

I 우주의 기원과 진화

* 단원의 개관

중학교 2학년 과정의 '별과 우주' 단원에서는 별까지의 거리, 별의 밝기와 등급 등을 다루었고, 우리 은하를 구성하는 천체들과 우리 은하 바깥의 외부 은하, 우주의 팽창까지를 현상적으로 다루었다. 이 단원에서는 우주가 대폭 발로부터 형성되어 초기에 기본 입자들이 만들어지고 양성자, 중성자, 헬륨 원자핵, 중성 원자, 분자로 진화하면서 현재의 우주가 만들어지기까지의 과정을 학습한다. 이 과정에서 학생들은 우주를 이루는 물질들의 구성, 은하와 우주의 구조뿐만 아니라 빛의 스펙트럼과 같은 물리 개념과 공유 결합, 반응 속도 등 화학 반응의 기본 개념도 학습하게 된다.

* 단원의 교육 과정

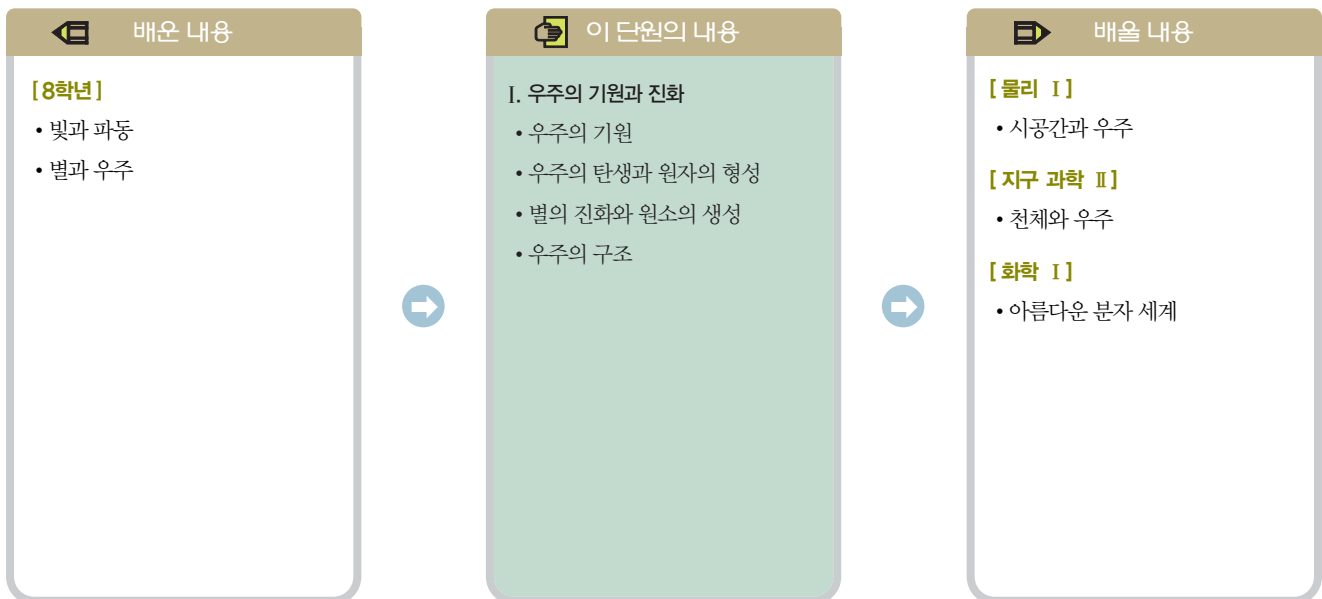
이 단원은 허블 법칙으로부터 대폭발 이론이 확립되기까지의 과정과 함께, 우주에 존재하는 물질이 어떻게 만들어지게 되었고 어떻게 진화해 왔으며 지구의 생명체는 어떤 과정을 통해 탄생하게 되었는지를 이해하게 한다.

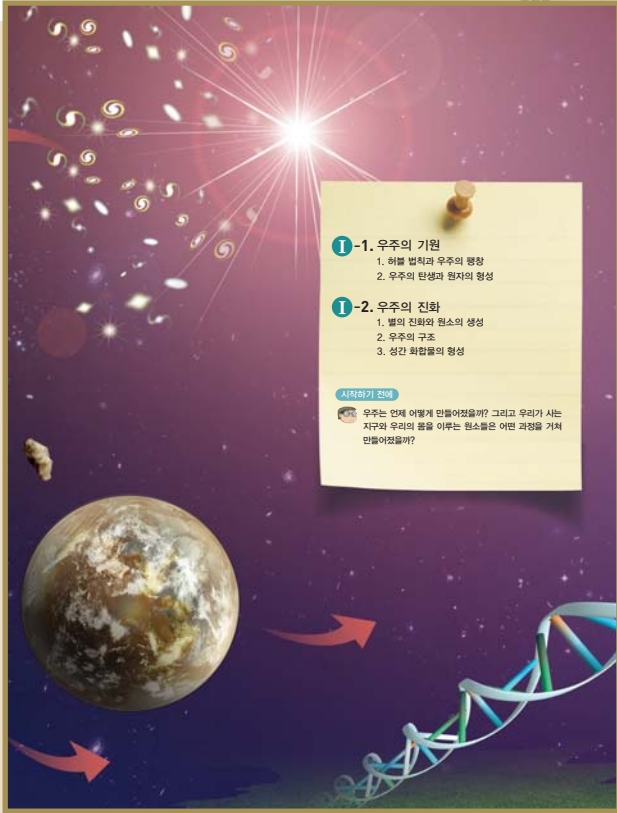
(가) 대폭발 우주론이 확립된 과정에 대해 설명할 수 있다.

(나) 우주에 존재하는 물질은 어떻게 만들어졌으며, 어떤 과정을 거쳐 진화해왔는지 설명할 수 있다.

(다) 실제 우주는 어떤 구조를 이루고 있는지 설명할 수 있다.

* 교육 과정 연계





1-1. 우주의 기원
 1. 허블 법칙과 우주의 팽창
 2. 우주의 탄생과 원자의 형성

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

시작하기 전에
 우주란 언제 어떻게 만들어졌을까? 그리고 우리가 사는 지구와 우리의 몸을 이루는 원소들은 어떤 과정을 거쳐 만들어졌을까?

*** 단원의 목표**

1. 허블 법칙을 통하여 우주의 팽창을 이해하고, 은하의 적색 편이를 관측하여 구한 허블 상수로부터 우주의 나이를 계산할 수 있다.
2. 대폭발 우주에서 물질이 만들어지는 과정을 설명할 수 있다.
3. 우주 배경 복사가 나타나는 원인과, 이것이 대폭발 우주론의 증거가 되는 까닭을 설명할 수 있다.
4. 별의 진화 과정을 통하여 여러 가지 원소들이 만들어졌음을 설명할 수 있다.
5. 은하의 크기, 종류, 별의 개수 등의 다양함을 알고, 우주 전체 구조에 대하여 설명할 수 있다.
6. 성간 공간의 분자들로부터 다양한 화합물이 만들어짐을 설명할 수 있다.

*** 시작하기 전에**

우주는 약 137억 년 전에 대폭발로 탄생하였고, 우주가 팽창하며 냉각되는 과정에서 수소와 헬륨이 만들어졌다. 수소를 제외한 우리 주변의 원소들은 별의 내부에서 핵융합 반응을 통해 만들어졌고, 일부는 별의 진화 과정 마지막 단계에서 초신성 폭발을 통하여 만들어졌다.

*** 단원의 지도 계획**

중단원	소단원	차시	교과서 쪽수	학습 내용 및 창의·인성 활동
1. 우주의 기원	1. 허블 법칙과 우주의 팽창	3	15~21	<ul style="list-style-type: none"> • 별빛의 스펙트럼과 도플러 효과 • 허블 법칙과 우주의 나이 • 우주의 팽창과 대폭발 우주론 • 활동 1
	2. 우주의 탄생과 원자의 형성	3	22~30	<ul style="list-style-type: none"> • 기본 입자와 원자핵의 형성 • 스펙트럼을 이용한 원소 분석, 활동 2 • 우주 배경 복사와 원자의 생성
2. 우주의 진화	1. 별의 진화와 원소의 생성	2	33~38	<ul style="list-style-type: none"> • 원시별의 생성과 별의 진화 과정 • 초신성과 여러 가지 원소의 생성
	2. 우주의 구조	2	39~45	<ul style="list-style-type: none"> • 우리 은하의 구조와 별의 분포, 활동 3 • 은하의 분류와 우주 거대 구조
	3. 성간 화합물의 형성	3	46~52	<ul style="list-style-type: none"> • 공유 결합을 통한 성간 화합물의 형성 • 활동 4 • 반응 속도의 원리
단원 마무리		1	54~57	과학과 진로, 논리력 키우기, 단원 마무리

1 / 우주의 기원

★ | 중단원의 지도 방향 |

1. 인간이 가질 수 있는 가장 근원적이고 궁극적인 질문을 던지고 이에 대한 해답을 찾아가는 과정의 순으로 풀어간다. 학생들이 어려워하지 않도록 친숙하게 접근할 수 있도록 유도한다.
2. 우주의 팽창은 이미 관측된 먼 은하들이 우리 은하에서 멀어져 가고 있다는 사실에 근거를 두고 있음을 이해시키고, 외부 은하들의 후퇴 속도는 거리에 비례하여 증가하고 있음을 인식시킨다.
3. 허블 상수의 역수는 은하가 처음 후퇴하여 현재의 거리까지 가는데 걸린 시간, 즉 우주의 나이를 가능하는 중요한 물리량이 되고 있음을 설명한다.
4. 우주 탄생 과정에서 생성된 기본 입자에는 어떤 것들이 있는지를 알고, 이 기본 입자에서 양성자, 중성자, 헬륨 원자핵이 순차적으로 만들어졌음을 인식시킨다.
5. 수소와 헬륨 원자핵이 전자와 결합하여 중성 원자가 만들어지고, 이때 전자로부터 자유로워진 빛이 지금의 우주 배경 복사로 관측됨을 설명한다.



우주의 탄생에 관련된 여러 가지 이야기를 찾아보자.

고대 바빌로니아의 서사시에서는 바빌론의 신 마르둑이 티아마트(혼돈)라는 괴물을 무찌른 후 몸을 갈라 하늘과 땅을 만들었다고 노래한다. 또한, 인도의 신화에서는 신들이 메루 산을 잡고 원초의 큰 바다를 휘젓자 우주가 탄생한다.

★ | 오개념 유형 |

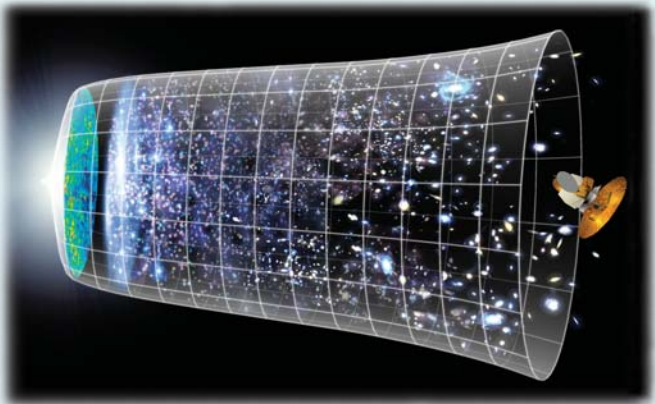
● 허블 법칙과 우주의 팽창

허블 법칙에 따르면 멀리 있는 은하일수록 후퇴 속도가 더 빠르다. 은하의 거리에 따라 후퇴 속도가 다르게 나타나는 것은 우주라는 공간 안에서 각 은하들이 이동하는 것이 아니라 우주 자체가 팽창하기 때문에 나타나는 현상이다. 즉, 우주가 팽창하기 때문에 멀리 있는 은하일수록 후퇴 속도는 더 빠르다. 허블 법칙과 우주 팽창 사이의 관계를 혼동하지 않도록 지도한다.

● 우주의 중심과 우주의 팽창

대폭발이 있기 전 우주의 모든 물질은 한 점에 있었으므로 모든 물질은 우리 은하를 이루던 물질과 모두 같은 한 점에 있었다. 대폭발 이후 우리 은하를 제외한 모든 물질은 우리 은하로부터 멀어졌다. 이것은 우리 은하뿐만 아니라 다른 외부 은하를 중심으로 생각해도 마찬가지 결과이다. 즉, 모든 은하가 우리 은하

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.

로부터 멀어지는 것은 우리 은하가 우주의 중심이어서가 아니라 우주가 한 점에서 시작되었기 때문이다.

▣ 주요 과학 용어

- 적색 편이(赤 붉을, 色 빛, 偏 치우칠 移 옮길, red shift)
- 대폭발 우주론(Big Bang cosmology)
- 우주 배경 복사(宇 집, 宙 집, 背 등, 景 별, 輻 바퀴살, 射 궁술, cosmic background radiation)
- 양성자(陽 별, 性 성품, 子 자식, proton)
- 양전자(陽 별, 電 번개, 子 자식, positron)
- 중성미자(中 가운데, 性 성품, 微 작다, 子 자식, neutrino)
- 쿼크(quark)
- 양자화(量 헤아릴, 子 자식, 化 되다, quantization)

📖 참고 자료

- Newton HIGHLIGHT, 우주의 형상과 역사, 2009
- 김희준, 자연과학의 세계, 공리, 2003
- 미치오 카쿠, 평행 우주, 김영사, 2005
- ANDREW FRAKNOI 외, 우주로의 여행 I · II, 창범 출판사, 1998
- 사이먼 싱, 우주의 기원 빅뱅, 영림 카디널, 2006
- 브누어 레스, 세상은 어떻게 만들어졌을까, 문학 동네, 2004

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 지금은 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?

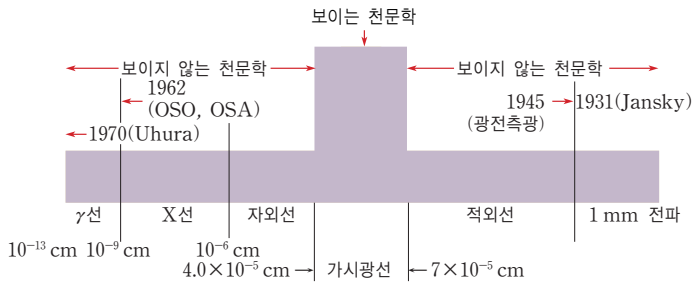
태양 빛을 프리즘에 통과시키면 그림 2처럼 무지개와 같은 연속적인 여러 가지 색의 띠가 만들어지는데, 이것을 빛의 **스펙트럼**이라고 한다. 태양 빛은 파장이 다른 여러 가지 색의 빛이 섞여 이루어져 있으며, 태양 빛의 스펙트럼은 프리즘을 통과할 때 파장에 따라 빛이 굴절하는 정도가 각각 다르기 때문에 나타난다. 그리고 별빛도 프리즘을 이용하면 태양 빛과 같은 연속적인 스펙트럼을 얻을 수 있다.

1
▶ 그림 2_ 빛의 연속 스펙트럼



1 | 빛의 세계 |

외부의 천체로부터 직접 받을 수 있는 정보는 빛뿐이다. 그리고 그 중에서 우리가 육안으로 직접 보고 감지할 수 있는 빛은 파장이 $4.0 \times 10^{-5} \text{cm}$ ($4,000 \text{\AA}$)에서 $7.0 \times 10^{-5} \text{cm}$ ($7,000 \text{\AA}$) 사이인 가시광선 영역이다. 이 영역은 '보이는 천문학'이 이루어지는 부분이며 광학 망원경으로 관측한다. 빛의 넓은 파장 영역을 고려할 때 우리가 눈으로 볼 수 있는 세계는 매우 좁다.



▶ 전자기파

파장이 $4.0 \times 10^{-5} \text{cm}$ 보다 작은 단파장 영역(자외선, X선, 감마선)과 파장이 $7.0 \times 10^{-5} \text{cm}$ 보다 더 긴 장파장 영역(적외선, 전파)은 그림과 같이 육안으로 직접 보이지 않는 빛의 세계로,

1. 허블 법칙과 우주의 팽창

1 | 소단원의 학습 목표 |

1. 스펙트럼상의 적색 편이를 도플러 효과로 이해한다.
2. 허블 법칙을 이해한다.

1차시

14~17쪽

도입(5분) 우주는 어떻게 만들어졌을까?	전개(35분) 스펙트럼의 적색 편이와 허블 법칙	정리(10분) 정리 및 예제 풀이
----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------

1 | 지도상의 유의점 |

1. 도입으로 몇 가지 창세 신화를 소개한다.
2. 별에 대한 정보를 얻는데 빛이 유일한 수단임을 알게 한다.
3. 빛은 파동의 성질을 가지므로 소리와 마찬가지로 도플러 효과가 나타나고, 그 결과 스펙트럼에 청색 편이와 적색 편이가 나타남을 이해시킨다.
4. 선 스펙트럼이 생기는 원리는 다음 단원에서 자세히 다루므로 이 단원에서는 현상적으로만 접근한다.

여기서는 눈에 '보이지 않는 천문학'이 이루어진다. 단파장 영역은 주로 대기의 영향을 많이 받기 때문에 지구 대기 바깥에 인공위성이나 기구를 띄워 관측한다. 그리고 장파장 영역을 관측할 때 전파 관측의 경우에는 전파 망원경을 사용하고, 적외선 관측의 경우에는 대기 중 수분의 영향을 최대한 적게 받는 고도가 높은 지역이나 인공위성에 설치한 적외선 망원경을 이용한다.

1 | 보충 자료 |

● 보이지 않는 천체의 영상

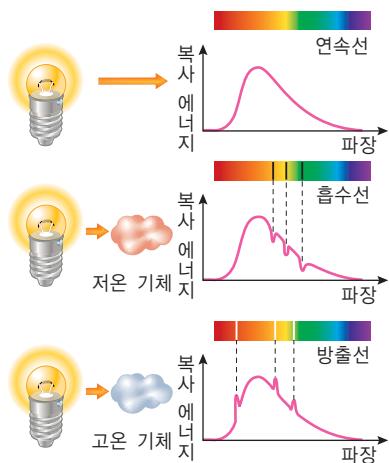
보이지 않는 빛을 눈으로 볼 수 있는 방법 중 하나는 컴퓨터를 이용해 합성 사진을 만드는 것이다.

어떤 천체에서 방출된 X선을 관측하면 그 천체가 방출하는 X선의 강도 분포가 얻어진다. 여기에 색을 입히고 강도에 따라 농담을 준다. 또 조금 더 긴 파장의 X선 관측을 한 후 다른 색으로 영상을 만든다. 이러한 방법으로 몇몇 파장대에서 얻어진 영상들을 합성하여 합성 영상을 만든다. 태양의 X선 사진이나 자외선 사진 등은 이러한 방법으로 얻어진 것이다.

2 | 흡수선과 방출선의 형성 |

별빛은 여러 가지 파장의 빛이 섞여 있는 복합광이다. 분광기를 이용하여 빛을 파장에 따라 나누어 보면 연속적인 빛의 스펙트럼이 얻어진다.

모든 파장의 빛이 검출될 때 이를 연속 스펙트럼이라고 한다. 그리고 빛이 저온의 물체를 지나면서 특정한 파장의 빛이 기체 원자나 분자에 흡수되어 스펙트럼 상에서 주변 파장의 빛보다 어둡게 나타나는 것을 흡수선이라 한다. 반대로 고온의 기체를 지나면서 기체에서 방출되는 특정한 파장의 빛이 첨가되어 주변 파장의 빛보다 더 밝게 나타나는 것을 방출선이라고 한다.



▲ 스펙트럼 선의 형성

☆ | 보충 자료 |

● 빛의 파동성과 입자성

대부분의 경우 전자기파는 파동처럼 작용한다. 파동과 같이 행동하는 전자기파는 동시에 입자의 성질도 가지고 있다. 빛은 질량이 없지만 특정한 양의 에너지를 전달하는 매우 작은 광자로 구성되어 있다.

소리와 같은 파동에서 관찰되는 도플러 효과는 파동의 성질을 가지는 빛에서도 마찬가지로 원리로 설명될 수 있다.

● 도플러(Christian Doppler, 1803~1853)

광파와 음파의 진동수는 파원(波源)과 관측자의 상대 운동으로부터 어떤 영향을 받는지를 처음으로 밝혀냈다. 이 현상은 도플러 효과로 알려지게 되었는데, 1842년 그가 발표한 '쌍성의 유색광에 관하여'라는 논문에서 처음으로 이를 언급했다.

그는 정지해 있는 관찰자가 볼 때 움직이는 음원으로부터 나오는 소리의 높이가 변화하는 것과 마찬가지로, 별에서 나오는 빛의 파장(색)도 지구에 대한 그 별의 상대적인 속도에 따라 변할 수밖에 없다는 사실을 이론화했다.



▲ 그림 3. 흡수 스펙트럼

연계 학습

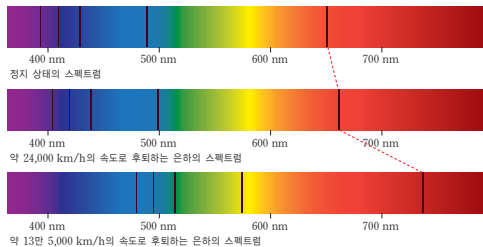
흡수 스펙트럼 → 28쪽

별빛의 연속 스펙트럼을 관찰하면 그림 3과 같은 검은 선들이 나타난다. 이 선들을 흡수선이라고 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 은 빛의 스펙트럼을 분석하여 대부분 은하의 스펙트럼에 나타나는 흡수선들이 실험실에서 관찰한 것보다 조금씩 붉은빛 쪽으로 치우치는 적색 편이가 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.

● 도플러 효과와 별의 시선 속도

지구에 대한 별의 속도는 시선 방향과 그것에 수직인 방향의 두 가지 성분으로 분해하여 나타낼 수 있다. 이때 두 가지 성분을 각각 시선 속도와 접선 속도라고 한다. 시선 속도는 지구에 있는 관측자의 시선 방향으로 별이 얼마나 빠르게 멀어지거나 가까워지는가를 나타낸다. 별의 스펙트럼 상에 나타나는 편이량으로 알 수 있는 것은 시선 속도이며, 대부분의 은하는 우리 은하로부터 멀어지고 있기 때문에 이 속도를 후퇴 속도라고도 한다.

스펙트럼 상에 흡수선이 얼마나 큰 편차를 가지고 있는냐에 따라 z 값을 정하는데, 이 값은 정지 상태에서 나타나는 원래의 파장에 대한 편차의 비율을 나타낸다.

정지 상태의 파장을 λ_0 , 스펙트럼 상에서 흡수선이 나타나는 파장을 λ 라고 하면 z 는 다음과 같이 나타낸다.

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

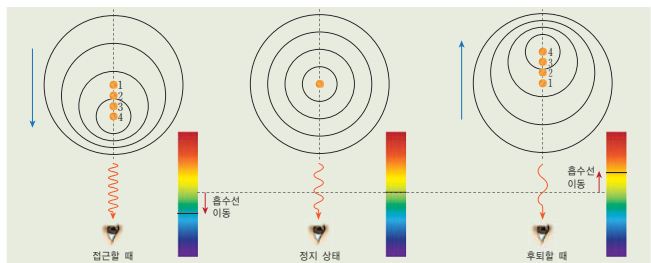
이 값에 빛의 속도(c)를 곱해주면, 별이 지구로부터 얼마나 빠른 속도로 멀어지는지, 또는 가까워지는지를 알 수 있다.

$$v = c \cdot z$$



▲ 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.



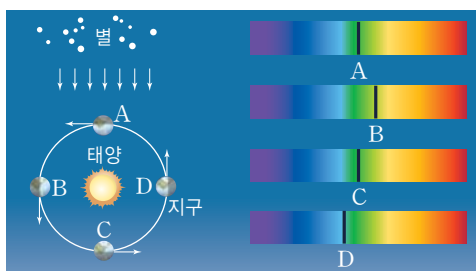
▲ 그림 6. 빛의 도플러 효과

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.

