

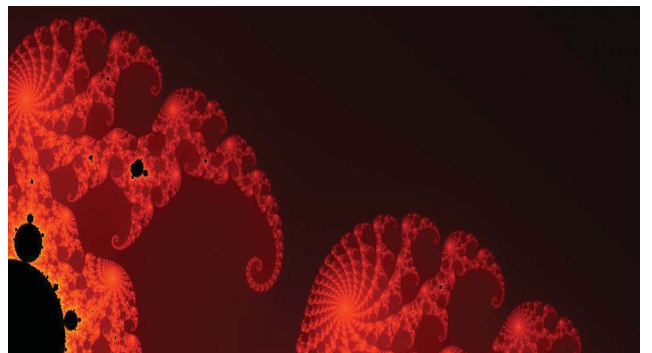
우주는 광자와 중성미자의 바다

글 | 임성빈 _ 명지대학교 교수 sbimm@mju.ac.kr

전자와 양전자가 충돌하면 큰 에너지를 가진 전자기파, 즉 정지질량을 가지지 않는 두 개의 광자로 방사되는데 이와 같은 고에너지 광자를 γ 선이라고 한다. 또 반대로 충분한 에너지를 가진 광자, 즉 전자기파가 충돌하면 전자와 양전자가 생성된다. 이와 같이 미시의 세계에서는 물질이 에너지가 되고 에너지가 물질이 되는 것이 얼마든지 가능하다. 그리고 광자나 전자와 같은 입자들은 가질 수 있는 에너지가 연속적이지 않고 특정 값의 정수배로만 가능하기 때문에 이들을 양자라고 한다. 그런데 이들 세계에서는 물질이 텅 빈 공간, 즉 진공에서 양자가 생성될 수도 있다. 그렇지만 실제로는 완전히 비어있는 공간이란 있을 수 없고 어떤 진공상태에서도 잠재적인 소립자들이 부글부글 끓고 있으며 끊임없이 생성되었다가 소멸되는데 이를 양자요동이라고 한다.

우주는 유동하는 홀로그램이자 프랙탈 구조

광자는 우주공간에 가장 많이 존재하는 입자로서 1cm³당 평균 약 500개가 존재하는데 질량은 없지만 정해진 양의 에너지를 가지고 항상 빛의 속도로 움직이며 절대로 정지하지 않는다. 빅뱅 초기에 광자보다도 더 먼저 다른 물질들과 분리된 중성미자는 보통 물질과는 거의 상호작용을 일으키지 않아 지구나 태양과 같은 단단한 물질도 쉽게 관통한다. 중성미자도 반입자를 포함하여 1cm³당 평균 약 400개가 존재하며 평균에너지도 광자보다는 약간 낮지만 거의 비슷하다. 그러니까 우주는 광자와 중성미자의 바다라고 할 수 있으며 별들을 포함하여 우주에 존재하는 모든 물질들은 이 바다에 떠



프랙탈구조-맨델브로트의 경계

있는 것이나 마찬가지로 이들은 우주의 팽창과 함께 에너지를 잃으며 서서히 식어가고 있다. 중성미자는 아직 질량을 가졌는지 아닌지조차도 밝혀지지 않았는데 워낙 이들의 수가 많기 때문에 이들이 아주 작은 질량만을 가지고 있다고 해도 전체 질량은 우주의 미래가 달라질 만큼 큰 값이 된다.

사실 광자나 전자와 같은 소립자, 즉 양자들은 객관적인 존재가 아니라서 관측하기 전까지는 어느 곳에나 있으면서 어느 곳에도 존재하지 않으며 또 우리와 상호작용하는 방법에 따라 입자도 되고 파동도 되므로 입자로 검출하려고 하면 입자로 나타나지만 파동으로 검출하려고 하면 양자상태가 붕괴되어 파동으로 나타난다. 이들은 파동도 아니고 입자도 아니면서 파동인 동시에 입자인 이중성을 가지고 있는 것이다. 또 이들은 파동과 입자라는 각각 다른 상태로 존재할 수 있을 뿐만 아니라 동시에 여러 곳에 존재할 수도 있으며



프랙탈 구조-브랜슬레이즈의 고사리

이들은 서로를 간섭하는데 이를 양자 중첩이라고 한다.

미시세계에서는 소립자들이 독립된 존재라기보다는 다른 입자들과 서로 연결되어 있는 것으로 보인다. 이를 양자상태의 얽힘이라고 하는데 하나의 부분영역에서 발생하는 변화가 순간적으로 다른 부분영역에 전달될 수 있으며 그 전

달속도는 빛보다 훨씬 더 빠를 수도 있다. 따라서 이런 현상은 정보의 전달에 의해서라기보다는 이들 소립자가 빅뱅이 일어났을 때 공적으로 생성됨으로써 어떤 양자역학적인 방식으로 연결되어 있고, 그로 인해 나타나는 우주의 비국지성(초공간성) 때문인 것으로 보고 있다. 이들 연구에서 밝혀진 바에 의하면 거시세계에서는 원자와 분자로 만들어진 분리된 객체가 존재하지만, 이들 원자와 분자를 구성하고 있는 소립자의 수준에서는 이러한 분리는 사라져버리고 우리 우주공간에는 분리될 수 있는 것이 아무것도 없으며, 만물이 다른 만물 속에 침투해 있고 또 다른 만물에 의해 침투되어 있다는 것이다.

