

대폭발 우주론(빅뱅 우주론)

허블 법칙은 우주의 기원을 설명하는 우주론을 확립하는 데 큰 영향을 주었다. 허블 법칙으로 우주가 팽창하고 있다는 것이 밝혀졌으므로 허블 법칙 이후의 우주론은 우주 팽창의 개념을 포함하는 대폭발 우주론과 정상 우주론으로 발전하였다.

대폭발 우주론은 온도와 밀도가 매우 높은 한 점에서 대폭발(빅뱅)이 일어나 우주가 형성되었다는 이론으로, 1948년 가모가 발표하였다. 대폭발 우주론에서는 |그림 III-53|과 같이 대폭발 이후 현재까지 우주가 팽창하여 우주의 밀도와 온도는 계속 감소하고, 에너지와 물질의 총량은 일정하게 유지된다고 설명하였다. 또, 초고온 상태의 초기 우주에서 방출된 복사가 지금까지 냉각되어 현재 우주 전역을 뒤덮고 있을 것이라고 예측하였다.

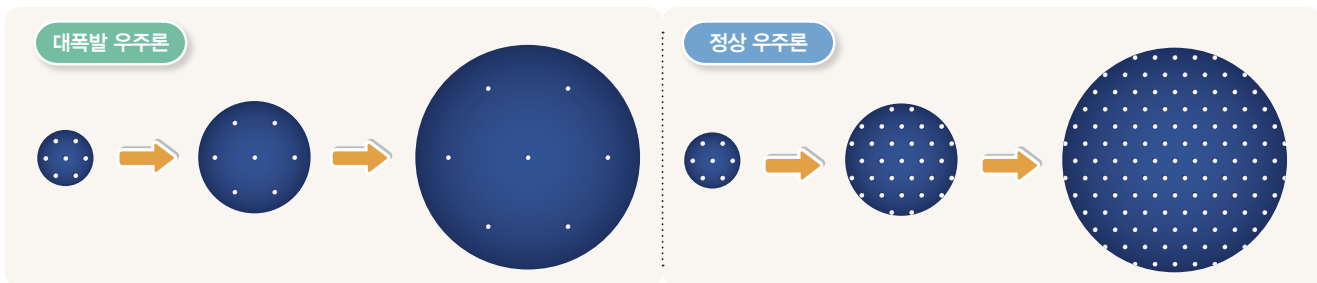
정상 우주론은 아인슈타인이 주장하였던 정적 우주론에 우주 팽창의 개념이 포함된 이론으로, 호일(Hoyle, Sir F., 1915~2001), 본디(Bondi, H., 1919~2005), 골드(Gold, T., 1920~2004) 등이 구체화하였다. 정상 우주론에서는 우주가 팽창하지만 지속적으로 새로운 물질이 만들어져 우주의 밀도가 유지된다고 설명하였다. 시간이 지남에 따라 우주의 질량은 증가하지만 밀도와 온도는 유지되므로 우주는 변화하지 않는다는 것이다.



가모

Gamow, G., 1904~1968

우크라이나 출신의 미국 물리학자로, 대폭발 우주론을 주장하였고 우주 배경 복사의 존재를 예견하였다.



|그림 III-53| 대폭발 우주론과 정상 우주론 모형

대폭발 우주론과 정상 우주론 사이의 논쟁은 20세기 중반까지 계속되다가 대폭발 우주론을 뒷받침하는 증거들이 관측되기 시작하였다.



대폭발 우주론의 증거 조사하기

《과학적 의사소통 능력》



대폭발 우주론을 뒷받침하는 관측 자료를 조사하여 발표하고, 조사한 관측 자료들이 어떻게 대폭발 우주론의 증거가 되는지 친구들과 토의해 보자.

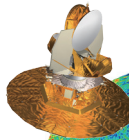
1964년 미국의 펜지어스(Penzias, A. A., 1933~)와 윌슨(Wilson, R. W., 1936~)은 안테나로 전파를 연구하던 중 원인을 알 수 없는 특이한 잡음을 발견하였다. 처음에는 안테나에 쌓인 이물질 때문에 발생한 잡음이라고 생각하여 청소도 해 보았지만 잡음은 사라지지 않았다. 또, 이 잡음은 우주 공간 전체에서 고르게 관측되었다. 결국 이 잡음은 가모가 예측하였던 초고온 상태의 초기 우주에서 방출된 복사가 현재까지 냉각되어 형성된 복사라는 것이 판명되었고, 이 복사를 **우주 배경 복사**라고 한다.



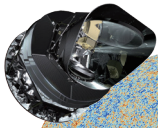
▲ 펜지어스와 윌슨 관측(1965년)



▲ 코비(COBE) 망원경 관측(1992년)



▲ 더블윌맵(WMAP) 망원경 관측(2003년)



▲ 플랑크 망원경 관측(2013년)

[그림 III-54] **우주 배경 복사** _ 1965년 펜지어스와 윌슨이 최초로 관측한 이후 우주 배경 복사는 다양한 우주 망원경으로 더욱 정밀하게 관측되었고, 초기 우주의 온도 분포를 좀 더 정확하게 알 수 있게 되었다. 플랑크 망원경이 관측한 우주 배경 복사로 알아낸 초기 우주의 온도 분포는 10만분의 1 정도의 미세한 차이가 있지만, 거의 균일하다.