● 스펙트럼의 이용

도플러 효과는 천문학에서 유용하게 쓰이는 도구이다. 은하들의 후퇴 속도를 구하는 이외에 지구 공전의 증거로 별빛의 도플러 효과를 이용하기도 한다.



▲ 지구의 공전과 별빛의 도플러 효과

지구에서 특정한 별의 스펙트럼을 계속 관찰하면 스펙트럼 상에서 적색 편이 및 청색 편이가 일 년을 주기로 반복되어 나타남을 알 수 있다. 이 현상은 별에 대해 지구가 멀어졌다가 가까워지는 현상이 주기적으로 나타나기 때문에 나타난다.

즉 이 현상은 지구가 일 년을 주기로 태양 주위를 한 번 공전하기 때문에 나타난다.

● 슬라이퍼(Vesto Melvin Slipher, 1875~1969)

나선 은하들의 특이한 시선 속도를 체계적으로 관측하여 우주의 물질들이 서로 멀어지고 있다는 가설인 팽창 우주론에 대한 증거를 처음으로 제시하였다. 1901년 로웰 천문대 직원이 되었으며, 1926년 대장으로 임명되었다. 여기서 연구 팀을 이끌어 태양계의 9번째 행성이었던 명왕성을 발견했고, 몇몇 행성의 자전 주기를 결정했다. 한편, 목성, 토성, 해왕성의 스펙트럼에서 검은 흡수선들을 발견하여 이들 대기의 화학 성분을 알아냈다. 또 많은 먼지와 가스로 이루어진 반사 성운은 주위의 별빛을 반사하여 빛난다는 것을 증명했고, 밤하늘의 강한 복사와 그 세기의 변화를 발견했다.

● 청색 편이가 나타나는 은하

대부분 은하들에서 적색 편이가 나타나지만, 우리 은하 가까이에는 청색 편이가 나타난 은하들도 있다.

우리 은하는 안드로메다 은하, M33 은하, 마젤란 은하 그리고 그 외 30여 개의 작은 은하들과 함께 조그마한 집단을 이루고 있는데, 이것을 국부 은하군이라고 한다. 국부 은하군 내의 은하들 중 대마젤란 은하는 우리 은하에서 가장 가까운 외부 은하로, 약 5만 pc 떨어져 우리 은하 주위를 맴돌고 있다.

국부 은하군에서 가장 많은 별을 가지고 있으며 가장 밝은 은하는 안드로메다 은하이다. 안드로메다 은하는 현재 우리 은하로부터 77만 pc 거리에 있고 107 km/s의 속도로 다가오고 있으며, 약 60억 년 후에는 두 은하가 충돌할 것이다.

우주가 팽창하고 있음에도 우리 은하에 다가오는 은하는 왜 생길까? 거시적 규모에서 은하의 운동은 두 가지로 나누어 생각해야 한다. 첫째는 우주 공간의 팽창 때문에 생긴 운동이다. 팽창하는 우주 안에서 은하들이 고르게 흩어져 있다면 은하들 사이의 거리는 시간이 지남에 따라 일정한 비율로 멀어질 것이다.

그러나 은하들은 서로의 인력 때문에 은하군, 은하단, 초은하단, 우주 거대 구조 등을 이루고 있다. 은하들의 분포가 이렇게 고르지 않기 때문에 은하들은 중력의 영향으로 공간 팽창 운동 이외에 지역적으로 특이 운동을 한다.

우리 은하 주변에는 처녀자리 은하단이라는 무거운 중력체가 있어서 주변의 은하들은 그 은하단의 영향을 받는다. 안드로메다 은하나 대마젤란 은하가 우리 은하와 접근하고 있는 현상은 이러한 지역적 특이 운동으로 해석할 수 있다. 더불어 국부 은하군을 이루는 은하들 사이에 작용하는 만유인력의 영향도 무시할 수 없을 것이다.

2차시 18~19쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
허블 법칙	우주의 팽창과 우주의 나이	정리 및 예제 풀이

지도상의 유의점

1. 우주의 팽창이란 우주를 구성하고 있는 기본 단위 천체인 은하들이 거리에 비례하여 후퇴 속도가 증가한다는 관측 사실에 바탕을 두고 있음을 이해시킨다. 그리고 바람을 넣기 전 고무 풍선의 표면에 적어 놓은 점들이 풍선의 팽창과 더불어 서로의 간격이 점점 넓어지는 것과 같이, 우주의 팽창은 팽창의 기준점이 없는 특이한 성질을 가지고 있음을 알 수 있도록 지도한다.
2. 허블 상수의 의미를 알게 한다.
3. 허블 상수의 변화에 따라 우주의 나이가 달라질 수 있음을 알게 한다.

3 허블 상수

허블 상수의 값은 거리와 속도의 단위에 따라 다르다. 허블은 이 값을 558 km/s/Mpc로 계산했다.

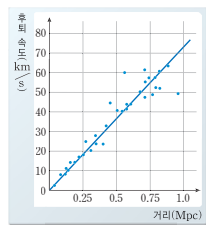
허블 상수의 값은 두 가지 의미를 함축하고 있다. 먼저, 어떤 은하가 지구에서 1 Mpc 거리에 있다면 그 은하는 대략 초속 558 km의 속도로 멀어지고 있을 것이며, 지구에서 10 Mpc 떨어져 있다면 그것은 대략 초속 5,580 km의 속도로 멀어지고 있는 것이다. 허블 법칙이 옳다면 우리는 어떤 은하라도 은하까지의 거리를 측정하여 후퇴 속도를 구할 수 있고, 반대로 그 속도로부터 거리를 구할 수도 있다.

허블 상수의 두 번째 의미는 우리에게 우주의 나이를 알려준다는 것이다. 만일 허블의 계산대로라면 1 Mpc 거리에 있는 은하는 초속 558 km의 속도로 움직일 것이다. 그 은하가 일정한 속도로 움직인다고 가정하면 1 Mpc의 거리에 도달하는데 얼마나 걸리는지 알아낼 수 있다.

허블의 관측에 따르면 우주의 모든 물질은 약 18억 년 전에는 상대적으로 작은 지역에 집중되어 있었고 그때부터 팽창하기 시작했다. 이 상황은 영원히 변함이 없는 우주라는 기존의 견해와 완전히 반대되는 것이었다.

천문학자들은 이미 신성과 초신성의 출현과 같은 변화를 직접 목격했기 때문에 우주가 진화해 간다는 생각을 하고 있었다. 그

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 법칙이라고 하며, 외부 은하가 멀어지는 속도를 v , 은하까지의 거리를 r 라고 하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$v = H \cdot r$$

3

허블(Hubble, E. P., 1889~1933)

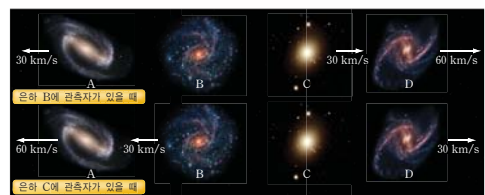
외부 은하의 스펙트럼을 관측하여 우주의 팽창에 대한 허블 법칙을 제안하였다.

pc(파섹)

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

이 식에서 H 는 허블 상수라고 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 속도를 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.

보충 자료

세페이드 변광성을 이용한 은하까지의 거리 측정

비교적 가까운 거리에 있는 별은 6개월 간격으로 나타나는 별의 위치 변화, 즉 연주 시차를 측정하여 구할 수 있다. 그러나 연주 시차를 이용한 별까지의 거리 측정 방법은 그 값이 매우 작으므로 측정 오차 때문에 100pc 이내의 별까지로 제한된다.

이보다 더 먼 거리에 있는 별까지의 거리는 겉보기 등급과 절대 등급의 차이인 거리 지수를 이용하여 구한다. 또 우리 은하 내에 있는 먼 거리의 성단을 이루는 별들의 겉보기 등급을 측정하고, 기준이 되는 H-R도의 절대 등급과 비교하여 그 성단까



▲ 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.

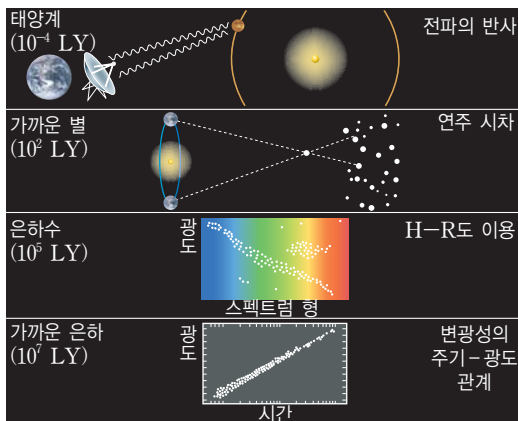
$$v_A = H \cdot r_A$$

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 시간이라고 한다.

지의 거리 지수를 구할 수 있다.



▲ 은하의 거리 측정 방법

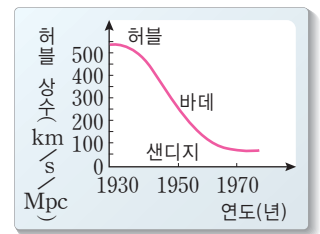
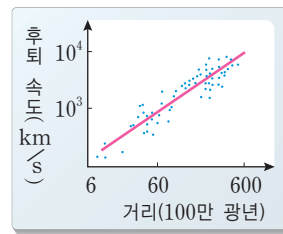
그러나 훨씬 더 먼 거리에 있는 은하까지의 거리를 구하는 것은 쉽지 않은데, 이때는 맥동 변광성의 주기-광도 관계를 이용한다. 맥동 변광성은 별이 팽창과 수축을 반복하여 주기적으로 밝기가 변하는 별이다. 별은 진화 단계에서 거의 마지막 불안정한 시기에 맥동 변광성의 단계를 거친다.

1908년 하버드 대학 천문대의 직원으로 일하던 헨리에타 리

빗은 소마젤란 은하에서 25개의 세페이드 변광성을 발견하였다. 소마젤란 은하가 매우 멀리 있기 때문에 이 은하 내에서 발견된 변광성들은 모두 지구로부터 비슷한 거리에 있을 것이라고 가정하였으며, 같은 거리에 있는 변광성들 중 다른 것들보다 밝은 별이 있다면 그것은 별들의 실제 밝기가 밝기 때문이라고 생각했다. 그리고 이 변광성들의 광도(실제 밝기)와 변광 주기가 일정한 관계를 가지고 있음을 알아냈다.

어떤 은하 내에서 세페이드 변광성이 발견된다면 변광 주기와 겉보기 등급을 관측한다. 변광성의 주기-광도 관계로부터 이 별의 광도(또는 절대 등급)가 구해지고, 겉보기 등급과 광도와의 차이를 이용하여 별까지의 거리를 계산할 수 있다.

● 허블 상수의 변화



▲ 허블 상수의 변화

허블이 얻어낸 최초의 허블 상수인 558 km/s/Mpc로부터 얻어진 우주의 나이는 약 18억 년이다. 이 우주의 나이는 천문학자들을 난처하게 했다. 지구와 별의 나이가 우주의 나이보다 많았기 때문이다. 그로부터 몇 년 후 천문학자들은 변광성의 밝기 측정에 오차가 있어서 별들의 거리를 너무 짧게 가정한 탓에 허블 상수의 값이 과도하게 크게 나타났음을 알게 되었다.

과거 30년 동안 구해진 허블 상수 값 중 중요한 두 가지는 카네기 학술 문화 연구 장려 기관(Carnegie Institutions)의 앨런 샌디지(Allan Sandage)가 포함된 한 그룹이 유도한 약 50 km/s/Mpc라는 값과, 텍사스 주립 대학의 다른 팀이 유도한 100 km/s/Mpc라는 값이다. 최근에는 국제 천문 연맹(IAU)에서 발표한 73 km/s/Mpc를 사용하고 있다.



은하의 후퇴 속도(1,200 km/s)를 허블 상수(73 km/s/Mpc)로 나눈 값(16.4 Mpc)이 은하까지의 거리이다.

허블 법칙은 은하까지의 거리를 구하는 데에 이용되기도 한다. 이때는 먼저 은하의 스펙트럼을 분석하여 은하의 후퇴 속도를 구한다.

3차시 20~21쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
허블 법칙과 빅뱅	대폭발 이론의 확립 과정 발표하기	정리 및 요약

지도상의 유의점

1. 학습하기에 앞서 모둠을 정하여 필요한 자료를 조사하도록 하고 모둠을 구성한다.
2. 모둠 활동을 하는데 각자 역할을 분담하고 서로 협력하도록 지도한다.
3. 효율적으로 내용을 전달할 수 있도록 프레젠테이션 자료를 만들어 발표할 수 있도록 지도한다.

창의인성 활동의 이해

활동 1 대폭발 우주론은 어떻게 확립되었을까?

정리

1. 아인슈타인(1905) → 프리드만(1922) → 르메트르(1927) → 허블(1929) → 가모(1948) → 호일(1949) → 펜지어스와 윌슨(1964)
2.
 - 아인슈타인: 그가 이끌어낸 중력 법칙에 우주 상수를 도입하였다. 그는 빈 공간이 우주를 밀어내는 압력이 있어서 천체의 중력에 효과적으로 대항하는 반발력이 되고, 그 결과 우주는 정적인 상태를 영원히 유지하게 된다고 주장했다.
 - 프리드만: 아인슈타인의 우주 상수를 반대하고 세 가지 우주 모델을 제시했다. 우주는 밀도에 따라 물질에 의한 중력이 우주의 팽창을 극복하지 못하고 영원히 팽창하거나, 중력이 별들을 잡아당겨 한 점을 향해 수축하거나, 중력 때문에 팽창 속도는 느려지지만 무한대로 팽창하지는 않으며 진화하고 변해간다는 모델이다.
 - 르메트르: 아인슈타인의 일반 상대성 이론을 바탕으로 독자적인 연구를 한 결과, 우주는 원시 원자라고 하는 매우 작은 영역에서 바깥쪽으로 폭발하면서 시작되었고 시간이 지남에 따라 현재의 우주로 진화해왔다고 주장했다. 또한, 우주는 앞으로도 계속 진화해 갈 것이라고 믿었다.
 - 허블: 은하들의 스펙트럼을 관측하여 프리드만과 르메트르의 우주 모델을 뒷받침하는 중요한 증거를 제공하였다.
 - 가모: 앨퍼, 베테와 함께 우주는 대폭발로부터 시작하여 초

정확한 우주의 나이를 구하려면 허블 상수를 정확하게 구해야 한다. 그러나 외우 은하까지의 거리는 측정하기 매우 어렵고, 측정된 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 조종하는 의미로 처음 사용했으나, 오히려 대중에게 대폭발 우주론이 널리 알려지는 계기가 되었다.

창의인성

활동 1 대폭발 우주론은 어떻게 확립되었을까?

목표 현대의 대폭발 우주론이 확립되기까지의 과정을 이해한다.

조사, 토론

과정

그림 10은 우주의 기원과 진화를 연구한 과학자들이다.



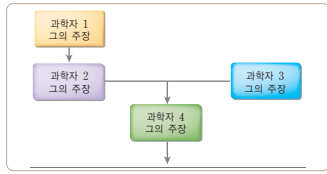
▲ 그림 10 _ 대폭발 우주론 확립에 기여한 과학자들

기 몇 분만에 수소와 헬륨이 만들어졌다는 이론을 발표했다. 실제 우주에 존재하는 수소와 헬륨의 존재비가 그들의 계산과 일치하고, 이것은 우주의 팽창과 함께 대폭발 우주론을 인정하는 중요한 관측적인 증거가 된다.

- 호일: 우주가 팽창함에 따라 넓어지는 은하 사이의 공간에 새로운 물질이 창조되어 팽창에 의한 밀도의 감소를 보상하게 되므로 우주의 전체적인 밀도는 일정하게 유지될 수 있다고 주장했다. 이에 따르면 우주는 성장하고 팽창하지만 전체적으로 변하지 않는 상태로 영원히 존재할 수 있게 된다. 이를 정상 우주론이라고 하며, 별의 내부에서 탄소와 같은 무거운 원소가 만들어지지만 우주에 존재하는 현재와 같은 양의 헬륨은 별의 진화 과정만으로는 설명할 수 없다는 사실이 밝혀지면서 호일은 패배를 인정했다.
- 펜지어스와 윌슨: 우주의 모든 방향으로부터 오는 잡음이 있다는 것을 발견하였다. 이것은 대폭발 우주론에서 계산한 현재 우주의 온도에 해당하는 복사 에너지이며, 대폭발 우주론을 뒷받침하는 또 다른 증거로 추가되었다.

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 어떤 것이었는지 이야기해 보자.
3. 모둠의 활동 결과를 다음 그림과 같은 흐름도로 정리하고 발표해 보자.



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

4. **확인·인상** 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 붉은색 쪽으로 치우치는 현상은 무엇인가?
 2. 허블이 우주가 팽창한다는 결론을 내린 계기는 무엇인가?
 적용 3. 허블 상수의 값이 변하면 우주의 나이가 어떻게 달라질지 써 보자.
 탐구 4. 팽창하는 우주에서 허블 상수는 어떤 의미를 가지는지 설명해 보자.

보충 자료

- 펜지어스(Arno Penzias, 1933~)와 윌슨(Robert W. Wilson, 1936~)

1964년 벨 연구소의 위성 통신용 안테나를 시험하던 중 안테나의 방향에 관계없이 고르게 들어오는 잡음을 발견하였고, 그 잡음이 우주에서 온 것이라는 결론을 내린다. 이것은 이론적으로 예측되어 왔던 우주 배경 복사임이 밝혀졌고, 대폭발 우주론은 매우 강력한 증거를 얻게 된다. 이 공로로 펜지어스와 윌슨은 1978년 노벨 물리학상을 받았다.

- 호일(Fred Hoyle, 1915~2001)

골드와 함께 정상 우주론을 주장하였으며, 정상 우주론은 1950년대부터 1960년대 중반까지 대폭발 이론과 함께 서로 경쟁적으로 발전하였다. 정상 우주론에서 우주는 항상 현재와 같은 모양으로 존재하며, 우주가 팽창해 우주의 밀도가 작아지면 이를 보충하기 위해 우주 공간에서 새로운 물질이 생성되기 때문에 항상 일정한 밀도를 유지한다는 것이다. 그러나 1965

년에 우주 배경 복사가 밝혀지면서 정상 우주론은 쇠퇴하였다.

- 아인슈타인(Albert Einstein, 1879~1955)

광양자설, 브라운 운동의 이론, 특수 상대성 이론을 발표하였으며, 1916년 일반 상대성 이론을 발표하였다. 이후 통일장 이론을 더욱 발전시켰고 1921년에 노벨 물리학상을 받았다.

아인슈타인은 우주의 구조에 대해 본격적인 연구를 시작한 사람으로 현대 우주론의 아버지라고 할 수 있다. 그는 상대성 이론을 바탕으로 방정식을 세워 우주의 구조에 대한 해답을 찾아냈다. 그의 방정식에 따르면 우주는 팽창하거나 수축하고 있어야 했는데, 우주가 영원히 정적인 상태일 것이라고 생각한 그는 자신이 구한 해답을 정적인 우주에 맞도록 고치기 위해 그의 방정식에 우주 상수를 더했다. 당시 아인슈타인은 최고의 권위를 인정받고 있었으므로 학계는 이를 받아들여 프리드만이나 르메트르가 제안하는 우주 팽창에 대한 생각에 동조하지 않았다.

- 가모(Georgy Gamov, 1904~1968)

1928년 대학 졸업 후 가모는 방사성 원소의 붕괴를 설명하는 양자 이론과 함께 원자핵 사이에서 일어나는 핵융합과 분열에 관한 연구로 별의 내부에서 일어나는 원자핵 반응에 대한 열핵 반응 비율 이론을 발전시켰다. 1934년에는 에드워드 텔러와 함께 전자가 방출되는 핵붕괴 과정인 β 붕괴 이론을 전개시켰다.

이후 우주론 연구를 다시 시작하였고, 텔러와 함께 적색 거성의 내부 구조를 연구하면서 핵반응 이론을 항성 진화에 적용시켰다. 그리고 우주가 시작된 대폭발 초기의 열핵폭발을 가정하여 우주에 퍼져 있는 화학 물질의 분포를 설명하려고 했다.

확인하기

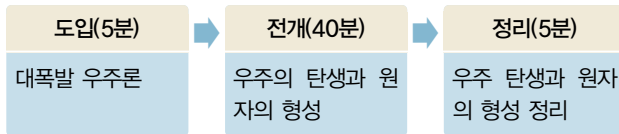
1. 도플러 효과에 의한 적색 편이
2. 모든 은하의 스펙트럼에서 나타나는 흡수선들이 원래의 위치보다 붉은색 쪽으로 치우쳐 나타나는 적색 편이가 관측되었기 때문이다.
3. 우주의 나이는 허블 상수의 역수로 정해지므로 허블 상수가 작아지면 우주의 나이는 많아지고, 허블 상수가 커지면 우주의 나이는 적어진다.
4. 허블 상수는 일종의 가속도 개념으로, 우주가 얼마나 빠르게 팽창하는지를 알려주는 수치이다.

2. 우주의 탄생과 원자의 형성

☆ | 소단원의 학습 목표 |

1. 대폭발 우주론으로부터 물질을 이루는 기본 입자와 원자의 형성 과정을 이해한다.
2. 수소와 헬륨의 질량비로부터 대폭발 우주론의 타당성을 이해한다.
3. 우주 배경 복사가 대폭발 우주론의 증거가 됨을 이해한다.

🕒 | 4차시 | 22~25 쪽



☆ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 대폭발 우주론을 제시한 가모는 “오리와 감자 한 접시를 요리하는 것보다 더 짧은 시간에 원소들이 요리되었다.”고 하였다. 우주는 어떻게 탄생하였으며, 원소들은 어떻게 만들어졌을지 학생들이 생각해 보는 시간을 갖게 하여 흥미를 유발한다.

☆ | 지도상의 유의점 |

우주의 생성은 실제로 실험해 보는 것이 불가능하고, 현실적으로 느끼기 어려운 시간에 일어나는 일이기 때문에 학생들이 이해가 어려울 수 있다.

☆ | 보충 자료 |

- 아리스토텔레스의 우주론
아리스토텔레스는 우주의 중심에 지구가 있다고 생각하고, 이 우주에서는 태양과 행성들이 반투명한 구에 붙어서 공전하고 있다고 생각하였다. 그리고 이러한 우주의 가장 바깥쪽에는 불박이 별이 매달려 있다고 생각하였다.
- 뉴턴의 우주론
뉴턴이 생각한 우주는 신이 만든 완벽한 우주가 시계처럼 움직이는 모습이었다. 이 우주에서 중력에 대한 개념 등은 시계의 기어에 해당한다. 뉴턴은 균일하게 산란하는 항성들로 꽉 채워진 무한하고 정적인 우주를 믿고 있었다. 그리고 물질의 분포가 영원히 퍼져 있지 않다면 물질들이 자체 중력으로 수축하게 될 것이라 생각하였다. 그러나 뉴턴과 동시대를 살던 핼리는 항성들로 가득찬 하늘에 대해 고민하였고, 이 질문은 독일의 물리학자 올버스에 의해 ‘올버스의 역설’로 제시되었다.

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)

1 우주가 점점 팽창하고 있다는 사실은 과거의 우주가 지금보다 작았다는 것을 의미한다. 팽창하는 우주의 시간을 거슬러 올라가면 우주의 시작은 아주 작고, 뜨거운 한 점에 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 조결 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, 그 때부터 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	중성미자	ν_e
맵시 (charm)	c	뮤온	μ
이웃한 (strange)	s	중성미자	ν_μ
꼭대기 (top)	t	타우	τ
바닥 (bottom)	b	중성미자	ν_τ

● 정상 우주론

1946년 캠브리지 대학의 본디, 골드, 호일에 의해 제안된 이론으로, 우주론적 원리를 시간으로도 확장하여 우주가 등방이고 균일하며 모든 시간에서 똑같이 보인다고 설명하였다. 즉, 정상 우주는 시작도 없고 끝도 없으며 무한히 오래되었고, 정상 우주가 팽창하면서 물질들이 끊임없이 생성되어 현재 수준의 우주 평균 밀도가 유지된다.

