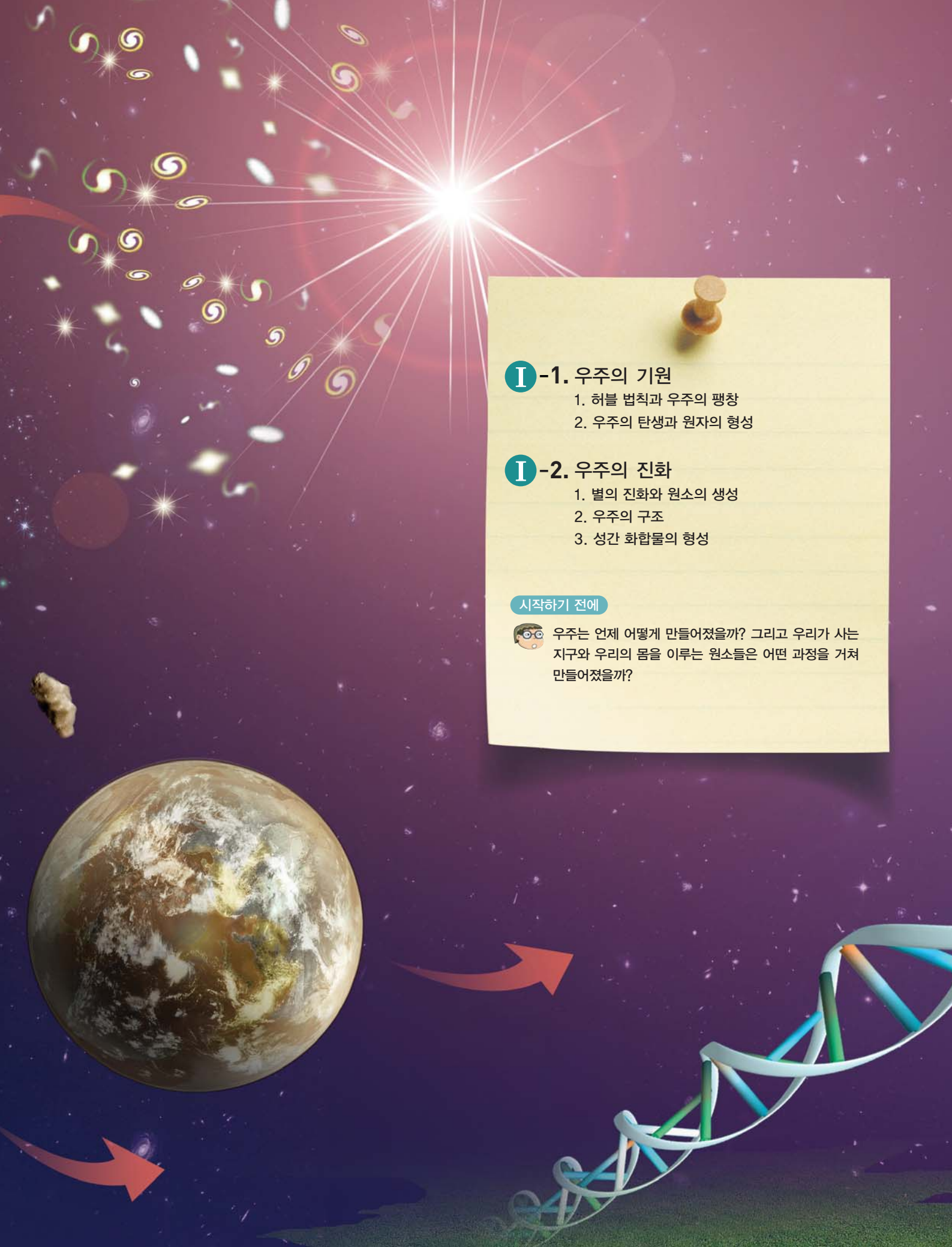


I

우주의 기원과 진화





I-1. 우주의 기원

1. 허블 법칙과 우주의 팽창
2. 우주의 탄생과 원자의 형성

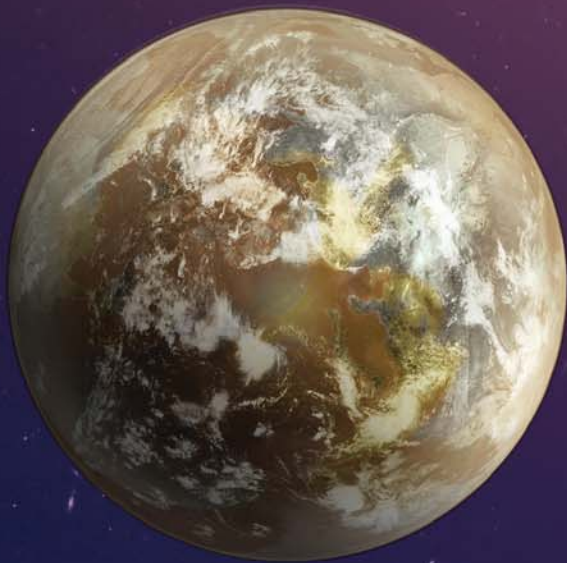
I-2. 우주의 진화

1. 별의 진화와 원소의 생성
2. 우주의 구조
3. 성간 화합물의 형성

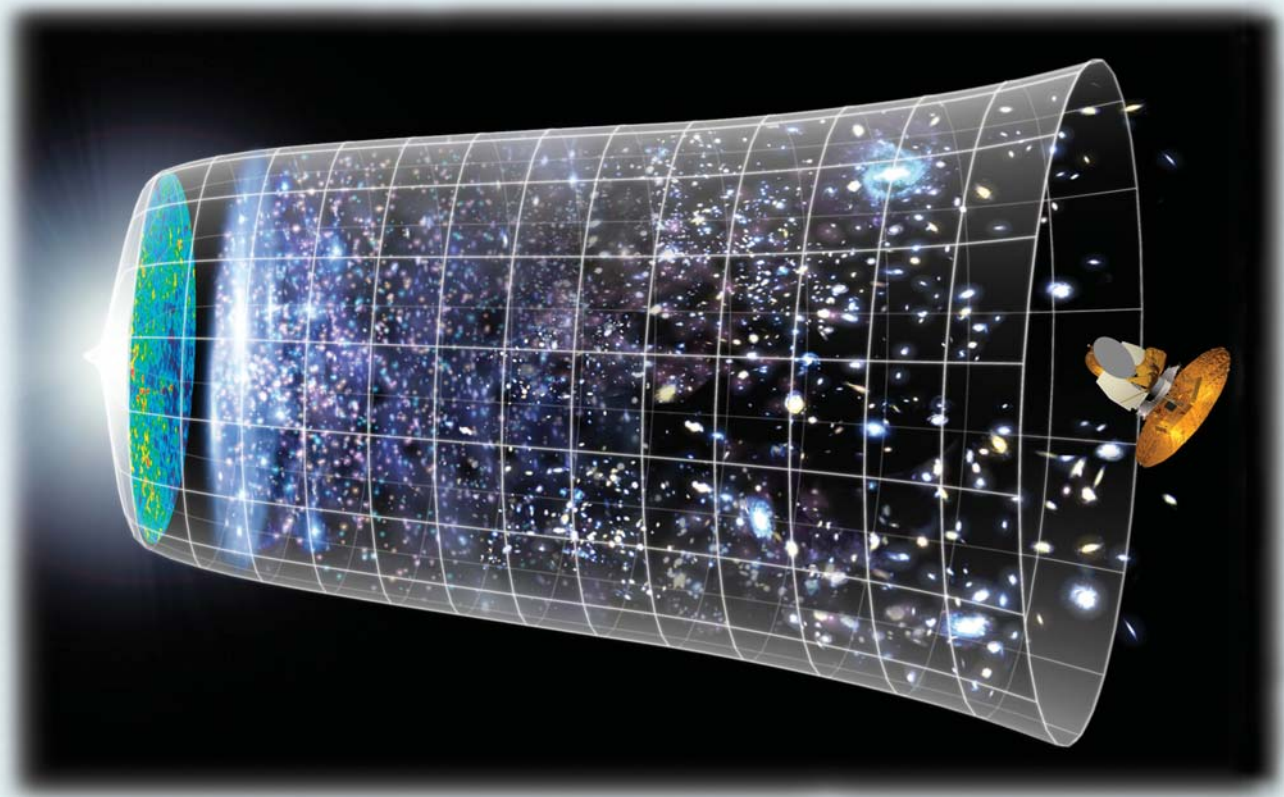
시작하기 전에



우주는 언제 어떻게 만들어졌을까? 그리고 우리가 사는 지구와 우리의 몸을 이루는 원소들은 어떤 과정을 거쳐 만들어졌을까?



I-1. 우주의 기원



▲ 그림 1_ 우주 배경 복사 관측 위성 WMAP 우주 배경 복사를 연구하기 위하여 2001년에 발사된 위성이다.

우주의 탄생, 시간과 공간의 시작

강물처럼 흐르는 시간이라고 한다. 시간은 언제 어디서 시작되었을까? 산 속의 빛물이 고여 만들어진 작은 웅덩이에서부터 거대한 강의 흐름이 시작되듯, 시간이 시작된 최초의 순간도 분명히 있을 것이다.

과학자들은 우주가 탄생하면서 시간과 공간이 시작되었으며 우주가 탄생하기 이전의 시간과 공간은 의미가 없다고 한다. 그리고 우주가 탄생한 직후 최초의 3분 동안 우주를 이루는 기본 입자가 만들어지고 이 기본 입자들이 원자를 이루었으며, 시간이 더 지난 후에 우주에서 최초의 빛을 볼 수 있었다고 한다.

우주의 깊은 곳을 관찰하고 연구하면 공간과 시간이 언제, 어떻게 시작되었는지 알 수 있다. 이 단원에서는 우주가 어떻게 탄생했으며, 초기 우주에서는 어떤 일이 일어났는지 알아보자. 더불어 우주의 나이를 구하는 방법도 알아보자.

? 우주의 탄생에 관련된 여러 가지 이야기를 찾아보자.

1

허블 법칙과 우주의 팽창

- 학습 목표**
- 허블 법칙을 통해 우주가 팽창함을 설명할 수 있다.
 - 우주의 나이를 구하는 방법을 설명할 수 있다.

동양 신화에는 키가 9만 리나 되는 반고라는 거인의 이야기가 있는데, 반고는 죽으면서 세상을 이루는 많은 것들을 만들었다고 한다. 그가 내뿜은 숨은 바람과 구름이 되고 흘린 땀은 안개와 비가 되었으며, 살과 뼈는 흙과 암석이 되고 두 눈은 태양과 달이 되었다고 한다.



사람들은 최근까지 우주는 영원히 변하지 않는다고 생각했다. 그러나 과학자들의 노력과 정밀한 관측 도구의 발달로 지금도 끊임없이 활동하는 우주의 모습이 새롭게 알려지고 있다.

우주는 언제 어떻게 탄생했을까? 오늘날의 우주관은 별빛을 관찰하고 이를 설명하는 것에서부터 시작되었다. 별빛을 이용하여 알아낸 우주의 기원과, 우주의 나이를 구하는 방법을 알아보자.

스펙트럼

별은 매우 멀리 있어서 망원경으로 보더라도 점으로밖에 보이지 않는다. 그러나 별빛을 관찰하고 분석하면 그 별의 크기와 구성 성분, 표면 온도 등의 다양한 정보를 얻을 수 있다. 이러한 정보는 어떻게 얻을 수 있을까?

태양 빛을 프리즘에 통과시키면 그림 2처럼 무지개와 같은 연속적인 여러 가지 색의 띠가 만들어지는데, 이것을 빛의 **스펙트럼**이라고 한다. 태양 빛은 파장이 다른 여러 가지 색의 빛이 섞여 이루어져 있으며, 태양 빛의 스펙트럼은 프리즘을 통과할 때 파장에 따라 빛이 굴절하는 정도가 각각 다르기 때문에 나타난다. 그리고 별빛도 프리즘을 이용하면 태양 빛과 같은 연속적인 스펙트럼을 얻을 수 있다.

▼ 그림 2 _ 빛의 연속 스펙트럼



연결 학습

흡수 스펙트럼 → 28쪽



▲ 그림 3 _ 흡수 스펙트럼

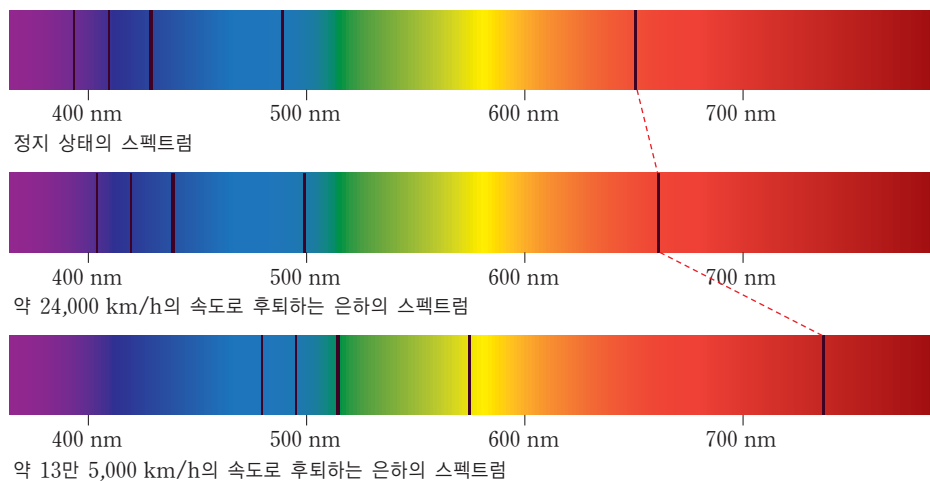
별빛의 연속 스펙트럼을 관찰하면 그림 3과 같은 검은 선들이 나타난다. 이 선들을 **흡수선**이라고 하며, 별에서 방출된 빛이 대기나 성운을 통과할 때 그 기체가 특정 파장의 빛을 흡수하기 때문에 나타난다. 과학자들은 여러 가지 기체들이 각각 어떤 파장의 빛을 흡수하며, 스펙트럼의 어느 위치에서 흡수선이 나타나는지 밝혀냈다. 따라서 연속 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 위치와 개수, 선의 굵기 등을 분석하면 별을 이루는 물질의 성분이나 별의 표면 온도, 밀도 등을 알 수 있다.

적색 편이와 도플러 효과

슬라이퍼(Slipher, V. M., 1875 ~ 1969)

외부 은하의 스펙트럼을 관측하고 허블보다 먼저 은하의 거리와 후퇴 속도의 관계를 연구하였다.

미국의 슬라이퍼는 외부 은하에서 온 빛의 스펙트럼을 분석하여 대부분 은하의 스펙트럼에 나타나는 흡수선들이 실험실에서 관찰한 것보다 조금씩 붉은빛 쪽으로 치우치는 **적색 편이**가 나타난다는 사실을 발견했다.



▲ 그림 4 _ 은하의 후퇴 속도에 따른 스펙트럼 비교

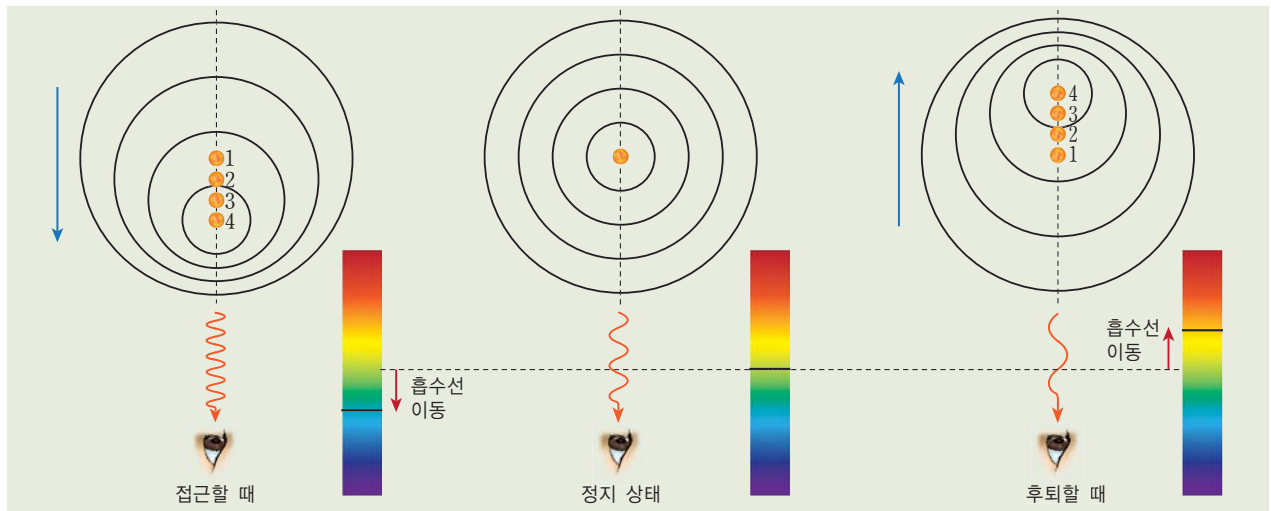
슬라이퍼는 외부 은하가 멈추어 있지 않고 빠른 속도로 우리 은하에서 멀어지므로 스펙트럼에서 적색 편이가 나타나며, 적색 편이가 크게 나타나는 은하일수록 더 빠른 속도로 우리 은하로부터 멀어진다고 설명했다. 그렇다면 적색 편이로부터 외부 은하들이 멀어지고 있다는 사실은 어떻게 알 수 있을까?

작은 돌 하나를 연못에 던지면 잔잔한 연못에 동그라미가 그려지면서 점차 넓게 퍼져 나가는 현상을 볼 수 있다. 이것은 수면에서 발생한 파동으로 물이 위아래로 오르내리며 진동하기 때문에 나타나는 현상이다. 소리나 빛도 파동의 한 종류이며, 우리가 소리를 듣고 빛을 보는 것은 서로 다른 종류의 파동을 관측하는 것이다.



▲ 그림 5 _ 음파의 도플러 효과

파동을 일으키는 물체가 관측자에게서 멀어지거나 가까워지면 정지해 있을 때보다 파장이 길어지거나 짧아지는데, 이러한 현상을 **도플러 효과**라고 한다. 그림 5와 같이 관측자에게서 멀어지는 구급차의 사이렌 소리는 정지해 있을 때보다 낮게 들리고, 관측자에게 다가오는 소방차의 사이렌 소리는 정지해 있을 때보다 높게 들린다. 이는 멀어지는 구급차의 사이렌 소리는 파장이 길어지고, 다가오는 소방차의 사이렌 소리는 파장이 짧아지기 때문에 나타나는 현상이다.

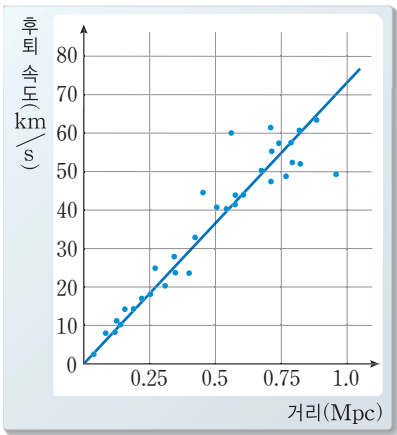


▲ 그림 6 _ 빛의 도플러 효과

빛도 소리와 같이 도플러 효과가 나타난다. 그림 6과 같이 빛을 내는 물체가 관측자에게 가까워지면 원래의 파장보다 더 짧아지므로 스펙트럼의 흡수선은 푸른빛 쪽으로 이동하여 나타난다. 반대로 멀어지면 물체에서 방출된 빛이 원래의 파장보다 길어지므로 스펙트럼의 흡수선은 붉은빛 쪽으로 이동하여 나타난다.

따라서 외부 은하 스펙트럼의 흡수선에서 적색 편이가 나타나는 현상은 빛의 도플러 효과로 해석할 수 있으며, 이는 외부 은하들이 우리 은하에서 멀어지기 때문에 나타나는 현상이다.

허블 법칙과 우주의 나이



▲ 그림 7_ 허블 법칙

미국의 허블은 많은 외부 은하들을 관측하여 대부분 외부 은하의 스펙트럼에서 적색 편이가 나타난다는 사실을 알아냈다. 또 외부 은하까지의 거리를 측정하여 멀리 있는 은하일수록 스펙트럼에 나타나는 적색 편이가 커진다는 사실을 함께 발견했다. 이것은 멀리 있는 은하일수록 더 빠른 속도로 멀어지고 있음을 의미한다.