대폭발 우주론과 정상 우주론의 오랜 시간에 걸친 논쟁은 대폭발 우주론의 승리로 막을 내렸다. 대폭발 우주론에서 계산한 우주 공간에 존재하는 수소와 헬륨의 질량비는 3:1 정도이다. 이 값은 우주 망원경으로 관측한 최신 관측 결과와 거의 일치하므로 대폭발 우주론을 지지하는 또 하나의 강력한 증거이다.

약 2.7 K 우주 배경 복사

대폭발 우주론에 따르면 우주 배경 복사가 처음 생성되었을 당시 우주의 온도는 약 3,000 K 이었고, 우주가 팽창하면서 온도는 계속 낮아졌을 것이다. 현재 우주 전역에서 약 2.7 K에 해당하는 복사가 관측되며 이는 초기 우주 배경 복사가 냉각된 것이다.



펜지어스와 윌슨이 관측한 자료의 흰색 띠는 우리은하에서 방출되는 전자기파이고, 다른 자료에서는 이 전자기파를 제거하고 우주 배경 복사를 표현하였어요.

과학은 **통**한다 물리학

대폭발 우주론과 에너지 보존

우주의 총에너지는 우주 내부 에너지와 우주 공간이 외부에 작용하는 일의 합이고, 우주가 팽창한다는 것은 계속해서 외부로 일을 한다는 것이다. 우주의 총에너지가 일정하다면 대폭발 이후 우주 내부 에너지와 온도가 계속 감소해야 하며, 2.7 K 우주 배경 복사는 이를 잘 뒷받침한다. 즉, 에너지 보존 관점에서도 대폭발 우주론은 잘 설명된다.

우주의 팽창 속도

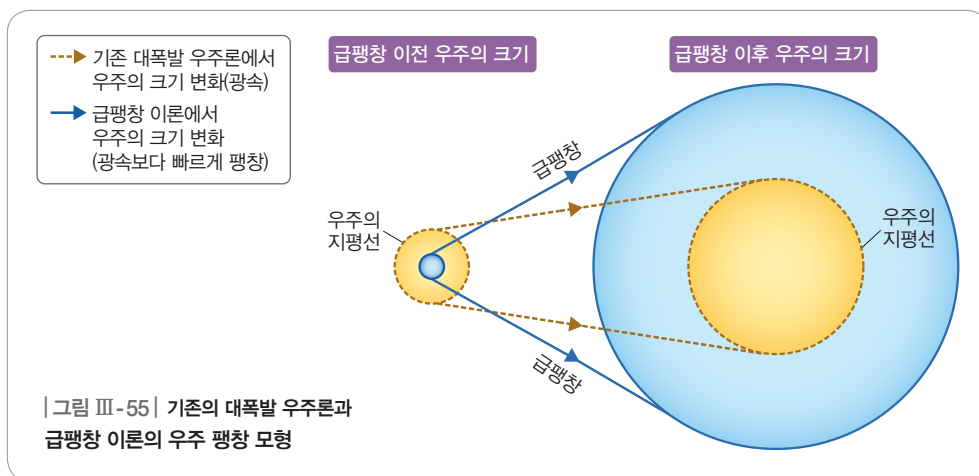
시공간 내에서는 어떤 물체가 광속 이상으로 운동하는 것이 불가능하지만, 공간 자체의 팽창 속도는 광속을 넘을 수 있다.

•우주의 지평선

우주가 광속으로 팽창한다고 가정할 때 우주의 크기이며, 우주의 지평선의 반지름은 광속과 우주 나이를 곱한 값이다. 우주의 지평선 밖에서 방출된 빛은 지구에서 관측할 수 없다.

수정 · 보완된 대폭발 우주론

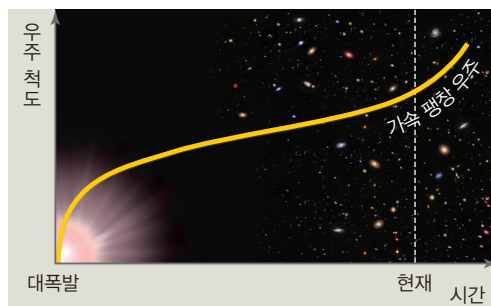
급팽창 우주 기존 대폭발 우주론은 우주 배경 복사가 발견된 이후 많은 과학자들에게 지지를 받았지만 지평선 문제, 자기 홀극 문제 등 몇 가지 해결하지 못한 점이 있었다. 1980년에 구스(Guth, A. H., 1947~)는 우주가 탄생한 후 10^{-36} 초~ 10^{-34} 초 사이에 빛보다 빠른 속도로 팽창하였다는 **급팽창 이론**을 제시하였다. |그림 III-55|와 같이 기존 대폭발 우주론에서는 우주가 광속으로 팽창한다고 가정하여 우주의 크기가 우주의 지평선과 같다고 설명한다. 그러나 급팽창 이론에서는 우주의 크기가 급팽창 이전에는 우주의 지평선보다 작았고, 급팽창 이후에는 우주의 지평선보다 크다고 설명한다. 이를 바탕으로 기존 대폭발 우주론의 문제를 해결할 수 있다.