그러나 새로운 물질이 계속 생성된다는 것은 에너지-질량 보존의 원리에 위배되는데, 정상 우주론은 이러한 물질의 생성 원리를 설명하지 못하였다.

● 상대론적 우주론

아인슈타인의 상대론적 우주는 상대성 원리를 이용한다. 우주에 물질들이 모든 방향으로 균질하다면 우주는 팽창하거나 수축하겠지만, 아인슈타인 자신은 우주가 팽창, 수축한다는 것은 납득하기 어려워 수식 자체에 우주 상수라는 개념을 도입해 우주가 팽창하지 않도록 유도하였다. 그러나 후일 허블의 관측에 의해 우주가 실제로 팽창하고 있음을 알게 되었다.

폭발이 일어난 직후 우주는 극도로 높은 온도로 인해 매우 혼란스러웠다. 그러나 10^{-35} 초가 지났을 무렵에는 온도가 10^{28} °C로 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^{12} °C로 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.

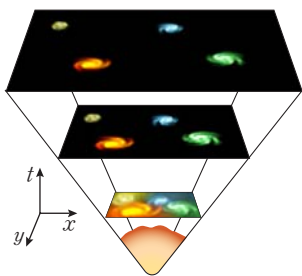
▼ 그림 13_ 우주의 탄생 과정(0~ 10^{-6} 초까지)



1 | 빅뱅 |

빅뱅(Big Bang) 또는 대폭발 우주론은 천문학 또는 물리학에서 우주의 탄생을 설명하는 우주론 모형으로, 매우 높은 에너지를 가진 작은 물질과 공간에서 거대한 폭발을 통해 우주가 탄생했다고 보는 이론이다. 이 이론에 따르면 폭발에 앞서 오늘날 우주에 존재하는 모든 물질과 에너지는 작은 점에 갇혀 있었으며, 과학자들이 $T=0$ 이라고 부르는 폭발 순간에 그 작은 점으로부터 물질과 에너지가 폭발하여 서로에게서 멀어지기 시작했다. 그리고 물질과 에너지가 은하계와 은하계 내부의 천체들을 형성하게 되었다.

이 이론은 우주가 팽창하고 있다는 허블의 관측을 근거로 하고 있다. 또한, 허블은 은하의 이동 속도가 지구와의 거리에 비



▲ 평면 우주의 일부가 팽창하는 모습

례한다는 사실도 알아냈다. 이는 은하가 지구에서 멀리 떨어져 있을수록 빠르게 멀어지고 있음을 의미한다.

르메트르는 우주의 기원에 대하여 후에 대폭발 이론이라 불리게 되는 추측을 하였는데, 그는 이것을 '원시 원자에 대한 가설'이라고 불렀다. 이 모형의 틀은 아인슈타인의 일반 상대성 이론과 단순화 가정을 기반으로 한다. 그리고 이것의 지배 방정식은 프리드만에 의해 공식화되었다.

르메트르가 1927년에 제시한 것과 같이 에드윈 허블이 1929년 멀리 떨어진 은하들의 거리가 그들의 적색 편이량과 비례한다는 사실을 발견했다. 그리고 1964년에는 우주의 극초단파를 연구하는 천문학자들이 우주에서 소음이 일어난다는 사실을 발견했다. 이 소음은 어떤 한 영역에서 나오는 것이 아니라, 우주의 곳곳에서 발생했다.

만약 현재 은하들 간의 거리가 점차 멀어지고 있다면, 과거에는 모든 은하가 서로 가까이 모여 있었을 것이다. 이러한 발상은 결국 과거에 극도로 밀집되고 뜨거웠던 시점이 존재했을 것이라는 추측으로 귀결되었고, 이 이론이 묘사한 것과 비슷한 상황을 재현하고 확인하기 위해 커다란 입자 가속기가 만들어졌지만, 입자 가속기는 결국 이러한 고에너지 영역을 조사하는 데 기능적 한계를 나타냈다.

대폭발 이론이 최초의 팽창 이후 우주의 일반적인 변화에 대해 설명할 수 있었다고 하더라도, 팽창 직후와 연관된 아무런 증거 없이는 이러한 기본적인 상황에 대해 어떠한 입증도 할 수 없다. 다행히 우주를 통틀어 보이는 빛에 대한 관측 결과는 우주 탄생 당시의 원자핵 합성에 충분히 논리적으로 설명된 예측, 즉 우주 최초의 몇 분 간 급속한 팽창과 냉각 속에서 발생한 핵반응으로부터 형성된 빛에 대한 계산과 거의 맞아 떨어졌다.

프레드 호일은 빅뱅(Big Bang)이라는 단어를 1949년 어느 라디오 방송에서 처음 언급했다. 그가 주장했던 정상 우주론을 본인이 별로 중요하게 여기지 않는다는 이야기가 퍼지자 호일은 이를 강하게 부정하고 방송에서의 언급은 단지 두 우주론의 가장 큰 차이점을 설명하기 위해 사용한 단어일 뿐이라고 일축했다. 호일은 나중에 가벼운 원소로부터 무거운 원소가 형성되는 항성 핵합성 과정을 이해하기 위해 연구에 매진했다.

1964년 우주 배경 복사가 발견되고, 그것의 스펙트럼으로부터 흑체 곡선을 그려낸 후, 이 증거를 통하여 대부분의 과학자들은 과거 대폭발에 의해 우주가 탄생한 것이 확실하다고 믿게 되었다.

2 | 빅뱅 - 우주의 역사 |

1. 0초~ 10^{-43} 초

대폭발은 시공간의 탄생이기는 하지만 이때의 시공간을 정의할 수는 없다. 왜냐하면 그 순간에는 시간과 공간이 없었을 뿐만 아니라 물리학에서 정의할 수 있는 시간의 한계 바깥에 있기 때문이다. 이러한 한계 상황을 '플랑크 시간'이라고 한다. 플랑크 시간은 대폭발 이후 10^{-43} 초 정도가 지난 시간이다.

플랑크는 흑체 복사를 기술하는 과정에서 플랑크 상수를 고안했다. 양자 역학의 불확정성 원리에 따르면 우리는 사건이 일어난 운동량과 위치 두 가지 모두를 완벽하게 알 수 없다. 결정하고자 하는 운동량의 불확실도와 위치의 불확실도를 곱한 값은 언제나 플랑크 상수보다 커야 한다. 이 개념을 팽창하는 우주에 적용하면 우주의 나이가 플랑크 시간보다 적었을 때는 시간을 물리학적으로 의미 있게 다룰 수 없다는 결론이 나온다. 양자 역학의 기초인 불확정성 원리에 위배되기 때문이다.

즉, 플랑크 시간 이전의 우주는 물리 현상으로 기술하는 것이 불가능하다. 우주를 설명하는 네 가지 힘은 중력, 전자기력, 약력, 강력인데 이러한 힘도 플랑크 시간 이전에는 존재하지 않았을 것으로 생각된다. 빛이나 입자도 구체적인 형태를 띠지 않았을 것이다.

2. 10^{-43} 초 ~ 10^{-34} 초

플랑크 시간 이후에도 네 개의 힘은 지금처럼 서로 독립적으로 존재하지 않았을 것이다. 중력은 따로 존재했다고 보기도 하지만 나머지 세 가지 힘은 대통일력으로 통합되어 존재했을 것으로 보고 있다. 따라서 우주의 나이가 10^{-43} 초부터 10^{-34} 초 정도가 될 때까지를 대통일 시대라고 부른다. 이때 우주의 온도는 최소 10^{27} °C 정도였으며, 우주의 지름은 지금의 $\frac{1}{10^{27}}$ 정도로 작았다.

3. 10^{-35} 초 ~ 10^{-32} 초

우주의 나이가 10^{-35} 초~ 10^{-32} 초 정도 되었을 때 우주는 급격한 팽창을 시작한 것으로 보인다. 이른바 급팽창(인플레이션) 시기라고 불리는 이 시기는 아마도 우주의 에너지 상태가 바뀌는 과정 중에서 대통일력에서 강력이 분리되며 시작되었을 것으로 추정한다.

4. 10^{-32} 초 ~ 10^{-4} 초

이 시대에는 입자를 구성할 수 있을 정도로 온도가 낮아진다. 시간이 흘러 우주의 나이가 10^{-32} 초~ 10^{-4} 초 정도였을 때를 강입자의 시대라고 부르는데, 이 시대에 물질의 기본 입자인 쿼크

폭발 10^{-1} 초 뒤에 우주의 온도는 10^{10} °C로 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 만들기에 너무 낮았으므로 양성자나 중성자가 새롭게 만들어지지지는 않았다.

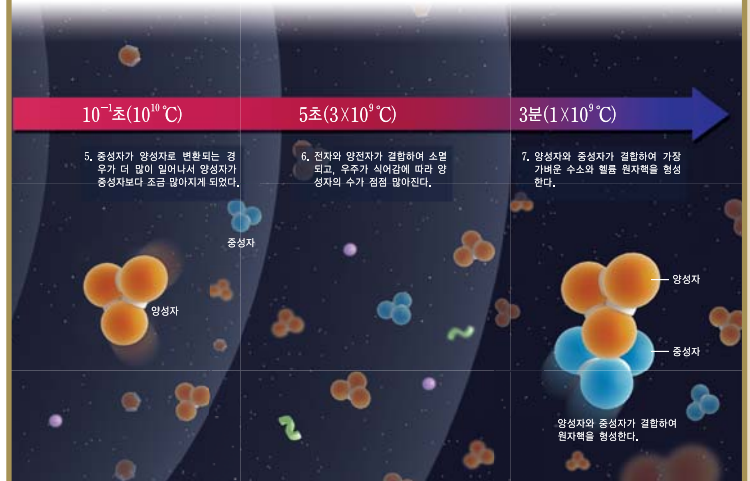
폭발 후 5초가 지났을 때 우주의 온도는 3×10^9 °C로 식어 전자와 양전자가 결합하여 빛이나 다른 입자로 변하면서 소멸하는 변환이 그 반대의 경우보다 빠르게 일어나 전자와 양전자의 수가 급격히 감소하기 시작하였다. 또한, 양성자와 중성자가 결합하여 중수소를 형성하기도 했지만 불안정해서 바로 양성자와 중성자로 분해되었다. 우주가 식어감에 따라 양성자의 수가 중성자의 수보다 점점 많아졌으며, 이 시기에 중성자와 양성자 수의 비율은 약 1 : 5 정도였다.

폭발 후 3분이 되었을 때 우주의 온도는 10^9 °C까지 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.

2

▶ 그림 14. 우주의 탄생 과정 (10^{-1} 초 ~ 3분까지)

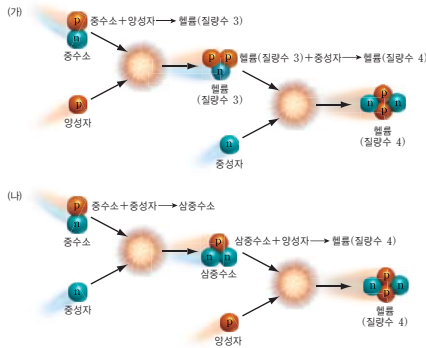


로 구성되는 최초의 원자핵을 포함한 강입자가 만들어졌기 때문이다. 이러한 입자들은 아마도 빛으로부터 만들어졌을 것으로 추정된다. 고에너지 빛은 순간적으로 입자와 반입자를 만들며 사라졌고, 만들어진 입자는 반입자와 만나 다시 빛으로 환원되었다. 아직 이유가 정확히 밝혀지지 않았지만, 우주의 빛이 반입자보다 약간 많은 수의 입자를 만든 것으로 추정된다.

우주의 대표적인 강입자로는 수소의 원자핵을 만드는 양성자와 중성자가 있는데, 중성자는 위 쿼크 1개와 아래 쿼크 2개로 이루어지고 양성자는 위 쿼크 2개와 아래 쿼크 1개로 이루어진다. 그런데 아래 쿼크가 위 쿼크보다 질량이 조금 더 크기 때문에 중성자는 양성자보다 0.1% 정도 질량이 더 크다. 쿼크로 이루어진 강입자 중 중성자는 혼자 떨어져 있으면 불안정하여 양성자로 전환된다.

아인슈타인의 상대성 이론에 의하면 중성자의 0.1% 정도 질량은 1만 °C 정도의 온도(에너지)에 해당한다. 따라서 고온의 우주에서는 양성자가 온도를 얻어 중성자로 변환될 수도 있었다. 이러한 고온의 우주에서는 중성자가 자연적으로 에너지를 방출

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 충분한 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?

하며 양성자가 되는 과정과 양성자가 빛으로부터 에너지를 얻어 다시 중성자가 되는 현상이 평형을 이루었으며, 이러한 열적 평형은 우주의 나이가 약 1초가 될 때까지 지속되었다.

5. 1초~3분

우주의 나이가 1초가 되었을 때 우주의 크기는 현재의 $\frac{1}{100}$ 억이고 온도는 약 100억 °C였다. 이때 우주에 가득 찬 광자들의 에너지가 중성자와 양성자의 질량 차이에 해당하는 에너지와 같아졌다. 이 순간부터 광자가 가지는 에너지는 양성자와 반응하여 중성자를 만들기에 부족했다.

시간이 흐를수록 양성자의 수가 많아져 우주의 나이가 2~3분 정도일 때 양성자 대 중성자의 비율은 약 8 : 1이 된다. 이때 최초로 수소와 헬륨 원자핵이 탄생하였으며, 우주 나이 1초부터 3분까지 일어난 이와 같은 현상을 빅뱅 핵합성이라고 한다.

6. 3분~1만 년

우주는 수소 원자핵인 양성자를 많이 갖게 되고 양성자와 중성자의 조합으로 많은 헬륨 원자핵을 만들지만 그 이상의 원자핵은 만들지 못한 채 혼탁한 상태로 유지된다. 우주의 나이가 약

1만 년이 되었을 때 우주의 지름은 지금의 약 $\frac{1}{6,000}$, 온도는 약 1만 °C가 되었다. 빅뱅부터 이 시점까지를 빛의 시대라고 하는데, 이것은 우주의 팽창이 광자들 때문에 일어난 에너지의 변화에 따라 주로 결정되었기 때문이다. 이때 우주의 지름은 시간의 제곱근에 비례하여 커졌다. 우주의 나이가 100배 많아지면 크기는 10배, 우주의 나이가 1만 배 커지면 크기는 100배이다.

7. 1만 년~38만 년

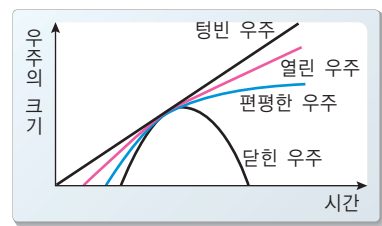
우주의 나이가 1만 년이 되는 순간 이후는 물질의 시대 또는 먼지의 시대라고 한다. 이것은 시간이 흐름에 따라 우주 팽창 때문에 일어나는 도플러 효과로 광자가 많은 에너지를 잃고 온도가 낮아져 이제는 빛보다 물질이 우주 에너지의 큰 비중을 차지하게 되었기 때문이다.

☆ | 보충 자료 |

● 우주의 미래는 어떻게 될까?

우주가 계속 팽창할지 다시 수축할지를 결정하는 임계 밀도는 1cm³ 안에 수소 원자 5개가 들어 있는 정도이다. 우주의 밀도가 임계 밀도보다 작은 우주는 텅빈 우주를 포함하여 모두 열린 우주라고 한다. 왜냐하면 지금 팽창하고 있는 우주가 앞으로도 계속 팽창할 것이기 때문이다. 반대로 우주의 밀도가 임계 밀도보다 크다면 우주는 결국 팽창을 멈추고 다시 수축하게 될 것이다. 이렇게 충분히 큰 중력장의 효과로 팽창을 수축으로 전환할 수 있는 우주를 닫힌 우주라고 한다. 한편, 우주가 정확히 임계 밀도를 가지는 경우는 편평한 우주라고 한다.

우주가 만일 지금 관측되고 있는 것보다 훨씬 많은 물질과 에너지로 가득 차 있어서 임계 밀도보다 큰 밀도를 갖고 있다면, 우주는 언젠가 팽창을 멈추고 다시 수축하는 닫힌 우주가 된다. 이러한 결말을 대수축이라고 한다. 만약 대수축이 일어날 때 인류가 살아있다면 대재앙이 벌어질 것이다. 그러나 현재 빅뱅 핵합성 이론과 별·은하의 관측 결과를 고려하면 우리 우주는 실제로는 열린 우주에 가깝다고 생각된다.



▲ 우주의 미래

5차시 26~28쪽

도입(5분)	전개(40분)	정리(5분)
스펙트럼	창의 인성 활동 2	스펙트럼 정리

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 형광등이나 다른 방전관을 이용해 학생들이 선 스펙트럼을 관찰하도록 하자. 실험을 통해 학생들의 흥미를 유발한다.

☆☆ | 지도상의 유의점 |

스펙트럼은 원소의 종류에 따라 다르며, 이는 원소들이 전자의 궤도와 에너지 준위가 다르기 때문임을 이해하도록 지도한다.

창의 인성 활동의 이해

활동 2 진공 방전관을 이용한 선 스펙트럼의 관찰

목표

- 여러 기체의 선 스펙트럼을 관찰하고, 그 차이점을 찾아낸다.

원리

- 원소는 종류에 따라서 방출되는 빛의 파장, 즉 선 스펙트럼의 위치가 다르다. 여러 가지 종류의 원소의 스펙트럼을 관찰하면 다양한 스펙트럼 선을 관찰할 수 있다.

과정

1. 형광등의 스펙트럼을 분광기로 관찰한다.
2. 방전관에서 방출되는 빛을 분광기로 관찰해 본다.
3. 방전관의 종류를 바꾸어 본다.
4. 방전관에서 관찰한 스펙트럼의 분포가 교과서 27쪽 그림 18의 선 스펙트럼 사진과 일치하는 것이 있는지 비교해본다.

정리

- 스펙트럼 선의 위치는 원소가 다를 경우 그 분포가 달라진다. 스펙트럼 선의 위치가 여러 개일 경우 같은 위치에서 보이는 선이 있을 수 있지만, 선의 분포는 원소의 종류에 따라 각각 달라진다.

결론

- 원소마다 선 스펙트럼이 나타나는 위치가 모두 다르기 때문에 별의 스펙트럼을 분석하면 별의 온도, 나이, 속도, 구성 성분 등 많은 정보를 알아낼 수 있다. 그러므로 천문학에서는 스펙트럼을 연구하는 분광학의 역할이 중요하다.

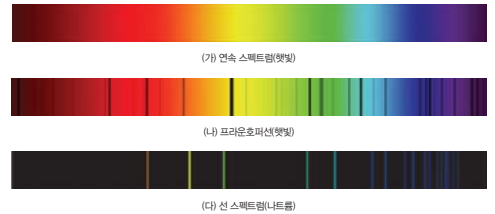
프라운호퍼(Fraunhofer, J., 1787~1826)
분광기를 이용하여 빛의 파장을 측정하고, 태양 빛의 흡수 스펙트럼을 발견하였다.

키르히호프(Kirchhoff, G. R., 1824~1887)와 본젠(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 본젠은 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.

☆☆ | 보충 자료 |

● 프라운호퍼



▲ 프라운호퍼

요제프 폰 프라운호퍼(Joseph von Fraunhofer, 1787~1826)는 독일의 물리학자로, 광학 기계를 제작하고 광학과 수학을 공부하여 태양을 비롯한 별들의 스펙트럼을 연구하였다.

여러 가지 유리의 굴절률을 연구하던 중 나트륨 스펙트럼

D를 발견하였으며, 1814년 태양의 스펙트럼에서 324개의 검은 선을 발견하였다. 이 선을 '프라운호퍼 선'이라고 한다. 또한, 처음으로 회절 현상을 연구하여 빛의 파장을 계산해 냈다.



▲ 태양의 프라운호퍼 선

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



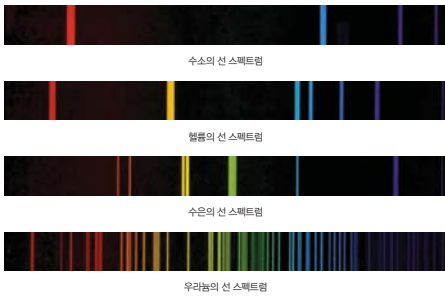
(가) 형광등 빛 관찰

(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?
- 주의·인상** 형광등과 각 방전관 내부에 들어 있는 기체가 무엇인지 그림 18의 선 스펙트럼과 비교해 보고 예측해 보자.



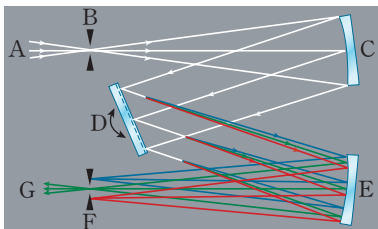
베레 토의 시대평의 의견을 잘 듣고 실험 기구 사용 시 서로 양보 하여 실험에 임하자.

▲ 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.

● 분광기

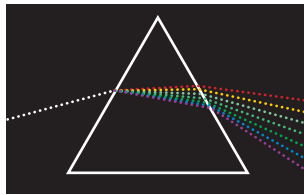
분광기는 전자기파 스펙트럼에서 특정 부분의 빛의 특성을 조사하는 기구로, 흔히 물질을 확인하기 위한 분광 분석에 사용된다. 측정 변인은 보통 빛의 세기이지만 편광을 측정할 때도 있으며, 독립 변인은 일반적으로 빛의 파장 또는 파장과 상호 관계가 있는 파수 · 전자볼트와 같은 광자 에너지의 직접적 단위이다.



▲ 분광기의 모식도

분광기는 분광선을 만들어내고 그 파장과 세기를 측정할 때 사용한다. 분광기는 감마선, X선에서 시작하여 원적외선까지의 넓은 파장에서 작동되는 기구를 말하며, 가시광선 근처에 영역이 한정된 경우에는 분광 광도계를 사용한다.

● 분광학



▲ 삼각형 프리즘에 의한 빛의 분산

분광학은 원래 파장(λ)에 따른 빛과 물질 간의 상호 작용을 연구하는 학문이었다. 과거에는 주로 프리즘 등을 이용하여 파장별로 분산된 가시광선을 관찰하는 것을 의미

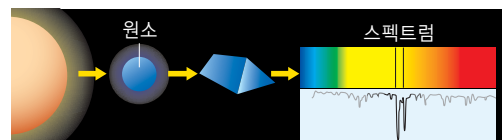
했다. 이후에 이 개념은 확장되어 파장이나 주파수(ν)에 따른 어떤 양을 측정하는 것을 뜻하게 되었다. 따라서 입자 복사와의 상호 작용, 또는 주파수가 변하는 전자기장에 대한 반응을 연구하는 것도 분광학이라고 불린다. 뿐만아니라 광자의 $E=h\nu$ 의 관계에 따라 파장이나 주파수 대신 에너지(E)를 변수로 사용하는 것도 포함하게 되었다. 이때 파장이나 주파수의 함수로 주어지는 반응값을 도표로 나타낸 것을 스펙트럼이라고 한다.

분광학은 이러한 반응값을 측정하는 것이며, 이러한 측정을 위해 사용하는 장치가 분광계 또는 분광 사진이다. 분광계라는 용어는 원래 분광학이 처음 시작된 광학 분야에서 유래한 것이다.

분광학은 물리와 분석 화학 분야에 적용되는데, 물질에서 방출되거나 물질에 흡수되는 스펙트럼을 분석하여 물질을 식별한다. 또한, 분광학은 천문학이나 원격 센서에도 중요하게 사용된다. 대부분의 대형 망원경에는 분광계가 설치되어 있으며, 천체의 화학적 조성과 물리학적 특성을 측정하거나 스펙트럼 선의 도플러 이동을 통해 천체의 속도를 측정하는 데 사용된다.