외부 은하까지의 거리와, 이 은하들이 우리 은하로부터 멀어지는 속도는 그림 7과 같이 대체로 비례한다. 이것을 **허블 법칙**이라고 하며, 외부 은하가 멀어지는 속도를 v , 은하까지의 거리를 r 라고 하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$v = H \cdot r$$

허블(Hubble, E. P., 1889~1953)

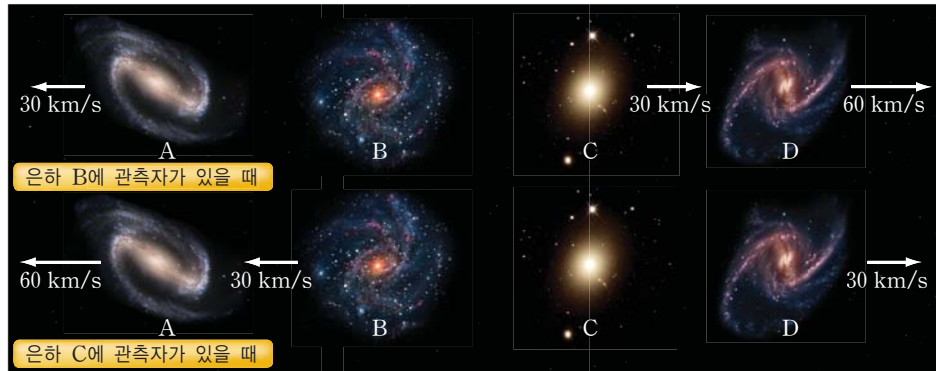
외부 은하의 스펙트럼을 관측하여 우주의 팽창에 대한 허블 법칙을 제안하였다.

pc(파섹)

연주 시차가 1"인 별까지의 거리이며 3.26 광년에 해당한다. 1 Mpc은 100만 pc이다.

이 식에서 H 는 **허블 상수**라고 하며, 최근에 구한 값은 약 73 km/s/Mpc이다. 그리고 이 값은 그림 7에서 기울기에 해당한다. 허블 법칙에 의하면 우주는 팽창하고 있으며, 우주에 존재하는 모든 은하 사이의 거리도 멀어지고 있음을 알 수 있다. 그리고 허블 상수를 통해 우주가 얼마나 빠르게 팽창하고 있는지 알 수 있다.

허블의 관측에 따르면 외부 은하 대부분이 우리 은하에서 멀어지고 있으며, 멀리 있는 은하일수록 더 빠르게 멀어진다. 그렇다면 우리 은하는 우주의 중심에 있을까?

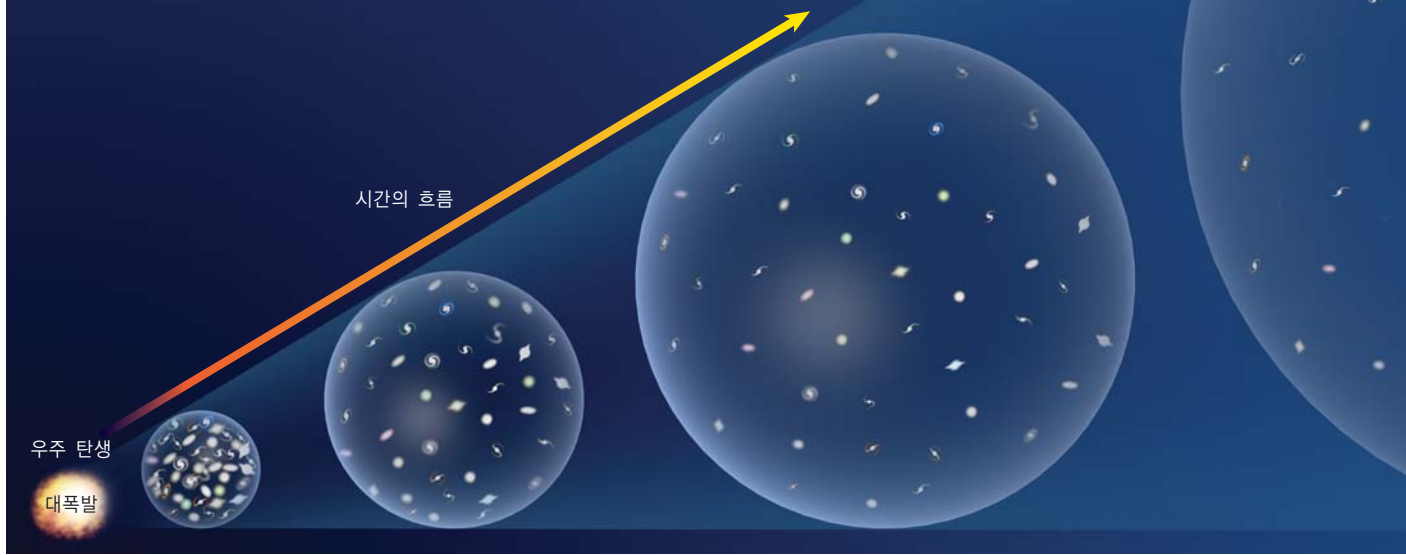


▲ 그림 8_ 은하의 후퇴 속도와 방향

후퇴 속도

우리 은하에 대하여 외부 은하들이 멀어져 가는 속도로, 은하까지의 거리에 비례하므로 멀리 있는 은하일수록 빨라진다.

그림 8은 은하 B에 있는 관측자와 은하 C에 있는 관측자를 중심으로 할 때 은하의 **후퇴 속도**를 나타낸 것이다. 두 경우 모두 외부 은하들은 관측 지점으로부터 멀어지며, 후퇴 속도는 관측자와 멀리 떨어진 은하일수록 빠르다. 허블 법칙은 관측자의 위치에 관계없이 우주 어디서나 성립한다. 이는 은하들이 특정한 한 점을 중심으로 서로 멀어지는 것이 아니라, 우주 공간 자체의 팽창 때문에 은하들 사이의 거리가 서로 멀어지는 것으로 해석된다.



▲ 그림 9 _ 우주의 팽창

은하들 사이의 거리는 그림 9와 같이 우주가 팽창하면서 계속 멀어진다. 따라서 다른 은하의 관측자가 외부 은하를 관측할 때도 멀리 떨어져 있는 은하일수록 후퇴 속도가 더 빠르게 측정될 것이다. 그러므로 우리 은하는 우주의 중심이 아니며, 우주에서는 특정한 중심을 정할 수 없다.



1,200 km/s의 속도로 우리 은하로부터 멀어지는 은하가 있다면, 우리 은하에서 이 은하까지의 거리는 얼마인지 허블 법칙을 이용하여 구해 보자.

우주의 나이와 대폭발 우주론

사람은 100년 가까이 살 수 있으며, 지구에서 가장 오래된 암석의 나이는 40억 년 정도라고 한다. 태양을 비롯한 태양계 천체들의 나이는 46억 년 정도이며, 가장 오래된 별의 나이는 130억 년 정도라고 한다. 따라서 우주의 나이는 별의 나이보다 더 많을 것이다. 그렇다면 우주의 나이는 어떻게 알 수 있을까?

우주가 탄생한 이후 지금과 같은 속도로 계속 팽창해 왔다면 허블 법칙을 이용하여 우주의 나이를 구할 수 있다. 우리 은하로부터 r_A 만큼 떨어진 외부 은하 A가 v_A 의 속도로 멀어지고 있다면 허블 법칙에 따라 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_A = H \cdot r_A$$

이때 외부 은하까지의 거리를 은하의 후퇴 속도로 나누면 우주가 탄생한 순간부터 현재까지의 시간(t)을 구할 수 있으며, 이 값은 허블 상수의 역수이다.

$$t = \frac{r_A}{v_A} = \frac{r_A}{H \cdot r_A} = \frac{1}{H}$$

이렇게 계산된 우주의 나이를 **허블 시간**이라고 한다.

정확한 우주의 나이를 구하려면 허블 상수를 정확하게 구해야 한다. 그러나 외부 은하까지의 거리는 측정하기 매우 어렵고, 측정한 값의 오차도 크므로 허블 상수를 정확히 구하기는 쉽지 않다. 더불어 우주가 시작된 이후 지금까지 항상 같은 속도로 팽창해 왔는지도 분명하지 않다. 따라서 정확한 관측이 이루어지고 우주에 대한 관측 자료가 더 많아지면 우주의 나이는 계속 수정될 수도 있다.

관측 장비의 발달로 관측할 수 있는 은하의 수가 늘어나고 측정 오차를 줄일 수 있게 되면서 우주의 나이도 비교적 명확하게 알 수 있게 되었다. 지금까지 밝혀진 자료와 이론으로 추정하면 우주의 나이는 약 137억 년이다.

그렇다면 과거의 우주는 어떤 모습이었을까? 시간을 거꾸로 돌리면 은하들은 서로 가까워지고, 우주는 점점 작아지다가 결국 모든 은하는 한 점에 모일 것이다. 과학자들은 이처럼 우주는 모든 물질과 에너지가 모인 한 점에서 대폭발로 시작되었으며 지금까지 계속 팽창하고 있다고 설명한다. 이것을 **대폭발(Big Bang) 우주론**이라고 하며, 현재 가장 널리 인정받는 우주 탄생 이론이다. 다음 활동을 통하여 대폭발 우주론이 확립된 과정을 조사해 보자.

빅뱅(Big Bang)

20세기 중반 대폭발 우주론에 반대하는 과학자가 이 이론을 조롱하는 의미로 처음 사용했으나, 오히려 대중에게 대폭발 우주론이 널리 알려지는 계기가 되었다.

창의
인성

활동 1 대폭발 우주론은 어떻게 확립되었을까?

목표 현대의 대폭발 우주론이 확립되기까지의 과정을 이해한다.

조사, 토론

과정

그림 10은 우주의 기원과 진화를 연구한 과학자들이다.



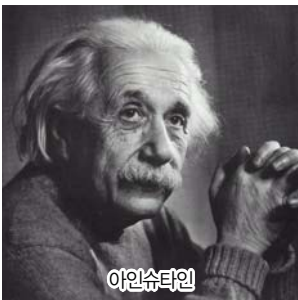
펜지어스와 윌슨



호일



허블



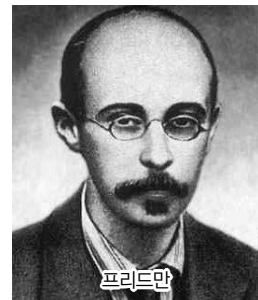
아인슈타인



가모



르메트르

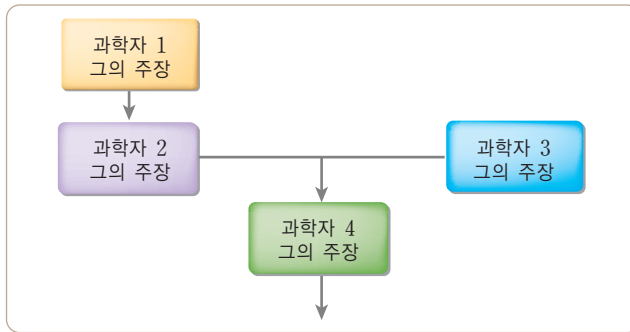


프리드만

▲ 그림 10 _ 대폭발 우주론 확립에 기여한 과학자들

정리

1. 모둠을 이루어 각 과학자의 활동과 업적을 조사해 보고, 조사한 과학자들의 활동 시기를 시대 순서대로 나열해 보자.
2. 당시 과학자들의 논쟁점은 무엇이었으며, 이 논쟁의 결론은 어떠했는지 이야기해 보자.
3. 모둠의 활동 결과를 다음 그림과 같은 흐름도로 정리하고 발표해 보자.



협동 자료를 조사하고 토론을 할 때 모둠을 이루어 역할을 분담하고 서로 협동한다.

4. **창의·인성** 과학 지식을 확립하는 과정에서 올바른 과학자의 태도는 무엇인지 토의해 보고, 이 과정에서 알 수 있는 과학의 본성은 무엇인지 이야기해 보자.

과학은 관찰된 사물이나 사건을 합리적으로 설명하려 시도하며, 그 설명을 검증하는 절차를 밟는다.

천문학은 천체와 천문 현상, 우주에 존재하는 물질들을 지배하는 법칙을 설명하는 학문이다. 전통적인 우주론에서 우주는 무한하고 영원하며 변하지 않는 모습이었다. 20세기 초에 우주론을 연구한 아인슈타인조차 이러한 전통적인 우주론에서 벗어나지 않으려 했다. 그러나 허블을 비롯하여 이러한 우주론을 부정하고 전혀 다른 우주론을 제시한 과학자들이 있었으며, 이들은 적색 편이와 같이 관측된 사실을 토대로 우주의 기원을 설명하고자 했다. 현재 우리가 알고 있는 우주의 기원은 이러한 과학자들의 노력과 격렬한 논쟁이 빚어낸 결과이다.

대폭발로 우주가 탄생하면서 시간이 시작되고 공간이 탄생하였으며, 우주는 탄생 순간부터 지금까지 계속 팽창해 왔다. 그리고 우주 탄생 초기에 생성된 기본 입자들은 현재 우주를 이루는 모든 물질들을 만들어 냈다.

💡 확인하기

- 이해** 1. 빛을 내는 물체가 관측자로부터 멀어질 때 스펙트럼이 붉은빛 쪽으로 치우치는 현상은 무엇인가?
2. 허블이 우주가 팽창한다는 결론을 내린 계기는 무엇인가?
- 적용** 3. 허블 상수의 값이 변하면 우주의 나이가 어떻게 달라질지 써 보자.
- 창의** 4. 팽창하는 우주에서 허블 상수는 어떤 의미를 가지는지 설명해 보자.

2

우주의 탄생과 원자의 형성

- 학습 목표**
- 대폭발 우주론으로부터 물질을 이루는 기본 입자와 원자의 형성 과정을 이해한다.
 - 수소와 헬륨의 질량비로부터 대폭발 우주론의 타당성을 이해한다.
 - 우주 배경 복사가 대폭발의 증거가 됨을 이해한다.



▲ 그림 11 _ 우주 대폭발(상상도)

우주가 점점 팽창하고 있다는 사실은 과거의 우주가 지금보다 작았다는 것을 의미한다. 팽창하는 우주의 시간을 거슬러 올라가면 우주의 시작은 아주 작고, 뜨거운 한 점에서 시작되었을 것이다. 이것이 바로 가모(Gamow, G., 1904~1968)가 제시한 대폭발 우주론이다. 우주에 존재하는 원소의 기원을 설명하기 위해 제안된 대폭발 우주론은 현재 우주의 기원을 설명하는 중요한 이론이 되었다. 대폭발 우주론을 제시한 가모는 “오리와 감자 한 접시를 요리하는 것보다 더 짧은 시간에 원소들이 요리되었다.”라고 하였다. 그러나 실제로

대폭발 우주론에서는 수소, 헬륨, 리튬과 같은 몇 가지 가벼운 원자핵의 형성 과정을 설명하는 데 그쳤다. 대폭발 우주론에서는 기본 입자의 형성 과정을 어떻게 설명하고 있을까?

기본 입자와 원자핵의 형성

예부터 인간은 물질을 이루는 기본 입자에 대한 의문을 해결하기 위해 끊임없이 탐구하며 여러 가지 가설을 제시해 왔다. 고대 그리스의 철학자 엠페도클레스는 물, 불, 흙, 공기가 물질을 이루는 기본 원소라는 4원소설을 주장하였고, 이것은 아리스토텔레스와 플라톤에게까지 이어졌다. 반면에 영국의 과학자 돌턴(Dalton, J., 1766~1844)은 모든 물질은 쪼갤 수 없는 가장 작은 입자인 원자로 이루어져 있다는 원자설을 주장하였다. 현재 6개의 쿼크와 6개의 경입자가 물질을 이루는 **기본 입자**라는 것이 밝혀졌으며, 기본 입자로부터 원자핵이 형성되는 과정을 대폭발 우주론의 우주 탄생 과정으로 설명할 수 있다.

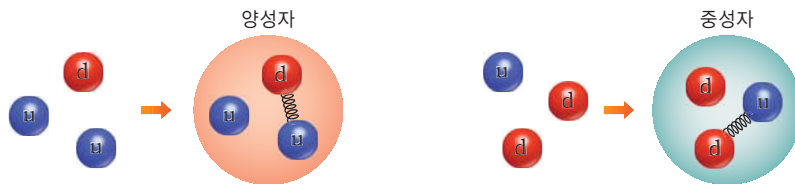
대폭발 우주론에 의하면 매우 뜨겁고 밀도가 높은 한 점에서 폭발이 일어났고, 그때부터 시간이 시작되었다고 한다. 폭발이 일어나 팽창되면서 우주는 점점 식어 가고, 밀도는 점점 낮아져 현재의 상태가 되었다. 지금도 우주는 팽창하고 있으며, 태초의 폭발부터 현재에 이르기까지 우주의 온도와 밀도의 변화에 따라 형성된 입자들이 우주를 채우고 있다. 이러한 기본 입자들의 형성 과정을 대폭발 우주론에서는 어떻게 설명하고 있는지 알아보자.

표 1 _ 쿼크와 경입자

쿼크		경입자	
명칭	기호	명칭	기호
위 (up)	u	전자	e
아래 (down)	d	전자 중성미자	ν_e
맵시 (charm)	c	뮤온	μ
아름한 (strange)	s	뮤온 중성미자	ν_μ
꼭대기 (top)	t	타우	τ
바닥 (bottom)	b	타우 중성미자	ν_τ

폭발이 일어난 직후 우주는 극도로 높은 온도로 인해 매우 혼란스러웠다. 그러나 10^{-35} 초가 지났을 무렵에는 온도가 10^{28}°C 로 식었고, 폭발에서 생겨난 물질로부터 6종류의 쿼크와 6종류의 경입자가 형성되었다. 그러나 이 입자들이 결합하여 양성자와 중성자를 형성하기에는 아직 너무 뜨거웠다.

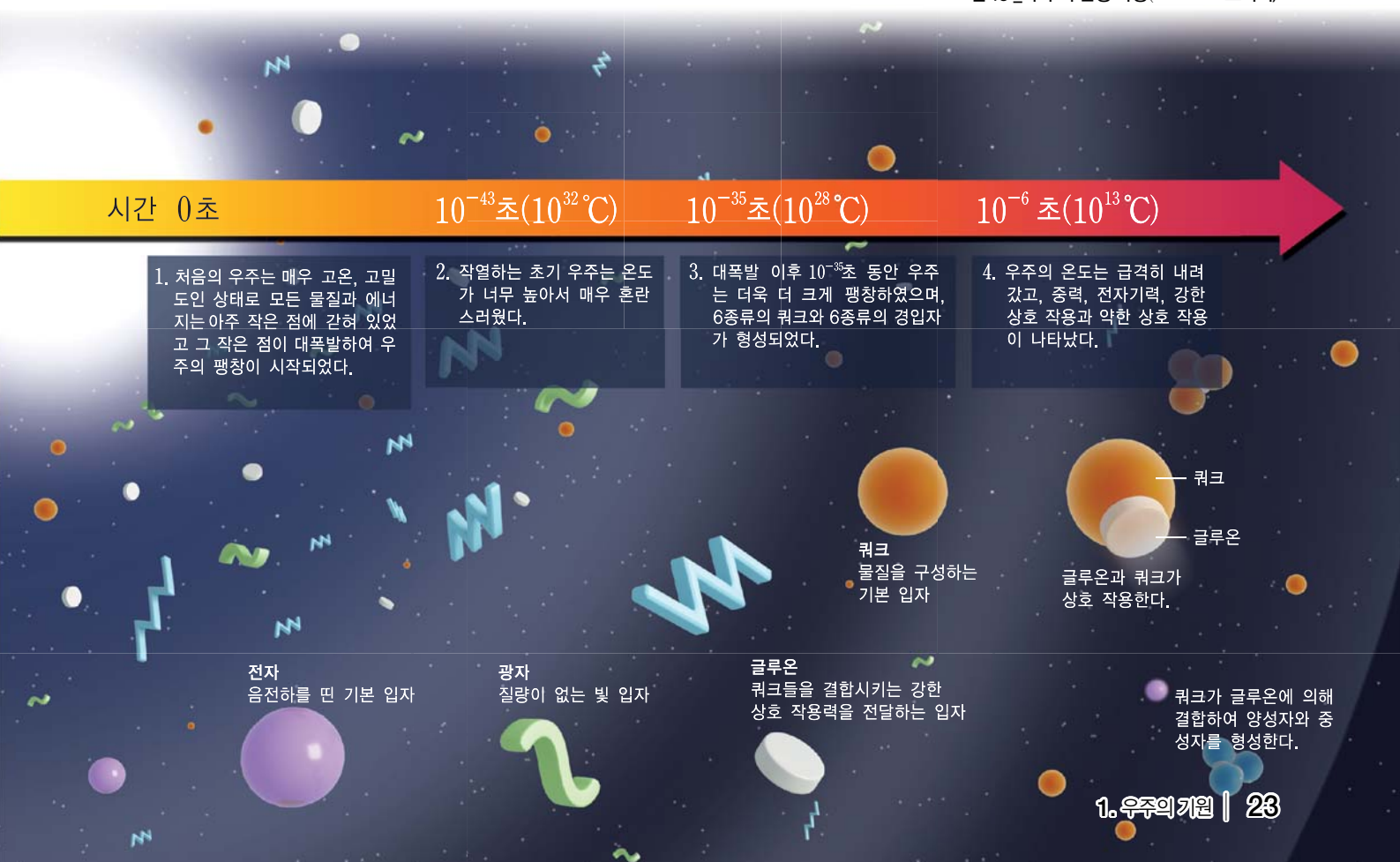
폭발 뒤 10^{-6} 초가 지났을 때 우주의 온도는 10^{13}°C 로 낮아졌으며, 그림 12와 같이 위(u) 쿼크 2개와 아래(d) 쿼크 1개가 결합된 양성자와 위(u) 쿼크 1개와 아래(d) 쿼크 2개가 결합된 중성자가 나타났다. 그러나 양성자와 중성자가 서로 결합하여 원자를 형성하기에는 아직 너무 뜨거웠으며, 중성자가 전자를 방출하고 양성자가 되거나 양성자가 전자를 받아들여 중성자가 되는 변화가 일어나 양성자와 중성자의 수는 거의 같았다.



