

④ 우주와 물질의 기원을 찾아서

# 137억년 한 점에서 폭발, 우주공간으로 급속히 확산

글 | 김수봉 \_ 서울대 물리천문학부 교수 sbkim@phy.snu.ac.kr

오늘 해는 진화론의 창시자인 다윈이 태어난지 200년이 되었고, 그의 저서 '종의 기원'이 출간된지 150년이 되는 해이다. 지구가 탄생한 시기가 대략 45억 년 전이고, 이 지구에 최초의 생명체가 탄생한 것은 약 40억 년 전으로 추측하고 있다. 이 원시 생명체가 진화하여 약 1천만 년 전 원시인류가 탄생하였고, 약 10만 년 전 현생인류인 호모사피엔스로 진화되었다고 한다. 그렇다면 우리의 우주는 언제 어떻게 시작되었을까? 현존하는 우주의 물질은 어떻게 생성되었을까? 또 밤하늘의 별과 은하는 어떻게 생성되고 진화되었을까? 인간과 모든 생명체의 기본구성 단위인 세포를 더 쪼개어보면 단백질, 아미노산, 분자, 원자의 순서로 나누어지고, 생명체도 결국 물질로 구성되어 있음을 알 수 있는데, 이 물질들은 어디서 온 것일까? 20세기 이르러 드디어 우리 인간은 한없이 넓고 신비한 우주의 탄생을 느끼게 되었다. 우주팽창의 관측과 물리학의 발전으로 '대폭발(빅뱅) 우주론'이 완성된 것이다. 이는 아마도 인간이 발견한 가장 위대한 사실 중의 하나일 것이다.

### 대폭발 우주론과 물질의 탄생

20세기 초, 양자역학이 나오면서 원자물리, 핵물리, 입자물리가 눈부신 발전을 하였다. 게다가, 우주선(宇宙線)에서 소립자를 발견하게 되고 가속기의 등장으로 여러 종류의 소립자를 관측하기에 이르렀다. 이러한 배경 속에서 대폭발 우주론은 아래에 열거한 관측 근거를 토대로 만들어지게 되었다.

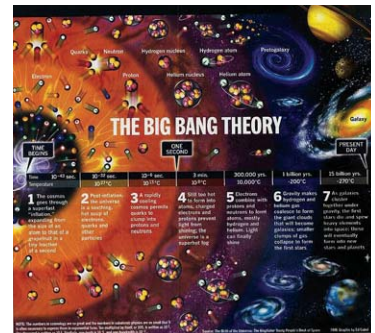
첫째, 우주팽창의 관측이다. 1929년 허블은 여러 은하의 거리와 방출한 빛의 스펙트럼이 적색 쪽으로 이동한 데이터를 토대로 우주는 팽창하고 있으며 거리가 먼 은하일수록 멀어지는 속력이 비례하여 커짐을 알아냈다. 1923년부터 허블은 LA 근처의 월슨 산에 위치한 100인치 망원경을 사용하여 성운을 관측하는 도중에, 관측자로부터 멀어지는 물체에서 나온 빛의 관측된 파장이 원래 방출된

파장보다 길어지는 도플러 효과를 적용하여 은하가 우리 지구로부터 멀어지고 있는 것으로 설명하였다. 허블은 이러한 관측을 토대로 시간을 거슬러 되돌아가면 우주는 한 점에서 시작한다고 믿었다.

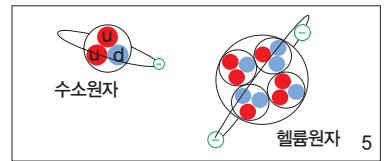
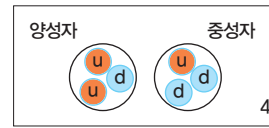
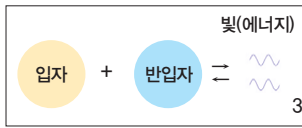
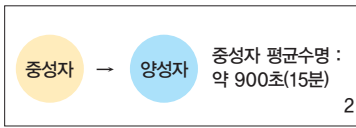
둘째, 대폭발 우주론의 탄생이다. 우주팽창의 관측 후, 1940년대 후반기에 가모브는 알퍼, 허만과 함께 대폭발 우주론을 만들었다.