● 흡수 스펙트럼

물질의 흡수 스펙트럼(Absorption spectrum)은 주파수 영역의 물질에 의해 흡수된 전자기 복사의 일부이다. 이 흡수 스펙트럼은 방출 스펙트럼과는 정반대 현상이며, 모든 화학적인 요소들은 원자 궤도에서 에너지 준위 사이의 차이와 상응하는 몇몇의 특정한 파장에 흡수선을 가진다. 따라서 흡수 스펙트럼은 가스나 액체 안의 화학적 원소들의 종류를 확인하는 데 이용될 수 있다. 이 방법은 직접적으로 측정할 수 없는 별, 그리고 그 밖의 가스로 구성된 물체 내부의 화학적 원소의 존재를 추론하는 데 이용된다.



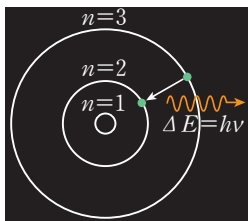
▲ 스펙트럼의 원리

☆ | 보충 자료 |

● 보어

닐스 헨리크 다비드 보어(Niels Henrik David Bohr, 1885~1962)는 원자 구조의 이해와 양자 역학의 성립에 기여한 덴마크의 물리학자로서, 훗날 이 업적으로 1922년에 노벨 물리학상을 수상했다. 보어는 코펜하겐에 있는 그의 연구소에서 많은 물리학자들과 함께 공동으로 일하였으며, 맨해튼 프로젝트에 참여하기도 하였다. 보어의 아들인 아계 닐스 보어는 그의 아버지처럼 세계적인 물리학자가 되었고, 그 또한 1975년에 노벨 물리학상을 수상했다. 보어는 20세기에 가장 영향력 있는 물리학자 중 한 명으로 일컬어진다.

● 보어의 원자 모형



▲ 보어의 원자 껍질

원자 물리학에서 보어 모형은 원자의 구조를 마치 태양계처럼 양전하를 띤 원자핵 주위를 전자들이 원형 궤도를 따라 돌고 있는 것으로 묘사한다. 태양계에서 태양이 중력으로 행성들을 끌어당기듯, 보어 모형의 원자핵은 전자기력으로 전자들을 끌어당긴다. 이는 과거의 건포도 푸딩 모형(1904년)이나 토성 모형(1904년) 및 러더포드 모형(1911년)보다 발전한 것이었다. 보어 모형은 러더포드 모형을 양자물리학에 근거하여 수정한 것이므로, 많은 책에서 이 둘을 합쳐서 러더포드-보어 모형이라고 부르기도 한다. 보어가 1913년에 도입한 보어 모형은 수소 원자의 방출선에 대한 리드베리 공식을 설명하는 데 성공하면서 과학계에서 지지를 얻었다. 그때까지 리드베리 공식은 실험적으로는 성립한다는 것이 알려져 있었지만 그 이유에 대해서는 설명할 방법이 없었다.

보어 모형은 나중에 양자 역학이 발전하면서 보다 정확한 모형으로 대체되었지만, 간단하고 특수한 경우에 대해서는 정확한 결과를 준다는 장점으로 양자 역학을 처음 배우는 학생들에게 널리 가르쳐지고 있다. 한편, 아더 에리히 하스는 1910년에 보어 모형과 유사한 모형을 제시했지만 널리 알려지지 않았다.

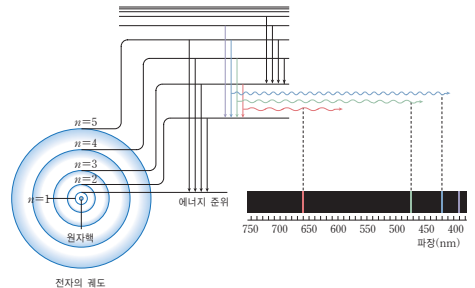
3 | 우주 배경 복사 |

물리학의 우주론에서 우주 배경 복사(cosmic microwave background radiation, CMB, CMBR, CBR, MBR, 또는 잔재 복사(relic radiation))는 우주를 채우고 있는 전자기파의 한 형태이다. 전통적인 광학 망원경으로 관측하면 별과 은

선 스펙트럼의 생성 원자핵 주위를 돌고 있는 전자들은 아무 궤도나 둘 수 있는 것이 아니라 특정하게 정해진 궤도만 둘 수 있다. 이와 같이 어떤 물리량이 띄엄띄엄하게 불연속적인 값을 가질 때, 이를 양자화되어 있다고 한다. 안쪽 궤도일수록 에너지 상태가 낮아 안정되고, 바깥쪽 궤도일수록 에너지 상태가 높아 불안정하므로 전자들은 에너지 상태가 낮은 궤도에서 돌러는 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 좁아지는 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.

하늘 사이의 공간(배경)은 검다. 그러나 전파 망원경으로 관측하면 희미한 배경 열(빛, glow)이 있다.

우주 배경 복사는 모든 방향에 대해서 거의 균일하게 관측되고 어떤 별이나 은하, 천체와도 관련이 되지 않으며, 전파 분포 중 마이크로파 영역에서 가장 강하다. 1940년대에 시작된 연구는 1964년 전파 천문학자들인 아노 펜지어스와 로버트 윌슨에 의해 발견되었고, 이 공로로 그들은 1978년에 노벨 물리학상을 수상하였다.

우주 배경 복사는 대폭발 우주론에 의해 잘 설명된다. 별이나 행성이 생성되기 이전의 초기 우주는 지금보다 작고 더 뜨거웠으며, 플라스마 상태의 뜨거운 수소 기체로부터 나오는 균일한 열(glow, 빛)로 채워져 있었다. 우주가 팽창하면서 플라스마와 우주를 채우고 있던 복사는 점차 식었으며, 우주가 충분히 식었을 때 비로소 안정된 분자들이 형성되었다. 이때부터 원자들이 더 이상 복사열을 흡수할 수 없게 되었고 우주는 투명하게 되었다. 이때가 우주 나이 38만 년이 된 시기이다.

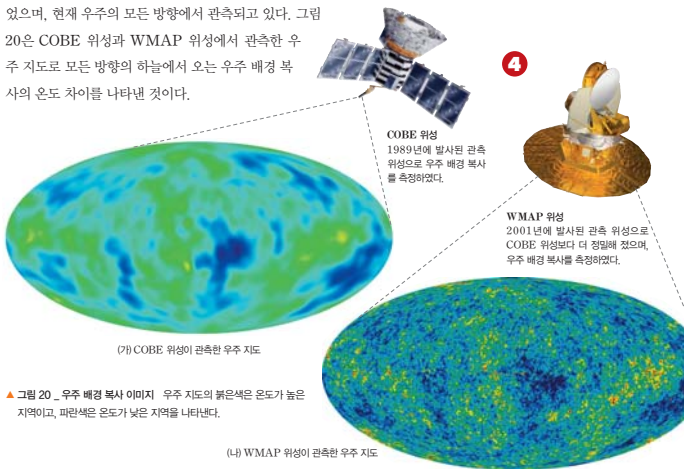
이 시기에 떠돌아 다니던 광자들은 같은 양으로 훨씬 더 넓어

우주 배경 복사 3

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 전자 망원경 안에 비둘기가 만든 보금자리 때문에 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 우주 대폭발에 의해 시작되었다는 대폭발 우주론을 지지하는 결정적 증거로 대다수의 과학자들에게 받아들여지게 되었다.

우주를 구성하는 중요 요소인 빛은 전하를 띤 전자들이나 전자들과는 쉽게 상호 작용하지만, 원자핵이나 전자들이 따로 존재하는 플라즈마 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.



▲ 그림 20 _ 우주 배경 복사 이미지 우주 지도의 붉은색은 온도가 높은 지역이고, 파란색은 온도가 낮은 지역을 나타낸다.

펜지어스(Penzias, A. A., 1933~)와 윌슨(Wilson, R. W., 1936~)
1964년 우리 은하를 둘러싸고 있는 우주 배경 복사를 발견하였으며, 1978년 공동으로 노벨 물리학 상을 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.

6차시 29~30 쪽

도입(5분)	전개(40분)	정리(5분)
우주 배경 복사	원자의 형성	우주의 탄생과 진화 정리

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 미국의 펜지어스와 로버트 윌슨은 위성 통신 실험을 방해하는 잡음을 제거하기 위해 여러 가지 방법을 썼다. 그들은 처음에는 잡음의 원인이 비둘기 배설물 때문일 것으로도 생각하였다. 그러나 그들이 발견한 잡음은 우주에서 볼 수 있는 최초의 빛이었다. 이러한 이야기를 하며 학생들의 흥미를 유발한다.

★ | 지도상의 유의점 |

우주 배경 복사와 우주의 원자에 대한 내용은 우주 탄생 초기의 우주 모습에 대한 내용이다. 내용을 지나치게 많이 언급하기 보다는 대폭발과 인플레이션으로 여러 가지 물질들이 생성되었음을 위주로 설명하도록 한다.

★ | 보충 자료 |

- 우주 배경 복사는 어디에서 왔을까?
초기 우주에서 복사는 대폭발 이후 약 30만 년이 될 때까지 물질과 연결되어 있었다. 그리고 원자가 형성될 때 복사는 물질과 분리되어 우주로 퍼져나갔다. 우주가 팽창함에 따라 복사는 냉각되었고 파장이 길어져 현재는 전자기 스펙트럼의 마이크로파 영역에 있게 된 것이다. 오늘날 우리는 그 복사가 우주 공간의 모든 방향으로부터 오는 것을 관측할 수 있으며, 우주의 어느 방향에서든 복사의 세기는 같다. 우주 배경 복사는 우리가 우주 공간으로부터 검출할 수 있는 가장 오래된 신호이다.
이러한 우주 배경 복사는 사실상 대폭발에 대한 산울림과 같은 것이라고 할 수 있다. 그렇다면 이러한 복사가 대폭발로부터 발생한 것임을 어떻게 확신할 수 있을까? 여기에는 한 가지 방법이 있다. 그것은 우주 배경 복사가 열복사, 즉 흑체 복사로 복사의 세기가 파장에 따라 일정한 방식으로 변해야 한다는 것이다. 만일 펜지어스와 윌슨에 의해 탐지된 복사의 스펙트럼이 흑체 복사의 형태를 갖는다면 그것은 대폭발로부터 나온 것이라고 생각할 수 있다.

진 우주를 채우게 되면서 더 희미해지고 에너지가 낮아졌다. 이 때문에 우주 배경 복사는 잔재 복사라고 불리기도 한다.

4 | 우주 배경 복사의 관측 |

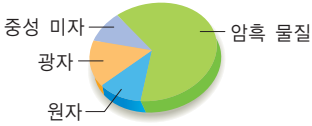
COBE 위성이 관측한 우주 배경 복사는 2.7 K에 해당하는 흑체 복사와 완벽하게 일치한다. 따라서 우주 배경 복사는 대폭발의 증거라고 할 수 있다. 한편, COBE 위성이 관측한 우주 지도에서는 비균질성이 포착되었다. 따라서 우주는 초기에 밀집된 부분과 그렇지 않은 부분이 있었고, 밀집된 부분에서 은하들이 형성되었다고 생각할 수 있다.

물음 어떤 원소의 선 스펙트럼이 나타나는 위치는 흡수 스펙트럼이 나타나는 위치와 일치한다.

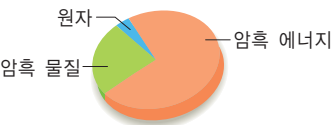
원자 내에 존재하는 전자의 에너지 준위가 낮아지면 에너지 준위의 차이만큼 에너지를 빛의 형태로 방출하여 선 스펙트럼이 나타나고, 에너지 준위가 높아지면 에너지 준위의 차이만큼 에너지를 흡수하여 흡수 스펙트럼이 나타난다.

☆ | 보충 자료 |

● 암흑 물질



▲ 우주의 나이 38만 년 시절



▲ 현재

우주는 가시 물질과 암흑 물질로 이루어져 있다. 가시 물질은 관측이 가능한 별, 은하 등을 말하며, 암흑 물질은 직접 관측되지 않지만 가시 물질에 대한 중력 효과로 미루어 존재할 것으로 믿어지는 물질을 말한다. 암흑 물질은 우주 질량의 90% 이상을 차지하는 것으로 알려져 있으며, 블랙홀도 암흑 물질의 일종이라고 볼 수 있다.

암흑 물질의 양이 많을수록 우주의 밀도는 현재의 계산 값보다 커진다. 암흑 물질은 전자기파를 복사하지 않고 오직 중력적으로만 관측되는 물질이다. 암흑 물질의 존재는 은하 등의 총 질량을 계산할 때 전자기파로 계산한 값이 중력적 효과로 계산한 값보다 현저히 작다는 사실로부터 유추할 수 있다. 암흑 물질의 존재는 대폭발 우주론 표준 모형의 핵심 요소이다.

암흑 물질의 존재는 지구 상의 우리 존재와는 무관한 듯 보인다. 그러나 암흑 물질의 존재 유무는 우주의 최종 운명을 결정지을 수 있다. 우리는 멀어지는 은하에서 오는 빛의 적색 편이를 통해 우주가 현재 팽창하고 있음을 안다. 우리가 빛으로 관찰할 수 있는 물질의 양은 이러한 팽창을 멈출만한 충분한 중력이 없으며, 그러한 팽창은 암흑 물질이 없다면 영원히 계속될 것이다. 이론적으로 우주에 암흑 물질이 충분히 있다면 우주는 팽창을 멈추거나 수축할 수도 있다. 그러나 실제로 우주의 팽창이나 수축 여부는 암흑 물질과는 다른 암흑 에너지에 의해 결정될 것이라는 것이 일반적인 생각이다.

암흑 물질에 대한 대부분의 증거는 은하 집단들의 연구로부터 얻어진다. 이 증거는 대부분 정적이고 상당히 균일하게 나타나므로 이론적으로 총 운동 에너지는 은하들을 묶으려는 총 중력 에너지의 절반이 되어야 한다. 그러나 실험적으로는 그 규모의 몇 배로 훨씬 더 많이 방출되고 있음이 발견되었으며, 이는 보이는 물질이 그 집단에서 극히 일부분일 것이라는 추측이 이를 가장 잘 설명하는 방법으로 남는다. 중력 이론과 새로운 전산 분석들로 천문학자들은 현재 암흑 물질이 어디에 위치할 것인가를 풀 수 있게 되었다. 그 결과 암흑 물질과 은하들이 정확하게 같은 방식으로 운집되었을 것으로 예상된다.

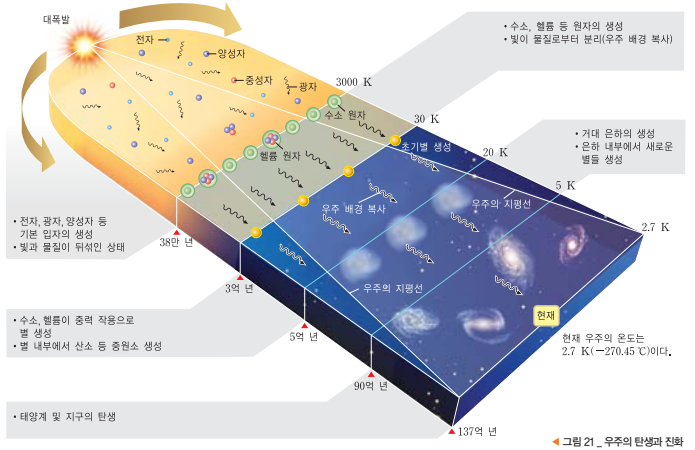
원자의 생성

절대 온도

물질의 특이성에 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 냉각되었고, 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.



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.

확인하기

- 수소**
양성자 하나로 이루어진 수소 원자핵이 우주에서 가장 먼저 만들어졌다.
- 백열등의 스펙트럼을 관찰하면 태양 빛과 같이 연속 스펙트럼이 관찰된다. 태양 빛이나 백열등의 빛은 고온의 백색광이다.**
- 대폭발 우주론에 따르면 우주는 매우 뜨겁고 작은 한 점에서 대폭발로 시작되었으며, 이후 우주는 점점 팽창하고 온도는 낮아졌다고 한다. 우주 배경 복사는 대폭발 우주론의 증거이다.**
- 무거운 원자핵을 생성하기 위해서는 매우 높은 온도가 필요하다. 우주는 팽창하면서 점점 식어가고 있으므로 최초로 수소와 헬륨 원자핵, 소량의 리튬과 베릴륨 원자가 만들어진 후 더 무거운 원자핵은 만들어지지 못했다.**

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

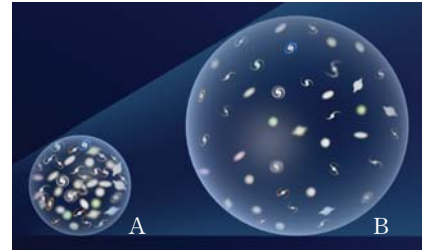
④ ㄴ, ㄷ

⑤ ㄷ, ㄹ

⑤ | 허블 상수는 외부 은하의 후퇴 속도를 그 은하까지의 거리로 나눈 값이다. 외부 은하의 후퇴 속도는 은하의 적색 편이를 관찰하여 구할 수 있다.

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.



우주가 팽창함에 따라 우주의 평균 밀도는 작아지고 우주 배경 복사 온도는 낮아지지만 우주 전체의 질량은 변하지 않는다.

대폭발 우주론

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

도플러 효과에 의하면 파동을 일으키는 물체가 관측자로부터 멀어지면 파장이 길어진다. 그런데 외부 은하에서 관측한 스펙트럼이 적색으로 치우친 것으로부터 파장이 길어졌음을 알 수 있으므로 외부 은하가 점점 멀어진다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 적색 편이 현상은 우주가 팽창한다는 증거가 된다.

스펙트럼

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

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

쿼크 → 양성자 → 중수소 원자핵 → 헬륨 원자핵 → 리튬 원자핵 → 수소 원자 | 대폭발 이후 6개의 쿼크와 6개의 경입자가 생성되었고, 위(u) 쿼크와 아래(d) 쿼크가 결합하여 양성자와 중성자를 형성하였다. 우주가 식어감에 따라 양성자와 중성자가 결합하여 중수소 원자핵을 만들고, 이 중수소와 양성자가 결합하여 헬륨 원자핵을 형성하였다. 그리고 더 무거운 리튬 원자핵도 만들어졌다. 수십만 년 후 양성자(수소 원자핵)와 전자가 결합하여 중성인 수소 원자를 형성하였다.

우주 배경 복사

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

현재 우주에 존재하는 수소와 헬륨의 질량비는 3:1인데, 항성에서의 핵융합에 의한 것보다 헬륨이 훨씬 많이 존재한다. 이것은 대폭발 우주론에 의해 수소와 헬륨이 형성되는 과정으로부터 설명될 수 있으므로 대폭발 우주론의 증거가 된다.

☆ | 중단원의 지도 방향 |

1. 우주에 분포하는 원소가 어떻게 만들어지게 되었는지에 초점을 맞추어 지도한다.
2. 원소가 만들어진 과정을 우주 탄생 과정에서 만들어진 원소, 별의 진화 과정 중 별의 중심핵에서 핵융합 반응을 통해 만들어진 원소, 별의 죽음을 통해서 만들어진 원소로 구분하여 지도한다.
3. 별의 진화 과정을 통해 우주에 분포하는 물질이 순환하고 있음을 알게 한다.
4. 생명체를 이루는 원소들이 우주 물질의 순환 과정에서 생겨난 것임을 알게 한다.

?

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

- 지구를 이루는 원소: 철, 산소, 규소, 알루미늄, 칼슘 등
- 우리 몸을 이루는 원소: 산소, 탄소, 수소, 질소, 철 등

📖 주요 과학 용어 -----

- 성간 물질(星 間 物 質, 星 間 物 質, interstellar matter)
- 주계열성(主 序 星, 系 列 星, main sequence)
- 적색 거성(赤 色 巨 星, 色 紅 星, red giant star)
- 초거성(超 巨 星, 超 巨 星, supergiant star)
- 행성상 성운(行 星 雲, 星 雲, planetary nebula)
- 은하단(銀 河 團, 星 雲 團, cluster of galaxies)
- 암흑 물질(暗 흑 物 質, 暗 흑 物 質, dark matter)
- 공유 결합(共 有 結 合, 有 共 有 結 合, covalent bond)
- 원자가 전자(原 子 價 電 子, 子 價 電 子, valence electron)

📖 참고 자료 -----

- ANDREW FRAKNOI 외, 우주로의 여행 I · II, 청범 출판사, 1998
- 김충섭, 가모브가 들려주는 원소의 기원 이야기, 자음과 모음, 2006
- 박창범, 인간과 우주, 가람 기획, 1995
- 사이언스 북스, 우주, 2005

☆ | 보충 자료 |

● 생명체를 이루는 원소

우주를 이루는 물질의 약 70~75%는 수소, 약 25~30%는 헬륨, 약 0.01~3%는 중원소로 이루어졌다. 그리고 중원소 중에는 산소, 탄소, 질소가 가장 많다.

생명체를 이루는 가장 기본적인 원소 중의 하나가 탄소이다.

I-2. 우주의 진화



▲ 그림 22_ 스피르로 은하(NGC 4594) 차체자리에서 볼 수 있는 은하로, 핵우 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 우주에서 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.

탄소는 다른 4개의 원자들과 공유 결합을 할 수 있는 4가 원소이며, 다른 탄소 원자들과 사슬 구조를 형성하기에 적합하다. 이러한 특성은 무제한적으로 다양한 분자 구성을 이룰 수 있는 골격으로서의 역할을 하게 한다. 따라서 탄소를 포함한 분자는 생물체의 근간을 형성하게 된다.

● 대폭발로부터 형성된 수소와 헬륨

대폭발 이후 급격히 식어가던 우주는 1분도 되지 않아서 양성자(p)와 중성자(n)를 생성하였다. 그리고 중성자와 양성자는 서로 결합하여 보다 더 안정한 헬륨 핵 합성을 시작하였다. 대폭발 후 3분이 지나자 우주 온도는 3억 K로 낮아졌고, 그동안 우주에 존재하는 헬륨과 중수소 대부분이 형성되었다. 우주를 구성하는 물질 중 약 75%는 수소(양성자)이고 나머지 25%는 헬륨이 되었다. 이후에도 이 비율은 거의 고정되었는데, 이때부터 헬륨은 안정되어 합성을 통해 다른 원자로 변하지 않고 계속 남아 있었기 때문이다. 오늘날 우주에는 약 25%의 헬륨이 존재하는 것으로 확인되는데, 이것은 대폭발 우주론의 중요한 근거가 된다.

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.

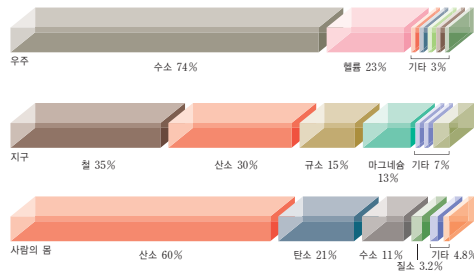
그렇다면 대폭발에 의해 우주가 생성된 직후 만들어진 수소와 헬륨 이외의 원소들은 어떻게 만들어졌을까?



▲ 그림 23_ 연금술사

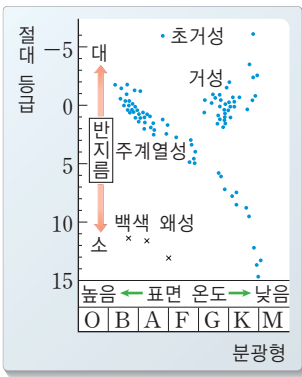
자연계에 존재하는 여러 가지 원소

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

H-R도



▲ H-R도

H-R도는 천문학에서 가장 중요한 그래프로 덴마크의 천문학자인 헤르츠스프룽과 미국의 천문학자 러셀의 이름을 딴 것이다. 별의 광도, 온도와 반지름 사이의 관계를 나타내는 이 그래프는 별이 일생 동안 어떤 상태를 거치는지를 보여준다.

서로 다른 무리에 속하는 별들은 각기 다른 진화 단계를 나타낸다. 어떤 무리에도 속하지 않는 별들은 그 지속 시간이 짧아서 H-R도 상에서 그 수가 적다.