▲ 그림 12_ 양성자와 중성자의 형성

이때의 우주는 양성자와 중성자 외에도 전자, 양전자, 중성미자로 가득 차 있었고, 전하를 띠는 전자와 양성자 때문에 빛이 똑바로 나아가지 못해 우주는 뿌연 수프와 같은 상태였다.

▼ 그림 13_ 우주의 탄생 과정($0 \sim 10^{-6}$ 초까지)



폭발 10^{-1} 초 뒤에 우주의 온도는 10^{10}°C 로 식었고, 중성자가 약간 더 가벼운 양성자로 변환하는 일이 그 반대의 경우보다 더 많이 일어나서 양성자가 중성자보다 조금 더 많아지게 되었다. 그러나 이 온도는 쿼크가 결합하여 양성자나 중성자를 만들기에는 너무 낮았으므로 양성자나 중성자가 새롭게 만들어지지 않는았다.

폭발 후 5초가 지났을 때 우주의 온도는 $3 \times 10^9^{\circ}\text{C}$ 로 식어 전자와 양전자가 결합하여 빛이나 다른 입자로 변하면서 소멸하는 변환이 그 반대의 경우보다 빠르게 일어나 전자와 양전자의 수가 급격히 감소하기 시작하였다. 또한, 양성자와 중성자가 결합하여 중수소를 형성하기도 했지만 불안정해서 바로 양성자와 중성자로 분해되었다. 우주가 식어감에 따라 양성자의 수가 중성자의 수보다 점점 많아졌으며, 이 시기에 중성자와 양성자 수의 비율은 약 1 : 5 정도였다.

폭발 후 3분이 되었을 때 우주의 온도는 10^9°C 까지 떨어졌고, 전자와 양전자는 대부분 사라졌으며 중수소가 만들어져도 안정하지 못해 곧바로 양성자와 중성자로 분해되었다. 이 시기에 중성자와 양성자 수의 비율은 약 1 : 7 정도였다.

3분이 지나 온도가 약간 더 낮아지자 비로소 중수소가 안정적으로 생성되었고, 중수소가 그림 15와 같이 두 가지 경로로 헬륨 원자핵을 형성하기 시작하였다.

▼ 그림 14_ 우주의 탄생 과정(10^{-1} 초~3분까지)

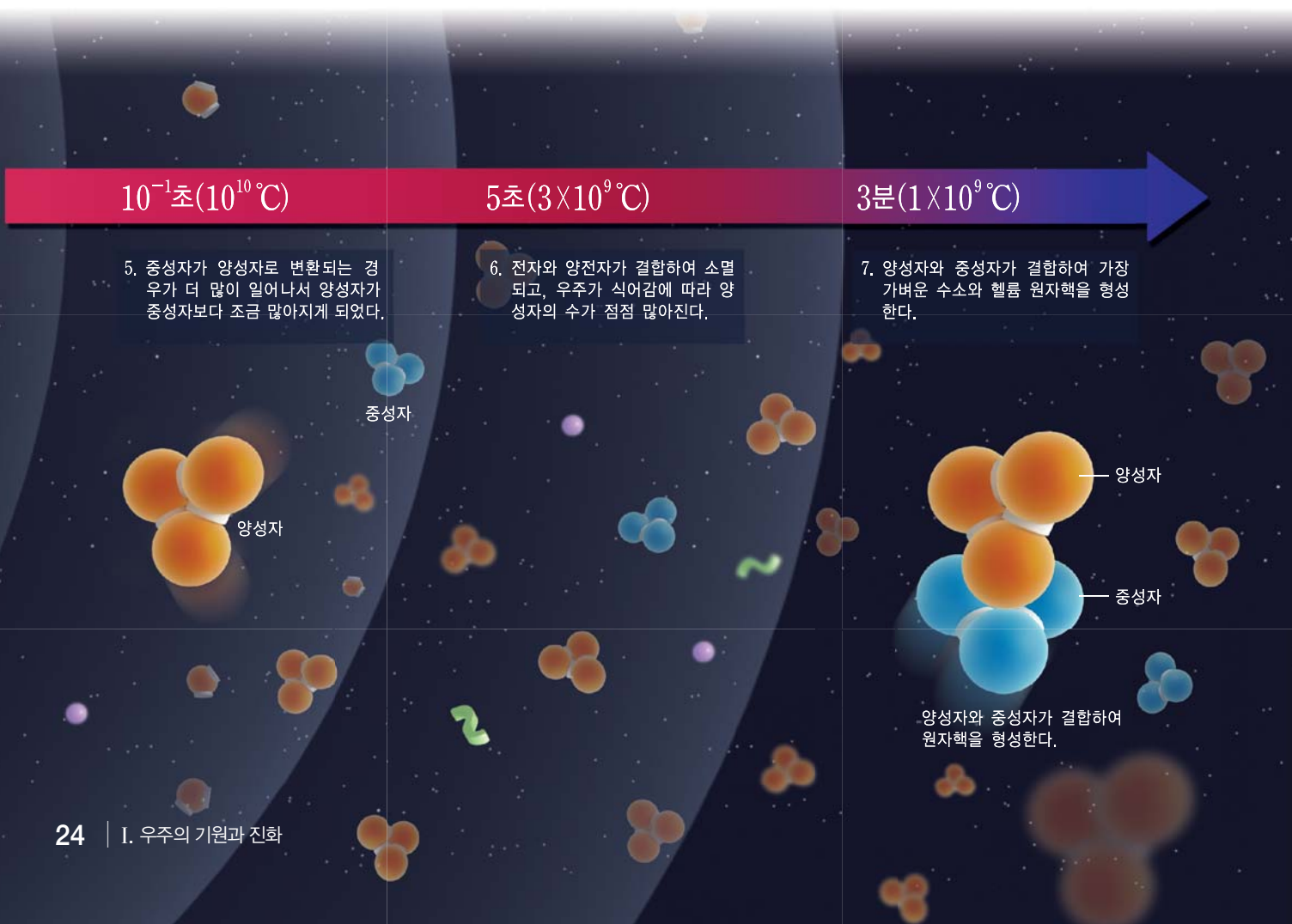
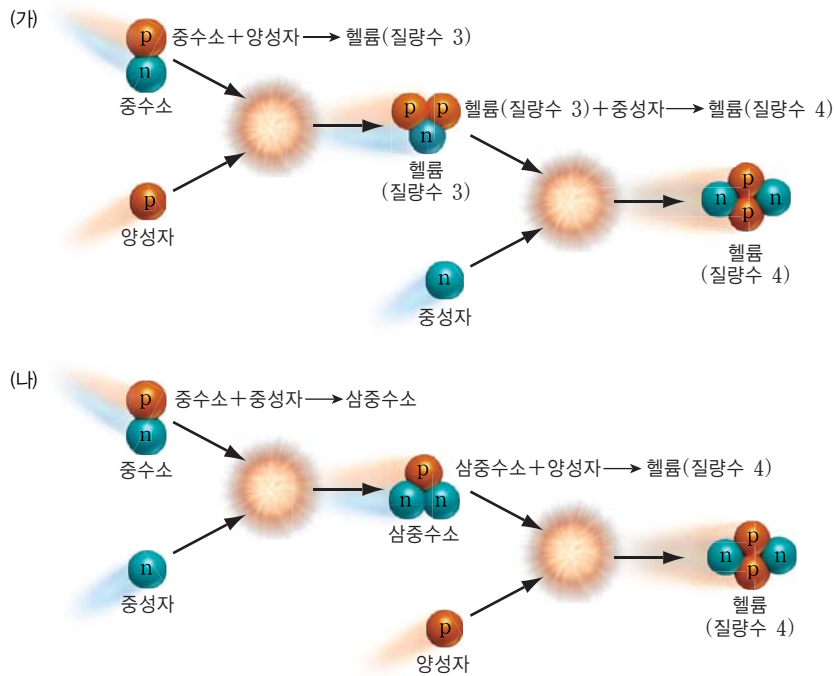


그림 15의 (가)와 같이 첫째 경로에서는 중수소와 양성자가 결합하여 질량수가 3인 헬륨 원자핵을 형성하고, 여기에 중성자가 결합하면서 질량수가 4인 헬륨 원자핵을 형성하였다. 또 그림 (나)와 같이 중수소와 중성자가 결합하여 삼중수소를 만들고, 이 삼중수소가 다시 양성자와 결합하여 질량수가 4인 헬륨 원자핵을 형성하였다. 질량수가 4인 헬륨 원자핵은 매우 안정하여 분해되지 않으며, 다른 양성자나 중성자와 결합하여 더 무거운 원자핵을 만들었다가도 다시 금방 분해되어 질량수가 4인 헬륨 원자핵으로 존재한다.



▲ 그림 15 _ 헬륨 원자핵의 형성

불안정한 중성자는 대부분 헬륨 원자핵이 만들어지는 데 사용되었으므로 이 시기에 우주 전체에 존재하는 수소와 헬륨의 질량 비율이 3 : 1로 결정되었다. 이 비율은 현재 우주에 존재하는 수소와 헬륨의 질량 비율과 일치하므로 대폭발 우주론의 증거가 된다. 또한, 태양과 같은 항성에서 만들어지는 수소와 헬륨의 양에 비해 우주 전체에 존재하는 수소와 헬륨의 양이 너무 많다는 사실은 대폭발 우주론을 제창한 가모의 이론에 힘을 실어 준다.

대폭발 이후 우주가 팽창함에 따라 우주의 온도는 점점 낮아지고, 밀도는 작아졌다. 그리고 수십만 년 뒤 우주는 전자와 핵이 결합하여 수소와 헬륨 원자를 이루기에 충분할 만큼 식었다. 이렇게 생긴 수소와 헬륨 기체는 중력의 영향으로 덩어리를 이루기 시작하였고, 이 덩어리들은 응축되어 현재 우주의 은하와 별들을 형성하였다. 별들이 그 생애를 시작한 재료들은 바로 최초의 3분 동안에 만들어진 것들이었다. 그렇다면 우주에 수소와 헬륨이 3:1의 비율로 존재한다는 것을 어떻게 알 수 있을까?

프라운호퍼(Fraunhofer, J., 1787~1826)

분광기를 이용하여 빛의 파장을 측정하고, 태양 빛의 흡수 스펙트럼을 발견하였다.

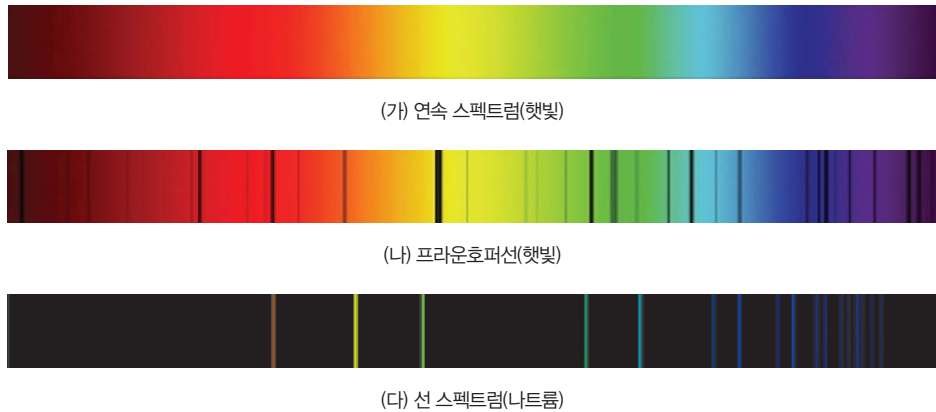
키르히호프(Kirchhoff, G. R., 1824~1887)와 분젠(Bunsen, R. W., 1811~1899)

스펙트럼 분석의 기초를 확립하였다.

스펙트럼을 이용한 원소 분석

백열 전구, 고온의 태양이나 별에서 나온 빛을 프리즘이나 회절 격자에 통과시켜 관측해 보면 그림 16의 (가)와 같은 연속적인 색깔의 띠가 나타나는 스펙트럼을 볼 수 있다. 이러한 스펙트럼은 빛이 프리즘을 통과하면서 파장에 따라 분산되어 나타나는 현상이다. 1814년 독일의 프라운호퍼는 성능이 좋은 분광기로 태양의 연속 스펙트럼을 분석하여 그림 (나)와 같이 여러 개의 검은 선들을 발견하였는데, 이 흡수선들을 **프라운호퍼선**이라고 부른다. 그 후 과학자들은 태양뿐 아니라 수많은 별들의 흡수선들을 분석하여 각 별에 관한 많은 정보들을 수집할 수 있었다.

독일의 키르히호프와 분젠은 뜨겁게 가열한 원소에서 방출되는 빛을 분산시켜 보면 태양과 같은 연속 스펙트럼이 아니라 그림 (다)와 같이 띄엄띄엄한 선들이 보이는 것을 발견하였는데, 이를 **선 스펙트럼**이라고 한다. 각 원소마다 방출되는 빛의 파장 즉, 선 스펙트럼의 위치는 다르다.



▲ 그림 16 _ 여러 종류의 스펙트럼

다음 활동을 통하여 여러 가지 기체의 선 스펙트럼을 관찰해 보자.

창의
인성

활동 2

진공 방전관을 이용하여 선 스펙트럼을 관찰할 수 있을까?

목표 여러 기체의 선 스펙트럼을 관찰하고, 그 차이점을 찾아낸다.

해 보기

준비물 여러 종류의 기체가 들어 있는 방전관, 분광기, 고전압 발생 장치

과정

- 1 그림 17의 (가)와 같이 분광기로 형광등의 스펙트럼을 관찰해 보자.
- 2 그림 17의 (나)와 같이 방전관을 켜 후 방전관에서 방출되는 빛을 분광기로 관찰해 보자.
- 3 방전관의 종류를 바꾸어 가며 다양한 기체가 들어 있는 방전관에서 방출되는 빛의 스펙트럼 분포를 관찰해 보자.

주의

- 진공 방전관은 고전압이 발생하므로 감전에 주의한다.
- 방전관의 유리가 깨지지 않도록 조심한다.

4 그림 18의 선 스펙트럼 사진과 스펙트럼의 분포가 일치하는 방전관이 있는지 살펴보자.



(가) 형광등 빛 관찰



(나) 여러 기체의 진공 방전관 빛 관찰

▲ 그림 17 _ 선 스펙트럼의 관찰

정리

- 어떤 종류의 스펙트럼이 보이는가?
- 형광등과 각 방전관마다 관찰되는 스펙트럼의 분포는 모두 다른가?
- 참의·인성** 형광등과 각 방전관 내부에 들어 있는 기체가 무엇인지 그림 18의 선 스펙트럼과 비교해 보고 예측해 보자.



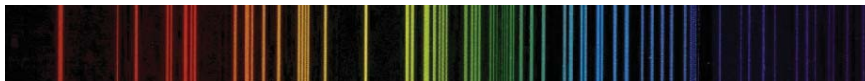
수소의 선 스펙트럼



헬륨의 선 스펙트럼



수은의 선 스펙트럼



우라늄의 선 스펙트럼

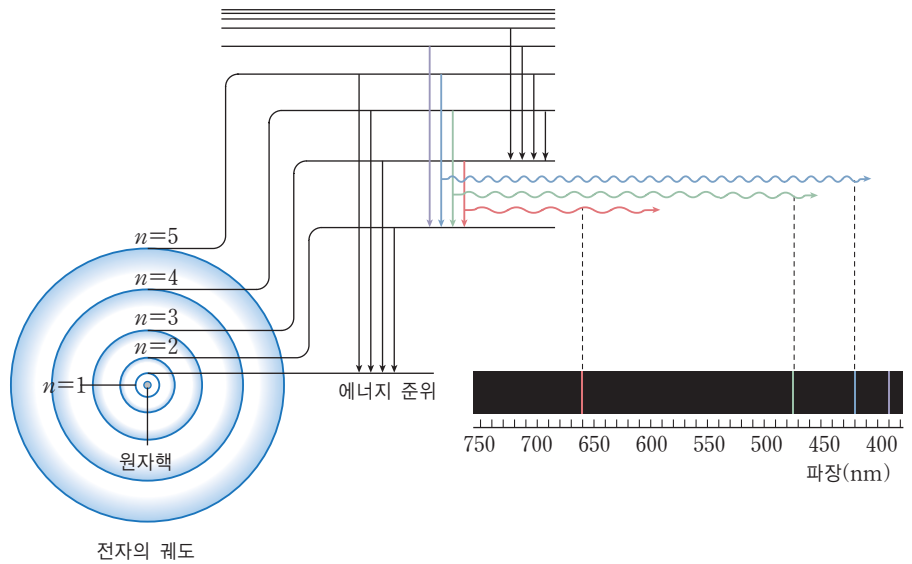
배려 토의 시 상대방의 의견을 잘 듣고 실험 기구 사용 시 서로 양보하여 실험에 임하자.

◀ 그림 18 _ 여러 종류의 선 스펙트럼

스펙트럼을 원소의 지문이라고도 하는 이유는 각 원소마다 선 스펙트럼이 나타나는 위치가 모두 달라서 성분 원소를 정확히 구별할 수 있기 때문이다. 별의 스펙트럼을 분석하면 별의 온도, 나이, 속도, 구성 성분 등을 알아낼 수 있으므로 별을 연구할 때는 스펙트럼을 연구하는 분광학의 역할이 매우 중요하다.

선 스펙트럼의 생성 원자핵 주위를 돌고 있는 전자들은 아무 궤도나 돌 수 있는 것이 아니라 특정하게 정해진 궤도만 돌 수 있다. 이와 같이 어떤 물리량이 띄엄띄엄하게 불연속적인 값을 가질 때, 이를 **양자화**되어 있다고 한다. 안쪽 궤도일수록 에너지 상태가 낮아 안정되고, 바깥쪽 궤도일수록 에너지 상태가 높아 불안정하므로 전자들은 에너지 상태가 낮은 궤도에서 돌려는 경향이 있다. 따라서 높은 온도로 가열된 원자의 전자들은 높은 에너지 상태에서 낮은 에너지 상태로 떨어지면서 그 에너지 차이에 해당하는 특정 파장의 빛을 방출하는데, 이것이 선 스펙트럼으로 관찰된다. 보어의 원자 모형에 따르면 원자 내부에서 전자들이 존재할 수 있는 궤도의 에너지 준위는 올라갈수록 간격이 줄어드는 계단으로 비유할 수 있다. 계단 사이의 높이 차이는 원소마다 각각 다르므로, 전자가 낮은 궤도로 떨어지면서 방출하는 빛의 파장과 에너지는 모두 다르다. 따라서 원소마다 선 스펙트럼이 나타나는 위치가 달라진다.

