

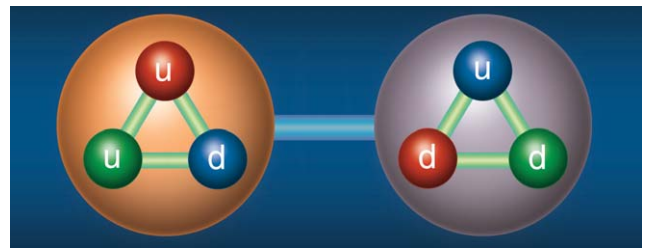
빅뱅 시 빛에서 물질·힘 갈라져 나와

글 | 임성빈 _ 명지대학교 교수 sbimm@mju.ac.kr

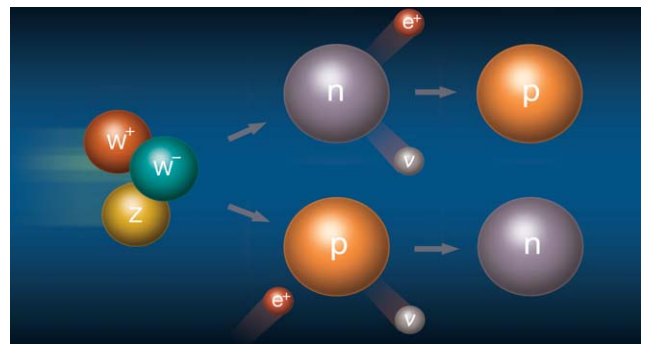
우리의 우주의 모든 물질은 원자로 구성되어 있다. 이들 원자는 중앙에 원자핵이 있고 그 주변에 전자가 분포되어 회전하고 있는데 전자가 분포되어 있는 구역은 순수한 허공과 마찬가지로 원자의 크기는 전자가 분포할 수 있는 제일 바깥쪽 경계면까지의 크기가 되는데 직경이 약 10^{-8} cm임에 비해 원자핵은 약 10^{-13} cm밖에 되지 않는다. 그런데 전자는 원자핵에 비해 워낙 질량이 적으므로 정작 실제 물질이라고 할 수 있는 부분은 원자핵뿐이고 이것은 원자 전체의 크기에 비해 길이단위로 10만분의 1(10^{-5}), 부피로는 1천조분의 1(10^{-15})에 불과하다. 따라서 원자핵의 크기를 지구만하게 만들면 아무리 가까운 다른 원자핵도 지구와 태양 사이의 거리의 거의 7배 이내에는 있을 수 없게 되므로 물체라고 하는 것들이 입자의 입장에서 보면 우리가 마치 우주공간을 바라보는 것과 비슷한 형태이며 아무리 단단해 보여도 실제로는 허공과 다를 바 없는 것이다.

수소 이외의 원소 원자핵은 양성자·중성자로 구성

원자핵은 가장 가벼운 원소인 수소만 하나의 양성자로 되어있고, 나머지 모든 원소는 양성자와 중성자로 이루어져 있는데 가벼운 원소는 대개 양성자와 같은 숫자의 중성자가 원자핵을 구성하나 무거운 원소로 갈수록 중성자의 수가 많아진다. 예를 들어 두 번째로 가벼운 원소인 헬륨은 양성자와 중성자가 각각 2개씩이고 탄소는 6개씩, 질소는 7개씩, 산소는 8개씩 등이다. 그러나 철은 양성자 26개와 중성자 30개이고, 은은 47개와 61개, 금은 79개와 118개, 납은 82개와 125개, 우라늄은 92개와 146개 등이다. 이들 원소의