헤르츠스프룽과 러셀은 각각 독자적으로 연구하여 별의 색깔과 분광형을 이용하여 별의 온도를 알 수 있음을 발견하였다. 별의 온도와 광도 관계를 그래프를 그렸을 때 별들은 무작위로 분

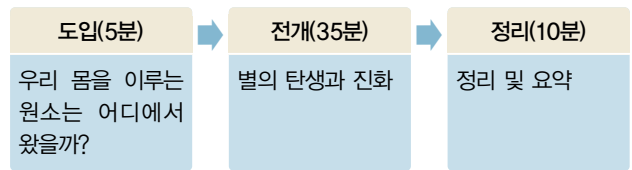
1. 별의 진화와 원소의 생성

★ | 소단원의 학습 목표 |

1. 별이 진화하는 과정을 설명할 수 있다.
2. 별이 진화하는 과정 속에서 무거운 원소가 만들어지는 과정을 설명할 수 있다.

🕒 | 7차시 |

33~36쪽



★ | 지도상의 유의점 |

1. 우리 몸을 이루는 원소들은 어떻게 만들어진 것인지 그 근원을 생각해보도록 유도한다.
2. 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 화학 반응과 핵융합 반응이 어떤 차이가 있는지 알게 한다.
3. 연금술사의 시도가 왜 불가능했던 것인지 알게 한다.

포하는 것이 아니라 몇 개의 집단으로 구분됨을 알게 되었다. 대부분의 별들은 H-R도에서 주계열성에 분포한다. 별들의 반지름은 오른쪽 아래에서 대각선을 따라 왼쪽 위로 갈수록 커진다. 주계열은 가장 안정된 상태의 별이며, 원시별들이 주계열을 향해 진화할 때 반지름은 작아지고 온도는 상승한다. 주계열성으로 대부분의 수명을 보낸 후 별들은 반지름이 커지고 온도가 하강하면서 H-R도의 오른쪽으로 이동해 적색 거성이나 초거성으로 진화한다. 백색 왜성은 반지름이 작은 반면 온도가 높아서 H-R도의 왼쪽 아래에 분포한다.

● 광도

별의 광도는 매초 방출하는 총에너지로 정의되는 별의 밝기이다. 절대 등급은 별의 고유 밝기이므로 절대 등급으로부터 별의 고유 광도를 구할 수 있는데, 일반적으로 별의 광도는 태양 광도의 배수로 나타낸다. 별들이 동일한 화학 조성으로 이루어졌다면 광도는 질량에만 좌우된다. 안정한 상태의 주계열성들은 일반적으로 질량-광도 관계를 따른다.

1 | 성간 물질 |

별들 사이의 공간에 있는 성간 물질의 주성분은 수소 기체(전리 상태의 양성자 포함)와 미세 고체 입자들이다. 이들은 은하 전체 질량의 약 10%를 차지하며 은하 원반에 밀집되어 있다. 성간 물질이 불균질하게 흩어져 있는 공간에서 특히 밀도가 높은 성간운들이 있는데, 이곳에서 별들이 새로 태어난다.

성간 물질의 온도 역시 다양하다. 전체 성간 물질 질량의 1% 정도는 매우 작은 고체 입자들로 이루어져 있는데, 이들은 기체와 잘 섞여서 성간 전역에 분포한다. 지름이 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 인 이 고체 입자들은 규산염이나 철과 같은 물질의 핵, 물과 암모니아 성분의 덩어리로 이루어져 있다.

2 | 원시별에서 주계열성으로 |

원시별이 형성되는 동안 주위의 성간 물질 때문에 가시광선은 차단되지만 적외선 영역은 관측 가능하다. 따라서 적외선 영역을 관측해 보면 성간 티끌 구름 내에서 새로운 별이 만들어지고 있음을 알 수 있다.

원시별은 초기에 반지름이 크고 온도가 낮다. 바깥쪽 물질이 중심으로 떨어지면서 발생하는 중력 수축 에너지는 초기에 적외선의 형태로 방출된다. 이때 내부 기체에 의한 압력은 아직 낮은 상태이고, 바깥쪽은 중력의 작용으로 빠르게 수축한다. 시간이 지나면서 수축이 계속되어 밀도가 증가하면 내부에서 발생하는 열이 바깥쪽으로 빠져나가지 못하여 중심의 온도는 상승한다.

중심의 온도가 대략 $1,000$ 만 $^{\circ}\text{C}$ 정도가 되면 증가된 내부 압력과 중력이 평형을 이루면서 더 이상 크기의 변화가 일어나지 않는다. 이때 중심에서는 수소 핵융합에 의해 헬륨이 생성되며, 원시별은 주계열성이라고 하는 안정된 상태에 도달한다.

3 | 주계열 |

별의 중심핵에서 수소 핵융합이 시작할 때 별은 주계열성이 된다. 주계열성은 중심부의 핵반응으로 생긴 내부 압력이 모든 물질을 중심부로 압축시키려는 중력과 균형을 이루므로 안정되어 일정한 크기를 가지게 된다.

별은 일생의 대부분을 주계열에서 보낸다. 별이 주계열에 머무는 시간은 별의 질량에 따라 다르다. 별의 질량이 클수록 중심핵의 온도와 밀도가 더 높으므로 수소가 헬륨으로 더 빠르게 전환될 것이고 주계열에 있는 시간도 짧아질 것이다.

태양은 비교적 크기가 작은 주계열성으로 약 100억 년 동안을 주계열 단계에서 보낸다. 그리고 주계열성은 질량-광도 관

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 우주 탄생 이후 별이 태어나 진화하고 소멸해 가는 과정에서 만들어졌다.

1 | 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 원시별이라고 한다. 2

▼ 그림 25. 별과 항성계의 탄생



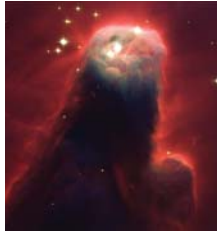
계를 만족시키므로, 주계열성의 절대 등급이나 광도를 알면 질량을 구할 수 있다.

4 | 별의 수명 |

대부분 수소로 이루어진 성간 물질에서 태어난 별은 수소를 연료로 사용하며 일생을 살아가기 때문에 일생의 수명은 연료로 사용할 수 있는 질량에 비례한다. 그리고 별의 중심부에서 핵융합 반응이 빠르게 일어날수록 연료의 소모가 커져 수명이 짧아지게 된다. 이때 별의 수명은 대체로 그 별의 초기 질량의 제공에 반비례한다. 따라서 질량이 큰 별일수록 더 빨리 일생을 마치게 된다. 별의 진화 이론을 적용하여 살펴본 별들의 수명은 다음 표와 같다.

질량(태양=1)	수명(년)	질량(태양=1)	수명(년)
100	3×10^6	3	3×10^8
60	4×10^6	1.5	2×10^9
30	6×10^6	1	1×10^{10}
10	2×10^7	0.5	2×10^{10}
5	7×10^7	0.1	$\sim 10^{12}$

3 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.



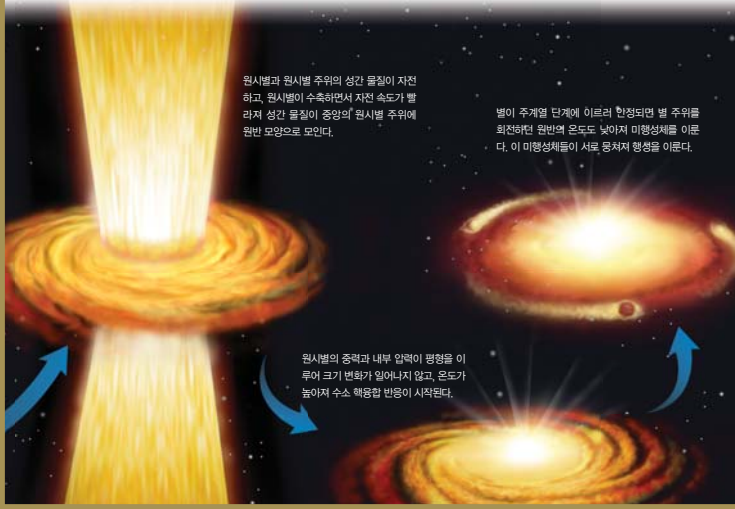
▲ 그림 26_ 별이 만들어지는 순간(왼쪽 상단)

4 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.

연결 학습

태양계의 형성 ▶ 62쪽



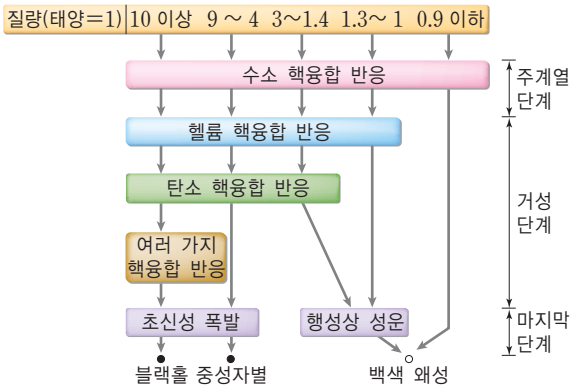
원시별과 원시별 주위의 상간 물질이 자전하고, 원시별이 수축하면서 자전 속도가 빨라져 상간 물질이 중앙의 원시별 주위에 원반 모양으로 모인다.

별이 주계열 단계에 이르러 안정되면 별 주위를 회전하던 원반의 온도가 낮아져 미행성체를 이룬다. 이 미행성체들이 서로 뭉쳐서 행성을 이룬다.

원시별의 중력과 내부 압력이 평형을 이루어 크기 변화가 일어나지 않고 온도가 높아져 수소 핵융합 반응이 시작된다.

보충 자료

● 질량에 따른 별의 진화



● 중력 수축 에너지

두 입자 m_1, m_2 사이에서 입자 m_1 의 중력 수축 에너지는 입자 m_2 로부터 거리 r_{12} 에 있는 입자 m_1 을 무한히 먼 거리로 이동시키는데 하는 일(W)로 정의된다.

$$W = -\frac{Gm_1 m_2}{r_{12}}$$

태양이 거대한 가스의 구에서 중력 수축의 과정을 거쳐 현재의 크기(R)에 이르렀다면, 중력 수축으로 발생하는 중력 수축 에너지(ΔE_g)는 다음과 같다.

$$\Delta E_g \approx \frac{1}{2} \frac{GM^2}{R_0} \quad (M=2 \times 10^{33} \text{g}, R_0=7 \times 10^{10} \text{cm})$$

직접 태양의 값을 대입하였을 때의 중력 수축 에너지는 1.9×10^{48} erg로 계산된다. 이 중력 에너지가 현재의 태양의 광도(4×10^{33} erg/s)와 같은 비율로 계속 방출된다면 ΔE_g 를 모두 방출하는데 걸리는 시간은 약 1.5×10^7 년이다. 이 시간은 실제 태양 나이(약 46억 년)의 $\frac{1}{300}$ 정도이므로, 태양 빛의 근원은 중력 수축 에너지 이외에 또다른 것이 있어야 한다.

● 핵융합 반응과 핵융합 에너지

4개의 수소 원자핵이 결합하여 1개의 헬륨 원자핵이 만들어질 때마다 질량 결손(Δm)이 생긴다.

$$m_H = 1.6864 \times 10^{-24} \text{g}, m_{He} = 6.6954 \times 10^{-24} \text{g}$$

$$\Delta m = 4 \times m_H - m_{He} = 5.02 \times 10^{-26} \text{g}$$

에너지-질량 등가 법칙에 의하면 핵융합 과정에서 결손된 질량은 4.5×10^{-5} erg의 에너지로 전환되어 방출된다.

$$E = (\Delta m) \cdot c^2 = 4.518 \times 10^{-5} \text{erg}$$

태양 전체 질량의 약 71%는 수소, 약 27%는 헬륨, 약 2%는 헬륨보다 무거운 원소(중원소)로 이루어져 있다. 그리고 수소 핵융합 반응이 일어나는 중심부의 질량은 전체의 약 25%에 해당한다. 중심부 핵의 질량이 $0.25M_\odot$ 이라고 보았을 때, 중심부 핵의 수소 질량($M_c(H)$)은 $0.25 \times 0.71M_\odot$ 이고, 핵 내에서 만들어질 수 있는 헬륨 핵의 총 개수를 $N(He)$ 라고 할 때,

$$N(He) = \frac{(0.25 \times 0.71)M_\odot}{4 \times (1.6864 \times 10^{-24})} = \frac{M_c(He)}{4m(H)} = 5.2627 \times 10^{55} \text{개} \quad (M_\odot = 2 \times 10^{33} \text{g})$$

이 과정에서 방출되는 총 핵융합 에너지($=\epsilon$)는 핵반응 효율을 60%로 할 때, $\epsilon = N(He) \times 0.6 \times E = 1.427 \times 10^{51}$ erg로 계산된다.

이 에너지를 현재 태양의 에너지 방출률(L_\odot)로 소모한다면 전체 핵에너지를 모두 소모하는데 걸리는 시간(T)는

$$T = \frac{\epsilon}{L_\odot} = \frac{1.427 \times 10^{51}}{4 \times 10^{33}} = 3.568 \times 10^{17} \text{초} = 1.13 \times 10^{10} \text{년}$$

이 시간을 현재의 태양 나이인 약 46억 년과 비교하면 태양은 앞으로 지나온 시간만큼 더 빛을 내는 천체로써 존재할 수 있음을 알 수 있다.

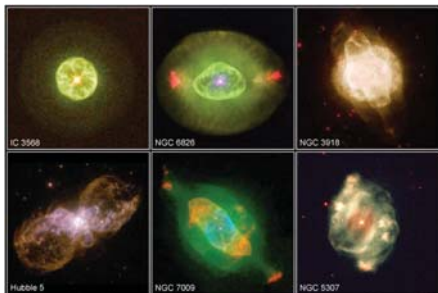
5 | 헬륨 연소 |

헬륨 중심핵이 형성되고 중심핵의 온도가 1억 K 이상에 이르면, 헬륨은 핵융합 반응을 통해 탄소를 만든다. 질량이 태양 질량의 2~3배인 별은 헬륨 섬광이라는 폭발적인 과정을 통해 헬륨 연소를 시작한다. 수소 연소가 끝난 다음 중심핵이 수축하면 헬륨의 전자 간 척력이 수축을 막는 압력으로 작용해 중심핵은 일시적으로 수축을 멈추면서 일종의 유희 상태인 '축퇴 상태'에 이른다. 온도는 계속 상승하지만 축퇴된 중심핵은 팽창도 냉각도 하지 않는다. 그러나 온도가 일정한 임계값을 넘으면 헬륨의 연소 속도가 빨라지면서 중심핵에서 축퇴 전자들을 제거하는 '섬광'을 일으키며 본격적인 헬륨 핵융합이 시작된다. 이때 질량이 더 큰 별들은 축퇴 전에 헬륨 핵융합이 시작될 수 있을 정도로 중심 온도가 상승한다.

6 | 백색 왜성 |

질량이 태양 질량의 8배 이하인 별은 핵융합 반응으로 모든 연료를 소모하면 중력을 상쇄할 만한 충분한 내부 압력을 유지할 수 없어서 붕괴한다. 따라서 총 질량의 약 90%까지를 항성 풍으로 방출하면서 행성상 성운을 만든다. 남은 질량이 태양 질량의 1.4배 이하가 되면 그 별은 백색 왜성이 된다. 이 경우 중심핵의 전자들 사이에 작용하는 척력이 더 이상의 붕괴를 막는 축퇴 압력으로 기능한다. 이보다 질량이 큰 별은 지름이 가장 작고 밀도가 가장 큰 값이 될 때까지 붕괴한다. 백색 왜성은 형성 초기에는 10만 °C 정도의 표면 온도를 갖는다. 그러나 수억 년 후에는 식어서 온도가 낮은 흑색 왜성이 된다.

7 | 행성상 성운 |

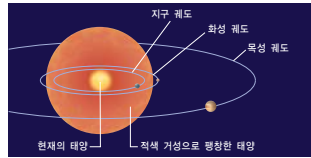


행성상 성운은 저밀도 기체로 이루어져 있는데, 이 물질은 질량이 작은 별들이 적색 거성 단계를 보내면서 방출한 것이다. 행성상 성운의 기체는 죽어가는 별들의 뜨거운 내핵에서 방출된 자외선 복사로 가열되는데, 이 단계는 별의 일생 중 비교적 짧다. 행성상 성운은 성간 매질 속으로 환원되어 새로운 별과 행성

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.



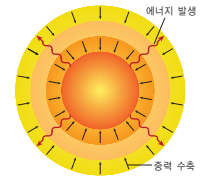
▲ 그림 27. 적색 거성으로 팽창한 태양(상상도) 주계열성이던 태양이 적색 거성이 되면 지구의 화성 공전 궤도 가까이까지 팽창할 것이다.

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 거성이라고 하며, 태양과 같은 질량의 별이 적색 거성이 되어 팽창하면 그 크기는 그림 27과 같이 화성 공전 궤도만큼 커질 것이다.

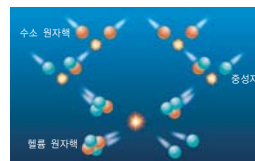
과학 마당 | 별의 에너지원

별의 생성 초기에 성간 물질이 중력에 의해 성간운 내부의 한 지점을 중심으로 모이며 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 발생하는 중심핵 외곽의 수소층을 가열하는 역할을 하기도 한다.

▲ 그림 28. 중력 수축 에너지의 발생



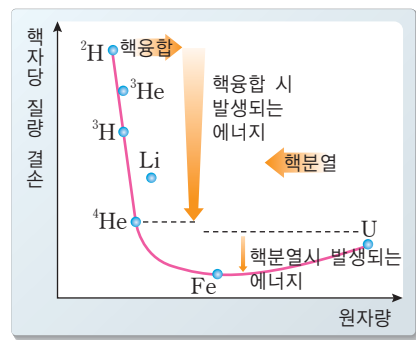
▲ 그림 29. 수소 핵융합 반응

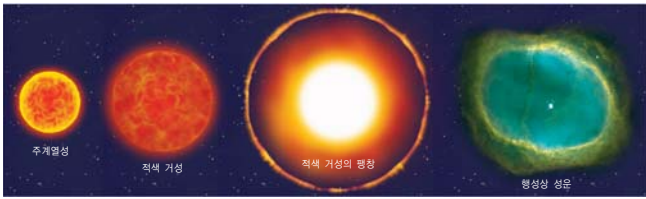
한편, 별이 주계열 단계에 접어들면 중심핵에서 핵융합 반응이 일어난다. 핵융합 반응은 가벼운 원자핵이 합쳐져 무거운 원자핵이 만들어지는 반응이다. 원자핵은 안정하를 가지므로 핵융합 반응이 일어나려면 강한 정전기적 반발력을 이겨 내야 한다. 따라서 핵융합 반응은 매우 높은 압력과 온도에서만 일어난다. 수소 원자핵 4개가 모여 1개의 헬륨 원자핵이 만들어지는 수소 핵융합 반응은 약 1,000만 K의 온도에서, 헬륨 원자핵 3개가 모여 1개의 탄소 원자핵이 만들어지는 헬륨 핵융합 반응은 약 2억 K의 온도에서 일어난다.

의 원료가 되고, 중심 별은 적색 거성의 수축하는 중심핵들로서 이후 백색 왜성으로 진화할 것이다.

8 | 안정한 철의 원자핵 |

원자핵을 변환시키는 방법에는 두 가지가 있다. 핵융합과 핵분열이 그것인데, 이들은 서로 상반되는 과정이다. 핵융합은 수소나 헬륨과 같이 가벼운 원자핵들이 융합하여 보다 안정된 원자핵으로 변환되는 것이고, 핵분열은 우라늄(U)이나 라듐(Ra)과 같이 무거운 원자핵들이 분열하여 보다 안정된 원자핵으로 변환되는 것이다.



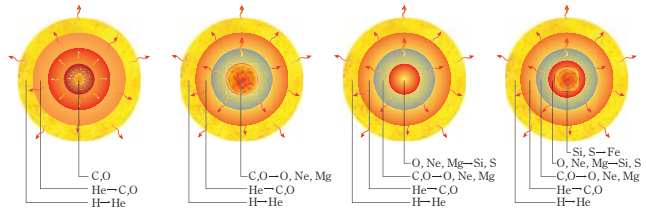


▲ 그림 30_주계열성의 진화 과정

5 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 차레로 가열하므로 별은 다시 팽창한다.

6 이때 중심핵은 계속 수축하여 밀도가 매우 높은 백색 왜성이 된다. 그리고 팽창하는 별의 외곽 물질은 중심핵과 분리되어 우주 공간으로 방출되는데, 중심의 백색 왜성에서 방출되는 에너지 때문에 빛을 내는 행성상 성운으로 관측된다. 7

백색 왜성의 최후 지구 크기 정도로 수축한 백색 왜성은 핵융합 반응을 일으키지 못하므로 계속 수축하여 흑색 왜성이 되어 빛을 내지 않는다.



▲ 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 이르르면 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 차레로 만들어진다. 그러나 이와 같은 연속적인 핵융합 반응은 철이 만들어지면서 멈춘다. 철보다 무거운 원소는 핵융합에 의해 만들어질 수 없기 때문이다. 8

열 핵반응은 모두 안정된 원자핵을 만드는 방향으로 진행된다. 안정된 원자핵은 결합 에너지가 큰 원자핵이다.

핵자 사이에는 강한 핵력이 작용하기 때문에 어느 시점까지는 작은 원자핵이 큰 원자핵으로 융합한다. 그러나 핵자당 결합 에너지는 철 원자핵 이상이 되면 양성자들 사이의 전기적인 반발력이 커지기 때문에 오히려 작아진다. 따라서 항성 내부의 철보다 무거운 원자핵은 붕괴하여 다시 철로 되돌아간다.

8차시 37~38쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
별의 탄생과 진화	별의 죽음과 무거운 원소의 생성	정리 및 요약

지도상의 유의점

1. 대폭발로부터 생성된 원소와 별의 내부에서 핵융합 반응을 통해 생성된 원소는 자연계에 분포하는 원소들 중 일부임을 알게 한다.

2. 별이 죽어가는 과정에서 무거운 원소들이 만들어지고 이 물질들이 우주 공간으로 퍼져나감을 이해하도록 한다.
3. 지구나 생명체를 이루는 원소는 별의 탄생 및 진화, 죽음으로 이어지는 물질의 순환 과정에서 비롯된 것임을 알게 한다.

보충 자료

적색 거성과 초거성

별 중심핵의 수소가 모두 고갈되면 중심핵을 둘러싸고 있는 얇은 구간의 수소가 연소되기 시작한다. 연소되는 수소 껍질은 수소 연료가 소진됨에 따라 점점 바깥쪽으로 이동한다. 복사 에너지가 만들어지는 핵반응 영역이 바깥쪽으로 갈수록 외곽 대기를 가열시키며, 그에 따라 별의 대기는 팽창하고 온도는 낮아진다. 따라서 팽창한 별의 표면 온도는 상대적으로 낮다. 일부 적색 거성들은 광대한 티끌 구름에 가려져 보이지 않는 경우가 있지만, 대부분 크기가 커서 밝게 보인다.

적색 거성의 표면 온도는 약 3,000K이며 지름은 태양 지름의 약 10~100배에 이른다. 적색 거성은 이처럼 크기가 크기 때문에 중력이 외곽 대기층에 큰 영향을 미치지 못해 항성풍이나 행성상 성운의 형태로 엄청난 질량을 외부로 방출한다.

한편, 질량이 매우 큰 별은 적색 거성보다 더 크게 팽창하여 초거성이 된다. 주계열을 떠난 후 중심핵이 수축하면서 온도가 높아지면 헬륨은 탄소와 산소를 만든다. 그러나 헬륨의 핵반응은 수소의 핵반응보다 일찍 끝난다. 질량이 충분히 큰 별들은 새로 생긴 원소들을 다시 핵반응시켜 철까지 만들어 낸다. 초거성 진화 단계의 끝에 이르면 질량이 큰 별은 점점 더 무거운 원소로 구성된 양파 껍질처럼 생긴 층들을 가지게 된다.