연결 학습
에너지 준위 → 256쪽



▲ 그림 19 _ 수소 원자의 에너지 준위와 선 스펙트럼

흡수 스펙트럼의 생성 별의 색은 표면 온도에 따라 다르다. 온도가 높은 별일수록 파장이 짧은 파란빛을 많이 방출하고, 온도가 낮은 별일수록 파장이 긴 빨간빛을 많이 방출한다. 별에서 방출되는 빛에 의해 관찰되는 연속 스펙트럼 상에 검은 흡수 선들이 나타나는 이유는 별의 대기에 존재하는 기체 원소들이 별에서 방출되는 빛 중에서 특정한 파장의 빛을 흡수하였기 때문이다. 이를 분석하면 별의 대기에 존재하는 원소의 종류를 알 수 있으므로 별의 구성 성분을 추측할 수 있다.



어떤 원소의 선 스펙트럼이 나타나는 위치와 흡수 스펙트럼이 나타나는 위치가 일치하는지 말해 보자.

우주 배경 복사

1964년 미국의 펜지어스와 윌슨은 그들의 위성 통신 실험을 방해하는 잡음을 제거하기 위해 마이크로파 탐지 실험을 하던 중 우주의 모든 방향에서 밤낮과 계절에 상관없이 관측되는 복사선을 발견하였다. 그들은 전파 망원경 안에 비둘기가 만든 보금자리 때문이 아닐까 하여 이를 제거한 후 실험을 했으나 마찬가지로 잡음은 모든 방향에서 같은 세기로 관측되었다. 이 복사파의 파장은 약 7.3 cm였으며, 이는 대폭발 우주론에서 우주 배경 복사로 예측한 절대 온도 3 K(-270°C) 정도인 물체에서 가장 세게 방출되는 복사파의 파장과 일치한다. 이와 같이 펜지어스와 윌슨이 발견한 우주 배경 복사는 우주가 대폭발에 의해 시작되었다는 대폭발 우주론을 지지하는 결정적 증거로 대다수의 과학자들에게 받아들여지게 되었다.

우주를 구성하는 중요 요소인 빛은 전하를 띤 원자핵이나 전자들과는 쉽게 상호 작용하지만, 원자핵이나 전자들이 따로 존재하는 플라스마 상태에서는 얼마 진행하지 못하고 전자에 흡수되었다가 다시 재방출되는 과정을 끊임없이 되풀이한다. 그러나 우주가 팽창하면서 온도가 점점 내려가면 원자핵과 전자들이 결합하여 중성인 원자가 만들어지는데, 이 과정에서 이들과 상호 작용하지 않는 빛은 자유롭게 우주 공간을 떠돌게 되었다. 그리고 이 빛은 우주의 팽창과 더불어 파장이 계속 길어지게 되었으며, 현재 우주의 모든 방향에서 관측되고 있다. 그림

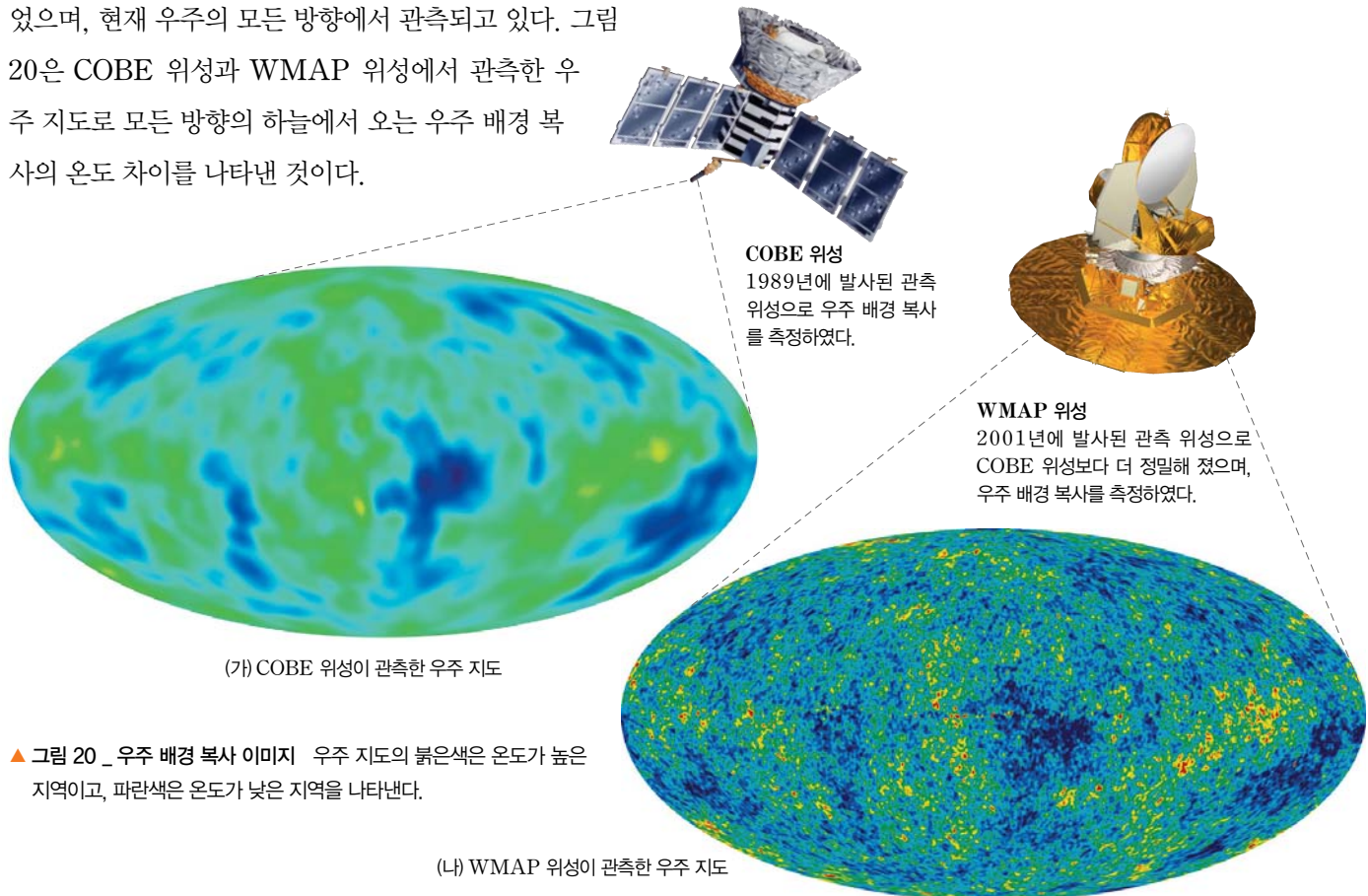
20은 COBE 위성과 WMAP 위성에서 관측한 우주 지도로 모든 방향의 하늘에서 오는 우주 배경 복사의 온도 차이를 나타낸 것이다.

펜지어스(Penzias, A. A., 1933~)와 윌슨(Wilson, R. W., 1936~)

1964년 우리 은하를 둘러싸고 있는 우주 배경 복사를 발견하였으며, 1978년 공동으로 노벨 물리학상을 수상하였다.

우주 배경 복사

우주 대폭발이 일어난 후 물질과 빛이 처음 분리될 때 나온 빛이다. 이 빛은 대폭발의 잔해로 지금까지 남아 우주를 가득 채우고 있다. 과학자들의 계산에 따르면 대폭발에 의해 우주가 탄생한 것은 약 137억 년 전이라고 한다.



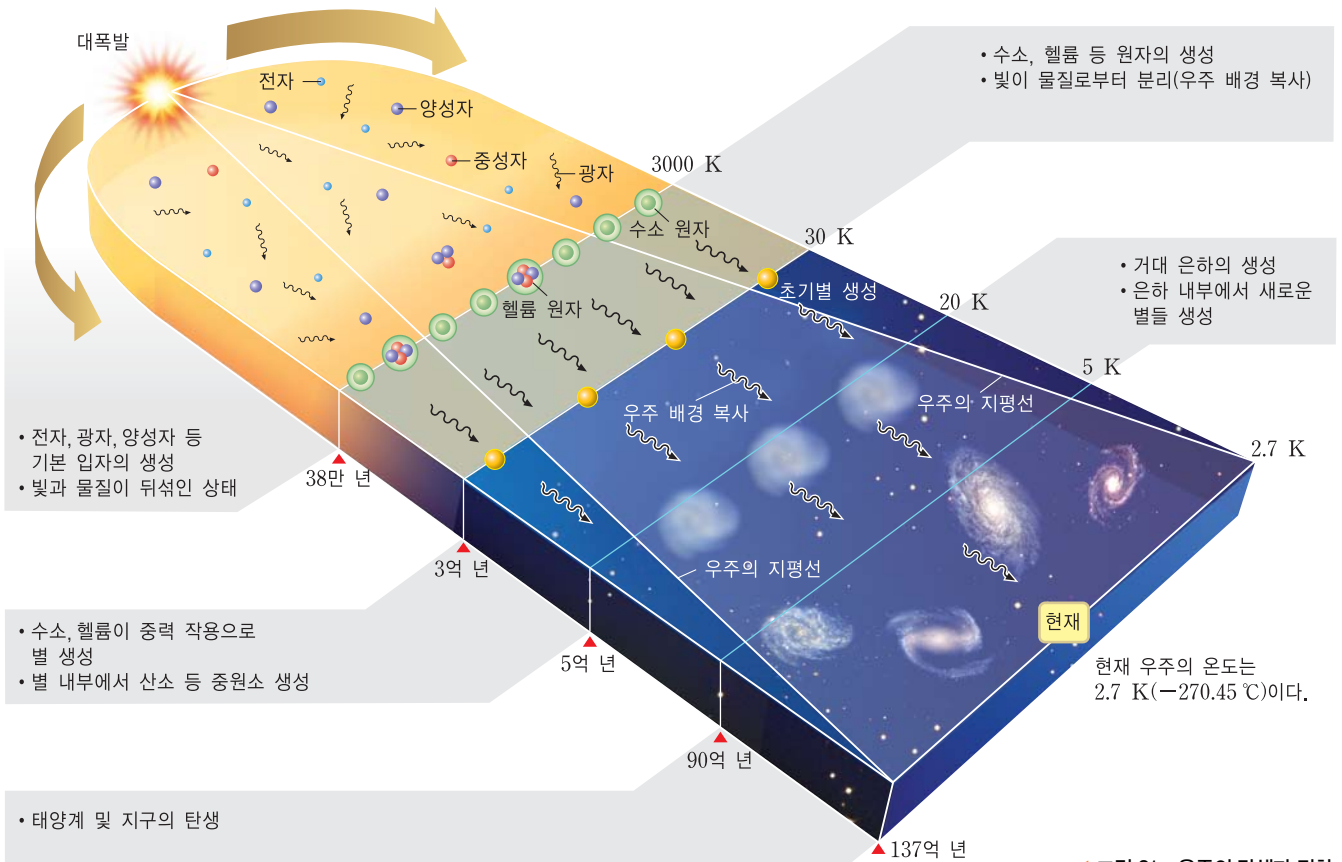
원자의 생성

절대 온도

물질의 특성에 의존하지 않는 절대적인 온도를 가리킨다. 1848년 켈빈이 도입하였으며, 단위는 켈빈(K)을 사용한다. 절대 온도(T)와 섭씨온도(t)의 관계는 다음과 같다.

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273.15$$

대폭발 이후 우주가 계속 팽창하여 38만 년이 지났을 때 우주의 온도는 약 3000 °C 정도로 생각되었고, 최초의 3분 동안 마련되었던 양성자, 중성자, 전자, 수소 원자핵, 헬륨 원자핵 등이 서로 결합하여 전기적으로 중성인 원자가 생겨나기 시작하였다. 이 결합 과정에서 남는 에너지가 빛으로 방출되어 우주를 가득 채우게 되었다. 이때 방출된 빛들이 현재 관측되는 우주 배경 복사의 근원이 된다. 그 후 우주는 137억 년의 긴 시간 동안 팽창하면서 식어가 현재 약 -270°C의 차가운 우주가 되었다. 우주를 가득 채웠던 빛도 온도가 내려가면서 파장이 계속 길어져 현재는 마이크로파로 변하여 우주의 모든 방향에서 검출되고 있다.



◀ 그림 21 _ 우주의 탄생과 진화

확인하기

- 이해** 1. 우주에서 가장 먼저 생성된 원자는 무엇인가?
- 적용** 2. 백열등에서 방출되는 스펙트럼의 종류는 무엇인가?
3. 우주 배경 복사의 검출로부터 알아낸 사실은 무엇인지 서술해 보자.
- 창의** 4. 대폭발 우주론에서 우주가 생성될 때 수소와 헬륨, 약간의 리튬 원자핵 이외에 더 무거운 원자핵을 형성하지 못한 이유를 말해 보자.

허블 상수

1. 허블 상수를 결정하기 위해 필요한 자료를 다음 <보기>에서 모두 고른 것은?

● 보기 ●

ㄱ. 은하의 나이

ㄴ. 은하의 질량

ㄷ. 은하의 적색 편이

ㄹ. 은하까지의 거리

① ㄱ, ㄴ

② ㄱ, ㄷ

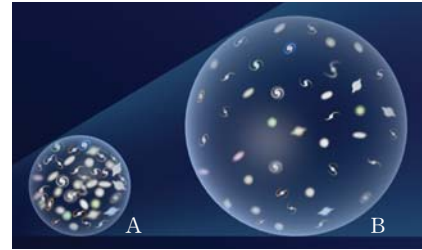
③ ㄱ, ㄹ

④ ㄴ, ㄷ

⑤ ㄷ, ㄹ

허블 법칙

2. 그림은 허블 법칙에 따라 팽창하고 있는 우주의 모습을 나타낸 것이다. 우주의 모습이 A에서 B로 변해감에 따라 평균 밀도와 질량, 우주 배경 복사 온도는 각각 어떻게 변할지 설명해 보자.



대폭발 우주론

3. 현재 우주가 점점 팽창하고 있다는 사실은 거의 정설로 받아들여지고 있다. 우주가 점점 팽창하고 있음을 보여주는 증거가 무엇인지 이야기해 보자.

스펙트럼

4. 다음 입자들을 우주가 탄생할 때 먼저 형성된 순서대로 나열해 보자.

리튬 원자핵, 양성자, 쿼크, 수소 원자, 헬륨 원자핵, 중수소 원자핵

우주 배경 복사

5. 현재 우주에 존재하는 수소와 헬륨의 질량 비율은 얼마인가? 이 수소와 헬륨의 질량 비율이 대폭발 우주론의 증거가 되는 까닭을 설명해 보자.

I-2. 우주의 진화



▲ 그림 22_ 솜브레로 은하(NGC 4594) 처녀자리에서 볼 수 있는 은하로, 매우 밝은 중심부와 선명한 먼지 띠가 있다.

우주와 지구와 생명체를 이루는 원소

흔히 사람은 흙에서 왔다가 흙으로 돌아간다고 한다. 실제로 우리는 자연의 동식물을 섭취하여 우리 몸을 이루고 생명 활동을 유지한다. 그렇다면 다른 생물은 어떠할까? 식물은 공기 중의 이산화탄소, 흙 속의 물과 무기 양분을 이용하여 자신의 몸을 이루고 생명 활동을 유지한다. 그리고 식물은 동물에게, 동물은 그보다 상위의 포식자에게 먹히는 먹이 연쇄를 이루며, 사람도 지구 위에 사는 모든 동식물과 함께 이러한 순환을 이루는 요소 중 하나이다.

따라서 지구의 모든 생명체를 이루는 원소는 지구를 이루는 원소에서 비롯되었다고 할 수 있다. 그렇다면 지구를 이루는 원소는 어디에서 왔을까? 나아가 우주를 이루는 수많은 원소들은 어떤 과정으로 만들어졌을까?

이 단원에서는 현재 우주의 모습과 함께 수소와 헬륨밖에 없었던 초기 우주에서 지금까지 알려진 110여 가지가 넘는 원소의 생성 과정을 알아보자.

? 지구를 이루는 원소와 우리 몸을 이루는 원소를 5가지씩 찾아보고 서로 비교해 보자.

1

별의 진화와 원소의 생성

- 학습 목표**
- 별이 진화하는 과정을 설명할 수 있다.
 - 별이 진화하는 과정 속에서 무거운 원소가 만들어지는 과정을 설명할 수 있다.

우주에는 여러 가지 원소들이 존재한다. 원소들은 같은 원소끼리, 혹은 다른 원소들과 결합하여 수많은 물질을 이루며, 물질은 다양한 화학 반응을 통해 또다른 물질로 바뀌기도 한다.

중세 서양의 연금술사들은 물질의 화학 반응을 이용하여 납이나 철과 같은 원소를 값비싼 금으로 바꾸려고 했지만 성공하지 못했다. 시간이 지나 물질을 이루는 원소들이 하나둘씩 발견되고 원자의 내부 구조가 밝혀지면서, 과학자들은 원소의 고유한 특성을 바꾸는 것은 불가능하며 화학 반응으로는 새로운 원소를 만들어 낼 수 없음을 알게 되었다.

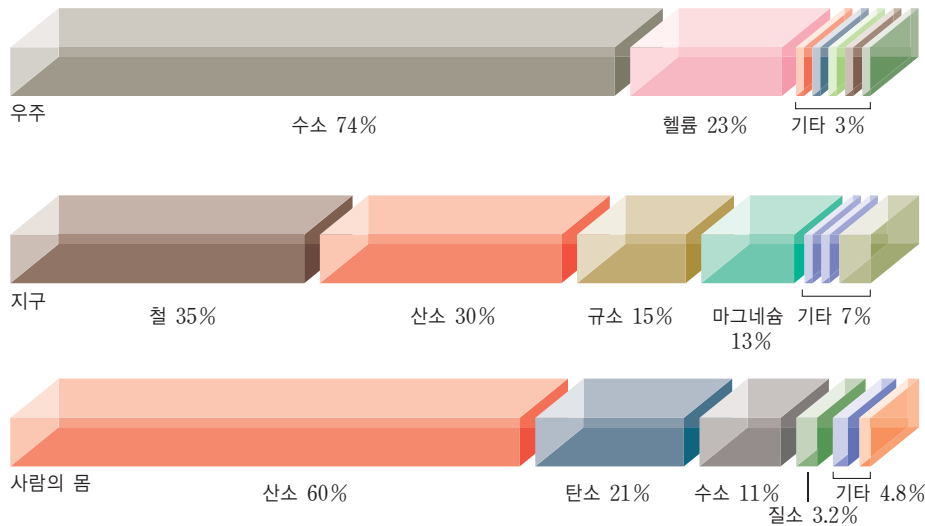
그렇다면 대폭발에 의해 우주가 생성된 직후 만들어진 수소와 헬륨 이외의 원소들은 어떻게 만들어졌을까?



▲ 그림 23 _ 연금술사

자연계에 존재하는 여러 가지 원소

자연 상태에서 발견되는 원소는 92가지이며, 여기에 인공적으로 만들어진 원소들이 10여 가지가 더 있다. 그런데 자연 상태에서도 장소에 따라 존재하는 원소의 양은 매우 큰 차이가 있다. 지구의 대기에는 질소와 산소가 가장 많고, 지구의 지각에는 산소와 규소가 가장 많다. 그러나 지구 전체에서 가장 풍부한 원소는 철이며, 사람의 몸에는 물을 이루는 산소와 수소, 그리고 탄소, 질소가 가장 많다.



▲ 그림 24 _ 자연 상태에 존재하는 원소의 질량비

대폭발로 우주가 탄생한 후 3분 동안 처음으로 생성된 기본 입자들로부터 수소와 헬륨이 만들어졌다. 그러나 탄생 이후 우주가 급격히 팽창하면서 우주의 온도도 함께 낮아져 수소와 헬륨보다 무거운 원소는 만들어지지 않았다.

