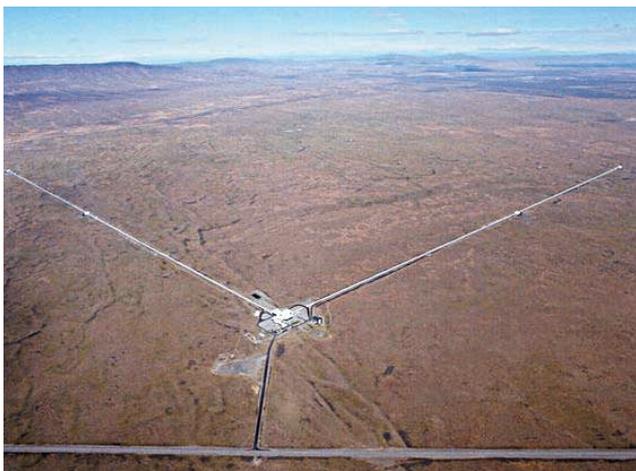
초끈이론

5

글_ 이수종 서울대 물리학과 교수 sjrey@phya.snu.ac.kr

우주는 무엇으로 구성되어 있을까. 또 우주는 어떻게 현재의 모습에 이르렀을까. 삼라만상을 구성하는 우주 만물의 기본은 무엇일까 이는 고대에서 부터 동, 서양을 막론하고 모든 사람들의 호기심을 자극한 어려운 문제이었다. 또한 이 질문은 아주 구체적인 과학적인 질문이면서 동시에 철학적 영역에 접근하는 것이어서 역사 이래 무수히 많은 그럴듯한 주장과 역설들로 점철되어 온 것도 사실이다. 그런데 이 질문에 답하고자 노력한 인류의 역사를 자세히 들여다 보면, 만물의 기본단위에 대한 주장은 '그 당시 과학 기술로 얼마나 작은 크기를 관찰할 수 있었던가'와 밀접하게 관련되어 있었음을 볼 수 있다.

인류의 역사와 더불어 과학 기술은 끊임없이 발달하여 왔고, 만물의 기본 단위에 대한 과학적 이해 역시 발전되어 왔다. 현미경과 망원경의 발명, 천문학의 발달, 그리고 전기와 자기 현상의 이해를 바탕으로 19세기 말에 이르러서 과학자들은 물질



우주중력파 검출 장치

들이 화학의 주기율표에 나타나 있는 약 103여 종류의 원자들이 이리저러 복잡하게 얽혀져 다양한 종류의 분자들을 구성하고 또 이들이 다시 여러 방법으로 조합을 이루어 우리가 육안으로 관찰할 수 있는 물질들 뿐 아니라 생명체들을 형성하여 우주의 삼라만상을 구성한다는 것을 어렵잖이나마 밝히게 되었다. 이 원자들은 크기가 아주 작아서 직경이 겨우 약 1천만분의 1cm 정도이다. 그렇다고 해서 이 원자가 삼라만상의 기본단위라고 할 수 있을까? 그래서 물리학자들은 '원자는 더 나눌 수 없을까? 원자 안에는 무엇이 더 있을까?'라고 끊임없이 질문을 제기하였다.

우주는 쿼크로 구성된 집합체에서 시작

20세기에 들어서서 물리학자들은 원자도 복합체이어서 그 안을 들여다 보면 아주 작은 핵 주위를 점과 같은 전자가 돌고 있음을 이해하기 시작하였다. 핵의 크기는 아주 작아 전자 궤도의 백만분의 일 정도의 공간만 차지하고 있어서 사실 핵과 전자 궤도 사이는 허허 공간이라고 보아도 무방하다. 마치 태양계의 모습과 비슷하다고나 할까. 잠깐만. 그러면 핵이나 전자는 더 나눌 수 없을까? 이들 속에는 무엇이 더 있을까?

20세기 중반에 이르러 지칠줄 모르는 물리학자들의 노력으로 엄청나게 작은 핵도 더 정밀하게 관찰하면 양성자와 중성자들이 모여 구성된 것임을 밝혀내 세상을 다시 놀라게 하였다. 이들의 갯수는 수소 원자의 경우 양성자 하나이지만 무거운 원자일수록 점점 많아져 원자로서 사용하는 우라늄의 경우 235개 혹은 238개가 모여서 이루어진 핵자이다. 자 그러면, 이제야 말로 양성자와 중성자가 물질의 궁극단위이지 않을까? 의심 많은 물리학자들은 적당히 넘어가지 않고 양성자와 중성자

의 크기를 조사하기 시작하였다.