초신성

질량이 큰 별들은 초신성 폭발을 일으켜 외곽층을 우주 공간으로 방출한다. 질량이 태양 질량의 10배보다 큰 별의 수소 연소 단계가 끝날 때가 되면 이 별은 결국 철로 이루어진 중심핵을 만들게 될 것이다. 처음에 이 중심핵은 내부 압력에 의해 유지되지만, 중심핵의 질량이 태양 질량의 1.4배(찬드라세카르 한계)보다 크면 별은 붕괴하기 시작하여 대부분 중성자로 이루어진 초고밀도의 중심핵을 형성한다.

초신성 폭발은 내부로 붕괴하던 외피층이 단단한 중심핵과 만나 충돌한 다음 튕겨나와 최대 7,000만 km/h의 속도로 우주 공간으로 분출할 때 일어난다. 이때 엄청난 양의 에너지가 방출되면서 별의 광도가 크게 증가한다.

9 | 중성자별 |

중성자별은 초신성 폭발의 부산물 중 하나이다. 폭발하는 동안 별은 외곽층을 방출해버리고 주로 중성자와 소량의 전자, 양성자로 구성된 밀도가 매우 큰 중심핵만 남긴다. 중성자별은 태양 질량의 0.1~3배 정도의 값을 갖는다. 중성자별이 형성됨에 따라 자기장이 밀집되어 강도가 크게 증가하며, 이때 각운동량은 보존되기 때문에 별의 자전 속도도 빨라진다. 따라서 중성자별은 강한 자기장과 빠른 자전 속도를 지니는 것이 특징이다.

중성자별이 에너지를 잃으면 자전 속도가 느려진다. 한편, 규칙적인 시간 간격을 두고 정해진 방향으로 펄스를 방출하는 중성자별을 펄서라고 한다.

10 | 블랙홀 |

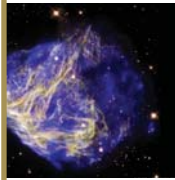
초신성 폭발의 잔해가 태양 질량의 3배 이상이면 그 잔해의 붕괴를 막을 수 없다. 결국 크기가 작아지고 밀도가 극도로 커지면 중력이 커져서 빛마저 탈출할 수 없는 블랙홀이 된다. 블랙홀은 그 주위에 있는 천체들에 미치는 영향을 통해서만 감지될 수 있다. 예를 들어, 블랙홀 너머에 있는 별에서 나온 빛은 블랙홀을 지날 때 휘는다. 이 경우 블랙홀은 중력 렌즈의 기능을 한다. 한편 블랙홀이 쌍성계의 일원일 경우 블랙홀은 반성에서 방출된 물질을 강력한 중력으로 끌어들이는다.

11 | 철보다 무거운 원소의 생성 |

철보다 무거운 원소의 핵을 만들려면 에너지를 투입하여 그 일부를 질량으로 전환해야 한다. 이들은 중성자 포획 과정으로 만들어진다. 중성자는 전하를 띠지 않아 다른 입자들을 밀어내지 않기 때문에 쉽게 원자핵으로 들어가 다른 입자들과 결합할 수 있다.

그러나 중성자가 단순히 원자핵에 더해진다고 해서 새로운 원소가 만들어지는 것은 아니다. 이것은 단지 질량수만 다른 동위 원소일 뿐이다. 하지만 어떤 원자핵들은 중성자를 받아들이면 불안정해진다. 따라서 중성자가 자발적으로 전자를 방출하고 양성자로 변환되어 새로운 원소가 만들어지게 된다.

비교적 낮은 중성자 밀도와 낮은 온도를 지닌 적색 거성의 내부에서 기존의 원자핵이 중성자를 포획하면 질량수가 하나 늘어난 불안정한 원자핵이 만들어진다. 이어서 전자를 잃어버리는 베타 붕괴가 일어나면 원자 번호가 증가한 새로운 원자핵이 만들어진다. 높은 온도와 큰 밀도의 중성자 흐름이 있는 초신성 내부에서는 이 과정으로 새로운 원소가 만들어진다.



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

그림 33 주위의 별을 빨아들이는 블랙홀(상상도) ▶ 블랙홀에서는 빛조차 일부로 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 초신성으로 관측되며, 초신성 폭발 이후 중성자별만 이루어진 중성자별은 밀도가 매우 큰 중성자별로 남는다. 한편, 중성자별을 이루는 한계 질량보다 질량이 더 큰 별은 중성자로 이루어진 중심핵조차 수축하여 블랙홀이 된다. 9

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. 10 11



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, 우라늄은 어떻게 만들어지는지 각각 설명해 보자.
참의 3. 온도가 수십만 K 인 뜨거운 성간 물질보다 차가운 성간 물질에서 별이 만들어지는 까닭은 무엇인지 생각해 보자.

초신성이 되는 별의 중심 부근에서 많은 양의 중성자가 만들어지기 때문에 다량의 중성자들이 동시에 방출되고 베타 붕괴를 통해 빠르게 중성자 흡수가 일어난다. 결과적으로 다수의 중성자를 가진 불안정한 원자핵들이 만들어지며, 이때 생성된 원자핵은 많은 중성자를 가지면서도 안정된 원자핵으로 매우 빠르게 붕괴하여 다양한 원소가 생성된다. 초신성은 온도가 매우 높아서 큰 에너지를 갖는 중성자가 많이 만들어지므로 우라늄과 같이 질량이 큰 원소들을 생성하기에 이상적인 조건을 가지고 있다.

확인하기

1. 원시별 → 주계열성 → 적색 거성 → (행성상 성운) → 백색 왜성
2. 탄소와 철은 별의 내부에서 헬륨 핵융합 반응에 의해 형성되고, 우라늄은 초신성 폭발 과정에서 만들어진다.
3. 차가운 성간운에 분포하는 성간 물질이 중력에 의해 뭉치기 가 더 쉽다.

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.



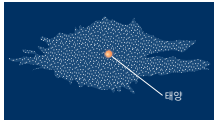
▲ 그림 34_ 미국 뉴멕시코 주의 VLA 지름이 25 m인 전파 망원경 27개가 Y자 모양으로 나열되어 지름이 130 m인 전파 망원경의 역할을 한다.

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.

지도상의 유의점 |

우주는 매우 크기 때문에 과거의 사람들은 우주의 전체 구조를 알기 어려웠다. 관측 장비의 발달과 함께 새로운 우주 모형이 제시되면서 점점 우주의 모형이 현재와 같이 발전하였다.

우주의 구조를 아는 데 있어서 현재도 해결하지 못한 과제들이 많이 있으며, 암흑 물질의 정체는 무엇인지도 아직 밝혀지지 않았다. 따라서 현재 과학으로 해결하지 못한 과제에 대해서도 이야기 하도록 한다.

보충 자료 |

● 허셜



▲ 허셜

허셜은 천왕성을 발견하였으며, 2,500개의 성운·성단과 800개의 이중성, 태양계의 운동을 발견하였다. 허셜이 은하 모형을 만든 방법은 별들까지의 거리를 측정하는 것이었다. 그는 별까지의 거리를 측정하기 위해 모든 별의 밝기가 같으며, 별의 밝기는 거리의 제곱에 반비례해서 어두워진다고 가정했다. 이런 가정에서는 가장 밝은 별이 가장 가까운 별이 된다.

그는 하늘에서 가장 밝은 별인 시리우스까지를 1로 하는 시리오미터라는 단위를 이용하여 모든 별까지의 거리를 나타냈다. 이때 허셜은 모든 별의 실제 밝기가 똑같지 않으므로 정확한 방법은 아님을 알고 있었다. 허셜의 관측 자료는 별들이 납작한 원반 모양으로 분포하는 우주 모형의 시초가 되었다.

그는 하늘에서 가장 밝은 별인 시리우스까지를 1로 하는 시리오미터라는 단위를 이용하여 모든 별까지의 거리를 나타냈다. 이때 허셜은 모든 별의 실제 밝기가 똑같지 않으므로 정확한 방법은 아님을 알고 있었다. 허셜의 관측 자료는 별들이 납작한 원반 모양으로 분포하는 우주 모형의 시초가 되었다.

● 캡테인의 우주 모형



▲ 캡테인 (1851~1922)

캡테인은 네덜란드의 천문학자로 각국의 천문대와 제휴하여 별들의 사진을 찍어 그 분포를 조사하였다. 남반구의 항성 45만 4,875개의 위치·광도·운동 등을 기록하였으며, 천구 전체에서 206곳의 구역을 선택하여 각 구역의 별들을 세어봄으로써 항성의 통계적 연구의 기초를 마련하였다.

그 결과, 운동 성단의 평균 시차, 항성의 특이 운동 등을 발견하였고, 은하계 구조(캡테인 우주) 모형을 제안하였다. 또 하늘 영역별 별의 밝기를 구하여 우리 은하의 크기를 구하였으며, 빛의 흡수가 없다고 가정하여 우리 은하는 지름이 약 10만 pc이고 두께는 약 2만 pc인 항성계라고 설명했다.

2. 우주의 구조

☆ | 소단원의 학습 목표 |

1. 은하의 크기, 구조, 은하를 이루는 별의 개수 등의 다양함을 이해한다.
2. 은하와 은하 사이의 공간 등 우주의 전체 구조를 이해한다.

🕒 9차시

39~41쪽

도입(5분)	전개(40분)	정리(5분)
우주의 구조	우리 은하	우리 은하 정리

☆ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 교과서 39쪽의 그림 34에는 많은 수의 전파 망원경이 있다. 이러한 전파 망원경은 무엇을 관찰하고 있을까? 과학자 허셜은 직접 별을 관찰해서 우주의 구조를 만들어 보았다. 우주는 어떤 모습일까? 이러한 질문을 통해 학생들의 호기심을 유발한다.

☆ | 보충 자료 |



▲ NGC 1300

은하는 항성, 성간 물질, 플라스마, 암흑 물질 등으로 이루어진 거대한 계이다. 보통 은하에는 무게 중심 주위를 공전하는 1,000만 개에서 1

조 개의 항성이 있다. 은하는 형태에 따라 다음과 같이 분류된다.

- 타원 은하(Elliptical galaxy): 타원 형태의 은하로 처녀자리 M 87이 대표적이다. 늙은 별을 많이 가지고 있다.
- 정상 나선 은하(Normality Spiral galaxy): 나선 은하에 속하며, 안드로메다 은하가 대표적이다.
- 막대 나선 은하(Barred Spirial galaxy): 중심부에 막대 구조가 있는 나선 은하로, NGC 1300은 전형적인 막대 나선 은하이다. 우리 은하는 정상 나선 은하로 분류되었다가 최근에는 막대 나선 은하로 분류가 바뀌었다.
- 렌즈상 은하(Lenticular galaxy): 나선 은하와 타원 은하의 중간형이다. NGC 5866이 대표적이다.
- 불규칙 은하(Irregular galaxy): 나선 은하와 같은 특정 구조를 이루지 않거나 대칭적인 구조가 아닌 은하로, 대마젤란 은하와 소마젤란 은하가 대표적이다.
- 폭발적 항성 생성 은하(Starburst galaxy): 다른 은하에 비하여 내부에서 태어나는 별의 수가 폭발적으로 많은 은하를 말하며, NGC 253이 대표적이다.
- 상호 작용 은하(Interacting galaxy): 다른 은하와 상호 교류되는 은하(서로 이어져 있는 은하)로, 가스나 별이 은하와 은하 사이를 이어준다.
- 위성 은하(Satellite galaxy): 큰 은하의 중력에 속박되어 함께 있는 것처럼 보이는 은하로, 보통 나선형 · 타원형 · 불규칙형 · 특이형이 가장 많다. M 87과 NGC 4486A/B의 관계가 대표적이다.

1 | 우리 은하 |



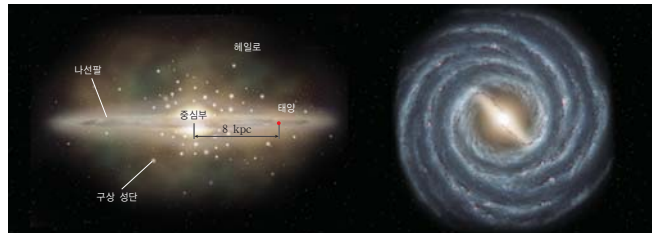
우리 은하는 태양계가 속해 있는 은하이다. 우리가 속해 있는 곳이기 때문에 단순히 ‘은하’ 또는 ‘은하계’라고도 불린다. 은하수는 지구에서 보이는 우리 은하의 일부분으로, 천구를 가로지르는 밝은 띠 모

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

인류 물질 → 45쪽



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

- 1 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 뿔어 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.

2 은하 원반 바깥을 공 모양으로 감싸는 영역을 헤일로라고 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



양으로 보인다. 이 밝은 띠는 다수의 별들로 이루어져 있다. 은하 중심 방향의 궁수자리 부근에서 가장 밝게 보이며, 천구상에서 은하면은 북쪽으로 카시오페아자리까지, 남쪽으로 남십자자리까지에 이른다. 황도에 대한 은하수의 경사로 보아 태양계의 행성 궤도면이 은하면에 대하여 기울어져 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 은하가 천구를 거의 똑같이 절반으로 나누고 있다는 사실은 태양계가 은하면에서 그리 멀리 떨어져 있지 않다는 것을 뜻한다.



우리 은하에는 늙고 오래된 별들이 공 모양으로 밀집한 중심핵(Bulge)이 있고, 그 주위의 젊고 푸른색 별, 가스, 먼지 등으로 이루어진 나선팔이 원반 형태로 회전하고 있으며, 그 외곽에는 주로 가스, 먼지, 구상 성단 등의 일부 별 및 암흑 물질로 이루어진 헤일로(Halo)가 타원형 모양으로 은하 주위를 감싸고 있다.

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 생각해 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 pc = 3.086×10^{13} km이다.)

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



2 | 헤일로 |

은하 헤일로(Galactic halo)는 우리 은하를 둘러싸고 있는 고리 모양의 가스와 먼지로 이루어진 구름 같은 영역을 말한다. 지름은 약 16만 광년으로 지름이 10만 광년인 우리 은하를 둘러싸고 있으며, 헤일로 안에는 대체로 구상 성단이 많이 분포한다.

창의
인성

활동 3 활동의 이해

활동 3 별과 별 사이의 거리는 얼마나 될까?

목표

- 우리 은하에 분포하는 별들의 평균 거리를 구할 수 있다.

원리

- 별과 별 사이의 거리는 별 자체의 크기에 비해서 매우 멀다는 것을 여러 가지 물리량의 계산을 통하여 이해한다.

과정

- 우리 은하의 지름, 별의 개수 등의 물리량을 바탕으로 별과 별 사이의 거리를 계산해 본다.

정리

1. 우리 은하를 원반 모양이라고 가정하고 원반의 부피와 별의 개수를 이용해 별 한 개가 차지하는 원반의 부피를 구해 본다.

$$\begin{aligned} \frac{\text{은하의 부피}}{\text{별들의 개수}} &= \frac{\pi r^2 h}{10^{11}} \\ &= \frac{\pi (15,000 \text{ pc})^2 \times 1,000 \text{ pc}}{10^{11}} = 7.06 \text{ pc}^3 \end{aligned}$$

이를 별 하나가 차지하는 공간이라고 가정했을 때 별과 별 사이의 거리는 이 값의 세제곱근인 약 1.92 pc이다.

2. 센타우루스자리 프록시마와 태양의 거리는 1.3 pc임에 비해 계산된 평균값은 1.92 pc이다. 즉, 평균보다 태양과 프록시마의 거리가 가깝다.

3. 우리 은하 내의 별들의 평균 질량이 태양과 비슷하다고 가정하면 우리 은하 내의 별들의 개수는 10^{11} 개로 추정할 수 있다. 그러나 우리 은하 내에는 태양보다 질량이 작은 별들이 더 많은 것으로 밝혀지고 있으므로 10^{11} 개보다 더 많은 별들이 있을 것으로 추정되며, 이를 고려하여 별들 사이의 평균 거리를 추정하면 대략 1 pc이다.

4. 태양의 반지름을 700,000 km라고 계산할 때 비례식은 다음과 같다.

$$700,000 \text{ km} : 1 \text{ mm} = 3.086 \times 10^{13} : \text{모래알의 거리}$$

$$\text{모래알의 거리} = 44,085,714 \text{ mm} \approx \text{약 } 44 \text{ km}$$

즉, 태양을 모래알에 비유했을 때 가장 가까운 다른 모래는 약 44 km 거리에 떨어져 있음을 알 수 있다.

결론

- 밤하늘의 별은 매우 많지만 별과 별은 매우 멀리 떨어져 있다. 따라서 우리 은하의 크기는 매우 크다는 것을 알 수 있다. 약 44 km 떨어진 모래알끼리 충돌할 걱정이 없듯이 다른 별과 태양이 충돌할 확률은 매우 낮다.

보충 자료 |

● 센타우루스자리 프록시마

프록시마는 적색 왜성으로 센타우루스자리 알파의 동반성이다. 태양으로부터 가장 가까운 곳에 있는 항성으로 약 4.22광년(1,295pc) 떨어져 있다. 이 별까지의 거리는 비교적 가깝지만 다른 적색 왜성과 마찬가지로 매우 어둡기 때문에 맨눈으로는 볼 수 없다. 절대 등급은 15.5등급이며, 겉보기 등급은 11등급이다. 주성인 센타우루스자리 알파와의 거리는 약 15,000 AU이며, 천구상에서는 약 2° 정도 떨어져 있다.

10차시

42~45쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
은하의 구분	은하단과 우주 거대 구조	우주의 구조 정리

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 우주에는 다양한 모양의 은하들이 존재한다. 학생들에게 다양한 은하의 모습을 보여주며 흥미를 유발한다.

★ | 지도상의 유의점 |

우주는 너무나 넓어서 인간이 직접 탐험할 수 있는 범위는 매우 좁으며, 빛조차 없는 우주에서는 어떤 일이 일어나는지 알 수 없다. 또한, 암흑 물질의 존재는 중력의 영향으로 확인할 수 있지만 그 실체는 알려지지 않았다. 이처럼 인간과 과학의 한계를 이야기 하며 넓은 우주를 이해하도록 지도한다.

3 | 타원 은하 |



▲ 타원 은하 M 87

타원 은하는 대부분 늙은 별들로 이루어져 있으며, 구 또는 타원(약간 찌그러진 구) 모양이고 나선팔의 흔적은 나타나지 않는다. 색은 붉은색이 우세하며,

이는 나선 은하의 핵 팽대부 및 헤일로의 성분과 유사하다. 가까이 있는 대형 타원 은하에서는 많은 구상 성단을 확인할 수 있다.

4 | 나선 은하 |



▲ 안드로메다 은하(M 31)

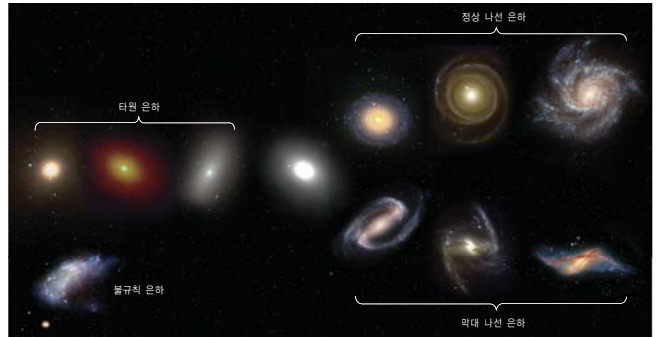
우리 은하와 안드로메다 은하는 전형적인 나선 은하이며, 핵, 헤일로, 그리고 나선 팔로 이루어져 있다. 성간 물질은 일반적으로 나선 은하의 원반에 널리 흩어져 있다.

밝은 방출 성운과 뜨거운 젊은 별들은 주로 나선팔에 존재하는데, 그곳에서 새로운 별들이 탄생하고 있다. 그리고 원반에는 먼지가 많이 있는데, M 104 솜베레로 은하와 같이 옆모습을 볼 수 있는 은하에서 확인할 수 있다.

산개 성단은 주로 나선팔에서 볼 수 있으며, 구상 성단은 주로

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

3 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.

4 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 은하도 있다.

5 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.

물음

허블의 은하 분류법에 따르면 우리 은하는 어떤 종류에 속하는 은하인가?



▲ 솜베레로 은하(M 104)

은하핵과 헤일로에 분포한다. 우리 은하와 같은 나선 은하에는 젊은 별과 늙은 별들이 뒤섞여 있다.

한편, 나선 은하의 $\frac{1}{3}$ 이상은 별들로 이루어진 막대 구조가 중심 핵을 관통하는 형태를 보인다. 이러한 은하에서 나선팔은 일반적으로 핵에 직접 감겨져 있지 않고 막대의 양끝에서 시작된다. 이와 같은 은하를 막대 나선 은하라고 하며, 우리 은하도 이에 속한다.

물음

허블의 분류에 의하면 우리 은하는 막대 나선 은하이다. 구체적으로는 SBb형 은하에 속한다.

정상 나선 은하는 S, 막대 나선 은하는 SB로 표기하며, 나선팔이 감긴 정도에 따라 a, b, c를 덧붙여 구분한다. 우리 은하는 막대 나선 은하이며 나선팔이 약간 느슨하게 감긴 SBb형 은하이다.

은하단과 우주 거대 구조



▲ 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 지금까지는 전혀 다른 모습으로 분포될 것이다.



▲ 그림 40_ 충돌하는 은하

5 | 불규칙 은하 |



▲ NGC 4449

허블은 지금까지 서술한 범주에 속하는 정상적인 모양이 아닌 모든 은하를 불규칙 은하로 분류하는 포괄적인 분류 기준을 제시했으며, 이 기준은 지금도 사용하고 있다. 불규칙 은하는 혼란스러워 보이며, 대부분의 경우 항성의 형성 활동이 활발하게 진행되고 있다. NGC 4449 은하는 사냥개자리 부근의 약 1,200만 광년 떨어진 곳에 있고, 그 크기는 약 2만 광년이다.

☆ | 보충 자료 |

● 허블

1889년 미국 미주리 주에서 태어난 에드윈 허블은 시카고 대학에서 천문학 학위를 받았으며, 1919년부터는 윌슨산 천문대

에서 연구원으로 참여하여 연구를 시작하였다.

허블은 현대 천문학에서 가장 중요한 아이디어를 확립하였다. 그는 은하들의 존재를 밝혔으며, 그들을 형태에 따라 분류하였고 운동 양상을 발견하였다. 따라서 이러한 관측적 근거를 가지고 팽창 우주론을 확립할 수 있었다. 그리고 우주에서 은하들의 분포에 대한 평생에 걸친 연구 프로그램을 시작하였다. 그러한 연구로 허블 자신은 매우 유명해졌으며, 그에게 많은 상과 명예가 주어졌다.

그는 1953년 9월에 사망했는데, 이 해 노벨상 심사 위원회는 그를 노벨 물리학상 수상자로 내정했다가 취소했다고 한다. 노벨상은 죽은 사람에게 수여하지 않기 때문이다. 한편, 후대의 천문학자들은 1990년에 발사된 최초의 우주 망원경에 그의 이름을 붙여 '허블 우주 망원경'으로 명명하였다.

● 마젤란 은하

마젤란 은하는 남쪽 지방에서는 일찍부터 알려져 있었다. 대마젤란 은하에 대한 언급이 처음 나타난 것은 964년, 페르시아의 천문학자 알 수피의 책 「Al Bakr(항성의 책)」에서이다. 유럽에서는 페르디난드 마젤란이 1519년부터 1522년까지 세계 일주 항해를 하던 중에 발견하였다. 하지만 이 은하에 마젤란의 이름이 붙게 된 것은 훨씬 나중의 일이다.



▲ 대마젤란 은하

대마젤란 은하는 우리 은하 주위를 도는 불규칙 은하이며, 약자로 LMC(Large Magellanic Cloud)라 부르기도 한다. 남천인 황새치자리와 테이블산자리에 걸쳐 있으며, 겉보기 등급은 0.9등급이다. 이 은하는 국부 은하군에 속해 있으며, 그 중에 네 번째로 큰 은하이다.