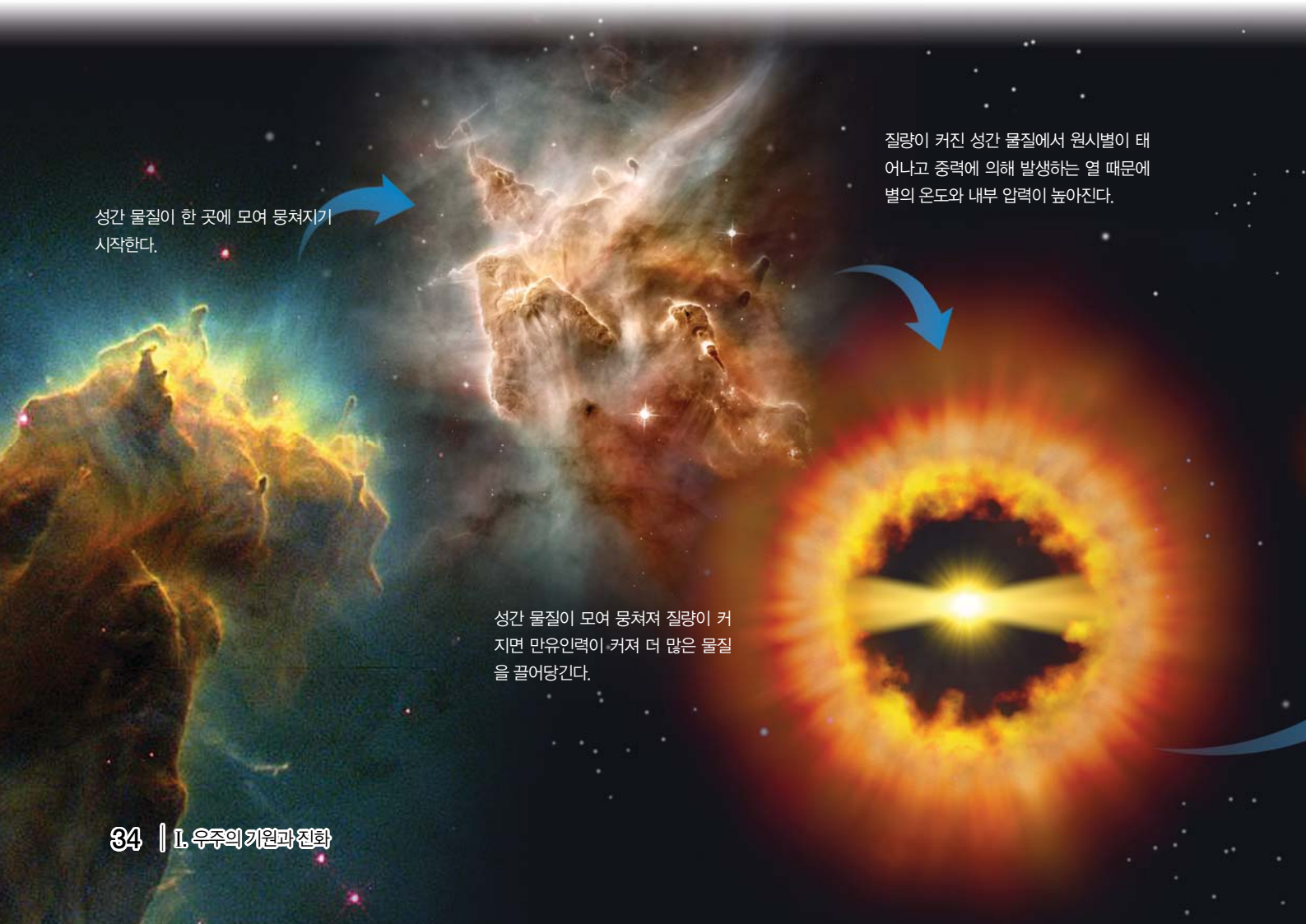
가장 가벼운 원소인 수소와 헬륨은 우주에서 가장 많은 양을 차지하며, 이 두 원소보다 무거운 원소들의 양은 우주 전체에서 매우 적다. 그리고 탄소, 산소, 철 등과 같이 지구와 생명체를 이루는 원소들은 우주가 탄생한 이후 별이 태어나 진화하고 소멸해 가는 과정에서 만들어졌다.

성간 물질과 별의 탄생

별과 별 사이의 우주 공간에는 주로 수소와 헬륨 기체로 이루어진 성간 물질이 있다. 성간 물질의 밀도와 온도는 매우 낮지만, 이들이 비교적 높은 밀도로 모여 있는 영역도 있다. 별은 이처럼 성간 물질의 밀도가 높고 차가운 영역에서 만들어진다.

공간에 흩어져 있던 성간 물질들이 모여 뭉쳐지면 질량이 커지고, 만유인력에 의해 더 많은 성간 물질을 끌어들이며 밀도가 더 높아진다. 이 과정을 거치는 동안 성간 물질 덩어리는 점차 별의 모습을 갖추기 시작하는데, 이를 **원시별**이라고 한다.

▼ 그림 25 _ 별과 행성계의 탄생



성간 물질이 한 곳에 모여 뭉쳐지기 시작한다.

질량이 커진 성간 물질에서 원시별이 태어나고 중력에 의해 발생하는 열 때문에 별의 온도와 내부 압력이 높아진다.

성간 물질이 모여 뭉쳐져 질량이 커지면 만유인력이 커져 더 많은 물질을 끌어당긴다.

처음에 원시별은 크기가 작고 온도도 낮지만, 계속 수축하면서 밀도와 압력이 커지므로 열이 발생하여 점차 온도가 높아진다. 원시별의 중심 온도가 1,000만 K 정도 되면 별의 중력과 내부 압력이 평형을 이루어 크기 변화가 일어나지 않고, 중심에서는 수소의 핵융합 반응이 시작된다. 이 과정에서 네 개의 수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵이 만들어지면서 많은 양의 에너지가 발생한다. 이처럼 수소 핵융합 반응을 통하여 에너지를 방출하는 안정한 상태의 별을 **주계열성**이라고 한다.

수소는 우주에서 가장 풍부한 원소이므로 별 내부의 수소 핵융합 반응은 비교적 긴 시간 동안 일어날 수 있다. 실제로 별은 일생 대부분을 주계열 단계에서 보낸다. 이 기간은 별의 질량에 따라 다른데, 태양 정도의 질량을 가진 별은 약 100억 년, 질량이 태양의 10배 정도인 별은 약 1,000만 년으로 질량이 큰 별일수록 더 짧다.

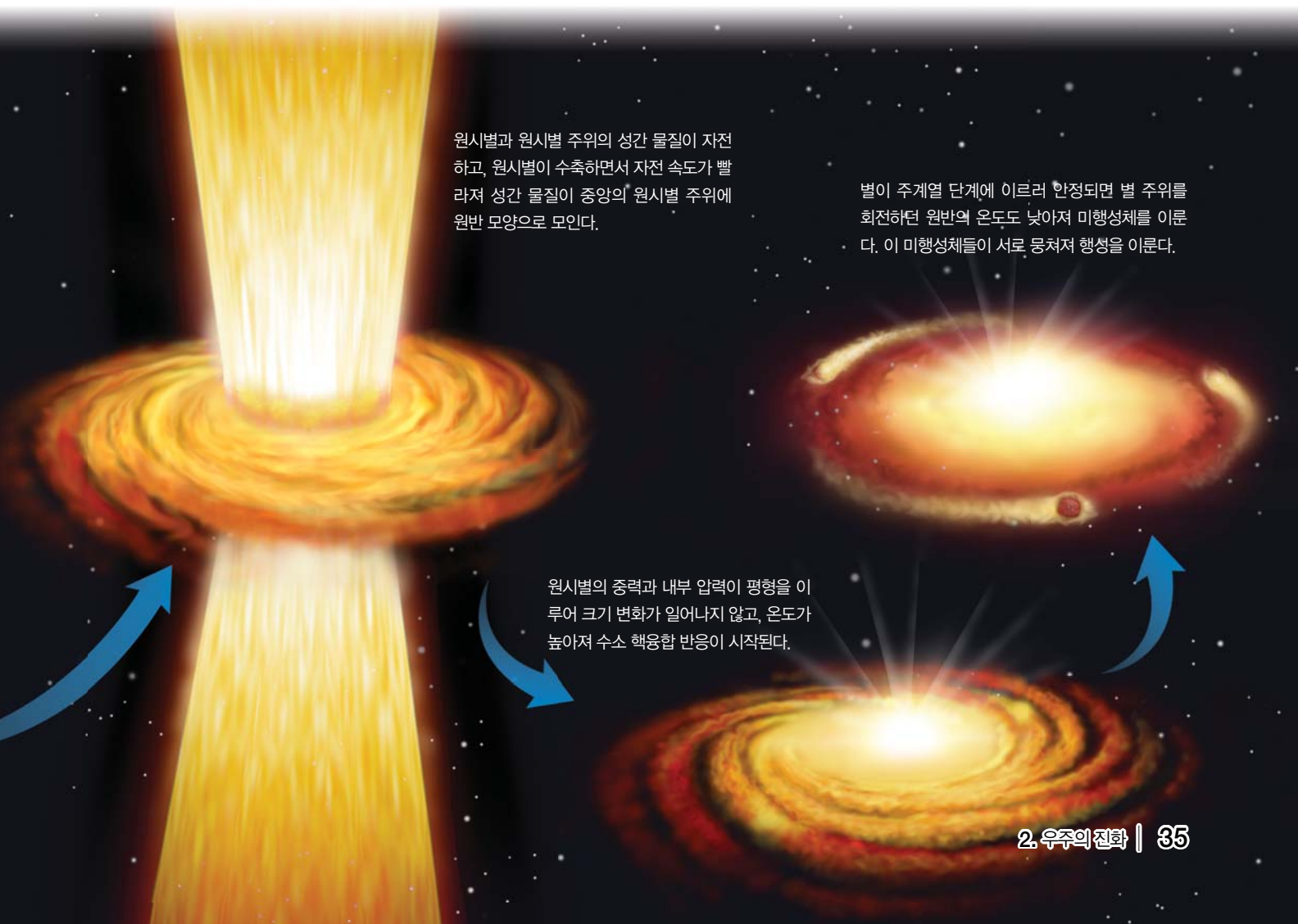
지구 대기권 밖에서 관측 활동을 하는 허블 우주 망원경은 그림 26과 같이 별이 만들어지고 있는 영역들을 발견하였다. 이러한 영역에서는 별과 함께 행성이 탄생하기도 한다.



▲ 그림 26 _ 별이 만들어지는 성간운(콘 성운)

연결 학습

태양계의 형성 ➔ 62쪽

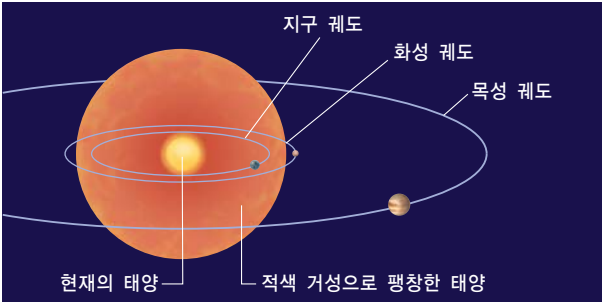


별의 죽음과 무거운 원소의 생성

별의 내부에서 수소 핵융합 반응은 무한히 계속되지 않는다. 별의 중심부에서 헬륨 핵이 형성되고 수소가 점차 고갈되면 수소 핵융합은 더 이상 일어나지 않는다. 그리고 수소 핵융합이 멈추면 별의 중심부는 에너지를 방출하지 않으므로 내부 압력이 낮아져 중심핵이 수축한다.

중심핵이 수축하는 과정에서 발생하는 열에너지는 다시 중심핵 바깥의 수소층을 가열한다. 그리고 낮은 압력 때문에 수소 핵융합에 참여하지 못했던 중심핵 외곽의 수소층에서 수소 핵융합 반응이 일어나 별이 팽창하기 시작한다.

중심핵 외곽의 수소층에서 핵융합 반응이 일어나 팽창하는 별은 크기가 커지므로, 밝기는 밝아지지만 표면 온도가 낮아져 점차 붉은색 빛을 내게 된다. 이러한 별을 **적색 거성**이라고 하며, 태양과 같은 질량의 별이 적색 거성이 되어 팽창하면 그 크기는 그림 27과 같이 화성 공전 궤도만큼 커질 것이다.

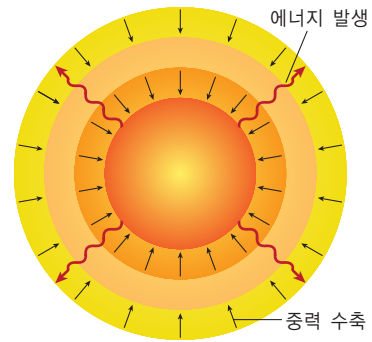


▲ 그림 27 _ 적색 거성으로 팽창한 태양(상상도) 주계열성이던 태양이 적색 거성이 되면 지금의 화성 공전 궤도 가까이까지 팽창할 것이다.

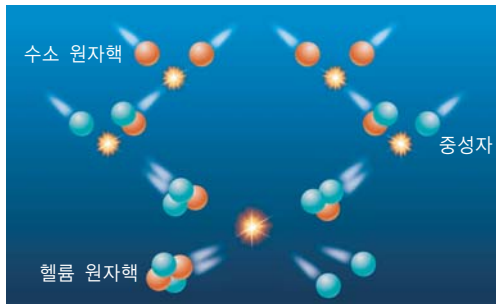
과학 마당 | 별의 에너지원

별의 생성 초기에 성간 물질이 중력에 의해 성간운 내부의 한 지점을 중심으로 모여 수축하는 것을 중력 수축이라고 한다. 이 과정에서 물질의 위치 에너지는 열에너지로 전환된다. 열에너지 일부는 원시별 중심부의 온도를 높이고 일부는 원시별 외부로 방출되는데, 이 에너지를 중력 수축 에너지라고 한다.

중력 수축 에너지는 성운이 수축하여 별이 생성되는 초기 단계에서 별의 에너지원으로 이용되며, 원시별 중심부의 온도를 높여 핵융합 반응이 일어날 수 있도록 한다. 또 주계열성이 적색 거성으로 진화하는 단계에서 중심핵이 수축할 때 발생하여 중심핵 외곽의 수소층을 가열하는 역할을 하기도 한다.



▲ 그림 28 _ 중력 수축 에너지의 발생



▲ 그림 29 _ 수소 핵융합 반응

한편, 별이 주계열 단계에 접어들면 중심핵에서 핵융합 반응이 일어난다. 핵융합 반응은 가벼운 원자핵이 합쳐져 무거운 원자핵이 만들어지는 반응이다. 원자핵은 양전하를 가지므로 핵융합 반응이 일어나려면 강한 정전기적 반발력을 이겨 내야 한다. 따라서 핵융합 반응은 매우 높은 압력과 온도에서만 일어난다. 수소 원자핵 4개가 모여 1개의 헬륨 원자핵이 만들어지는 수소 핵융합 반응은 약 1,000만 K의 온도에서, 헬륨 원자핵 3개가 모여 1개의 탄소 원자핵이 만들어지는 헬륨 핵융합 반응은 약 2억 K의 온도에서 일어난다.



▲ 그림 30 _ 주계열성의 진화 과정

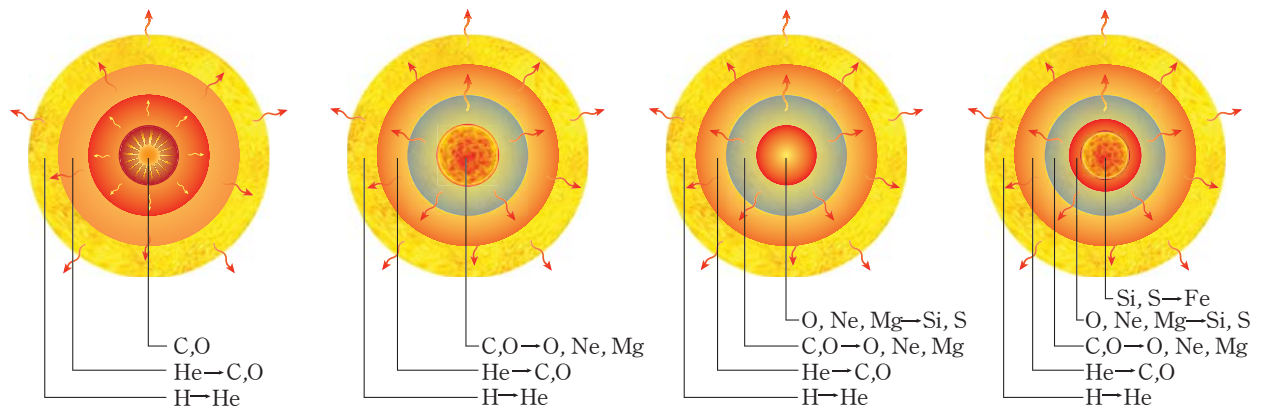
한편, 별의 중심에서 헬륨으로 이루어진 중심핵이 수축하여 밀도와 온도가 높아지면 헬륨 원자핵이 융합하여 탄소 원자핵이 만들어지면서 많은 에너지가 발생한다.

태양 정도의 질량을 가지는 별에서 탄소 중심핵이 만들어지면 더 이상 무거운 원소가 만들어지지 않는다. 헬륨 핵융합으로 만들어진 탄소 중심핵이 수축하면서 발생한 에너지는 중심핵 외곽의 수소와 헬륨을 차례로 가열하므로 별은 다시 팽창한다.

이때 중심핵은 계속 수축하여 밀도가 매우 높은 **백색 왜성**이 된다. 그리고 팽창하는 별의 외곽 물질은 중심핵과 분리되어 우주 공간으로 방출되는데, 중심의 백색 왜성에서 방출되는 에너지 때문에 빛을 내는 **행성상 성운**으로 관측된다.

백색 왜성의 최후

지구 크기 정도로 수축한 백색 왜성은 핵융합 반응을 일으키지 못하므로 계속 수축하여 흑색 왜성이 되어 빛을 잃는다.



▲ 그림 31 _ 질량이 큰 별의 내부 구조 변화

한편, 질량이 큰 별은 탄소 핵이 만들어진 후에도 별의 중심 온도가 계속 높아지는데, 중심 온도가 5억~8억 K에 이르면 탄소 핵융합 반응이 일어나 더 무거운 원소들이 만들어진다. 그림 31과 같이 질량이 큰 별의 중심에서 수소는 헬륨을, 헬륨은 탄소를, 탄소는 산소를 이루는 핵융합 반응이 일어나 더 무거운 원소들이 차례로 만들어진다. 그러나 이와 같은 연속적인 핵융합 반응은 철이 만들어지면서 멈춘다. 철보다 무거운 원소는 핵융합에 의해 만들어질 수 없기 때문이다.



▲ 그림 32 _ 초신성 폭발의 잔해 중심에 블랙홀이나 강한 전파를 방출하는 중성자별이 있다.

그림 33 _ 주위의 별을 빨아들이는 블랙홀(상상도) ▶
블랙홀에서는 빛조차 외부로 방출되지 못하며, 주위의 천체를 끌어당겨 강한 X선을 방출하기도 한다.

철보다 무거운 원소의 생성

태양 정도 질량의 별과는 달리, 질량이 매우 큰 별의 중심핵에서는 진화의 마지막 단계에서 높은 밀도와 압력 때문에 전자가 원자핵의 양성자와 결합하여 중성자가 만들어지며 수축이 계속된다. 수축이 한계에 도달하면 갑자기 멈추면서 강한 충격파가 발생하여 폭발이 일어나는데, 이때 중심핵을 제외한 모든 물질은 우주 공간으로 방출된다. 이 폭발은 **초신성**으로 관측되며, 초신성 폭발 이후 중성자로만 이루어진 중심핵은 밀도가 매우 큰 **중성자별**로 남는다. 한편, 중성자별을 이루는 한계 질량보다 질량이 더 큰 별은 중성자로 이루어진 중심핵조차 수축하여 **블랙홀**이 된다.

철보다 무거운 원소들은 초신성 폭발 과정에서 만들어진다. 초신성 폭발이 일어날 때 온도와 압력은 별의 중심핵에서보다 높으므로 양성자와 중성자들이 원자핵과 융합하여 철보다 무거운 원소가 만들어질 수 있다.



생명체를 이루는 물질

수소, 산소, 질소, 탄소는 생명체를 이루는 원소 중 99% 이상을 차지하며, 물을 제외한 나머지 대부분은 탄소 화합물이다. 탄소는 다른 물질에 비해 다른 원소와 다양한 화학적 결합을 할 수 있으므로 수소, 산소 등과 함께 여러 가지 화합물을 이루며 생명체를 구성한다.

별이 수명을 다하면 별을 이루던 물질들은 우주 공간으로 퍼져 나간다. 여기에는 별 내부의 핵융합 반응으로 만들어진 무거운 원소들이 포함되어 있다. 별의 폭발과 함께 우주 공간으로 널리 퍼져 나간 물질들은 새로운 세대의 별을 만드는 재료가 되며, 일부는 지구와 같은 행성과 생명체를 만드는 재료가 되기도 한다.

