

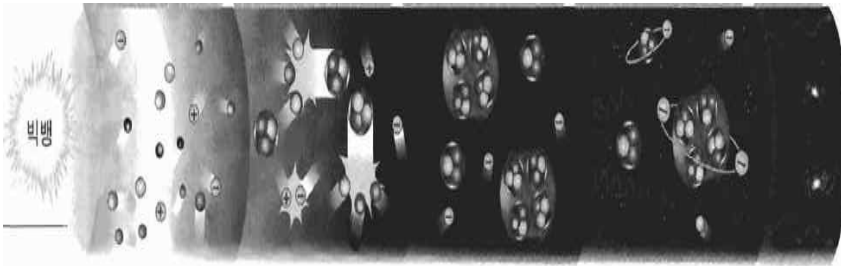
I 우주의 기원과 진화 - [2] 빅뱅과 원자의 형성

Summary & Check

A. 빅뱅 우주론

약 137억 년 전 우주의 모든 물질과 에너지가 한 점에 모여 있다가 폭발해 현재 우주가 되었다는 이론

⇒ 고온, 고밀도 상태에서 폭발이 일어나 팽창하여 현재는 저온, 저밀도 유지



① 10^{-35} 초, 10^{27} K

- 경입자와 쿼크 형성
- 온도가 높아 빛이 물질(입자)이 되었다가 다시 빛이 되는 과정 반복

② 10^{-10} 초, 10^{15} K

- 쿼크가 결합하여 양성자, 중성자 생성
- 여전히 전자, 뮤온, 중성미자, 빛 등 존재

③ 3분, 10^9 K

- 양성자와 중성자가 결합하여 중수소 원자핵이 안정적으로 생성
- 헬륨 원자핵 생성
- 3분 이전에도 양성자와 중성자가 충돌하여 중수소 원자핵이 생성되었지만, 빛과 충돌하여 다시 쪼개져 헬륨 원자핵까지 생성될 수 없었다.
3분 이후 온도가 더 낮아졌을 때 안정적으로 중수소 원자핵이 생성되어 헬륨 원자핵까지 생성될 수 있었다.

④ 30만 년, 3000K

- 전자가 원자핵과 결합하여 원자 생성
- 물질과 빛이 분리되면서 우주가 투명해짐

⑤ 10억년 ~

- 별, 은하 생성

◆ 강의 TIP ◆

● 절대 온도

-273℃를 0으로 하는 온도

(단위 : K(켈빈))

⇒ 절대온도(K) = 273+섭씨온도(℃)

● 기본 입자

경입자	전자, 뮤온, 타우, 전자 중성미자, 뮤온 중성미자, 타우 중성미자
쿼크	업(up), 다운(down), 참(charm), 스트레인지(strange), 탑(top), 보텀(bottom)

B. 원자핵의 형성 과정

1. 양성자, 중성자의 생성

기본 입자 중에서 쿼크 3개가 결합하여 생성

입자	양성자		중성자	
구성	업 쿼크 2개 + 다운 쿼크 1개		업 쿼크 1개 + 다운 쿼크 2개	
특성	<ul style="list-style-type: none"> - (+)전하를 띤다. - 수소 원자의 양이온이라고 한다. 		<ul style="list-style-type: none"> - 전하를 띠지 않는 중성 입자이다. - 양성자와 질량이 비슷하지만, 약간 더 무겁다. 	

- 생성된 양성자와 중성자의 개수비 = 약 7 : 1

⇒ 우주가 팽창함에 따라 온도가 낮아지면서, 무거운 중성자가 양성자로 변환하기 때문

2. 원자핵의 형성

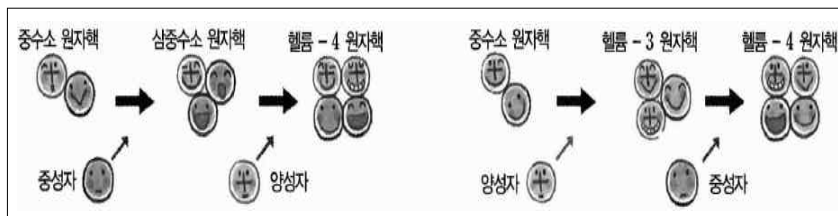
빅뱅 후 3분 정도 지났을 때, 양성자와 중성자가 강한 핵력에 의해 결합하여 생성