대마젤란 은하는 우리로부터 약 50 kpc(약 16만 광년) 떨어져 있다. 반지름은 약 35,000광년으로 우리 은하의 약 $\frac{1}{2}$ 이며, 별의 개수는 10^{10} 개로 우리 은하의 $\frac{1}{10}$ 정도이다.



▲ 소마젤란 은하

소마젤란 은하는 우리 은하에서 약 20만 광년 떨어져 있으며, 우리 은하 주위를 도는 불규칙 은하이다. 우리 은하와 함께 국부 은하군을 이루는 은하이며, 약 1억 개의 별들로 이루어져 있다고 한다.

☆ | 보충 자료 |

● 국부 은하군 내의 주요 은하

나선 은하			
이름	형태	별자리	비고
우리 은하	SBb	은하의 북극 머리털자리	국부 은하군에서 유일한 막대 나선 은하
안드로메다 은하(M 31, NGC 224)	SAb	안드로메다자리	국부 은하군에서 가장 큰 은하
삼각형자리 은하 (M 33, NGC 598)	SAC	삼각형자리	국부 은하군에서 세 번째로 큰 은하
타원 은하			
이름	형태	별자리	비고
M110 (NGC 205)	E6p	안드로메다자리	안드로메다 은하의 위성 은하
M32 (NGC 221)	E2	안드로메다자리	안드로메다 은하의 위성 은하
불규칙 은하			
이름	형태	별자리	비고
WLM 은하 (WLM, DDO 221)	Ir +	고래자리	
IC 10	KBm 또는 Ir +	카시오페이아자리	
소마젤란 은하 (SMC, NGC292)	SB(s)m pec	큰부리새자리	우리 은하의 위성 은하
큰개자리 왜소은하	Irr	큰개자리	우리 은하의 위성 은하
물고기자리 왜소 은하(LGS3)	Irr	물고기자리	삼각형자리 은하의 위성 은하
불사조자리 왜소은하	Irr	불사조자리	
대마젤란 은하 (LMC)	Irr/SB(s)m	황새치자리	우리 은하의 위성 은하
사자자리 A (Leo III)	IBm V	사자자리	
육분의자리 B (DDO 70)	Ir +IV -V	육분의자리	
NGC 3109	Ir +IV -V	바다뱀자리	
육분의자리 A (DDO75)	Ir +V	육분의자리	

● 은하단

은하단은 집단을 이룬 은하들을 말하는데, 규모에 따라 여러 단계가 있다. 은하단의 한 예로 가장 근거리(약 5천만 광년)에 있

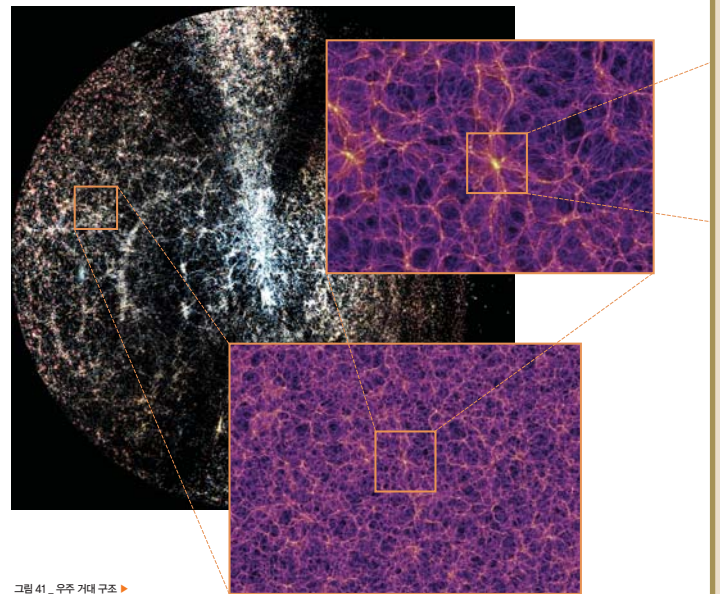


그림 41_우주 거대 구조 ▶

초은하단보다 큰 외부 은하의 집단을 우주 거대 구조라고 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.

는 처녀자리 은하단을 들면, 그 지름은 약 1천만 광년, 은하 수는 약 2,500개에 이른다.



▲ 은하군 ACO 3341

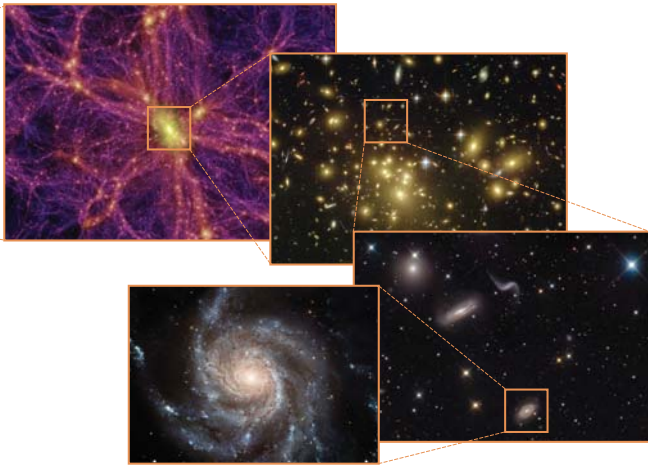
▲ 은하군 HCG 87

● 초은하단

수많은 별들이 모여서 은하를 이루듯이, 초은하단은 은하들이 모여서 이룬 대규모의 은하 집단을 말한다. 이러한 초은하단의 모습을 알아내는 방법은 각 은하들의 거리를 추정해서 공간적인 모습을 재현하는 것이다.

● 거품과 빈 공간

우주는 완벽하게 매끄럽지 않으며 우리 은하 부근에 있는 은



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?

탐의 4. 붉은색의 납작하고 빈둥렁한 원반 모양의 비행접시 내부에서 중심과 가장자리 사이에 없었다고 가정할 때 사방이 어떻게 보일지 생각해 보자.

하들은 균일하게 분포되어 있지 않다. 우주 거대 구조를 최초로 탐색한 사람은 에드윈 허블이다. '백색 성운' 이 은하, 즉 별들의 섬 우주라고 밝힌 직후 그는 우주 공간에 나타나는 은하들의 전체적인 분포를 연구하기 시작했다. 허블은 하늘 여기저기에서 수 천 장의 사진을 찍어 약 44,000개의 은하를 견본으로 뽑았다. 그런데 1차 근사로는 균일한 분포를 보이던 것이 통계적으로 분석되자 울퉁불퉁한 부분이 상당히 많은 것으로 나타났다.

월슨 연구소에서도 1938년에 같은 연구를 하여 은하들이 떼를 지어 모여 있는 것 같다는 사실을 알고, 우주에서 은하의 분포는 고르지 않다는 결론을 내렸다.

한편, 은하단이나 국부 은하군과 같은 군집들의 존재에도 불구하고 천문학자들은 충분히 큰 규모로 본다면 우주는 균일할 것이라고 생각했다. 그러나 1950년대 프랑스의 천문학자 제라드는 더 큰 규모에서도 불균일이 있음을 알아냈다. 그는 은하단들이 모여 은하단들의 은하단, 즉 초은하단을 이루는 것처럼 보임을 발견했다. 특히 우리 국부 은하군의 약 2억 광년 내에 있는 은하단들 모두가 하나의 그룹을 형성하고 있다는 사실을 발견했

으며, 그것을 국부 초은하단이라고 한다. 국부 초은하단의 중심에는 처녀자리 방향에 있는 처녀자리 은하단이 있다.

천문학자들의 연구에 의하면 우주는 초은하단들과 그들 사이에 놓인 빈 공간들로 이루어져 있다. 하지만 빈 공간이나 초은하단들이 흔히 볼 수 있는 것이라는 증거는 없었다. 프린스턴 대학의 제임스 피블스는 백만 개에 이르는 은하를 도면으로 그렸다. 이러한 도면에는 은하들이 포함되어 있는 곳과 그렇지 않은 곳이 나타났다. 그러나 그 지도는 2차원적인 표현이기 때문에 3차원 모델링을 할 필요가 있었다.

1980년대에 이르러 우주의 3차원 지도가 완성되었다. 제임스 피블스가 만든 2차원 지도와 마찬가지로 3차원 지도에서도 은하들은 모여 있는 곳과 비어 있는 곳이 있었다. 이후 마가렛 겔러와 존 후크는 특정 각도에 있는 우주의 일부를 약 3억 광년 까지 조사하여, 우주는 표면을 가로질러 초은하단들이 매달려 있는 구형의 커다란 거품들로 이루어져 있는 것 같다고 발표하였다. 1983년에 발사된 적외선 위성 IRAS를 통해 수천 개의 은하들의 목록이 만들어졌으며, 이를 바탕으로 전체 하늘의 3차원 지도를 만들어 보니 초은하단과 빈 공간이 모두 나타났다.

🔍 확인하기

1. 타원 은하, 나선 은하, 불규칙 은하

은하는 겉모양에 따라 크게 타원 은하, 나선 은하, 불규칙 은하로 구분하며, 나선 은하는 중심의 막대 모양 구조 유무에 따라 다시 정상 나선 은하와 막대 나선 은하로 구분한다.

2. 우주 거대 구조를 이루는 기본 단위는 은하이다.

3. 암흑 물질은 현재까지의 기술로는 관측되지 않는 물질로, 우주 전체를 가득 채우고 있다고 알려져 있다. 암흑 물질의 정체와 정확한 양은 아직 알려지지 않았다.

4. 비행접시의 중심 부분은 진한 붉은색으로 두껍게 보일 것이고, 가장자리는 옅은 붉은색으로 보일 것이다.

비행접시는 우리 은하, 관측자의 위치는 우리 은하에서의 태양계 위치에 해당한다. 비행접시의 중심 부분이 진한 붉은색으로 보이는 현상은 우리 은하 중심 부근의 은하수가 더욱 크게 보이는 현상과 같다.

3. 성간 화합물의 형성

☆ | 소단원의 학습 목표 |

1. 성간에서 화합물이 만들어지는 과정을 통해 공유 결합의 원리를 이해할 수 있다.
2. 성간에서 화합물이 만들어지는 과정을 통해 반응 속도의 원리를 이해할 수 있다.

🕒 | 11차시

46~48쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
공유 결합이란 무엇일까?	성간 화합물 분류: 단일 결합, 2중 결합, 3중 결합	물음 풀이

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 공유 결합의 예로 줄다리기에 대해 이야기한다.
- 인력과 반발력 사이의 힘의 균형을 이해시킨다.
- 행성형 모델 모형을 통해 공유 결합을 정의한다.

☆ | 지도상의 유의점 |

1. 공유 결합을 다양한 모형으로 이해하도록 지도한다.
2. 성간 화합물을 구성하는 원자들의 원자 모형을 이용하여 최외각 전자 사이의 공유 결합 형성을 이해하도록 지도한다.
3. 간단한 분자인 수소 분자의 예를 통해 공유 결합을 이해하고, 이로부터 다른 원소들로 확장하여 이해할 수 있도록 지도한다.

☆ | 보충 자료 |

- 주요 용어 설명
1. 화학 결합
물질의 기본 단위인 원자들이 만나 새로운 분자를 만들 때 원자 사이의 화학적 결합을 말한다.
 2. 공유 결합
원자들이 화학 결합할 때 원자가 전자를 서로 공유하는 화학 결합을 말한다.
 3. 원자가 전자
최외각 전자나 원자가 전자나 보통 같은 의미로 사용된다. 특히, 원자 번호가 30보다 작은 가벼운 원자에 대해서는 원자가 전

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.



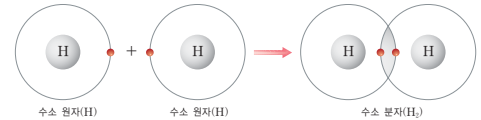
▲ 그림 42_ 허트 성운

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 홑원소 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

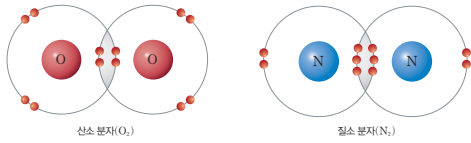
수소 원자는 그림 43과 같이 각 원자가 전자를 1개씩 내놓고 1개의 전자쌍을 만들어 그 전자쌍을 서로 공유하여 수소 분자가 된다. 산소 원자는 각 원자가 전자를 2개씩 내놓고 2개의 전자쌍을 만들어 그 전자쌍을 서로 공유하여 산소 분자가 된다.

자나 최외각 전자는 동일하다. 즉, 전자들은 원자핵에 가장 가까운 오비탈부터 채워지며 일반적으로 가장 바깥쪽에 채워지는 전자를 원자가 전자 혹은 최외각 전자라고 부른다. 그러나 무거운 원자들은 최외각 전자라 해도 결합에 참여하지 않고 다 채워진 오비탈에 있는 전자들이 있는데, 이러한 전자들은 최외각 전자이지만 결합에 참가하지 않는다는 의미에서 원자가 전자와 구별된다.

● 공유 결합의 원리

1. 공유 전자쌍: 두 원자가 서로 공유하는 전자쌍으로, 1쌍의 전자를 공유하는 결합을 단일 결합, 2쌍의 전자를 공유하는 결합을 2중 결합, 3쌍의 전자를 공유하는 결합을 3중 결합이라고 한다.
2. 비공유 전자쌍: 공유 결합 형성에 참여하지 않는 전자쌍
3. 여덟 전자 규칙: 원자들이 화학 결합을 통해 8개의 원자가 전자를 가진다.(수소 제외)

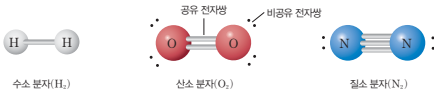
또 질소 원자는 각 원자가 전자를 3개씩 내놓고 3개의 전자쌍을 만들어 그 전자쌍을 서로 공유하여 질소 분자가 된다.



▲ 그림 44_ 산소 분자와 질소 분자의 공유 결합 형성 모형

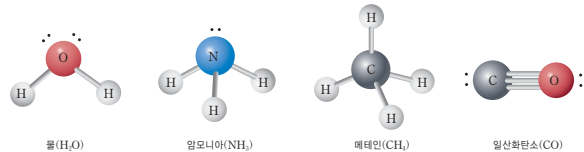
공유 결합은 공유한 전자쌍의 수에 따라 수소 분자와 같이 전자 1쌍을 공유한 **단일 결합**, 산소 분자와 같이 전자 2쌍을 공유한 **2중 결합**, 질소 분자와 같이 전자 3쌍을 공유한 **3중 결합**으로 나눌 수 있다. 이때 결합수가 많을수록 결합 세기가 강하다.

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

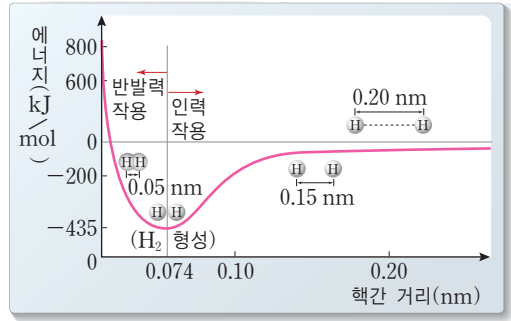
그림 46과 같이 물, 암모니아, 메테인은 모두 단일 결합으로 이루어진 분자이고, 일산화탄소는 3중 결합으로 이루어진 분자이다.

물음 수소 분자(H₂)와 일산화탄소(CO)를 이루는 공유 결합의 차이점을 설명해 보자.

● 공유 결합 길이

1. 2개의 수소 원자핵 사이의 거리가 점점 가까워지면 인력에 의해 위치 에너지 값이 점점 작아진다. 핵 사이의 거리가 0.074 nm가 될 때 위치 에너지가 가장 낮아져서 안정한 수소 분자(H₂)를 형성하고, 435 kJ/mol의 에너지를 방출한다. 이때 두 원자 사이의 거리를 공유 결합 길이 또는 결합 길이라고 한다.

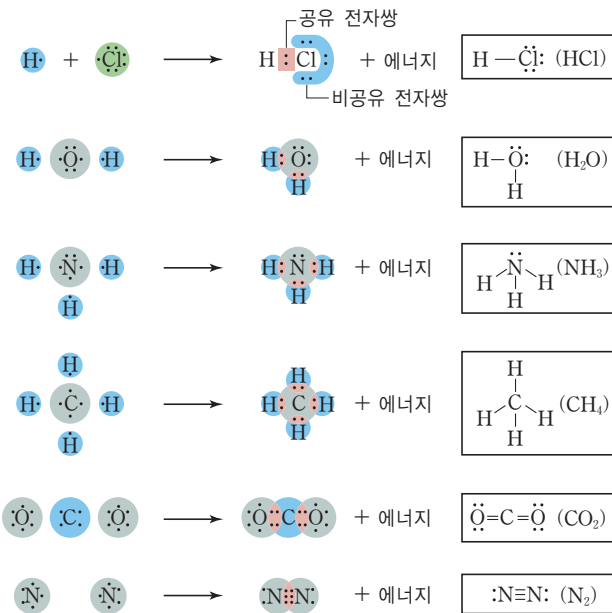
2. 2개의 수소 원자가 멀리 떨어져 있을 때에는 인력이나 반발력이 거의 작용하지 않기 때문에 위치 에너지는 0에 가깝고, 거리가 가까워지면 에너지 값이 점점 작아지다가 0.074 nm에서 최소값이 된다. 두 수소 원자가 더 접근하여 0.074 nm보다 가까워지면 원자핵 사이의 반발력이 급격히 커지므로, 위치 에너지가 증가하여 불안정해진다.



▲ 2개의 수소 원자가 접근할 때의 에너지 변화

☆ | 보충 자료 |

● 여러 가지 물질의 공유 결합 형성



물음 수소 원자는 각 원자가 전자 1개씩을 내놓아 1개의 전자쌍을 공유한다. 일산화탄소는 탄소가 전자 2개, 산소가 전자 4를 내놓아 3개의 전자쌍을 공유한다.

일산화탄소와 같이 3중 결합을 하고 있는 분자는 원자 사이의 결합이 모두 끊어지기 위해서 많은 에너지가 필요하다. 반면에 단일 결합을 하고 있는 수소 분자는 원자 사이의 결합이 모두 끊어지기 위해서는 적은 에너지가 필요하다.

물음 일산화탄소는 분자 내부에 단단한 3중 결합을 가지고 있기 때문에 단일 결합을 가지고 있는 물, 메테인, 암모니아 등에 비해서 우주 공간에 오랫동안 살아남는다.

일산화탄소 외에도, 모두 7개의 전자를 갖고 최외각 전자가 5개인 질소 원자는 다른 질소 원자와 3개의 전자쌍을 공유하는 3중 결합을 하여 질소 분자(N₂)를 만든다. 이러한 질소 분자 역시 안정하여 지구 대기의 대부분을 차지한다.

연결 학습
생명체와 탄소 화합물 → 136쪽

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.

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

1 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.



▲ 그림 47. 빠른 반응의 예
물꽃놀이, 물질의 연소, 앙금 생성 반응



▲ 그림 48. 느린 반응의 예
종이가 반씩된 채, 녹은 철, 익어 가는 과일

12차시 48~49쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
빠른 반응과 느린 반응의 예	창의·인성 활동: 농도에 따라 반응 속도는 어떻게 달라질까?	창의·인성 활동 정리

★ 동기 유발을 위한 제안 |

- 생활 속에서의 빠른 반응과 느린 반응을 찾아본다.
- 교과서 그림 48을 이용하여 빠른 반응과 느린 반응이 시간과 관계됨을 이해시킨다.

★ 지도상의 유의점 |

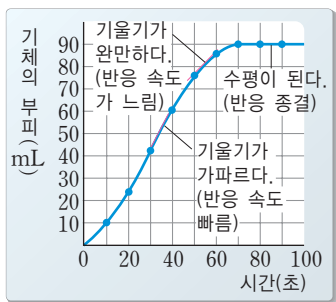
1. 그림 48을 단순히 빠른 반응과 느린 반응으로 구분하여 제시하지 말고, 학생 스스로 반응의 상대적인 빠르기를 생각해 볼 수 있도록 지도한다.
2. 교과서 49쪽의 본문 내용을 단순히 암기하는 것이 아니라 왜 빠른 반응이고, 느린 반응인지 기준을 이해하도록 유도한다.
3. 창의·인성 활동의 결과 10% 염산과 마그네슘의 반응이 빠르게 일어나는 것을 관찰한 사실 그대로 표현하도록 지도한다. 이론적인 정리는 50쪽에서 진행한다.

★ 보충 자료 |

● 반응 속도

1. 일정 시간 동안의 반응물질이나 생성물질의 농도 변화로 측정
2. 반응 속도 = $\frac{\text{반응물질의 농도 변화}}{\text{반응 시간}} = \frac{\text{생성물질의 농도 변화}}{\text{반응 시간}}$

$$= \frac{\Delta(\text{농도})}{\Delta(\text{시간})} = \frac{\Delta C}{\Delta t}$$
3. 평균 반응 속도 = $\frac{\text{전체 농도의 변화}}{\text{전체 시간}}$
4. 순간 반응 속도: $\Delta t \rightarrow 0$ 인 특정한 순간의 반응 속도로 접선의 기울기로 표시한다.



● 빠른 반응과 느린 반응

화학 반응이 일어나면 반응물질의 결합은 끊어지고 새로운 결합이 생성된다. 기체가 발생하는 반응이나 앙금이 생성되는 반응, 연소, 폭발 등은 매우 빠르게 일어나지만 부식, 부패, 숙성, 발효, 풍화, 소화 등은 느리게 일어난다. 일반적으로 반응물질의 종류가 많을수록, 끊어야 하는 공유 결합의 수가 많을수록 반응 속도는 느리다.

1 반응 속도의 측정 |

1. 반응에 소요된 시간은 빠른 반응일수록 짧고, 느린 반응일수록 길다.
 → 일정량의 반응물질이 소모(또는 생성물질이 생성)될 때까지 소요된 시간을 측정하여 반응 속도를 비교한다.
2. 반응 속도를 측정하는 여러 가지 방법
 - ① 시간 간격에 따라 적정을 하여 농도 측정
 - ② 시간에 따른 물리적인 성질의 변화를 측정하여 농도 계산
 - ③ 외형적 변화를 활용: 기체 발생, 앙금 생성, 색의 변화 등

불꽃놀이 때 일어나는 금속의 산화 반응, 물질의 연소 반응, 이온의 양극 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

준비를 비커, 시험관, 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 문지른다.
2. 눈금 실린더를 이용하여 5% 염산과 10% 염산을 각각 50 mL씩 준비한 후, 2개의 시험관에 각각 넣는다.
3. 그림 49와 같이 핀셋을 이용하여 마그네슘 리본을 5% 염산과 10% 염산이 들어 있는 시험관에 동시에 넣는다.
4. 시험관에서 일어나는 변화를 관찰하고 기록한다.



▲ 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 아닌 날 때까지 사포로 문지른 다음 실험에 사용한다.

2. 염산의 농도와 반응 속도는 어떤 관계가 있는지 이야기해 보자.
3. 창의인성 일상생활에서 농도에 따라 반응 속도가 달라지는 예를 찾아보자.

창의
인성

활동의 이해

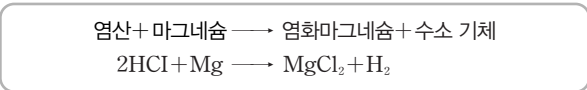
활동 4 농도에 따라 반응 속도는 어떻게 달라질까?

목표

- 반응물질의 농도가 진할수록 반응 속도가 빠름을 설명할 수 있다.

안내

- 염산과 마그네슘이 반응하면 염화마그네슘과 기포 형태의 수소 기체가 발생한다.



과정

1. 같은 길이의 마그네슘을 사포로 깨끗이 문질러 산화 피막이 벗겨진 표면이 나오도록 지도한다.
2. 마그네슘을 동시에 넣지 않아도 기포 발생의 차이점을 관찰할 수 있도록 지도한다.

3. 마그네슘 표면에 발생하는 기포 수의 차이를 그림으로 그릴 수 있도록 지도한다.