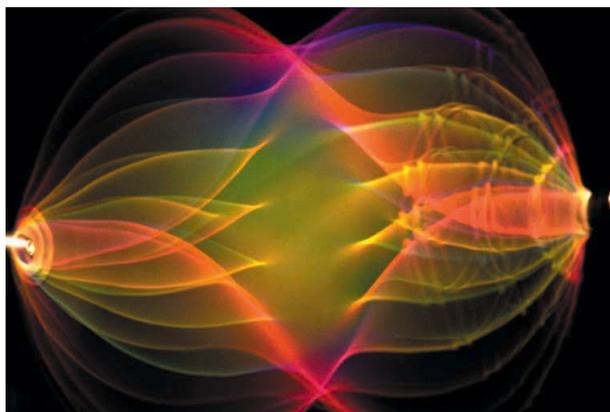
1969년 미국 스탠포드 대학교의 입자가속기를 사용하던 일련의 물리학자들은 양성자 중성자들도 또다시 훨씬 더 작은 '쿼크'라고 하는 아주 미세한 입자들이 결합하여 양성자나 혹은 중성자 하나를 구성함을 발견하기에 이르렀고 이 업적이 인정되어 곧바로 또다시 노벨상이 주어졌다. 그러면 '쿼크'나 전자는 더 이상 나눌수 없을까. 적어도 현재까지는 비슷한 사춘격들은 있어도 이들 '쿼크'나 전자들은 더 이상 나누어 질수 없음이 알려져 있다.

이들 쿼크와 전자들의 상호 결합방법을 정확히 이해하기 위하여 현재 스위스 제네바 근교에 위치한 CERN 유럽공동 가속기연구소에서는 2010년을 목표로 반경이 200km나 되는 초대형입자가속기라고 명명된 세상에서 가장 정교한 현미경을 전세계 공동노력으로 제작하고 있는 중이다. 재미있게도 이 현미경이 완성되면 물리학자들은 우주 삼라만상의 기본 구조가 무엇인지 보다 명확히 밝힐 수 있을 뿐 아니라 우주가 초기 대폭발 직후 100억분의 1초 이후부터 어떤 역사를 거쳐 137억년이라는 현재의 나이에 이르게 되었는지 명확히 설명할 수 있게 된다. 이는 우주 역사 결국 기본 원소들로 구성된 집합체에서 시작하였기 때문이다.

그런데 만물의 기본구성단위를 찾아 끊임없이 노력한 우리 인간의 착상 과정들을 살펴보면 재미있는 공통점을 발견할 수 있다. 매번 가장 기본이라고 여겨지는 구성단위를 발견할 때마다 그 단위는 점과 같이 크기가 없는 것이라고 간주하였으며, 이들을 다시 보다 정밀한 관찰을 통하여 크기가 있음이 알려질 때마다 그 모양은 둥그런 '공모양'의 형태를 가지고 있고, 그 내부에는 다시 크기가 없는 점모양의 새로운 기본원소가 존재한다고 생각하였던 것이다. 왜 하필이면 기본단위는 항상 크기가 없는 점모양이라고 반복하여 가정하여 왔을까? 생각해보면 단지 가장 간단한 기하학적 성질을 가진다는 것 이외에는 그리 특별한 이유가 있었던 것도 아니다.

기본 구성단위는 '고무줄 같은 끈모양'

그래서 이렇게 역사적으로 반복된 가정에 반기를 든 이론 물리학자들은 1970년대에 이르러 우주의 기본구성단위가 점모양이 아니라 '고무줄과 같은 끈 모양'이라는 이론을 제안하게



되었다. '초끈이론'이라고 불리는 이 이론은 1980년대 이후 더욱 발전되어 현재 우주를 지배하는 법칙을 통일하는 이론으로 여겨지고 있다.