대폭발 우주론은 약 137억 년 전 우주의 모든 물질이 한 점에 모여 있다가 폭발하여 최소단위의 기본입자 형태로서 우주공간으로 급속히 퍼져 나갔다는 이론이다. (그림1 참조) 드디어 우주의 탄생과 초기우주에 대해 인간이 이해하게 된 것이다. 예를 들어 우주 대폭발 직후 몇 분 동안의 초기우주의 온도, 밀도, 원자핵 합성에 대해 설명할 수 있게 된 것이다.

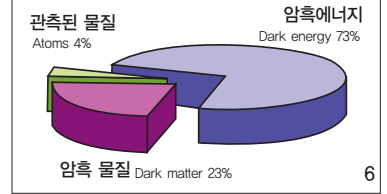
셋째, 우주배경복사의 관측이다. 1965년 미국 벨연구소의 월슨과 펜지아스는 원래 인공위성과 교신하기 위해 만든 전파 수신기에서 계속적으로 관측되는 배경신호를 설명하려다가 초기우주에서 방출된 빛을 관측하였다. 우주팽창으로 온도가 낮아지면서 우주대폭발 후 약 30만 년이 경과되었을 무렵에 핵과 전자가 결합하여 중화된 원자를 만들면서 빛은 물질과 더 이상 상호작용하지 않고 우주를 자유로이 떠돌아다니게 되었다. 현재 관측되는 우주배경복사는 당시에 우주로 퍼져 나간 희미한 빛이 우주팽창과 함께 파장이 길어지면서 전파 형태의 초기우주 화석인 셈이다.



1. 빅뱅이론은 우주가 탄생한 후부터 시간이 지남에 따라 우주의 물질 구성형태를 구체적이고 정량적으로 기술한다. 초기우주는 입자들의 세상이었다가 약 3분이 지난 후 무거운 원자핵을 생성하고, 나중에 이 핵들은 전자와 결합하여 안정된 원자가 되었다. 오랜 시간이 지난 후 원자들이 별과 은하를 형성하고 생명체가 탄생한다.



2. 중성자는 양성자로 붕괴하며 우주팽창과 함께 점점 양성자의 개수가 더 많아진다.
3. 초고온의 초기우주에서는 입자와 반입자는 서로 만나 소멸하여 빛으로 변했다가 다시 입자와 반입자를 생성하였다.
4. 우주팽창으로 온도가 낮아지면서 쿼크입자들이 모여 양성자와 중성자의 핵자를 형성하게 되었다.
5. 수소핵은 양성자 1개, 헬륨 핵은 양성자 2개, 중성자 2개로 이루어지며, 이 핵들에 전자가 결합하여 원자를 형성하게 된다.
6. 실제 관측된 우주의 질량은 예상된 양의 약 5% 정도에 불과하고 나머지 우주질량의 대부분(70%)은 보이지 않는 암흑 에너지의 형태와 약 20%는 관측되지 않은 암흑물질로 되어 있다고 추정된다.