•Ia형 초신성

분광형을 기준으로 별을 분류하는 것과 마찬가지로 초신성도 흡수선의 특징에 따라 Ia, Ib, Ic, II형으로 분류한다. Ia형 초신성은 백색 왜성이 동반성에서 물질을 흡수하다가 질량이 태양 질량의 약 1.44배가 되면 폭발한 것이기 때문에 절대 등급이 항상 일정하다.

가속 팽창 우주 대폭발 이후 우주는 꾸준히 팽창하였지만, 급팽창이 지나고 우주의 팽창 속도가 서서히 줄어들었을 것이라는 생각이 20세기 후반까지 지배적이었다. 그러나 실제 관측 결과는 예상과 달랐다. 과학자들은 Ia형 초신성의 적색 편이 값과 밝기를 관측하여 알아낸 거리 분포를 그래프로 작성하였다. 그리고 우주가 일정한 비율로 팽창해 왔다고 가정할 때의 예상값과 비교하였다. 적색 편이 값이 매우 큰 경우에는 Ia형 초신성까지의 거리가 예상보다 가깝게 나타났고, 적색 편이 값이 작은 경우에는 Ia형 초신성까지의 거리가 예상보다 멀게 나타났다. 적색 편이 값이 작을수록 최근의 우주를 뜻한다. 따라서 먼 과거의 우주는 느리게 팽창하였지만, 비교적 최근의 우주는 빠르게 팽창한다고 판단할 수 있다. 이는 우주의 가속 팽창을 뜻한다.



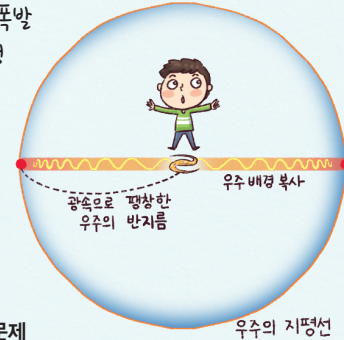
|그림 III-56| 가속 팽창 우주 _ 급팽창 이후 우주의 팽창 속도는 조금씩 줄어들다가 현재는 가속 팽창하고 있다.



가모

지평선 문제 | 우주 배경 복사가 균일한 까닭은?

우주 배경 복사는 모든 방향에서 매우 균일하게 관측됩니다. 이 사실은 대폭발 직후 초기 우주의 에너지 밀도가 균일하였음을 뜻합니다. 우주가 광속으로 팽창하면 우주의 지평선에 있는 두 지점에서 출발한 빛은 서로 만날 수 없으므로 초기 우주의 에너지 밀도는 균일할 수 없습니다. 우주 배경 복사는 어떻게 균일해진 것일까요?



|그림 III-57| 우주의 지평선 문제

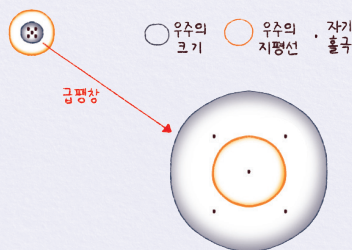
대폭발 후 10^{-36} 초까지 우주의 크기는 우주의 지평선보다 훨씬 작았습니다. 따라서 우주 내부의 빛은 충분히 뒤섞여 에너지 밀도가 균일해질 수 있었습니다.



구스

자기 홀극 문제 | 자기 홀극이 발견되지 않는 까닭은?

자기 홀극은 N극과 S극을 독립적으로 나타내는 이론적인 입자입니다. 초기 우주에서 많은 양의 자기 홀극이 생성되었다고 하는데, 아직까지 발견되지 않는 까닭을 모르겠습니다.



우주가 급팽창하여 우주의 지평선보다 훨씬 커졌기 때문에 대부분의 자기 홀극은 우주의 지평선 너머로 흩어집니다. 그 결과, 우주 공간의 자기 홀극 밀도가 너무 낮아져서 자기 홀극을 발견하기 어렵습니다.

|그림 III-58| 자기 홀극 문제

스스로 점검하기

1. 허블은 어떤 방법으로 우주가 팽창한다는 것을 밝혀내었는지 설명해 보자.
2. 우주 배경 복사가 대폭발 우주론의 증거가 되는 까닭은 무엇인가?
3. 기존 대폭발 우주론의 문제를 해결한 급팽창 이론의 특징을 설명해 보자.



다음 문제를 풀어보면서 학습 목표(189쪽) 달성 여부를 점검해 봅시다.