초끈 이론에 의하면 지금까지 알려진 쿼크나 전자와 같은 기본 구성 단위는 점모양이 아니고 모두 '끈모양'이라고 한다. 아니 전자가 점이 아니라 길이가 있는 끈이라니 도대체 무슨 말인가? 이를 이해하기 위하여 기타줄을 비유하여 보자. 기타줄은 연주자가 어떤 코드를 잡고 튕기느냐에 따라 여러 가지 다양한 음을 낼 수 있다. 이렇게 낼 수 있는 음의 수는 무한히 많으므로 우리는 이들 기타음들을 하나 하나 구별하기 위하여 '도레미파솔라시도'와 같이 음높이 이름을 붙여 놓았다. '도'의 음높이는 기타줄이 특별한 한가지 모양으로 진동할 때에만 나는 소리이다. 그래서 기타줄의 진동모양만 보아도 분명 '도'는 어떤 다른 음높이와 구별되는 것이다.

'초끈이론'의 착상 역시 마찬가지이다. 초끈을 마치 원 모양의 고무줄이라고 생각하여 보자. 고무줄과 같은 끈 역시 무수히 다른 모양으로 진동할 수 있겠다. 마치 기타줄에서와 같이 만일 각각 다른 고무줄 진동 모양마다 이름을 하나씩 붙여 전자, 쿼크, 빛, 중력과 등등으로 이름 붙이면 어떨까? 물론 전자나 쿼크는 현재 우리가 관측할 수 있는 범위 안에서는 점과 같이 크기가 없어 보이므로 이 초끈의 직경은 아주 작아야 하겠다. '초끈이론'에 따르면 이 직경은 엄청나게 작아서 약 10조 개의 끈을 연결한 것들을 다시 약 10조개 합쳐놓아야 머리카락 하나 정도의 굵기를 만들 수 있다고 한다. 양성자로는 천만개를 다시 천만번 쌓으면 머리카락 굵기가 되는 것에 비하면 얼



마나 초끈의 크기가 작은지 알 수 있겠다.

또한 초끈 이론에 따르면 우주는 대폭발 탄생 순간 무수히 많은 이런 끈들의 집합체로 이루어져 있었다고 한다. 처음에 이 끈들은 각기 제멋대로 진동을 하고 있었는데 시간이 지나면서 쿼크, 렙톤 등에 해당하는 특별한 모양의 진동, 마치 기타줄이 도, 레, 미 등과 같은 특별한 음높이로 진동하고 있는 것과 같이 진동하게 되어 멀리서 보면 현재 우리가 실험을 통하여 알고 있는, 크기가 없는 점모양의 쿼크 혹은 렙톤으로 인식될 뿐이다.

10조개 '끈' 10조개 합쳐야 머리칼 굵기

우리 눈에 들어오는 빛, 이 빛도 이 이론에 의하면 사실 끈이 또 다른 특별한 모양으로 진동하고 있는 것이라고 한다. 다시 말하면 우주의 모든 물질들은 모두 끈 하나에서 유래하며 끈이 진동하는 방법에 따라 우리에게 달리 보일 뿐이라는 것이다. 불교의 선문답 같은 내용이지만 생각해 보면 볼수록 아주 기발한 아이디어 아닐까?

우리는 '4차원의 세계'란 말을 자주 접하고 있다. 바로 우리가 살고 있는 우주가 3차원의 공간과 1차원의 시간으로 이루어져 있으며 이들이 합쳐져 4차원을 만들고 있음을 뜻한다. 그러면 '왜' 하필이면 우리 우주는 4차원일까? 5차원, 아니 34차원이면 어떤 문제가 있나? 사실 이 질문은 너무나도 심오하여 오랫동안 물리학자들을 괴롭혀 왔다. 그런데 바로 초끈이론은 이 질문의 만족할 만한 대답에 한발 다가서는 중요한 관건을 제공하고 있다. 초끈이론에 의하면 우리 우주는 10차원인데 이중 6

차원은 너무나도 작은 공간으로 되어 있어서 우리가 경험하는 범위안에서는 마치 4차원으로 보인다고 한다.