마지막으로 초기우주의 원자핵합성과 헬륨 원소의 비이다. 대폭발 우주론은 헬륨이 우주물질 질량의 22~28%가 되어야 한다고 예측한다. 초기우주에서 서로 똑같은 개수로 만들어진 양성자와 중성자가 시간이 지나면서 중성자가 양성자로 붕괴하여 점점 양성자가 더 많아지게 된다. 원자물리, 핵물리의 발전으로 초기우주에서 팽창한 우주의 크기를 알아내면 양성자와 중성자의 밀도를 구하고 이들 핵자들이 충돌하여 중수소핵과 헬륨핵 등 가벼운 원소의 핵을 생성하는 세기를 계산하였다. 양성자와 중성자로부터 핵을 만드는 과정을 원자핵합성이라 부른다. 원자핵합성은 현대 우주론의 성공을 뒷받침하는 결정적 역할을 하였다. 대폭발 우주론에 의하면 대폭발 직후의 초기우주는 점과 같이 아주 작은 공간과 상상할 수 없을 정도의 높은 온도에서 소립자들만 돌아다니는 세계였다. 쿼크, 전자 등의 기본입자와 반입자가 끊임없이 생성되었다가 없어지는, 현재의 우주와는 전혀 다른 세상이었다(그림 2 참조). 반입자는 입자에 대응하여 반대되는 전하 등의 성질을 가진 소립자로서 입자와 반입자는 서로 만나면 빛으로 소멸한다. 현재 우리의 우주는 입자들만의 세상이고 반입자는 가속기와 같이 입자의 에너지를 높여주면 순간적으로 생성되었다가 주위의 입자와 만나 금방 소멸된다. 우주의 팽창에 따라 우주의 온도는 급격히 떨어지고 대부분의 입자와 반입자는 소멸하면서 빛과 같은 에너지로 변한다. 우주가 계속 팽창하면서 어느 순간 반입자보다는 겨우 조금 더 많이 존재했던 입자가 모여 중성자와 양성자의 핵자를 만들게 되었다(그림 3 참조). 우주의 계속된 팽창은 이 핵자들이 모여 수소와 헬륨핵을 형성하고 주위의 전자가 결합돼 원자를 만들게 되었다(그림 4 참조).

### 별의 진화와 무거운 원소의 생성

초기우주에서 만들어진 수소와 헬륨 가스가 중력에 의해 모여서 별이 탄생한다. 별은 중심부에서 핵융합에 의해 수소 가스로부터 리튬, 베릴륨, 탄소, 질소, 산소 등 점차 여러 무거운 원소를 만들어

내면서 진화 과정을 거치게 된다. 핵융합에 의해 발생된 에너지로 중력에 의한 내부로의 수축과 적당히 균형을 이루면서 별의 일생은 계속된다. 태양도 그러한 과정을 거치는 지구에서 가장 가까운 별이다. 태양은 수소와 헬륨 가스가 핵융합으로 다 연소되고 나면 점차 어두워지며 별로서의 일생을 마감하게 될 것이다. 태양보다 10배 이상 무거운 별은 일생을 마치게 될 즈음 초신성이 되는데, 폭발과 함께 중심부에서 생성된 무거운 원소를 대량으로 우주공간에 방출한다. 이 원소들이 우주를 구성하는 물질이 되었으며, 이들이 서로 모여 태양계와 지구가 되고 생명체를 만들게 되었다.

1998년, 멀어져가는 은하에서 폭발하는 초신성의 밝기를 기준으로 하여 허블상수를 관측하다가 우주의 팽창이 점점 더 빨라지고 있다는 놀라운 증거를 얻었다. 거리가 먼 은하를 관측하면, 즉 좀더 과거의 우주에 속하는 은하에서 출발한 빛을 관측하면 허블상수에 의해 예측되는 것보다 은하가 느리게 멀어지고 있음을 알았다. 이것은 먼 옛날에 생성된 은하보다 최근에 만들어진 은하가 더 빠르게 팽창하고 있음을 말해준다. 이 결과는 <그림 6>에서 보는 바와 같이 암흑에너지(혹은 진공에너지)가 우주팽창을 가속시키는 은하간의 척력 역할을 하며 우주 질량의 대부분인 약 70%를 차지하고 있음을 의미한다. 사실, 그 동안 관측된 물질의 양이 예상된 우주 질량의 고작 약 5%였고, 나머지 대부분의 질량은 관측되지 않는 물질, 즉 암흑물질이 차지한다고 생각하였으나, 최근 관측 결과는 우주 질량의 대부분이 보이지 않는 에너지의 형태라는 것이 밝혀진 셈이다. 다윈이 주창한 진화론처럼 우주도 소립자에서 시작하여 핵을 합성하고 별과 은하를 만들면서 오랫동안 진화해왔음을 알 수 있다. 미래의 우주에 대해서도 대략 예측이 되지만, 정확하게 어떻게 진화할지는 흥미로운 문제이다. 6D



글쓴이는 서울대학교 물리학과 졸업 후 펜실베이니아대학교에서 박사 학위를 받았다. 펜실베이니아대학교 물리학과와 미시간대 물리학과에서 연구원을, 보스턴대학교 물리학과에서 교수를 지냈다.