지구에 존재하는 생명체들을 이루는 원소는 오래전 어느 별 내부에서 핵융합 반응을 거쳐 만들어졌다. 그리고 초신성 폭발로 우주 공간에 퍼져 떠돌다가, 그중 일부가 지금 지구에서 우리의 몸을 이루고 있다.

💡 확인하기

- 이해** 1. 태양 정도 질량을 가지는 별의 진화 단계를 간단하게 정리해 보자.
2. 탄소와 철, 우리몸은 어떻게 만들어지는지 각각 설명해 보자.
- 창의** 3. 온도가 수십만 K인 뜨거운 성간 물질보다 차가운 성간 물질에서 별이 만들어지는 까닭은 무엇인지 생각해 보자.

2

우주의 구조

- 학습 목표**
- 은하의 크기, 구조, 은하를 이루는 별의 개수 등이 다양함을 설명할 수 있다.
 - 은하와 은하 사이의 공간 등 우주의 전체 구조를 설명할 수 있다.



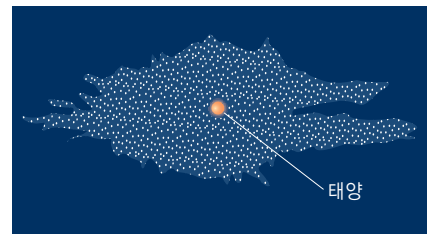
▲ 그림 34 _ 미국 뉴멕시코 주의 VLA 지름이 25 m인 전파 망원경 27개가 Y자 모양으로 나열되어 지름이 130 m인 전파 망원경의 역할을 한다.

이탈리아의 갈릴레이가 처음으로 망원경을 이용하여 천체를 관측한 이후, 인간은 망원경을 이용하여 우주의 더 깊은 곳까지 관측할 수 있게 되었다. 최근에는 지구 대기의 영향 없이 우주를 관측할 수 있는 우주 망원경과 더불어, 인간의 눈으로는 볼 수 없는 적외선이나 자외선, 전파 등을 관측하는 여러 종류의 망원경들이 지구 안팎에서 활동하고 있다. 이러한 망원경들로부터 얻은 다양한 정보를 이용하여 우리는 우주의 기원과 진화, 우주의 현재와 미래의 모습을 밝혀 가고 있다.

우주에는 어떤 천체들이 있으며 우주는 어떤 모습일까? 최신 관측 자료를 이용하여 밝혀낸 우주의 모습을 알아보자.

우리 은하

18세기 말 영국의 허셜은 우주의 구조를 알기 위해 하늘의 모든 방향에서 보이는 별의 개수와 밝기를 조사하였다. 이 조사에서 그는 다른 곳보다 은하수 쪽에 어두운 별들이 훨씬 많다는 사실을 발견했고, 별들의 밝기가 대체로 비슷하다면 이 어두운 별들은 지구에서 매우 멀리 있다고 생각하였다. 그리하여 중심에 태양이 있고 전체적으로 원반 모양인 그림 35와 같은 모형을 제시하였다. 그리고 은하수는 별들이 원반 모양으로 얇게 모인 방향을 바라본 모습이라고 설명하였다.



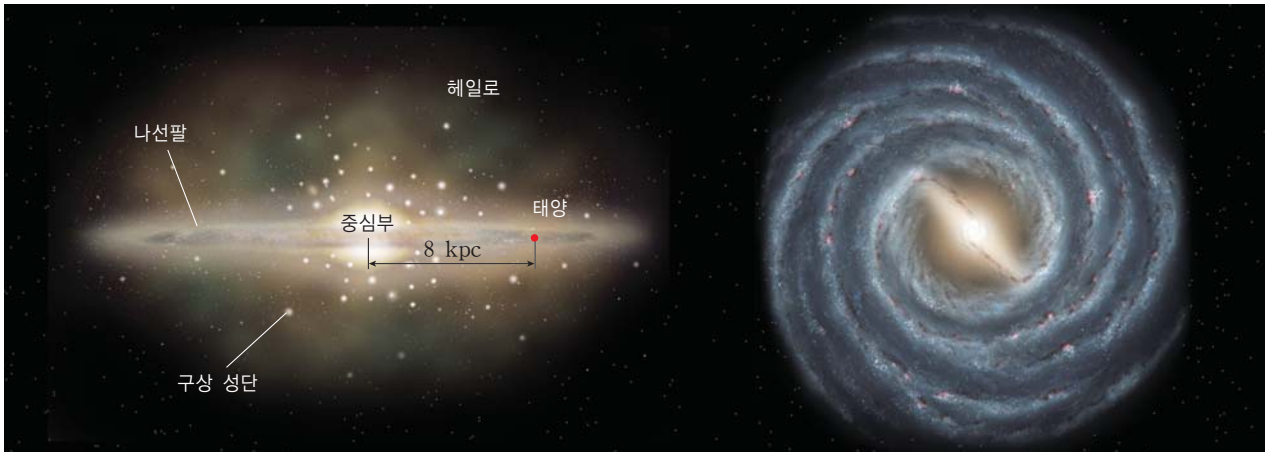
▲ 그림 35 _ 허셜이 제시한 우주의 모습 태양이 우주의 중심에 있고, 별들이 원반 모양으로 흩어져 있다.

20세기 초에 미국의 새플리는 구상 성단까지의 거리를 측정하여 태양이 우리 은하의 중심이 아니라 주변부에 위치한다는 사실을 밝혀내었다.

태양계가 속한 우리 은하에는 태양을 비롯한 수천억 개의 별들과 성운, 성단 등의 천체들이 분포한다. 한편, 우리 은하의 질량은 암흑 물질의 존재 때문에 정확한 값이 알려지지는 않았으나, 태양의 약 1,000억 배로 추정된다.

연결 학습

암흑 물질 → 45쪽



▲ 그림 36 _ 우리 은하의 모습 우리 은하는 중심부와 나선팔, 그리고 은하 원반을 둘러싼 헤일로로 이루어져 있다.

우리 은하의 모습은 그림 36과 같이 추정된다. 은하의 중심부는 나이가 많은 별들과 구상 성단들이 막대 모양의 구조를 이루고 있으며, 질량이 태양의 약 300만 배에 이르는 블랙홀이 있다고 알려졌다. 막대 구조의 양 끝에서는 나선팔이 뺏어 나와 은하 원반을 이루며, 은하 중심에 대하여 원에 가까운 궤도로 회전하고 있다. 나선팔에는 젊고 밝은 별들로 이루어진 산개 성단과 성간 물질이 모여 있으며, 이 성간 물질에서는 지금도 새로운 별들이 만들어진다.

은하 원반 바깥을 공 모양으로 감싸는 영역을 **헤일로**라고 하며, 나이가 많은 별들과 구상 성단들이 흩어져 있다. 이 영역은 별들이 적고, 은하 중심부처럼 성간 물질이 거의 없어 새로운 별이 태어나지 않는 곳이다.

태양은 은하 중심으로부터 약 8 kpc 떨어진 나선팔에 있다. 그리고 은하 원반에 위치한 지구에서 우리 은하는 밤하늘을 가로지르는 은하수로 관측된다.

▼ 그림 37 _ 은하수



은하수는 그림 37과 같이 무수히 많은 별들이 모여 있어 밤하늘에서 뿌옇게 보인다. 우리 은하 내의 별들은 얼마나 가까이 있을까? 별들 사이의 거리는 얼마인지 다음 활동을 통하여 계산해 보고, 실제로 측정된 별들 사이의 평균 거리와 비교해 보자.

창의
인성

활동 3 별과 별 사이의 거리는 얼마나 될까?

목표 우리 은하에 분포하는 별들의 평균 거리를 구할 수 있다.

해 보기

과정

다음은 우리 은하에 관련된 여러 가지 물리량을 정리한 것이다.

- 우리 은하의 지름: 30 kpc
- 우리 은하 원반의 평균 두께: 1 kpc
- 우리 은하의 질량: 태양 질량의 10^{11} 배
- 우리 은하 내의 별들의 개수: 10^{11} 개
- 우리 은하의 밝기: 태양의 10^{10} 배

정리

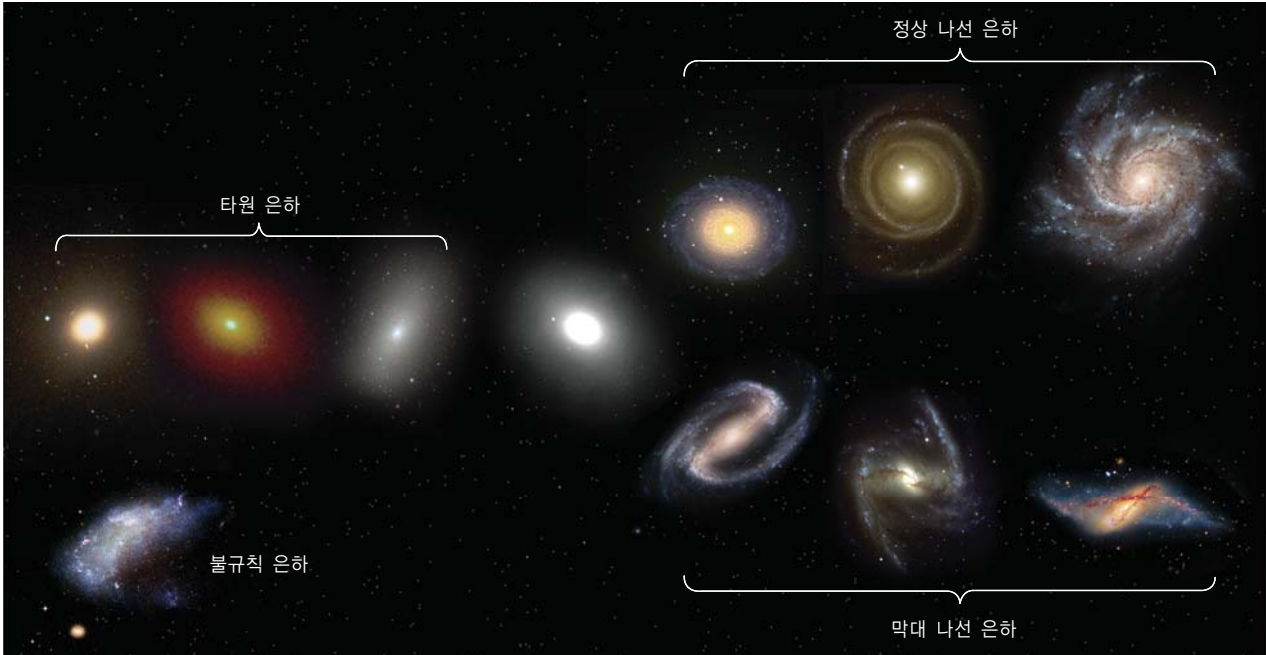
1. 위 물리량을 이용하여 별들 사이의 평균 거리를 구하는 방법을 생각하여 계산해 보자.
2. 태양에서 가장 가까운 별은 센타우루스자리 프록시마로, 태양으로부터 약 1.3 pc의 거리에 있다. 이 값을 정리 1에서 구한 값과 비교해 보자.
3. 지금까지의 관측에 의하면 우리 은하 내에서 별들의 평균 거리는 1 pc 정도라고 한다. 정리 1에서 구한 값과 이 값의 차이가 나타나는 까닭은 무엇인지 생각해 보자.
4. **창의·인성** 실제 반지름이 약 700,000 km인 태양을 반지름이 1 mm인 모래알이라고 할 때, 가장 가까운 별에 해당하는 모래알은 얼마나 떨어져 있는지 우리 은하에 분포하는 별들의 평균 거리를 이용하여 계산해 보자. (단, $1 \text{ pc} = 3.086 \times 10^{13} \text{ km}$ 이다.)

은하를 이루는 별들은 가까이 있는 것처럼 보이지만 실제로는 매우 멀리 떨어져 있다. 따라서 우주의 크기는 우리가 상상하는 것보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.



외부 은하

관측 장비의 발달로 과학자들은 태양계 주변뿐만 아니라, 더 멀리 떨어져 있는 천체들에 대하여 훨씬 정확히 알 수 있게 되었다. 수천억 개의 별들로 이루어진 우리 은하 바깥에는 수천억 개가 넘는 외부 은하들이 있다. 허블은 외부 은하들을 겉모양에 따라 그림 38과 같이 타원 은하, 나선 은하, 불규칙 은하로 분류하였다.



▲ 그림 38 _ 허블의 은하 분류

타원 은하는 별들이 공이나 타원 모양을 이루며 모여 있는 은하이다. 타원 은하는 별 사이에 성간 물질들이 거의 없으며, 주로 나이가 많은 별이나 태양보다 질량이 작고 어두운 별들로 이루어져 있다.

나선 은하는 젊고 밝은 별들이 나선팔을 이루는 은하이며, 성간 물질이 풍부하여 새로운 별이 많이 탄생한다. 나선 은하는 나선팔이 풀린 정도와 중심부의 크기에 따라 세분된다. 또 나선 은하 중에서 중심부에 막대 모양의 구조가 나타나는 것을 막대 나선 은하, 중심부가 공처럼 둥근 것을 정상 나선 은하라고 한다. 한편, 외부 은하 중에는 모양이 일정하지 않고 특이한 **불규칙 은하**도 있다.

이처럼 다양한 형태의 외부 은하를 이루는 별들의 운동, 은하의 구성 원소 등은 비교적 잘 알려졌다. 그러나 은하의 형태가 이렇게 서로 다른 까닭은 아직 밝혀지지 않았으며, 이에 대한 연구가 지금도 계속되고 있다.

외부 은하의 발견

20세기 초까지 외부 은하는 우리 은하 내부의 성운이나 성단으로 생각되었다. 1922년 아일랜드의 외픽이 지금의 안드로메다 은하까지의 거리가 우리 은하의 크기보다 훨씬 멀다는 사실을 발견하면서 외부 은하가 우리 은하 밖의 존재라는 사실이 밝혀졌다.



허블의 은하 분류법에 따르면 우리 은하는 어떤 종류에 속하는 은하인가?

은하단과 우주 거대 구조



안드로메다 은하



삼각형자리 은하



대마젤란 은하

▲ 그림 39 _ 국부 은하군을 이루는 은하

별들이 모여 성단을 이루듯 은하들도 집단을 이루고 있으며, 우리 은하도 안드로메다 은하와 대 소마젤란 은하, 그 외 30여 개의 작은 은하들과 함께 집단을 이루고 있다. 우리 은하가 속한 집단을 **국부 은하군**이라고 하며, 국부 은하군을 이루는 은하들은 그들 사이의 만유인력 때문에 서로 흩어지지 않는다.

국부 은하군처럼 밀도가 낮은 은하들의 집단도 있지만, 수많은 은하가 조밀하게 모여 무질서하게 분포하는 은하 집단도 있다. 이를 **은하단**이라고 하는데, 국부 은하군에 가장 가까이 있는 처녀자리 은하단은 2,000여 개의 은하로 이루어져 있다.

은하단들은 다시 **초은하단**이라는 더 큰 집단을 형성하는데, 초은하단은 은하들의 집단으로서 가장 큰 단위이다. 그리고 우리 은하가 속해 있는 초은하단 바깥의 먼 우주에는 더 많은 초은하단이 존재한다.

과학 마당 | 은하의 충돌

천체 망원경으로 관측한 은하는 먼 우주에서 변하지 않는 것처럼 보인다. 그러나 은하 중에는 그림 40과 같이 서로 충돌하는 것들도 있다.

은하와 은하 사이의 거리는 그 크기에 비해 가까운 편이다. 따라서 은하단 내의 두 은하가 충돌하는 것은 우주에서 그리 특별한 일이 아니다. 이에 비하면 별은 그 크기에 비하여 서로 멀리 떨어져 있기 때문에 은하끼리 충돌하더라도 별끼리는 서로 충돌하지 않고 멀리서 스쳐 지나간다.

은하가 충돌할 때 발생하는 강한 충격파는 충돌하는 은하 내부의 성간 물질을 움직여 밀도 차이를 만드는데, 성간 물질의 밀도가 급격히 높아지는 영역에서는 수천 ~ 수만 개의 새로운 별이 폭발적으로 탄생한다.

우리 은하와 함께 국부 은하군을 이루는 안드로메다 은하는 약 107 km/s의 속도로 우리 은하와 가까워지고 있다. 먼 미래에 이 두 은하가 서로 부딪친다면 은하에 속한 별들은 지금과는 전혀 다른 모습으로 분포될 것이다.



▲ 그림 40 _ 충돌하는 은하

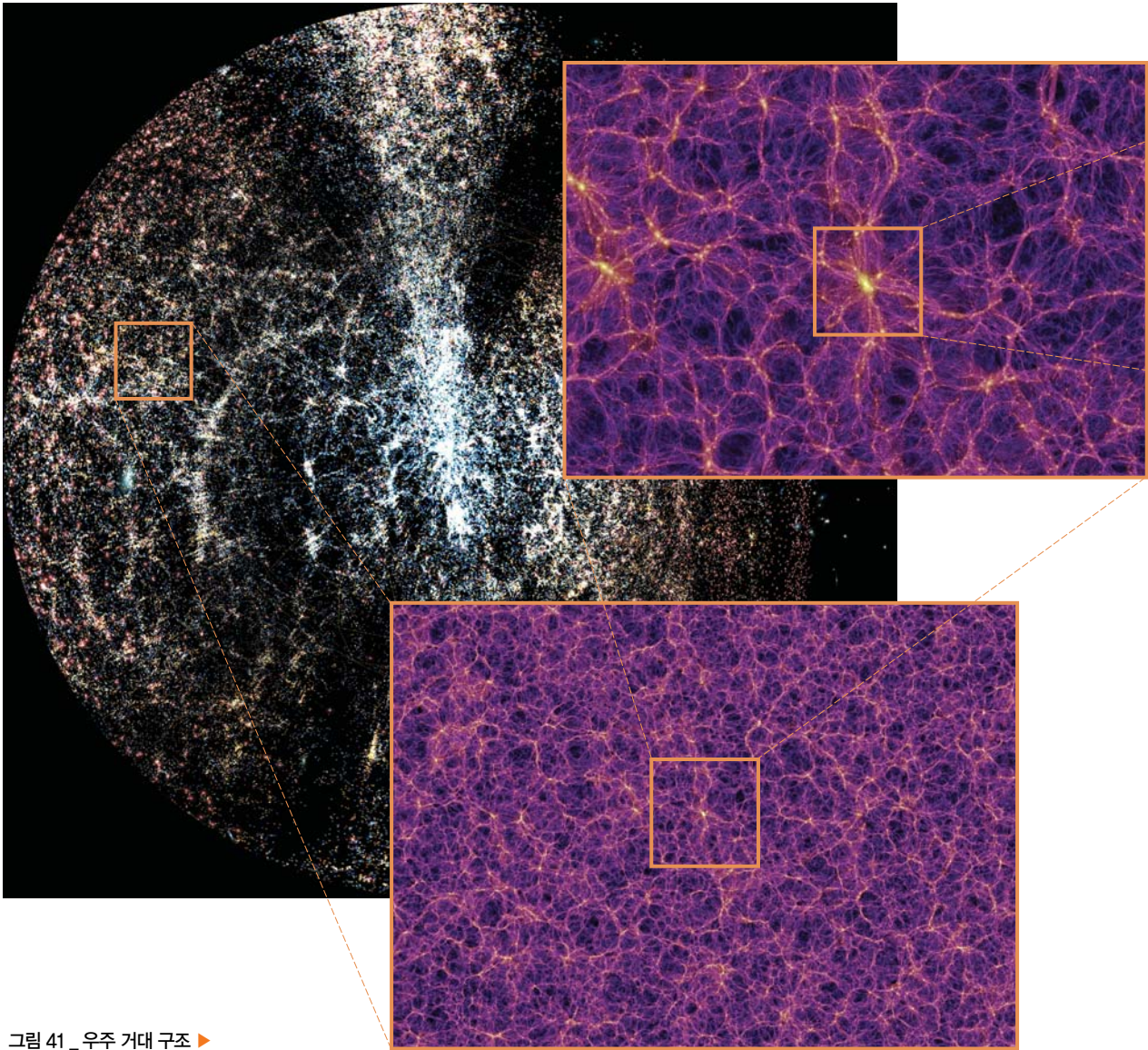
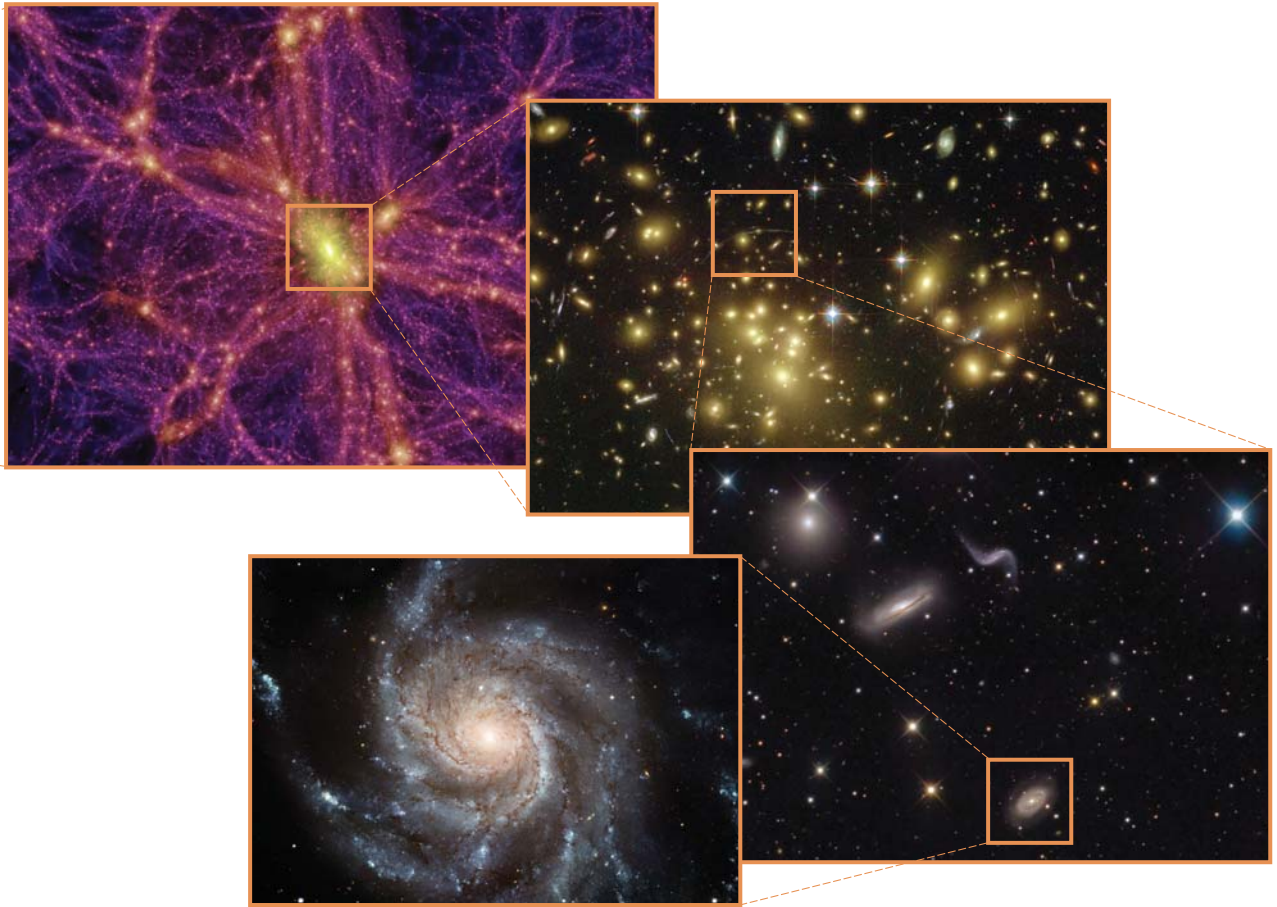