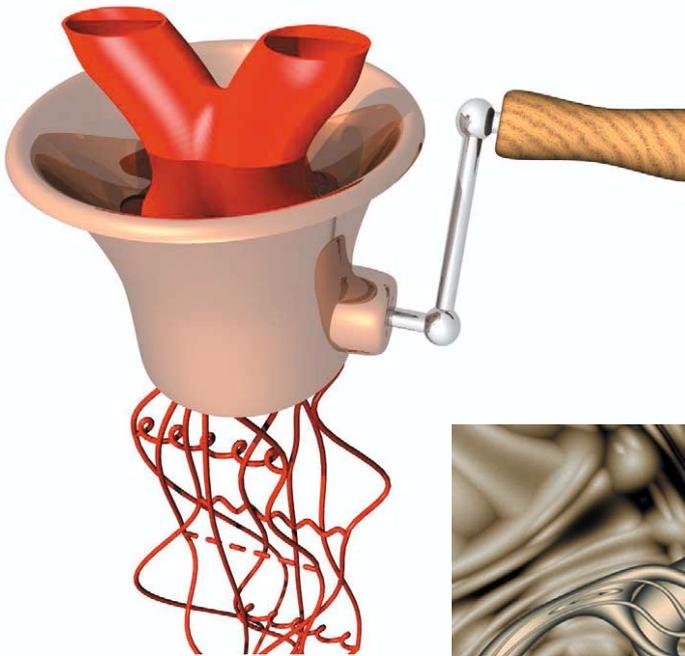
이 기상천외한 초끈이론의 주장을 이해하기 위하여 먼저 차원, 시간과 공간, 그리고 아인슈타인의 특수상대성이론들에 대하여 알아보자. '차원'이라는 용어는 일상생활에서도 많이 사용하고 있는데 정확하게는 선, 면, 공간 등과 같은 연속적인 객체들을 구별지어 주는 중요한 양이라고 하겠다. 그래서 점은 0차원, 선은 1차원, 면은 2차원, 체적은 3차원에 해당한다. 바로 우리가 살고 있는 세상은 3차원의 '공간'이다. 이에 덧붙여 상황의 전, 후를 구별하는 1차원이 '시간'을 구성하고 있다.

시간, 공간은 속도에 따라 뒤섞여

그런데 시간과 공간은 우리가 일상생활에서 느끼는 바에 따르면 전혀 별개의 개념인 듯하다. 적어도 19세기 말까지 갈릴레오와 뉴턴에 의하여 정립되어온 물리학 이론의 기초에서는 그러하였으며 시간과 공간이 서로 무관하다는 사실은 그 당시까지 과학뿐 아니라 모든 철학체계의 기본 가정을 이루고 있었다. 그런데 이에 반기를 든 것이 바로 아인슈타인의 '특수 상대성이론'이다. 이 이론에 따르면 움직이고 있는 사람은 정지해 있는 사람에 비하여 시간은 천천히 가고 거리는 짧아짐을 경험한다고 한다. 따라서 시간과 공간은 서로 별개가 아니고 속도의 크기에 따라 뒤섞이고 바뀔 수 있겠다. 다만 속도가 아주 빨라 빛의 속도 즉, 1초에 30만km 정도인 경우에만 쉽게 관찰되는 현상이어서 일상생활에서는 우리가 전혀 느끼지 못할 뿐이다.

따라서 아인슈타인의 특수상대성 이론에 따르면 시간과 공간은 둘을 합친 '시공간'으로서만 절대적인 의미를 가질 뿐이고 우리는 4차원의 세상에 살고 있는 것이다. 그래서 시간과 공간이 서로 불가분의 관계에 있다는 아인슈타인의 특수상대성이론은 20세기 초 물리학 뿐 아니라 철학체계의 뿌리를 뒤 흔들어 놓는 대변혁의 사건이었으며 시공간의 개념을 재정립하는 철학체계가 러셀, 화이트헤드 등의 철학자들에 의하여 만들어지게 되었다.

자, 그러면 처음 질문으로 다시 되돌아가 보자. 왜 우리는 5차원이나 32차원이 아니라 하필이면 4차원의 시공속에 살고 있을까? 아인슈타인의 상대성이론조차도 이 질문에 대하여서는 전혀 대답하지 못하였다. 단지 처음부터 우리가 일상생활에



서 느끼듯이 우주는 4차원이라고 가정하였을 뿐이다. 그런데 처음으

로 이 질문에 대한 부분적이거나 이해를 한 사람들은 폴란드의 칼루자와 독일의 클라인이라는 물리학자들 이었다. 이들은 아인슈타인의 4차원에 대한 일반상대성 이론이 발표된 직후 곧 바로 5차원으로 확장된 이론을 고려하여 보았다. 그리고 이 5차원에 포함되어 있는 공간이 한 방향으로는 마치 마분지를 말아놓은 것과 같이 작은 부피로 될 수 있음을 밝혀 놓았다.