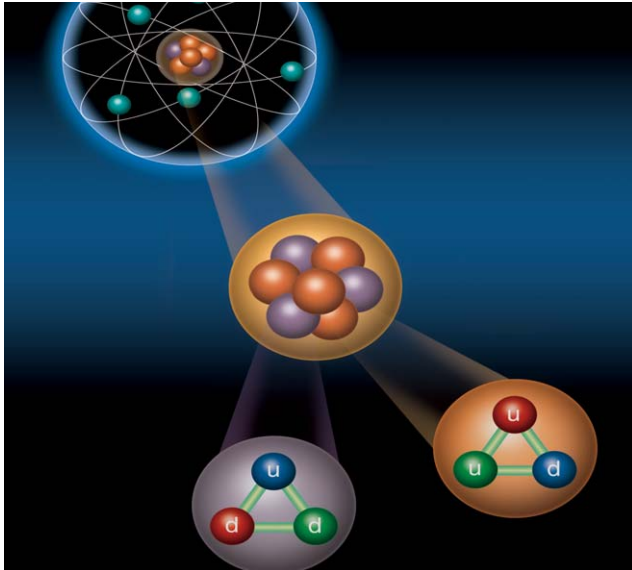
강한 핵력



약한 핵력

화학적 성질은 모두 양성자의 수에 관계되며, 이것이 곧 그 원소의 원자번호가 된다.

그리고 각 원소의 양성자수와 중성자수를 합치면 그 원소의 원자량이 되는데 헬륨은 4, 철은 56, 우라늄은 238 등이다. 그러나 원소들이 항상 같은 수의 중성자만 가지는 것은 아니어서 예를 들어 헬륨-3은 양성자는 2개이나 중성자는 1개로 원자량이 3이고, 산소-17은 양성자는 8개이나 중성자는 9개로 원자량이 17이다. 또 우라



원자의 구조

늄-235는 양성자는 92개이나 중성자는 143개로서 원자량이 235인데 이런 원소들을 동위원소라고 하며 동위원소들은 원소에 따라 여러 개가 있어 주석과 같은 원소들은 동위원소들을 10가지나 가지고 있다. 그리고 모든 원자들은 중성자의 수에는 관계없이 양성자, 즉 원자번호와 똑같은 수의 전자를 가져 전기적으로 중성이 된다.

이와 같이 물질들을 이루고 있는 양성자와 중성자, 그리고 전자와 같은 입자들을 물질입자라고 한다. 그리고 이런 입자들은 각운동량과 관계되는 고유헤스핀이라는 값을 가지는데 물질입자들의 고유헤스핀은 어떤 특정 값의 반 홀수 배, 즉 1/2배, 3/2배, 5/2배 등이며 이런 입자들을 페르미온이라고 한다. 또 전자는 더 이상 나눌 수 없는 기본입자이지만 양성자와 중성자는 각각 3개씩의 쿼크로 이루어져 있다. 이들 중 양성자와 전자는 매우 안정된 입자이며, 중성자 역시 원자핵 내에서는 매우 안정적이거나 독립적인 중성자는 900초 이내에 하나의 양성자와 전자, 그리고 중성미자로 붕괴된다.

물질의 기본적인 구성입자는 6가지의 쿼크와 6개의 경입자(렙톤) 등 모두 12가지의 소립자이다. 6개의 쿼크는 각각 업, 다운, 참, 스트레인지, 톱, 바텀이라고 구분하는데 이를 맛(향)이라고 하며, 경입자는 전자, 뮤온, 타우, 전자중성미자, 뮤온중성미자, 타우중성미자의 6가지이다. 그러나 이들은 모두 반입자를 가지기 때문에 기본입자가 실제로는 24가지가 된다.

모든 물질은 2개의 전자등 경입자로 조성

쿼크는 전하를 가지는데 업, 참, 톱의 전하는 +2/3e이고 다운, 스트

레인지, 바텀의 전하는 -1/3e이며 스핀은 모두 1/2이다. 쿼크는 또 세 가지 종류의 성질 중 한 가지를 가지는데 성질 자체를 색이라고 하며 세 가지 성질에는 각각 빛의 삼원색인 빨강, 초록, 파랑이라는 이름이 붙어 있다. 양성자나 중성자는 3개의 쿼크가 강력에 의해 결합된 것으로서 이러한 입자를 중입자(바리온)라고 하며 그 외에 2개의 쿼크가 강력에 의해 결합된 입자를 중간자(메존)라고 한다. 그리고 강력에 의해 결합된 이런 입자들을 통틀어 강입자(하드론)라고 하며 이에 대하여 경입자들을 약입자라고도 한다.