한편 홀로그램을 만드는 필름은 2차원 평면 속에 3차원 영상을 담은 것으로서 일반 필름과는 달리 아무리 작은 조각 속에도 해상도만 떨어질 뿐 전체의 영상을 모두 간직한다. 우리 우주는 홀로그램과 같은 특성을 가지고 있어서 아무리 작은 티끌 속에도 우주 전체의 모습과 정보가 담겨져 있어 그 자체가 일종의 거대한, 유통하는 홀로그램이다. 또한 우주는 무한대까지 반복되는 것은 아니지만 부분 속에 전체의 모습이 들어있고 또 그 부분 속에도 전체의 모습이 들어있는 프랙탈 구조로 되어 있다.

5가지 초끈이론이 통합돼 M-이론으로 발전

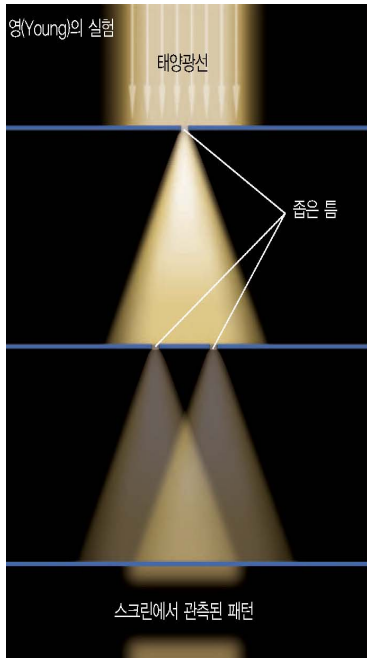
초기의 끈이론은 양성자나 중성자 또는 중간자 속에서 쿼크를 분리해 내려다가 실패하자 이들이 끈으로 연결되어 있다고 본 이론

인데 양자색역학이 쿼크들에 색을 부여해 이 문제를 성공적으로 설명하자 사라져 버리는 듯하였다. 그러나 이 이론과 관련된 연구로부터 그 때까지 불가능할 것으로 여겨졌던 양자적 중력이론이 성립되면서 다시 생명력을 얻게 되었다. 당시까지의 전통적인 입자물리학은 전자와 쿼크를 크기가 없는 점 입자로 간주하였으며, 이 경우 중력을 받아들일 수가 없었다. 그런데 새로운 끈 이론에서는 물질 입자든 매개입자(중력자 포함)든 관계없이 모든 입자가 굵기는 없고 플랑크길이 정도의 길이만 있는 진동하는 끈으로서 끈의 진동패턴에 따라 각기 다른 입자의 형태로 나타난다는 것이다. 이렇게 되면 물질이나 힘을 이루는 최소단위는 하나뿐이며 여기에는 중력까지도 포함된다. 그리고 진동패턴은 항상 짝을 지어 나타나며 한 쌍의 진동은 스핀이 1/2 단위로 차이가 난다는 것을 알게 되었다. 이들 정수 스핀과 반정수 스핀 사이에 존재하는 대칭성, 즉 어떤 변환을 가해도 달라지지 않는 공통적인 속성에 '초대칭'이라는 이름이 붙게 되었고 끈이론도 초대칭 끈이론, 줄여서 초끈이론으로 부르게 되었다.

초끈이론은 다른 이론으로는 불가능했던 일반상대성이론과 양자역학의 결합을 가능하게 함으로써 많은 관심을 끌게 되었으나 결점도 많았다. 가장 결정적인 것은 초끈이론이 성립하려면 시공간이 지금보다 6차원 더 많은 10차원이 되어야 한다는 점이었으며, 또 하나는 수학적으로 타당한 초끈이론이 5가지나 있다는 것이었다. 그러나 3차원공간보다 더 큰 차원의 우주공간이 가능하다는 이론은 이미 오래전부터 제기되고 있었기 때문에 5가지의 초끈이론이 하나로 통합될 수 있음이 밝혀지자 이 이론은 물리학계의 최대 화두가 되었다. 이 이론에는 M-이론이라는 이름이 붙었는데 M이 'Master'의 약자인지 또는 'Majestic, Mother, Magic, Mystery, Matrix'의 약자인지는 분명치 않다.

M-이론은 아직도 상당부분이 베일에 가려져 있지만 M-이론이 성립하기 위해서는 초끈이론보다 한 차원 더 많은 11차원 시공간이 필요한 것으로 밝혀졌다. 그리고 우주의 최소단위는 1차원 끈만이 아니라 2차원 막(membrane)일 수도 있고 3차원 객체일 수도 있는 것으로 나타났다. 이로써 M은 'membrane'의 약자일 수도 있게 되었으며 'membrane'은 2차원이지만 차원 문제를 일반화하기 위하여 '2-브레인'이라고 부르고 1차원 끈은 1-브레인, 3차원 객체는 3-브레인, p차원(10차원 이내)으로 확장된 막은 p-브레인으로 부르게 되었다.