10차원 중 6차원은 현대과학으로 감지 안돼

이런 모양을 가진 공간은 어떻게 보일까? 이를 이해하기 위하여 마분지를 준비하여 보자. 평평하게 펴진 마분지는 2차원의 공간이다. 이 마분지를 둘둘 말아서 여러분 눈앞에 가져가 보자. 가까운 거리에서는 단지 둥글둥글 말렸을 뿐이지 마분지가 여전히 2차원임을 쉽게 관찰할 수 있다. 그러나 아주 멀리 떨어져서 보면 어떨까? 마분지가 둥글둥글 말린 것은 보기 힘들고 길쭉한 막대처럼 보일 것이다. 다시 말하면 1차원의 공간으로 느껴진다는 것이다. 이와 같은 생각으로 칼루자와 클라인은 '원래 우주는 5차원이지만 그중 한 개의 차원이 분자나 원자보다 훨씬 작은 구간으로 되어 있어서 지금까지 가능한 실험

이나 검증 범위 안에서는 4차원인 것처럼 느끼지 않을까' 라고 제안한 것이었다.

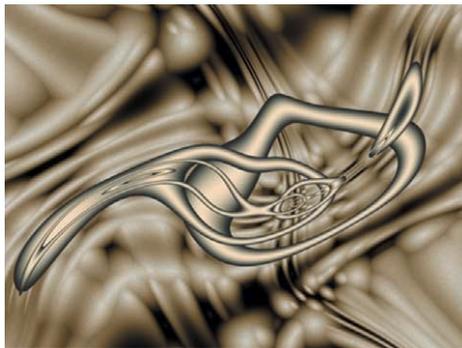
이렇게 눈으로 볼 수 없다면 우주가 미시적으로는 5차원이라는 것을 어떻게 증명할 수 있을까? 재미있게도 이 작은 구간은 거시적인 4차원에 중력 이외에도 다른 형태의 힘이 존재할 수 있음을 제시하여 주는데 이는 다름아닌 전자기력과 같은 모양이다. 아인슈타인 자신도 이들의 아이디어에 자극을 받아 일 반상대성이론을 발표한 이후 중력과 전자기력을 통합하는 통일장이론을 발견하는데 그이 모든 생애를 바쳤다. 결과는 아인 슈타인의 판정패였다.

그러나 칼루자와 클라인의 제안 역시 우주가 왜 4차원인지 전혀 설명하지 못하고 있다. 누구나 "그렇다면 왜 처음 시작이 하필이면 5차원 이냐"라고 반박할 수 있기 때문이다. 단지 설명할 수 있는 것은 만일 우주가 미시적으로 5차원이었다면 어떻게 거시적으로 4차원으로 보일까 하는 점이었다. 시공간의 차원에 관한

이런 부정확함과 모호함은 보다 근원적으로는 뉴턴의 만유인력이나 이를 확장한 아인슈타인의 상대성 이론들이 4차원 뿐 아니라 모든 차원으로 아주 손쉽게 그리고 모순없이 적용될 수 있다는 사실에 기인한다.

4차원의 기원을 처음으로 설명하는 이론이 바로 초끈 이론이다. 물리학자들이 지난 50년 동안 가장 골치를 썩혀온 문제 중의 하나는 유명한 아인슈타인의 일반상대성 이론을 양자역학과 접목시키는 것이 불가능하다는 점이었다. 초끈이론이란 위와 같은 가정에 바탕을 두어 일반상대성이론을 확장한 것인데 흥미롭게도 양자역학과 전혀 위배되지 않는다는 것이 밝혀져 있다. 그런데 이 초끈이론에 따르면 이 이론에서 일반상대성이론과 양자역학 현상이 자연스럽게 나타나려면 시공간의 차원이 10차원이어야 한다는 것이다.

만일 초끈이론이 예견하는 시공간의 차원이 3차원 혹은 그 이하였다면 초끈이론은 우리가 경험하는 4차원의 시공간과는 연결될 가능성이 없으므로 당연히 틀린 이론에 해당한다. 초끈이론이 미시적으로 정의될 수 있는 유일한 차원이 10차원이라면, 앞서 칼루자와 클라인이 고려했던 제안을 적용하여 볼 수



있겠다. 즉 10차원 중 6차원의 공간이 우리가 현재 어떤 실험을 통하여서도 감지할 수 없을 만큼 아주 작은 크기로 구부러져 있다면 거시적으로는 펼쳐있는 4차원만 보일 것이고 따라서 처음으로 4차원의 “기원”을 초끈이론이라는 기본 이론으로부터 설명할 수 있겠다.