양성자와 중성자를 만드는데 쓰이는 쿼크는 6가지 중 업과 다운 두 가지뿐이다. 즉 업 2개와 다운 1개가 결합되면 전하가 +e인 양성자가 되고 업 1개와 다운 2개가 결합되면 전기적으로 중성인 중성자가 되는 것이다. 그런데 쿼크는 색을 가진 채로 독자적으로 존재할 수는 없고 반드시 다른 쿼크와 결합하여 색이 없는 상태로만 존재할 수 있으며 강력은 색이 다른 입자 사이에만 작용하기 때문에 양성자나 중성자를 이루는 쿼크는 세 가지 색 중 각각 다른 한 가지 색을 가져야 한다. 이를 밝힌 이론이 양자색역학이다.

그러나 중간자는 2개의 쿼크로 만들어지기 때문에 쿼크끼리만으로는 이러한 조건을 만족시킬 수 없다. 따라서 중간자는 쿼크와 그의 보색을 가지는 반쿼크를 결합시켜 이러한 조건을 만족시킨다. 중간자 중 가장 중요한 파이중간자의 경우 업쿼크와 반업쿼크, 다운쿼크와 반다운쿼크가 결합되면 전기적으로 중성인 π중간자가 되지만 업쿼크와 반다운쿼크가 결합되면 전하가 +e인 π+중간자, 다운쿼크와 반업쿼크가 결합되면 전하가 -e인 π-중간자가 된다.

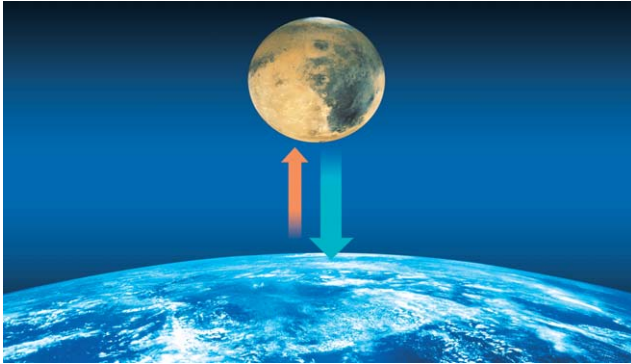
결국 우주공간을 채우고 있는 모든 물질은 두 가지의 쿼크와 전자 등 단 3가지의 경입자로 만들어져 있으며 다른 입자들은 강입자나 약입자들을 막론하고 대부분 빅뱅과 같은 아주 극한적인 상황에서만 존재한다. 한편 이들 반 홀수배의 고유헤스핀을 가지는 물질입자들은 다수의 입자를 포함하는 계에서 2개 이상의 입자가 같은 양자상태를 취할 수 없다. 예를 들어 원자 내에서 하나의 양자궤도에는 똑같은 양자상태의 전자가 2개 들어갈 수 없기 때문에 반드시 반대 스핀을 가지는 2개의 전자만이 존재할 수 있으며 이것을 파울리의 배타원리라고 한다.

상호작용하는 네 가지 힘, 중력 · 전자기력 · 강력 · 약력

우주공간에는 이와 같은 물질들 외에 물질 사이에 상호 작용하는 네 가지 힘이 존재하며 이들도 몇 가지 입자들의 교환에 의해서 전달되는데 이러한 입자들을 매개입자라고 한다. 이들은 물질입자



전자기력



중력

와는 달리 어느 특정 값의 0배, 1배, 2배 등 정수배의 고유스핀 값을 가지며 이러한 입자를 보손이라고 한다. 그 중 첫 번째 힘인 중력은 질량이 없고 스핀이 2인 중력자에 의해 전달되는데 한 가지 종류만 있는 질량 사이에 작용하며 거시세계를 구성한다. 즉 별들의 세계가 유지되는 것은 모두 중력의 작용이고 전자기력이나 핵력은 전혀 영향을 미치지 못한다. 중력은 무한대까지 작용하나 네 가지 힘 중 가장 약해서 강력의 10^{-38} 밖에 안 되며, 그 크기는 질량에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다.