- ① 원자핵 형성 과정 : 양성자와 중성자가 결합하여 중수소 원자핵이 생성된 후 헬륨 원자핵 생성
- ② 수소와 헬륨 원자핵의 구성
- 동위 원소 : 양성자 수는 같으나 중성자 수가 다른 원소

양성자(●)수	1 ⇒ 수소(H)의 원자핵			2 ⇒ 헬륨(He)의 원자핵	
중성자(○)수	0	1	2	1	2
동위 원소의 원자핵 모형	● 수소	중수소(D)	삼중수소(T)	헬륨-3	헬륨-4

- ③ 수소의 핵융합 반응에 의한 헬륨 원자핵의 생성 과정 : 양성자 1개와 중성자 1개가 핵융합하여 중수소 원자핵 생성 ⇒ 중수소 원자핵을 재료로 하여 양성자, 중성자가 핵융합하여 헬륨 원자핵 생성

헬륨 원자핵의 생성 과정



- ④ 생성된 수소와 헬륨 원자핵의 질량비 = 약 3 : 1 ⇒ 빅뱅 우주론의 증거

◆ 강의 TIP ◆

- 쿼크와 양성자, 중성자의 상대 전하

쿼크	업쿼크(u)	다운쿼크(d)
	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$
양성자	$u + u + d = +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1$	
중성자	$u + d + d = +\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$	

- 강한 핵력

양성자는 (+)전하를 띠고 있어 서로 반발력이 작용하고 있는데 매우 좁은 공간에서 결합하여 안정적으로 원자핵을 형성한다. 이와 같이 원자핵을 구성하고 있는 입자 사이의 결합력을 강한 핵력이라고 하며, 이 힘은 인류가 밝혀 낸 힘 중에서 가장 강한 힘이다.

- 질량수와 동위 원소의 표시

- 질량수 = 양성자 수 + 중성자 수
- 표시 : 질량수를 원소 기호의 왼쪽 위에 표시

구분	질량수	표시
중수소(D)	2	^2H
삼중수소(T)	3	^3H
헬륨-3	3	^3He
헬륨-4	4	^4He


- 동위원소

양성자 수가 같아 화학적으로 거의 비슷한데 질량이 서로 다른 원소로, 원소를 배열한 주기율표에서 같은 자리를 차지하는 데서 유래

C. 원자의 형성

1. 원자의 형성

빅뱅 후 약 30만 년이 지났을 때, 전자와 원자핵이 결합하여 수소 원자와 헬륨 원자 생성

구성 입자	전자	빅뱅 직후부터 존재했던 기본 입자로, (-)전하를 띤다.
	원자핵	빅뱅 후 3분 정도에 양성자와 중성자가 결합하여 생성된 입자로, (+)전하를 띤다. ⇒ 양성자 때문
원자의 형성	<ul style="list-style-type: none"> - 우주의 팽창에 의해 우주 온도가 약 3000K까지 낮아져, 원자핵이 전자를 붙잡을 수 있게 되었다 - 원자핵을 이루는 양성자 수와 같은 수의 전자를 붙잡아 중성인 원자 형성 ⇒ 원자핵 속의 양성자 수 = 전자 수 	
	 <p>수소 원자핵 (양성자 1개) + 전자 1개 → 수소 원자 형성</p> <p>헬륨 원자핵 (양성자 2개) + 전자 2개 → 헬륨 원자 형성</p>	

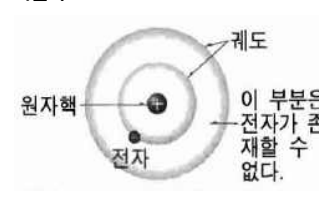
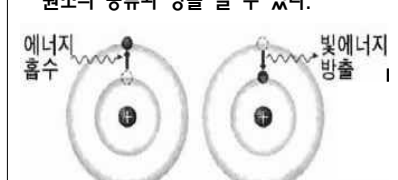
● 헬륨보다 무거운 원소의 생성
헬륨이 생성되고 우주의 온도가 낮아져 우주 공간에서는 더 무거운 원소가 생성되지 못했다. 헬륨보다 무거운 원소는 빅뱅 후 약 10억 년이 지나 별이 생성된 후에 별의 내부에서 생성된다.