그림 41_ 우주 거대 구조 ▶

초은하단보다 큰 외부 은하의 집단을 **우주 거대 구조**라고 한다. 과학자들은 우리 은하 주위의 은하 분포를 관측하여 지구로부터 약 3억 pc까지의 우주 거대 구조를 알아내었다. 그들은 조사한 은하들의 분포로부터 우주 지도를 그렸는데, 그림 41에서 볼 수 있듯이 초은하단들은 우주에서 빛의 띠들이 마치 그물처럼 이어진 듯한 모습을 이루며 분포하고 있다. 그리고 이러한 은하의 띠 사이에는 은하나 별과 같은 천체를 볼 수 없는 매우 넓은 공간이 나타난다.

우주 거대 구조의 이러한 모습은 흔히 거품 구조라고 표현된다. 비누 거품을 만들었을 때 거품의 속은 비어 있고 거품의 가장자리에만 비누 성분이 있는 것처럼, 은하들은 거품이라고 부르는 공간의 가장자리에만 분포한다. 그러나 비누 거품의 속이 비어 있는 것처럼 보이는 것과 달리, 최근에 초은하단 사이의 빈 공간은 실제로 비어 있지 않다는 사실이 밝혀졌다.



과학자들은 우주에 별이나 성운처럼 우리 눈에 보이는 천체보다 보이지 않는 물질들이 훨씬 더 많을 것으로 예상한다. 우주 공간을 가득 채운 이러한 물질들을 통틀어 **암흑 물질**이라고 하는데, 그 정체는 아직 알려지지 않았다. 은하와 은하, 은하단과 은하단 사이에 암흑 물질이 존재한다는 사실은 은하들의 운동을 관측하여 알 수 있는데, 이는 은하들의 운동이 암흑 물질에 의한 중력의 영향을 받기 때문이다.

우주 전체에서 암흑 물질의 양이 어느 정도인가에 따라 우주의 미래는 크게 달라질 것이다. 따라서 과학자들은 암흑 물질의 정체는 무엇이며, 그 양이 우주 전체에서 얼마나 되는지 알아내기 위하여 노력하고 있다.

💡 확인하기

- 이해**
1. 외부 은하들은 겉모양에 따라 어떻게 분류할 수 있는지 써 보자.
 2. 우주 거대 구조를 이루는 기본 단위는 무엇인가?
 3. 우주 공간을 가득 채운 물질로 아직 그 정체와 양을 알 수 없는 것은 무엇인가?
- 창의**
4. 붉은색의 납작하고 반투명한 원반 모양의 비행접시 내부에서 중심과 가장자리 사이에 앉았다고 가정할 때 사방이 어떻게 보일지 생각해 보자.

3

성간 화합물의 형성

- 학습 목표**
- 성간 화합물이 만들어지는 과정을 통해 공유 결합의 원리를 이해할 수 있다.
 - 성간 화합물이 만들어지는 과정을 통해 반응 속도의 원리를 이해할 수 있다.



▲ 그림 42_ 하트 성운

출원소 물질과 화합물

한 종류 원소들이 화학 결합을 통해 만든 물질을 출원소 물질이라고 하고, 두 종류 이상의 원소들이 화학 결합을 통해 만든 물질을 화합물이라고 한다.

원자가 전자

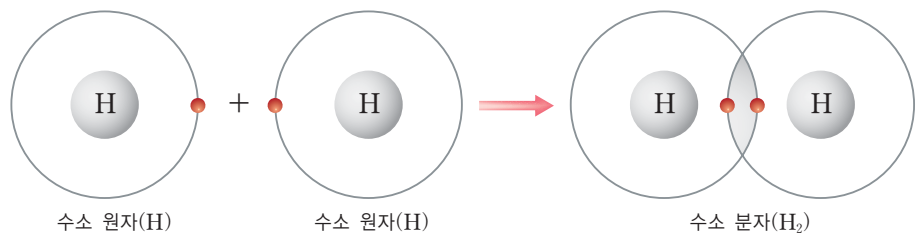
전자들은 원자핵에서 가까운 쪽부터 순서대로 채워지는데, 이때 가장 바깥쪽의 전자를 원자가 전자 또는 최외각 전자라고 한다.

대폭발 우주론에 의하면 우주가 처음 생겨났을 때 우주 공간에는 수소 원자와 헬륨 원자가 대부분이었다고 한다. 이러한 수소 원자들로부터 핵융합 반응을 통해 여러 종류의 원자가 형성되었고, 이 원자들이 서로 만나 결합을 형성하면서 여러 가지 성간 화합물이 만들어졌다. 이 화합물들이 모여 태양계의 여러 행성을 이루었고, 이로부터 지구 상에 생명이 탄생하고 진화하게 되었다. 이러한 성간 화합물은 어떤 원리에 의해 만들어졌을까?

공유 결합

성간에 존재하는 원자들은 어떻게 화학 결합하여 화합물을 만들까? 또 수소, 질소 등의 출원소 물질과 암모니아, 메테인, 물, 일산화탄소 등의 화합물을 만드는 화학 결합은 어떤 차이가 있을까?

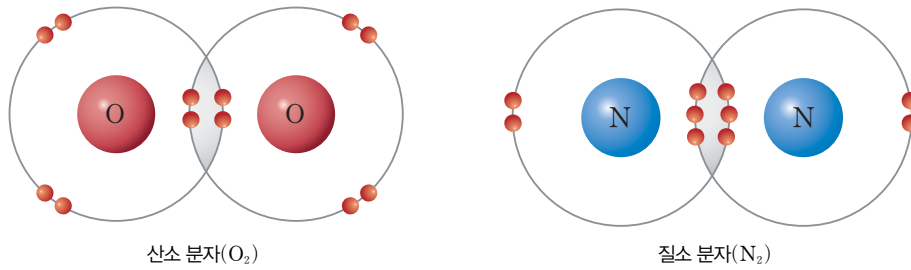
물질의 기본 단위인 원자들이 만나 새로운 분자를 만들 때 원자 사이의 연결을 **화학 결합**이라고 한다. 성간에 존재하는 분자들은 여러 가지 화학 결합 중 대부분 공유 결합을 통해 만들어진다. **공유 결합**이란 원자들이 화학 결합을 할 때 **원자가 전자**를 서로 공유하는 결합을 말한다. 원자들이 공유 결합할 때 원자핵 사이에는 서로 반발하는 힘이 작용하고, 원자핵과 공유 전자쌍 사이에는 서로 잡아당기는 힘이 동시에 작용하는데, 이 두 힘이 균형을 이루어 가장 안정할 때 공유 결합이 형성된다. 이때 공유 결합이 이루어진 전자쌍은 전자를 끌어당기는 성질이 강한 원자핵 가까이에 놓이게 된다. 이렇게 결합한 화합물은 원자 상태로 존재할 때보다 안정된 상태가 된다.



▲ 그림 43_ 수소 분자의 공유 결합 형성 모형

수소 원자는 그림 43과 같이 각 원자가 전자를 1개씩 내놓고 1개의 전자쌍을 만들어 그 전자쌍을 서로 공유하여 수소 분자가 된다. 산소 원자는 각 원자가 전자를 2개씩 내놓고 2개의 전자쌍을 만들어 그 전자쌍을 서로 공유하여 산소 분자가 된다.

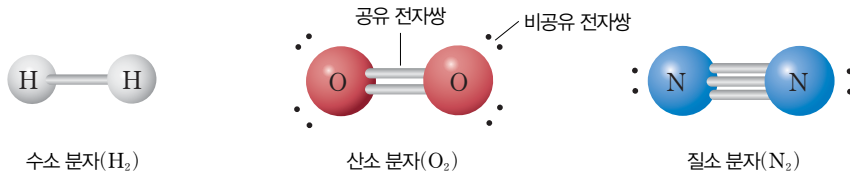
또 질소 원자는 각 원자가 전자를 3개씩 내놓고 3개의 전자쌍을 만들어 그 전자쌍을 서로 공유하여 질소 분자가 된다.



▲ 그림 44 _ 산소 분자와 질소 분자의 공유 결합 형성 모형

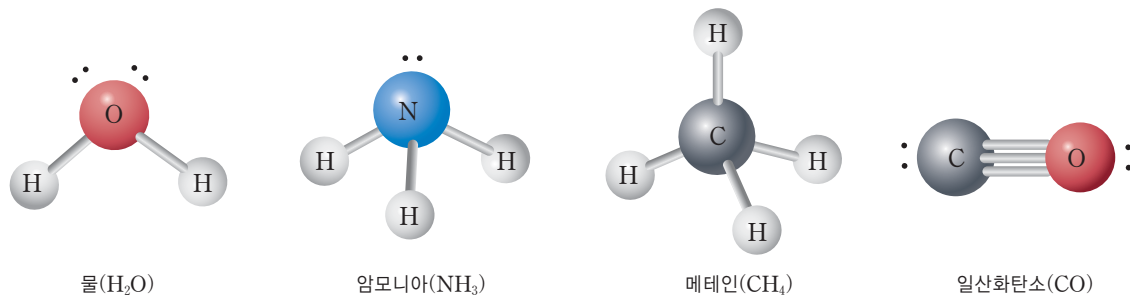
공유 결합은 공유한 전자쌍의 수에 따라 수소 분자와 같이 전자 1쌍을 공유한 **단일 결합**, 산소 분자와 같이 전자 2쌍을 공유한 **2중 결합**, 질소 분자와 같이 전자 3쌍을 공유한 **3중 결합**으로 나눌 수 있다. 이때 결합수가 많을수록 결합 세기가 강하다.

공유 전자쌍과 비공유 전자쌍
원자의 최외각 전자 중 공유 결합에 참여하여 쌍을 이룬 것을 '공유 전자쌍'이라고 하고, 공유 결합에 참여하지 않은 전자쌍을 '비공유 전자쌍'이라고 한다.



▲ 그림 45 _ 단일 결합, 2중 결합, 3중 결합

성간에 존재하는 물질 중 수소, 질소 분자와 같은 홑원소 물질 외에 두 종류 이상의 원자들이 화학 결합한 화합물인 암모니아, 물, 메테인, 일산화탄소와 같은 분자는 어떻게 공유 결합을 하고 있을까?



▲ 그림 46 _ 여러 가지 화합물의 공유 결합

그림 46과 같이 물, 암모니아, 메테인은 모두 단일 결합으로 이루어진 분자이고, 일산화탄소는 3중 결합으로 이루어진 분자이다.



수소 분자(H_2)와 일산화탄소(CO)를 이루는 공유 결합의 차이점을 설명해 보자.

단일 결합으로 이루어진 물, 메테인, 암모니아와 달리 3중 결합으로 이루어진 일산화탄소는 상대적으로 안정하여 별이 내는 빛에너지에 의해서도 쉽게 분해되지 않으므로 오랫동안 우주 공간에 살아남아 생명체의 기원이 되었다.

대폭발로 우주가 생성될 때 만들어진 수소와 헬륨, 별에서 만들어진 무거운 원소들은 태양계가 태어나기 오래전에 이미 성간에서 반응하여 공유 결합을 통해 다양한 분자를 만들었다.



우주 공간에서 일산화탄소가 물, 메테인, 암모니아 등의 다른 성간 화합물에 비해 오랫동안 살아남는 까닭을 설명해 보자.

반응 속도

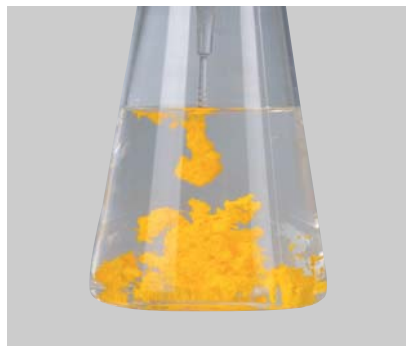
화학 반응이 얼마나 빠르게 일어나는가의 정도를 **반응 속도**라고 하며, 화학 결합을 통해 물질이 만들어질 때 반응 속도의 차이가 발생한다. 반응 속도가 빠른 반응과 느린 반응은 어떤 차이가 있을까? 그림 47과 48은 우리 주변에서 일어나는 화학 반응 중 빠른 반응과 느린 반응의 예를 나타낸 것이다.



불꽃놀이



물질의 연소



양금 생성 반응

▲ 그림 47 _ 빠른 반응의 예



종이가 변색된 책



녹슨 철



익어 가는 과일

▲ 그림 48 _ 느린 반응의 예

불꽃놀이 때 일어나는 금속의 산화 반응, 물질의 연소 반응, 이온의 양금 생성 반응은 빠른 반응이고, 오래된 책의 종이가 변색되는 것, 철이 녹스는 것, 과일이 익어 가는 반응은 상대적으로 느린 반응이다. 이와 같이 화학 반응은 우리 주변에서 빠른 반응과 느린 반응으로 다양하게 나타난다.

반응물질의 양은 반응 속도에 어떤 영향을 줄까? 다음 활동을 통해 농도에 따라 반응 속도가 어떻게 달라지는지 알아보자.

창의
인성

활동 4 농도에 따라 반응 속도는 어떻게 달라질까?

목표 반응물질의 농도가 진할수록 반응 속도가 빠름을 설명할 수 있다.

실험

준비물 비커, 시험관대, 시험관, 눈금 실린더, 핀셋, 마그네슘 리본, 스포이트, 5% 염산, 10% 염산, 가위, 자, 사포, 장갑, 보안경

과정 

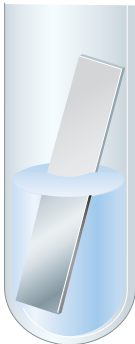

- 1 자와 가위를 이용하여 10 cm 길이로 자른 2개의 마그네슘 리본의 표면을 사포로 문지르자.
- 2 눈금 실린더를 이용하여 5% 염산과 10% 염산을 각각 50 mL씩 준비한 후, 2개의 시험관에 각각 넣자.
- 3 그림 49와 같이 핀셋을 이용하여 마그네슘 리본을 5% 염산과 10% 염산이 들어 있는 시험관에 동시에 넣자.
- 4 시험관에서 일어나는 변화를 관찰하고 기록하자.



▲ 그림 49 _ 염산에 마그네슘 리본을 넣는 모습

정리

1. 과정 4에서 관찰한 결과를 그리고, 이야기해 보자.

	5% 염산	10% 염산
관찰한 내용		

주의

마그네슘은 공기 중의 산소와 반응하여 산화 피막이 형성되기 때문에 밝은 은백색이 나타날 때까지 사포로 문지른 다음 실험에 사용한다.

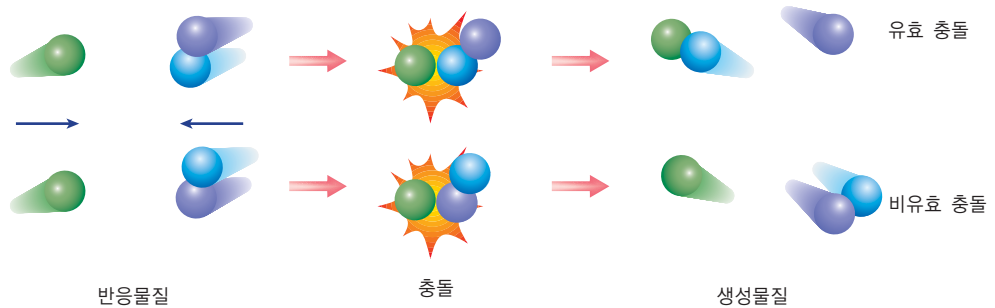
2. 염산의 농도와 반응 속도는 어떤 관계가 있는지 이야기해 보자.
3. **창의·인성** 일상생활에서 농도에 따라 반응 속도가 달라지는 예를 찾아보자.

활동 4와 같이 같은 양의 마그네슘 리본을 농도가 다른 염산과 각각 반응시키면 모두 수소 기체에 의한 기포가 발생하고, 이때 농도가 진한 염산에서 더욱 많은 양의 기포를 관찰할 수 있다. 이것은 마그네슘과 반응하는 염산의 농도가 진할수록 반응 속도가 빨라지기 때문이다.

화학 반응이 일어나기 위해서는 반응물질을 구성하는 입자들이 서로 의미 있는 충돌을 해야 한다. 반응물질의 농도가 진할 때는 단위 부피당 입자 수가 많기 때문에 유효 충돌 횟수가 증가하여 반응을 일으킬 수 있는 입자 수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

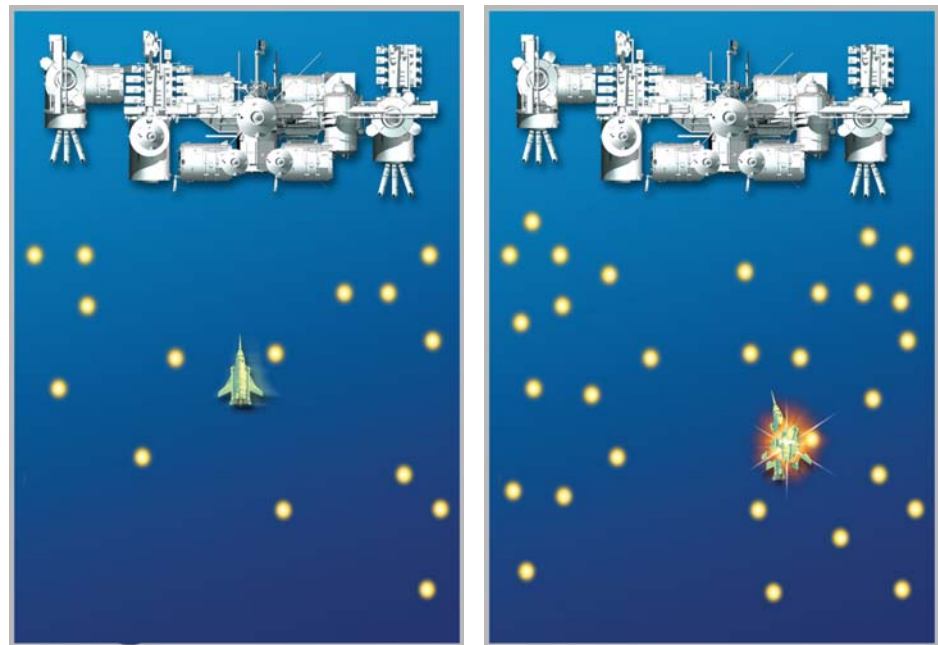
유효 충돌

반응이 일어날 수 있는 의미 있는 충돌을 유효 충돌이라고 하며, 유효 충돌 후 반응물질은 생성물질로 변한다.