두 번째 힘인 전자기력은 질량이 없고 스핀이 1인 광자에 의해 전달되는데 +와 -, 두 가지 종류가 있는 전하 사이에 작용하며 미시세계를 구성한다. 즉 원자핵이 전자를 붙잡아 원자를 구성할 수 있도록 해 주는 것은 전자기력이며 중력이나 핵력은 전혀 관계가 없는데 +와 -가 균형을 이루기 때문에 전기적 특성이 밖으로 나타나지 않는 중성이 된다. 또 원자들이 결합하여 분자들을 만들고 분자들이 결합하여 물질을 만드는 것도 모두 전자기력의 작용이다. 전기력은 전자기력 중 전하들 사이에 작용하는 힘이고 자기력은 움직이는 전하들 사이에 작용하는 힘이다. 그래서 전기장이 움직이면 자력이 발생하고 자기장이 움직이면 전력이 발생한다. 전자기력 역시 무한대까지 작용하나 대개 +와 -, 그리고 N극과 S극이 상쇄돼 실제로는 멀리까지 작용하는 경우가 거의 없으며 세기는 강력의 1/100 정도이다. 전자기력 역시 전하의 크기에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다.

세 번째 힘인 강한 핵력(강력)은 두 가지가 있는데 원자핵 내부에

서 작용하며 극미세계를 구성한다. 먼저 세 가지 색의 쿼크를 묶어 양성자와 중성자를 만들어 주는 것은 질량이 없고 스핀이 1인 글루온이라는 매개입자이다. 글루온은 쿼크와 작용하여 이들의 색을 바꿔줌으로써 이들을 결합시키는데 어떤 색을 어떤 색으로 바꾸어주느냐에 따라 8가지가 있다. 글루온 역시 자체의 색을 가지고 있어 쿼크와 마찬가지로 따로 존재하는 것은 불가능하며 양성자나 중성자 안에서만 존재할 수 있다. 또 양성자와 중성자들을 묶어 원자핵을 만들어 주는 것은 스핀이 0인 파이중간자이다. 이들 글루온과 파이중간자에 의해서 전달되는 강력은 네 가지 힘들 중 가장 강해서 전자기력의 100배 정도지만 작용범위는 10^{-13} cm로서 원자핵 내에서만 작용한다.

네 번째 힘인 약한 핵력(약력)은 중성자가 β 붕괴를 일으켜 전자와 중성미자를 방출하고 양성자로 바뀌도록 해주거나 역으로 양성자가 전자를 포획하여 중성미자를 방출하고 중성자로 바뀌도록 해 주는 등의 역할을 해 주는 힘인데 매개입자는 전하를 가진 W+입자와 W-입자, 그리고 전기적으로 중성인 Z' 입자이며 스핀은 모두 1이다. 약력의 세기는 강력의 10^{-13} 정도이며 작용범위도 강력보다 더 좁은 10^{-16} cm 정도로서 양성자나 중성자 내에서만 작용한다. 그런데 약력을 전달하는 입자들은 매우 무겁지만 빅뱅 이후 약력과 전자기력이 나누어졌을 때와 같은 온도 이상이 되면 질량을 잃어 광자와 구별이 불가능해지며 약력과 전자기력은 같은 작용이 된다. 그리고 이들 정수배의 고유스핀을 가지는 매개입자들은 파울리의 배타원리와 관계가 없어 같은 계 안에 얼마든지 많은 입자가 같은 양자상태로 존재할 수 있다.

이와 같이 우주공간을 채우고 있는 모든 물질이나 그 사이에 작용하는 모든 힘들은 모두 몇 가지의 기본적인 입자들로 이루어져 있으며, 이들은 빅뱅의 어느 단계에선가 빛으로부터 갈라져 나온 것들이다. 따라서 빅뱅의 과정을 거꾸로 거슬러 올라가면서 이들이 갈라지기 이전의 단계로 돌아가면 이들은 다시 통합을 이루게 되고 궁극적으로는 물질이나 힘이나 모두 대통합을 이루어 다시 단 하나, 빛(광자)만 남게 될 것이다. ㉓



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