이와 같은 p-브레인은 꼭 작아야 될 이유는 없으며 최근에는 우



파동과 입자의 이중성(@nobelprize.org.psd)



리가 알고 있는 우주만물이 더 높은 차원 속에 설치된 3-브레인 스크린 위에 존재한다는, 즉 우주 자체가 하나의 브레인이라는 브레인세계 가설도 등장하였다. 이 가설에 의하면 광자는 3-브레인 안에서는 얼마든지 자유롭게 이동할 수 있으나 3-브레인을 이탈할 수는 없다. 따라서 여분의 차원으로 인한 공간이 아무리 커도 우리는 그것을 볼 수 없다는 것이다. 또 끈이나 다른 고차원 브레인들이 모두 점 입자와는 다른 0-브레인의 집합으로 이루어져 있다는 매트릭스 이론도 나왔는데, 이 이론에 의하면 시공간조차도 0-브레인의 적절한 조합으로 이루어져 있다는 것이다. 여하튼 앞으로 M-이론의 발전과 함께 많은 우주의 비밀들이 밝혀질 것으로 기대되고 있다.

양성자와 전자 질량 차이 커 수소 존재

원자핵이 원자의 크기에 비해 굉장히 작지만 전자에 비해서는 훨씬 무겁고 전자가 매우 가볍다는 것은 원자들이 이웃하는 원자들의 원자핵과 원자핵 또는 전자와 전자 사이의 전기적 반발을 극복하고 안정적인 분자상태를 유지하는데 결정적인 역할을 하고 있다. 원자핵 내에서는 양성자와 양성자 사이의 전기적 반발력과 양성자와 중성자 사이의 강한 핵력이라는 두 가지 힘이 작용한다. 그런데 강한 핵력이 지금보다 조금만 더 약했다면 전기적 반발력 때문에

수소 이외의 원소들은 존재하기 어려웠을 것이고 별들도 만들어지지 못했을 것이다. 그러나 반대로 강한 핵력이 조금만 더 강했다면 보통의 수소는 존재할 수 없었을 것이며 세상은 전혀 달라졌을 것이다.

중력은 전자기력이나 핵력에 비할 수 없이 엄청나게 약하다. 1,000억×1,000억×1,000억×1,000분의 $1(10^{-36})$ 배 정도이다. 그런데 중력이 이보다 더 강했다면 빅뱅 후 우주의 팽창이 순조롭게 진행되지 못하고 별도 지금 같은 크기를 가지지 못했을 것이다. 반대로 더 약했다면 별의 생성 자체가 불가능했을 것이다.

주계열별에 있어서 수소 핵이 핵융합으로 헬륨 핵을 합성할 때 0.7%의 질량이 줄어들고, 줄어드는 이 질량이 열에너지로 바뀌어 별을 안정적으로 유지하게 된다. 이 양이 조금만 더 크거나 작았다면 열에너지와 중력압이 평형을 이룰 수 없어 별은 만들어지지 못하고 오늘날과 같은 우주는 존재할 수 없었을 것이다.

양성자의 질량은 전자의 약 1천836배이며 중성자의 질량은 1천838배로서 중성자의 질량이 양성자보다 약 1/900 정도 더 무겁다. 이 차이는 매우 사소해 보이지만 전자 질량의 2배에 해당한다. 만일 전자의 질량이 이처럼 가볍지 않았다면 전자는 쉽게 양성자와 결합하여 중성자를 만들어 냈으로써 이 세상에 수소는 전혀 남아 남지 못했을 것이다.

우주에 존재하는 모든 물질은 물을 제외하고는 온도가 올라가면 밀도가 작아지고 온도가 내려가면 밀도가 커진다. 그런데 물만은 4℃ 때 최대 밀도가 되며 온도가 그 이하로 내려가면 밀도가 오히려 작아진다. 그래서 다른 액체들은 밑에서부터 얼어 올라오지만 물은 표면부터 얼고, 또 표면의 얼음이 물 속 깊이까지 얼어붙는 것을 어렵게 함으로써 물 속의 생태계가 보존되고 더 나아가 지구의 생태계가 유지될 수 있는 것이다.

이외에도 우리 우주를 구성하고 있는 물질의 성질은 우주가 지금과 같이 진화하여 인간과 같은 생명체들이 등장하고 생존해 나가는 데 매우 적합한 조건들을 갖추고 있으며, 이것을 골디락스 효과라고 한다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 토목공학과 졸업 후 동대학원에서 석사·박사학위를 받았다. 한국교통문제연구원 원장, 명지대학교 공과대학장·교동관광대학원장·문화예술대학원장 등을 지냈으며, 현재 서울특별시 무술협회 회장, 한국바둑학회장을 겸임하고 있다.