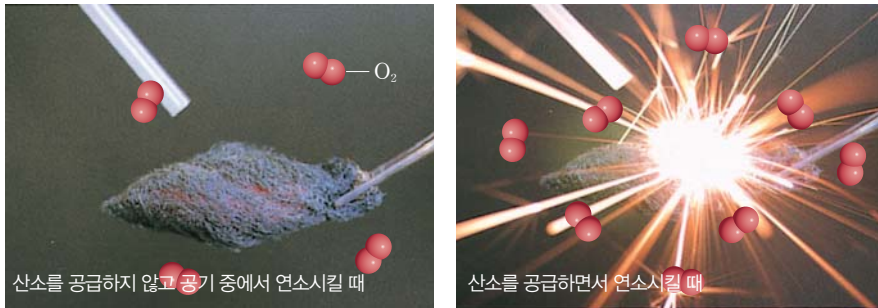
▲ 그림 50 _ 충돌 모형 유효 충돌은 반응이 일어날 수 있는 의미 있는 충돌이며, 충돌 후 새로운 물질이 만들어진다. 비유효 충돌은 충돌 후에도 반응이 일어나지 않는다.

즉, 마그네슘과 반응하는 염산의 농도가 진할수록 마그네슘과 염산의 유효 충돌 횟수가 증가하기 때문에 같은 시간 동안 생성되는 수소 기체의 양이 많아진다.



▲ 그림 51 _ 반응물질의 농도에 따른 충돌 모형 불꽃의 수가 많을수록 비행기에 부딪칠 확률이 높아 피하기 어렵다.

성간에서 원자들이 결합하는 화학 반응을 통해 만들어지는 여러 가지 분자 중 수소 분자가 가장 많은 까닭은 무엇일까? 다음과 같은 예를 통하여 생각해 보자.



▲ 그림 52_ 강철 솜의 연소 반응

그림 52와 같이 강철 솜을 공기 중에서 연소시키다가 산소를 공급하면 더욱 잘 탄다. 이것은 연소하는 데 필요한 반응물질인 산소가 많기 때문에 나타나는 현상이다.



▲ 그림 53_ 향이 타는 모습

불을 붙인 향을 입으로 불었을 때 향의 불이 더욱 환하게 타오르는 것도 같은 이치이다. 이것은 모두 반응물질의 농도와 반응 속도의 관계를 나타내는 현상으로 반응물질의 농도가 진할수록 화학 반응 속도가 더욱 빨라진다.

성간에 존재하는 원소 중 가장 많은 양을 차지하는 것은 수소 원자이므로 수소 원자는 다른 종류의 원자보다 수소 원자끼리의 유효 충돌이 더욱 활발히 일어나 많은 양의 수소 분자를 만든다. 이러한 이유로 우주 탄생 후 성간에는 여러 가지 분자 중 수소 분자가 가장 풍부하게 존재한다.

여러 가지 원자들이 결합하여 새로운 분자를 만드는 것과 이때 적용되는 반응 속도의 원리는 지구 상에서 생명이 태어나고 진화하는 데도 적용된다.

향불을 입으로 불었을 때 더욱 환하게 타는 이유
주변의 산소가 향 불씨 주변으로 모이게 되어 산소의 농도가 증가하기 때문이다.

💡 확인하기

- 이해 1. 2원자 분자에서 공유 결합의 수는 결합 세기와 어떤 관련이 있는지 써 보자.
- 창의 2. 성간 물질들이 지구 환경을 만들고 생명이 태어나는 데 어떻게 이용될 수 있었는지 예상하여 써 보자.
- 인성 3. 대중 교통 이용 시 옆 사람과 부딪치지 않기 위해 실천해야 할 일을 '유효 충돌'이라는 용어를 사용하여 설명해 보자.

반응 속도에 영향을 미치는 요인에는 어떤 것들이 있을까?

반응물질의 양이 많을수록, 즉 농도가 진할수록 반응 속도가 빨라진다. 반응 속도에 영향을 미치는 또 다른 요인에는 어떤 것들이 있을까?

표면적

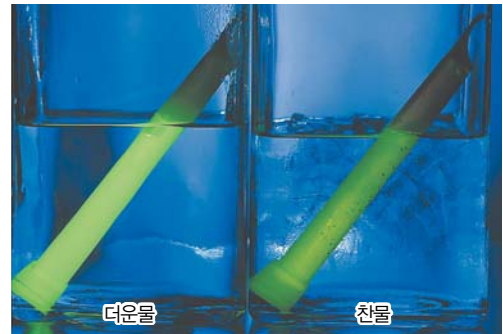


▲ 그림 54 _ 익고 있는 삼겹살

삼겹살에 칼집을 내어 구우면 불판에 닿는 표면적이 넓어져 빨리 익는다. 커다란 사탕을 통째로 녹여 먹을 때보다 깨물어 먹을 때 입 안에서 더 빨리 녹는 것과 각설탕보다 가루 설탕이 물에 빨리 녹는 것도 같은 이치이다. 이와 같은 원리는 생명 현상에도 적용된다. 영양소의 흡수가 일어나는 동물의 소장은 벽에 많은 주름이 있고, 주름의 표면에는 수많은 융털이 돌아 있어 영양소의 흡수가 효율적으로 일어나도록 표면적을 넓혀 준다. 즉, 표면적이 넓을수록 반응 속도가 빠르다.

온도

어둠 속에서 빛을 내는 야광봉을 찬물과 더운물에 넣었을 때 더운물에 넣은 야광봉이 더 밝은 빛을 내는 것은 온도가 높을수록 반응 속도가 빨라지기 때문이다. 여름철 먹다 남은 음식을 냉장 보관하지 않으면 음식물이 쉽게 상한다. 이것은 온도가 높으면 음식물과 박테리아 사이의 반응 속도가 빨라지기 때문이다. 1997년 시베리아에서 약 12,000여 년 동안 썩지 않고 냉동 상태로 발견된 매머드 또한 온도가 반응 속도에 미치는 영향을 보여 주는 사례이다.



▲ 그림 55 _ 물의 온도에 따른 야광봉의 밝기 더운물에 담긴 야광봉이 더 밝게 빛난다.

촉매



▲ 그림 56 _ 식혜

촉매 역시 반응 속도를 빠르게 할 수 있다. 식혜를 만드는 데 사용하는 엿기름에는 효소인 아밀레이스가 들어 있어 밥을 삭히는 반응을 빠르게 한다. 또 음식이 공기 중에서 분해되기까지는 매우 긴 시간이 필요하지만 우리 몸속에는 소화를 돕는 여러 가지 효소가 있어 음식물이 빠른 시간에 분해되어 영양 물질로 흡수될 수 있도록 도와준다. 효소와 같이 자신은 변화하지 않고 반응 속도에 영향을 미치는 물질을 촉매라고 한다.

| 창의·인성 개발 |

별의 진화

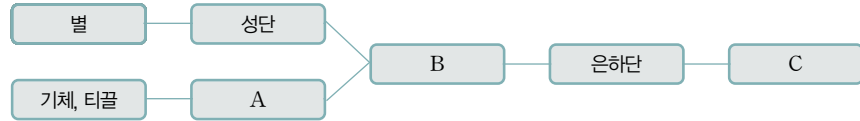
1. 별은 일생 중 마지막에 행성상 성운이나 초신성 폭발로 질량의 일부를 우주 공간으로 내보낸다. 만약 이렇게 질량을 공간으로 방출하는 과정 없이 빛을 잃고 진화를 마감한다면 우리 은하의 모습은 어떻게 달라질지 생각해 보자.

원소의 생성

2. 자연계에 존재하는 원소의 생성에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?
 - ① 우주 탄생 초기에 수소와 헬륨이 생성되었다.
 - ② 태양의 내부에서는 헬륨과 탄소가 만들어질 수 있다.
 - ③ 초신성 폭발 시 우리 눈과 같은 원소가 생성될 수 있다.
 - ④ 백색 왜성의 중심핵에서 핵융합 반응으로 철이 생성된다.
 - ⑤ 산소와 규소는 질량이 큰 별의 내부에서 핵융합 반응으로 생성된다.

우주의 구조

3. 그림은 우주의 구조를 이루는 천체들을 크기 순서대로 나열한 것이다. 빈칸에 알맞은 천체의 이름을 써 보자.



화합물의 형성

4. 성간의 원자들은 어떻게 화학 결합하여 분자를 만들 수 있는지 성간 화합물 분자의 예를 들어 설명해 보자.

농도와 유효 충돌

5. 각각 5% 와 20% 염산이 들어 있는 시험관에 같은 크기의 마그네슘 리본을 넣고 관찰하였더니, 20% 염산이 들어 있는 시험관에서 더 많은 양의 수소 기체가 발생했다. 그 까닭을 유효 충돌 횟수와 관련지어 설명해 보자.



5% 염산

20% 염산

더 멀고 깊은 우주로, 천문학자

우리 몸과 지구를 이루는 원소 대부분이 별에서 만들어진 것임을 생각하면 우주에 대한 의문을 가지고 우주를 동경하는 것은 당연한 일이라고 할 수 있다. 천문학은 우주에 대한 근원적인 의문에 대하여 연구하는 학문으로, 수학을 비롯하여 물리, 화학 등 과학의 모든 분야와 관련된 통합 과학이다. 따라서 천체를 연구하려면 수학이나 물리에 대한 지식이 함께 필요하며, 분야에 따라 화학, 기계공학, 전자공학에 대한 지식이 필요할 수도 있다.

천체 망원경은 맨눈으로 보기 어려운 희미한 별과 성운 등 먼 곳에 있는 천체를 자세히 볼 수 있게 해주기 때문에 우주를 연구할 때 없어서는 안 될 도구이다. 우주 멀리 있는 천체에서 우리가 얻을 수 있는 유일한 정보는 바로 그 천체에서 나오는 빛이기 때문이다.

망원경은 구경이 클수록 별빛을 더 많이 모아 더 어둡고 멀리 있는 천체를 관측할 수 있다. 2019년 칠레에 세워질 거대 마젤란 망원경(GMT, Giant Magellan Telescope)은 지름이 25.4 m이며, 사람의 눈보다 2

천만 배나 더 많은 빛을 모을 수 있다. 이것은 400 km 떨어진 곳에 있는 100원짜리 동전을 알아볼 수 있을 정도의 성능이라고 한다.

2009년 한국 천문 연구원은 이 망원경의 국제 공동 개발에 참여함으로써 10%의 소유권을 가지고 관측과 연구를 할 수 있게 되었으며, 2008년에는 한국 우주 전파 관측망(KVN, Korean VLBI Network)을 완공하였다. 이제 한국의 천문학자는 가시광선, 적외선, 전파 천문학 분야에서 첨단 관측 장비를 사용할 수 있게 되어 지금보다 더욱 뛰어난 연구 성과를 얻게 될 것이다.

현재 우리나라에서 가장 큰 광학 망원경은 1996년 보현산 천문대에 설치된 1.8 m 망원경으로, 이것은 세계 수준과 비교하여 60년 이상 뒤쳐진 것이다. 그러나 최근 일부 분야의 연구 성과는 세계적인 수준에 도달해 있다. 그동안 사이언스(Science)와 네이처(Nature)에 실린 논문 중 우리나라의 천문학자가 발표한 것이 수십 편에 달하며, 그중 9편이 제1저자일 정도로 우리나라의 천문학은 괄목할만한 성장을 하고 있다.



▶ 그림 57 _ 거대 마젤란 망원경 (상상도)과 실제 크기 비교



밤하늘이 어두운 까닭

(가) 1823년에 독일의 아마추어 천문학자였던 올버스는 너무도 당연하게 생각되는 현상에 대한 질문을 던져 오랫동안 과학자들을 괴롭혔다.

“밤하늘은 왜 어두운가?”

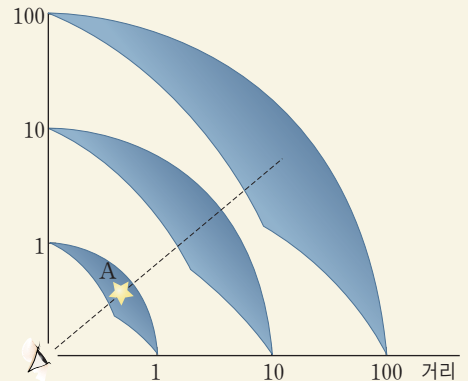
만약 우주에 별들이 고르게 분포하고 우주의 크기는 무한하며 변하지 않는다면, 또 빛의 속도가 유한하다면 밤하늘은 전 우주에 고르게 퍼져 있는 별들의 별빛 때문에 대낮보다도 더 밝아야 한다. 과학자들은 우주 공간에 빛을 흡수하는 물질이 존재한다고 가정하여 이 질문에 대한 답을 찾고자 했지만 그럴듯한 해답을 얻지 못하였다. 만약 우주 공간에 빛을 흡수하는 물질이 있어 별빛을 흡수한다고 하여도 일정량 이상의 에너지를 흡수한다면 그 물질도 빛을 방출하게 되기 때문이다.

올버스의 질문에 대한 답은 결국 우주가 팽창한다는 사실이 알려진 후에야 밝혀졌다. 과학자들은 우주의 크기가 매우 크지만 무한하지는 않으며, 우주는 영원히 변하지 않는 것이 아니라 팽창하고 있다는 사실로 올버스의 질문에 답할 수 있게 되었다.

(나) 별들이 우주에 고르게 분포한다면 지구로부터 일정한 거리에 있는 별들의 개수는 거리의 제곱에 비례하여 많아진다. 별들은 지구에서 멀리 떨어져 있기 때문에 점으로 보이지만, 실제로 별은 매우 크다. 별의 개수가 거리의 제곱에 비례하여 많아지는 것과는 달리, 별의 겉보기 면적과 별빛의 세기는 거리의 제곱에 반비례하여 줄어든다.

1 오른쪽 그림과 같이 지구로부터 거리가 1인 밤하늘의 일정 면적에 밝기가 A인 별이 1개 있다고 할 때, 위 글을 참고하여 다음을 계산해 보자.

- (1) 우주에서 별들이 고르게 분포한다면, 지구로부터의 거리가 10인 면적에 분포하는 별들은 몇 개이며, 그 별들에 의한 밝기는 얼마인지 계산해 보자.
- (2) 거리가 100인 면적에 분포하는 별들의 개수와 별들에 의한 밝기는 얼마인지 각각 계산해 보자.
- (3) 우주가 무한하다면 이 영역의 밝기는 얼마가 될지 계산해 보자.



2 대폭발 우주론에 의하면 우주는 137억 년 전에 탄생하여 지금까지 팽창하고 있다. 다음 사항들을 고려하여 밤하늘이 어두운 까닭은 무엇인지 설명해 보자.

- 우주의 크기와 빛의 속도는 유한하다.
- 우리가 볼 수 있는 먼 우주의 모습은 매우 먼 옛날 우주의 모습이다.

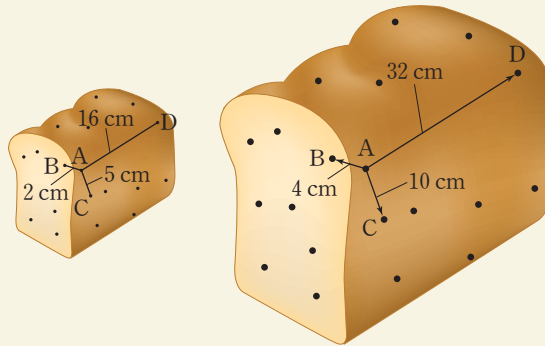
단원 마무리

사고력 향상 문제

1. 매우 먼 거리에 있는 은하들을 관측하면 우주가 탄생한 초기의 모습을 알 수 있는 까닭은 무엇인지 이야기해 보자.

사고력 향상 문제

2. 그림은 우주 팽창을 설명하기 위한 모형으로, 건포도가 든 빵이 부푸는 모습이다.



그림의 과정이 한 시간에 걸쳐 일어났다고 할 때 A점으로부터의 거리와 빵이 부푸는 속도의 관계를 그래프로 그려 보고, 빵의 부푸는 속도는 A점으로부터의 거리에 따라 어떻게 달라지는지 계산해 보자.

수행 평가 문제

3. 원자는 원자핵과 전자로 이루어져 있으며, 원자핵은 양성자와 중성자가 결합하여 이루어진다. (+)전하를 띠는 양성자들끼리 전기적 반발력에 의해 흩어지지 않고 원자핵 내에서 강하게 결합되어 있는 까닭은 무엇인지 설명해 보자.

창의력 문제

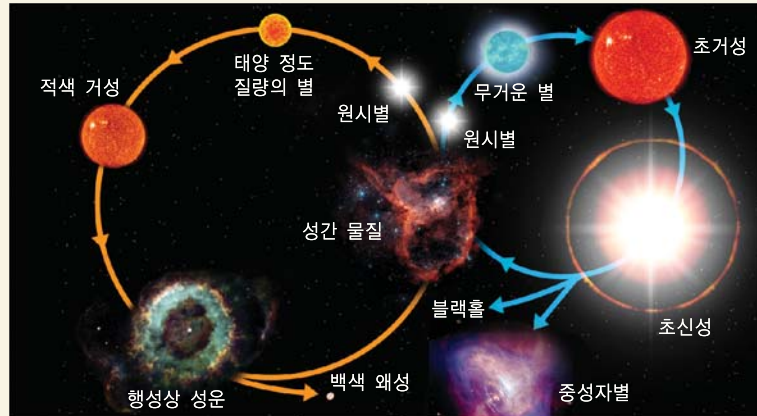
4. 우주가 아주 작고, 뜨거운 한 점의 대폭발로 시작되었다는 가모의 대폭발 우주론은 현재 가장 널리 인정받는 우주 탄생 이론이다. 대폭발 우주론을 뒷받침하는 증거는 무엇이 있는지 써 보자.

탐구형 문제

5. 스펙트럼을 ‘별의 지문’ 이라고 부르는 까닭은 무엇인지 서술해 보자.

탐구형 문제

6. 그림은 별의 일생을 나타낸 것으로, 태양 정도의 질량을 가지는 별과 태양보다 질량이 더 큰 별의 일생을 보여준다.



두 가지 종류의 별의 일생을 단계별로 정리하고 각 단계의 특징을 설명해 보자.

사고력 향상 문제

7. 은하수가 하늘을 가로질러 뻗어 있지 않고 하늘의 절반에만 펼쳐져 있다고 가정한다면, 태양은 우리 은하의 어느 위치에 있을지 적절한 근거를 들어 설명해 보자.

사고력 향상 문제

8. 최근 연구에 따르면 우주에 별이나 성간 물질과 같은 보이는 물질보다 보이지 않는 암흑 물질이 더 많이 있다고 한다. 만약 이제까지 알려진 것보다 많은 양의 암흑 물질이 우주에 분포한다면 우주의 팽창에 어떤 영향이 있을지 생각해 보자.

사고력 향상 문제

9. 성간에서 원자들이 결합하는 화학 반응을 통해 만들어지는 여러 가지 분자 중 수소 분자가 가장 많은 까닭은 무엇인지 설명해 보자.

수행 평가 문제

10. 아궁이에 나뭇가지를 넣어 불을 지필 때, 부채로 바람을 일으키면 불씨가 더욱 활발히 타오르는 것을 관찰할 수 있다. 이 현상을 반응 속도와 관련지어 설명해 보자.