우주공간의 ‘차가운 빛’은 우주성장 자취

그러면 구부러진 6차원의 공간은 어떤 모양을 이루고 있을까? 같은 2차원이라고 하여도 공모양, 도넛 모양, 파배기 과자 모양 등등 여러 가지가 있듯이 6차원의 공간도 여러 가지 부류로 나뉘어 진다. 재미있게도 이 6차원의 공간이 어떤 부류에 속하느냐에 따라 4차원 세상에 나타나는 원자나 분자의 종류등이 결정된다. 물론 전자기력, 약력, 강력과 같은 우주의 기본힘도 칼루자-클라인의 경우처럼 6차원 공간의 부류에 따라 결정되어진다. 따라서 아주 특별한 부류의 6차원 공간만이 우리가 원하는 공간에 해당되는데 문제는 과연 그런 공간이 존재하느냐 하는 수학적인 질문에 다르르게 된다.

다행스럽게도 이런 6차원의 공간의 존재는 70년대에 하바드 수학과와 중국계인 ‘야우’ 교수에 의하여 처음으로 명확하게 증명되었다. 그래서 위의 6차원 공간을 ‘칼라비-야우 공간’이라고 부르는데 현재 초끈이론 물리학자들과 대수기하학의 저명한 수학자들 사이에서 가장 활발히 연구되고 있는 분야이다.

이런 초끈 이론의 내용을 실험을 통하여 검증하여 볼 수 있을까? 이 이론에 의하면 끈의 직경은 엄청나게 작다고 하므로 막강한 분해능의 입자 가속기 현미경을 만들어야 하겠다. 불행히도 그런 기술의 개발은 현재의 첨단 과학기술의 발전 속도로 미루어 어렵잡아 보면 우리세대에서는 불가능한 것 같다. 그렇다고 전혀 방법이 없는 것은 아니다.

밤하늘은 우주의 사진첩, ‘태초의 얘기’ 전해

우리가 살고 있는 바로 우리의 우주는 궁극적으로 기본원소들로 구성되어 탄생, 출발하였으므로 초끈 이론 역시 검증해 볼 수 있는 훌륭한 실험실을 제공해 준다고 하겠다. 앞서 우주는 대폭발 직후 엄청나게 많은 끈들이 떠돌아 다니는 가스 형태였다고 하였다. 이런 끈의 가스는 우주가 성장함에 따라 우주 공간에 발자국과 같은 자취를 남겨 놓는데 이런 자취는 현



재 인류의 첨단과학기술을 잘 이용하면 지상에서 혹은 인공위성에 부착하여 띄운 망원경을 이용하여 관찰함으로써 찾아낼 수 있다. 그 자취 중 가장 흥미로운 것이 전파통신 안테나를 이용하여 현재 활발히 관찰하고 있는 우주공간의 ‘차가운 빛’ 그리고 미국과 호주에 현재 건설중인 레이저빔 간섭 안테나를 이용한 태초 우주 탄생때 발생한, 마치 물결과와 비슷한, ‘중력파동’이다.

밤하늘을 올려다 보자. 우주는 과거를 찍어놓은 사진첩과 같아서 우리가 지구를 떠나 우주 깊숙히 빛속도로 100억년동안 여행하면 태초 대폭발의 현장에 다다를 수 있고 거꾸로 그 때 만들어진 차가운 빛과 중력파동은 100억년동안 우주를 가로질러 여행하여 우리 지구에 도달하고 있는 중이다.

세상에서 가장 거대한 우주 자신의 자취를 관찰하여 물질의 기본 단위를 이루는, 세상에서 가장 작은, 초끈을 검증할 수 있다는 것은 참으로 신기한 아이러니가 아닐 수 없다. 재미있게도 차가운 빛과 중력파동들은 안테나로 검출하여 소리로도 들을 수 있다. 끄르럭, 끄르럭, 끄르럭.... 우주는 우리에게 만물의 기본 단위가 만들어 낸 태초의 자국을 소근소근 이야기해주고 있는 중이다. ㉓



글쓴이는 서울대학교 물리교육과를 졸업, 미국 미국 캘리포니아 공과대학에서 석사 및 박사 학위를 받은 후, 미국 산타바바라 이론물리연구소 연구원, 예일대학교 연구교수, 프린스턴대학교 연구교수를 역임했다.