● 물체의 온도와 빛의 파장
물체의 온도는 물체가 방출하는 빛의 파장에 반비례한다. 즉, 물체의 온도가 낮아질수록 방출하는 빛의 파장이 길어진다. ⇒ 원자가 형성 될 때 우주를 가득 채우고 있던 약 3000K의 우주 배경 복사는 우주가 팽창함에 따라 온도가 약 2.7K로 낮아져 빛의 파장이 길어졌다.

2. 우주에서 수소와 헬륨의 질량비

① 관측 방법 : 별빛의 스펙트럼을 분석하여 우주를 이루는 원소의 분포 조사

원자의 전자 구조와 선 스펙트럼

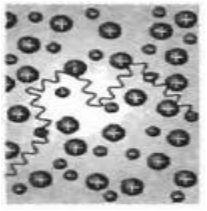
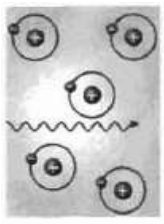
원자의 불연속적인 전자 배치	전자의 이동과 선 스펙트럼
<ul style="list-style-type: none"> - 전자는 원자핵 주위에 무질서하게 존재하는 것이 아니라 특정한 에너지를 가진 몇 개의 원형 궤도에서만 운동한다. - 원자핵에서 먼 궤도일수록 에너지가 커진다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 전자가 다른 궤도로 이동하면, 이동한 궤도의 에너지 차이만큼 에너지를 흡수하거나 방출한다. ⇒ 흡수 또는 방출되는 빛에너지가 선 스펙트럼으로 나타난다. - 원자마다 전자 수가 다르고 전자의 에너지 상태가 달라 독특한 선 스펙트럼을 나타낸다. ⇒ 선 스펙트럼을 분석하여 원소의 종류와 양을 알 수 있다. 

- ② 관측 : 수소가 약 75%, 헬륨이 약 25%를 차지 \Rightarrow 수소와 헬륨의 질량비 \approx 3:1
 ③ 의미 : 빅뱅 이후 수소와 헬륨의 양이 약 3:1로 일정하게 유지되었다.
 \Rightarrow 빅뱅 우주론의 증거

D. 우주 배경 복사

1. 우주 배경 복사

우주의 온도가 약 3000K 일 때, 원자가 형성되면서 물질과 분리되어 빠져나온 빛

물질과 빛이 뒤섞인 상태	
원자가 형성되기 전, 자유롭게 움직이던 전자가 빛과 충돌하여 빛의 진행을 방해 \Rightarrow 빛이 퍼지지 못하여 우주가 불투명한 상태	
\Rightarrow 	물질과 빛의 분리 원자가 형성된 후, 전자가 원자핵에 붙들리면서 빛의 진행에 방해되는 요소가 줄어들 \Rightarrow 빛이 퍼져나가 우주를 채우면서 우주가 투명해짐

- ① 관측 : 온도가 2.7K인 물체에서 방출하는 복사 에너지와 같은 세기의 복사가 우주의 모든 방향에서 검출되었다.
 ② 의미 : 우주가 빅뱅을 통해 팽창하면서 우주 온도가 약 3000K에서 약 2.7K으로 하강하였다. (=빛의 파장이 길어졌다.) \Rightarrow 빅뱅 우주론의 증거

2. 우주 배경 복사의 분포

대체로 균일하게 분포하지만 완전히 균일하지는 않다.

◆ 강의 TIP ◆

- 빅뱅 후 시간에 따른 우주의 변화
 - 우주의 총 질량은 일정하다.
 - 우주가 팽창하면서 밀도는 낮아졌다.
 - 우주가 팽창하면서 온도는 낮아졌고, 점점 어두워졌다.

- 우주 배경 복사의 분포

우주 배경 복사가 완전히 균일하지는 않다는 것으로부터 초기 우주의 밀도가 미세하게 균일하지 않았다는 것을 알 수 있다. \Rightarrow 밀도의 차이로 미세한 중력의 차이가 발생하고, 중력에 의해 수소 등의 물질이 모여 빅뱅 약 10억 년 후에는 별이 생성될 수 있었다.

- 우주 배경 복사
 (cosmic background radiation)
 우주의 배경을 이루는 빛