정리

1. 교과서 그림에 직접 자신이 관찰한 내용을 그림으로 표현하도록 지도한다. 5% 염산의 경우보다 10% 염산의 경우 더 많은 기포를 그릴 수 있도록 지도한다. 염산의 농도가 진할수록 마그네슘과 반응시켰을 때 기포 발생 속도가 빠르다는 것을 말할 수 있도록 지도한다.
2. 염산의 농도가 진할수록 마그네슘이 더 많이 만나므로 반응 속도가 빨라져서 기포 발생 속도가 빠르다.
3. 다음의 예를 들어 설명한다.
 - 꺼져 가는 불씨에 입김을 불어 주면 불씨가 살아난다.
 - 과산화수소가 분해되는 반응의 속도는 과산화수소의 농도가 진할수록 빨라진다.
 - 강철 솜은 공기 중에서 잘 타지 않지만 순수한 산소 속에서는 불꽃을 내면서 빠르게 연소한다.
 - 다이아몬드는 공기 중에서는 연소하지 않지만 액체 산소 속에서는 쉽게 연소한다.
 - 빗물의 산성도가 커짐에 따라 대리석으로 된 건축물이나 조각품의 부식 속도가 빨라진다.
 - 석회암과 염산과의 반응에서 염산의 농도가 커질수록 반응 속도가 빨라진다.

보충 자료

● 마그네슘(Mg)

마그네슘은 일반적으로 불규칙한 크기의 가루 형태와 리본 형태로 판매된다. 반응 속도를 알아보는 실험을 할 때에는 길이에 따른 양을 측정하여 사용할 수 있는 일정한 두께의 마그네슘 리본이 알맞다. 반응 속도는 반응물질의 표면적에도 영향을 받기 때문에 가루 형태는 피하도록 한다. 오랜 시간 보관하면 공기 중의 산소와 반응하여 표면에 산화 피막이 형성되므로 묽은 염산과 잘 반응하지 않는다. 따라서 사포 등으로 벗겨낸 후 사용한다.

● 산화

산소가 다른 원소 또는 화합물과 결합하는 반응으로, 연소 반응이나 금속의 부식 반응 등이 있다.

1. 연소 반응: 산화가 매우 빠르게 진행되는 현상
2. 금속의 부식: 산화가 서서히 진행되는 현상

도입(5분) 창의 · 인성 활동 복습	전개(35분) 반응 속도와 농도 와의 관계를 반응 물질의 유효 충돌 횟수로 전개	정리(10분) • 성간에 수소 분 자가 가장 풍부 한 까닭 • 정리 확인 학습
-----------------------------------	---	--

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 혼잡한 시간과 그렇지 않은 시간에 지하철 출입구에서 다른 사람과 충돌해 본 경험을 이야기해 본다.
- 충돌에는 의미 있는 유효 충돌과 무의미한 비유효 충돌이 있음을 소개한다.
- 교과서 그림 51과 같은 게임 소개를 통한 유효 충돌 소개한다.

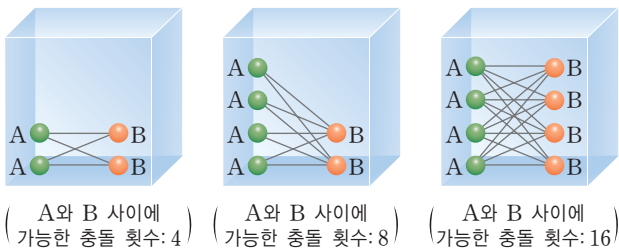
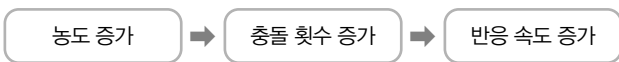
★ | 지도상의 유의점 |

1. 유효 충돌과 비유효 충돌이라는 용어를 강조하면 이해가 어려울 수 있으므로 다양한 생활 속의 사례로 이해시키는 선행 작업이 필요하다.
2. 교과서 그림 51과 유사한 사례의 게임 등을 활용하면 흥미를 유도할 수 있으나, 학생들이 이해할 수 있는 게임에 대한 사전 숙지가 필요하다.

★ | 보충 자료 |

● 반응 속도와 농도와의 관계

농도가 증가하면 단위 부피 속의 입자 수가 증가하므로 충돌 횟수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

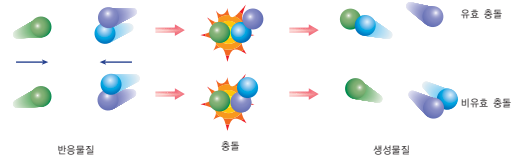


▲ 농도에 따른 충돌 횟수 모형

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.

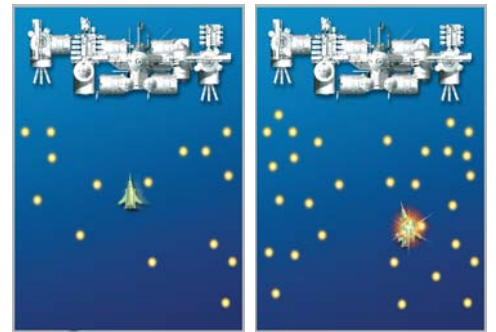
화학 반응이 일어나기 위해서는 반응물질을 구성하는 입자들이 서로 의미 있는 충돌을 해야 한다. 반응물질의 농도가 진할 때는 단위 부피당 입자 수가 많기 때문에 유효 충돌 횟수가 증가하여 반응을 일으킬 수 있는 입자 수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

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 볼륨의 수가 많을수록 비행기에 부딪힐 확률이 높아 피하기 어렵다.

● 유효 충돌

모든 화학 반응은 충돌에서부터 시작한다. 분자 간에 충돌이 일어나지 않으면 반응이 일어나지 않는다.

유효 충돌이란 반응을 일으킬 수 있는 의미 있는 충돌로, 충돌 방향이 맞아야 하고, 일정한 크기(활성화 에너지) 이상의 에너지를 가진 분자들의 충돌이어야 한다.

● 비유효 충돌

분자 사이에 충돌이 일어난다고 해서 항상 화학 반응이 일어나는 것은 아니다. 느리게 움직이는 분자는 결합을 끊을 만큼 충분한 에너지(활성화 에너지)를 가지지 못하므로 생성물질을 만들지 못한다.



▲ 에너지가 낮은 입자들의 충돌(비유효 충돌)

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 솥의 연소 반응

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



▲ 그림 53. 향이 타는 모습

항복을 입으로 불었을 때 더욱 환하게 타는 이유
주변의 산소가 항복을 주면으로 모이게 되어 산소의 농도가 증가하기 때문이다.

불을 붙인 항복을 입으로 불었을 때 향의 불이 더욱 환하게 타오르는 것도 같은 이치이다. 이것은 모두 반응물질의 농도와 반응 속도의 관계를 나타내는 현상으로 반응 물질의 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.

확인하기

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

창의 인성

활동의 이해(보충, 선택)

활동 반응 속도와 농도와의 관계 알아보기

목표

- 반응물질의 농도와 반응 속도의 관계를 알 수 있다.

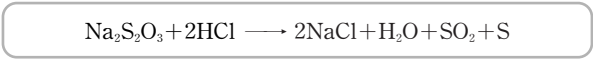
과정

1. 5개의 삼각 플라스크에 0.2 M 싸이오황산나트륨 수용액을 각각 10, 20, 30, 40, 50 mL씩 넣은 후, 각각 증류수를 가하여 전체 부피가 50 mL가 되도록 한다.
2. 과정 1에서 준비한 1개의 처음 삼각 플라스크에 2 M 염산 5 mL를 가하여 흔들어 준 후, × 표시를 한 흰 종이 위에 올려 놓는다.
3. 염산을 가하는 순간부터 흰 종이 위의 × 표시가 보이지 않을 때까지의 시간을 측정한다.
4. 나머지 4개의 삼각 플라스크에 대해 과정 2~3을 반복한 후, 측정된 시간을 0.1초 단위로 정확히 기록한다.

5. 싸이오황산나트륨 수용액의 농도와 × 표시가 사라지는 데 걸린 시간 t 의 역수인 $\frac{1}{t}$ 과의 관계를 그래프로 나타낸다.

정리

- 반응이 진행됨에 따라 흰 종이 위의 × 표시가 보이지 않는 것은 싸이오황산나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 수용액과 염산(HCl)이 반응하면 다음과 같은 반응에 의해 황(S)이 생성되기 때문이다.

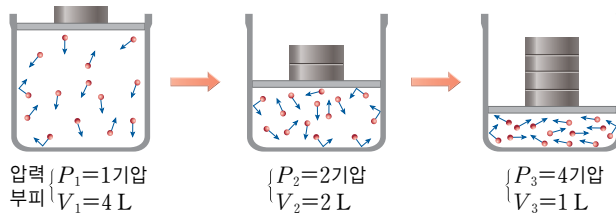


이때 생성된 노란색 결정인 황이 흰 종이 위의 × 표시를 가리는 역할을 하여 × 표시가 보이지 않게 된다.

보충 자료

● 기체의 압력과 반응 속도

반응물질이 기체일 경우 압력이 증가하면 부피가 감소하므로 단위 부피당 입자 수가 증가하여 농도가 증가한 것과 같은 효과가 나타난다.



▲ 기체의 압력과 부피와의 관계

따라서 기체의 압력이 높을수록 유효 충돌 횟수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

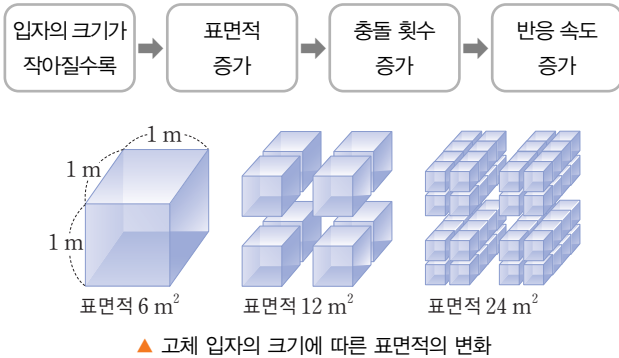
확인하기

1. 공유 결합의 수가 많을수록 결합 세기는 커진다.
2. 수소, 물, 메테인, 암모니아 등의 성간 물질은 지구 생명 탄생의 근본이 되는 물질이다. 또한, 지구 생명 활동의 출발인 광합성 등의 화학 반응에 필요한 이산화탄소와 물을 제공하였다.
3. 지하철이나 버스 등과 같은 대중 교통을 이용할 때 서로 순서를 지킨다거나 양보나 배려의 미덕을 발휘한다면 옆 사람과의 부딪침을 방지할 수 있다. 서로 감정을 북돋우면서 벌어지는 '유효 충돌'과 같은 사회적 물의를 최소화할 수 있다는 등의 이야기로 다양하게 사회성과 협동, 배려 차원에서 답하도록 한다.

☆ | 보충 자료 |

● 표면적과 반응 속도

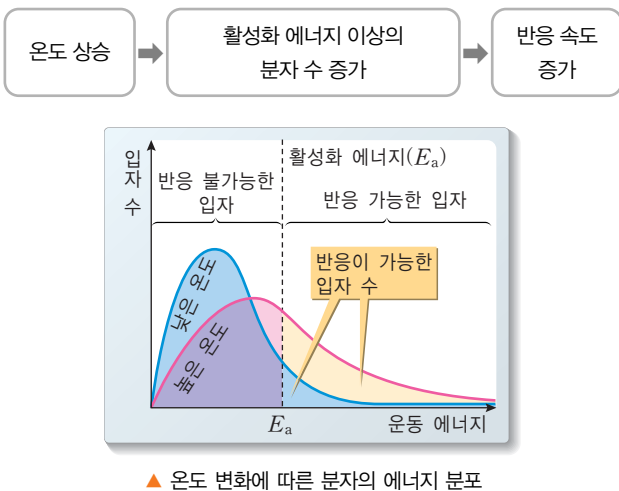
고체는 표면에서만 충돌할 수 있으므로 반응이 표면에서만 일어나기 때문에 표면적이 클수록 반응 속도는 빨라진다. 고체는 입자의 크기에 따라 표면적이 달라진다. 다음과 같이 고체를 계속해서 잘게 나누면 표면적이 늘어나 충돌 횟수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.



1. 석탄 덩어리는 불이 붙기 어렵지만 석탄 가루가 많은 탄광의 갱 안에서는 작은 불씨로도 폭발 사고가 쉽게 일어난다.
2. 밀가루가 뭉쳐 있으면 잘 타지 않지만 가루 상태로 날리면 쉽게 연소되어, 밀가루 공장에서 폭발 사고가 자주 일어난다.

● 온도와 반응 속도

온도가 높아지면 전체적으로 분자들의 운동 에너지가 증가하여 평균 운동 에너지가 증가하고, 그에 따라 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 입자 수가 증가한다. 즉, 온도가 높아지면 반응할 수 있는 입자 수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다. 반대로 온도가 낮아지면 반응할 수 있는 입자 수가 줄어들어 반응 속도가 느려진다.



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

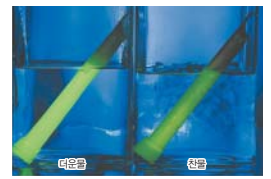


▲ 그림 54_ 익고 있는 삼겹살

삼겹살에 칼집을 내어 구우면 불면에 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 용털이 묻어 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 매미가 또한 온도가 반응 속도에 미치는 영향을 보여주는 사례이다.



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

촉매



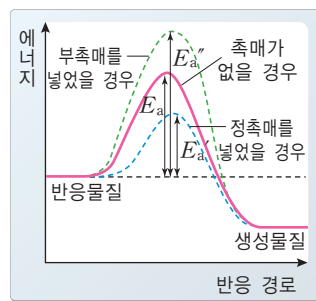
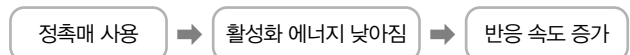
▲ 그림 56_ 식혜

촉매 역시 반응 속도를 빠르게 할 수 있다. 식혜를 만드는 데 사용하는 엿기름에는 효소인 아밀레이스가 들어 있어 밥을 사하는 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.

● 촉매와 반응 속도

촉매에는 정촉매와 부촉매 두 종류가 있다.

1. 정촉매는 반응 경로를 바꾸어 활성화 에너지가 낮은 경로로 반응하게 하여 반응 속도를 빠르게 만드는 물질이다. 정촉매를 사용하여 활성화 에너지를 낮추면 반응할 수 있는 입자(활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 입자) 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.



▲ 촉매와 활성화 에너지

2. 부촉매는 활성화 에너지가 높은 경로로 반응하게 하여 반응 속도를 느리게 만드는 물질 억제제이다.

- E_a : 촉매가 없을 때의 활성화 에너지
- E_a' : 정촉매를 넣었을 때의 활성화 에너지
- E_a'' : 부촉매를 넣었을 때의 활성화 에너지

| 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.

행성상 성운이나 초신성 폭발처럼 별을 이루던 물질들이 우주 공간으로 방출되는 과정이 없다면 은하에서는 성간 물질의 양이 점점 줄어들어 별이 새로 태어날 수 없으므로 은하는 점차 어두워지게 될 것이다.

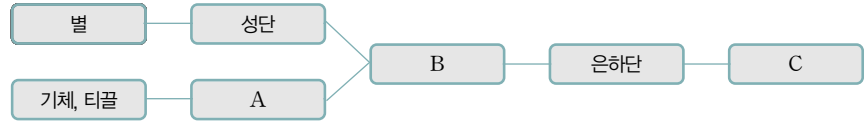
원소의 생성

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 우라늄과 같은 원소가 생성될 수 있다.
 - ④ 백색 왜성의 중심핵에서 핵융합 반응으로 철이 생성된다.
 - ⑤ 산소와 규소는 질량이 큰 별의 내부에서 핵융합 반응으로 생성된다.
- ④ | 백색 왜성에서는 핵융합 반응이 일어나지 않는다. 철은 질량이 매우 큰 별의 중심핵에서 규소나 황의 원자핵 융합으로 만들어진다.

우주의 구조

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



A: 성간 물질, B: 은하, C: 초은하단

화합물의 형성

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

성간 원자들이 공유 결합하여 여러 가지 화합물을 만든다. 예를 들어 수소 분자는 수소 원자 2개가 공유 결합하여 만들어지며, 암모니아는 질소 원자 1개와 수소 원자 3개가 공유 결합하여 만들어진다.

농도와 유효 충돌

염산의 농도가 진하면 반응물 질의 양이 많아지고, 이들이 마그네슘 리본과 화학 반응할 수 있는 유효 충돌 횟수가 증가하여 생성물질의 양이 많이 만들어지기 때문이다.

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.



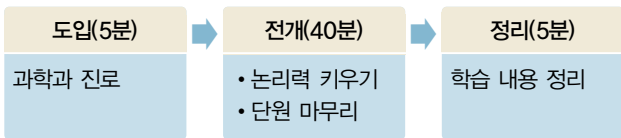
5% 염산

20% 염산

대단원 마무리

14차시

54~57쪽



과학과 진로

● 천체 망원경의 종류

천체 망원경은 관측하는 빛의 파장 영역에 따라 광학 망원경, 전파 망원경, 적외선 망원경 등 여러 가지가 있다.

광학 망원경은 가시광선 영역을 관측하는 망원경으로, 볼록 렌즈로 빛을 모으는 굴절 망원경과 오목 거울로 빛을 모으는 반사 망원경으로 구분한다. 전파 망원경은 반사 망원경의 오목 거울과 비슷한 반사기(접시)로 전파를 모아 분석한다. 전파는 파장이 길기 때문에 광학 망원경만큼 세밀한 상을 얻을 수 없다. 그러나 여러 개의 전파 망원경을 서로 연결하면 더욱 뚜렷한 상을 만들 수 있는데, 이처럼 서로 연결된 망원경들을 간섭계라고 한다.

그 밖에 적외선 망원경, 자외선 망원경, X선 망원경 등이 있으며, 주로 인공위성에 장착되어 우주에서 임무를 수행한다.

● 망원경의 성능(집광력)

망원경이 빛을 모을 수 있는 능력을 집광력이라고 하며 집광력이 클수록 상대적으로 더 어두운 천체도 관측할 수 있다. 망원경에서 볼록 렌즈나 오목 거울에 입사한 빛은 굴절 또는 반사되어 하나의 초점에 모인다. 따라서 집광력은 렌즈의 투과율이나 거울의 반사율에 따라 차이가 있지만 일반적으로 망원경의 구경이 클수록 좋다. 성인 눈동자의 직경을 5 mm라고 하면 구경이 25.4 m인 거대 마젤란 망원경의 집광력은 다음과 같다.

$$\text{집광력} = \frac{\text{망원경의 구경}^2}{\text{눈동자의 직경}^2} = \frac{(25,400 \text{ mm})^2}{(5 \text{ mm})^2} = 25,806,400$$

● 한국 우주 전파 관측망(KVN, Korean VLBI Network)

한국 천문연구원 주관으로 2008년에 완공한 국가 사업으로, 서울(연세대학교), 울산(울산대학교), 제주(탐라대학교)에 각각 지름 21 m의 전파 망원경을 설치하고 네트워크를 구성하여 지름 500 km에 이르는 거대한 전파 망원경의 성능을 구현하는 시스템이다. 더불어 이 시스템을 이용하면 일본이나 중국 등에 설치된 전파 망원경과도 연계가 가능하다.

과학과 진로

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 제1저자인 정도로 우리나라의 천문학은 괄목할만한 성장을 하고 있다.



▶ 그림 57 _ 거대 마젤란 망원경 (상상도)과 실제 크기 비교

● 한국 천문 연구원

1974년 천문 우주 과학 발전에 필요한 학술 연구와 기술 개발을 종합적으로 수행하고 그 성과를 보급하기 위해 설립되었으며, 다음과 같은 임무를 수행하고 있다.

- 천문학과 우주 과학에 대한 연구 및 사업
- 대형 관측 시설의 운영 및 기기 개발
- 역 및 표준시의 관리 등 국가 천문 업무의 수행
- 국내 외 관련 기관과의 협력 및 공동 연구 수행
- 대국민 천문 지식 및 정보 보급 사업
- 정부 및 국내외 관련 기관과의 연구, 기술 용역에 대한 위탁
- 위 각 부대 사업과 기타 연구원의 목적 달성을 위하여 필요한 사업

● 진로 관련 사이트

- 한국 천문연구원: <http://www.kasi.re.kr/>
- 보현산 천문대: <http://boao.kasi.re.kr/>
- 소백산 천문대: <http://soao.kasi.re.kr/>
- 서울특별시 교육 연구 정보원 진학 진로 정보 센터: <http://www.jinhak.or.kr/>
- 한국 직업 정보 시스템: <http://know.work.go.kr/>

논리력 키우기

밤하늘이 어두운 까닭

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

“밤하늘은 왜 어두운가?”

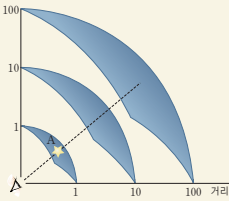
만약 우주가 별들이 고르게 분포하고 우주의 크기는 무한하며 변하지 않는다면, 또 빛의 속도가 유한하다면 밤하늘은 전 우주에 고르게 퍼져 있는 별들의 별빛 때문에 대낮보다도 더 밝아야 한다. 과학자들은 우주 공간에 빛을 흡수하는 물질이 존재한다고 가정하여 이 질문에 대한 답을 찾고자 했지만 그럴듯한 해답을 얻지 못하였다. 만약 우주 공간에 빛을 흡수하는 물질이 있어 별빛을 흡수한다고 하여도 일정량 이상의 에너지를 흡수한다면 그 물질도 빛을 방출하게 되기 때문이다.

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.

논리력 키우기

★ | 평가 목표 |

간단한 계산을 통해 ‘올버스의 역설’에 대한 내용을 이해하고, 허블의 법칙이나 우주가 팽창하고 있다는 사실과 연관시켜 올버스의 생각에 대한 합리적인 답을 제시할 수 있다.

★ | 예시 답안·평가 기준표 |

1. (1) 면적이 10²배가 되므로 별의 개수는 100개가 되고, 별 하나의 밝기는 $\frac{1}{10^2} A = \frac{1}{100} A$ 가 되며, 별 100개에 의한 밝기는 A가 된다.
- (2) 면적이 100²배가 되므로 별의 개수는 10,000개가 되고, 별 하나의 밝기는 $\frac{1}{100^2} A = \frac{1}{10,000} A$ 가 되며, 별 10,000개에 의한 밝기는 A가 된다.
- (3) 한 방향 내의 많은 별들에 의해 밝기는 무한히 밝아진다.

평가 기준	배점(%)
(1)과 (2)에 대한 계산이 타당하고 (3)에서 올바른 결론을 도출한 경우	100
(1)~(3)의 어느 하나가 옳은 답이 제시된 경우	30

2. 은하들이 우주의 팽창 때문에 멀어지고 있으므로 빛은 적색편이로 약해지고, 빛의 속도는 유한하기 때문에 137억 광년보다 먼 곳에 있는 은하는 볼 수 없다. 또 우리가 보는 먼 우주는 우주 탄생 초기의 모습이며, 당시에는 은하가 지금보다 적기 때문에 먼 우주는 가까운 우주보다 더 어두울 것이다.

평가 기준	배점(%)
우주의 팽창, 광속의 유한함, 먼 우주의 밝기를 언급하여 밤하늘이 어두움을 바르게 설명한 경우	100
우주의 팽창, 광속의 유한함, 어둡고 먼 우주에 대한 설명 중 2가지만 언급한 경우	70
우주의 팽창, 광속의 유한함, 어둡고 먼 우주에 대한 설명 중 1가지만 언급한 경우	30

★ | 지도상의 유의점 |

1. 제시된 당시 해결되지 못했던 창의적 아이디어가 결국에는 답을 얻게 되는 과정을 통해 자연 현상을 설명하는 가장 합리적인 답을 찾아가는 과학의 본성에 대해 이해하도록 한다.
2. 우주의 팽창으로 은하들 사이의 거리는 멀어지지만, 우리 은하 내부의 별들 사이의 거리가 멀어지는 것은 아님을 설명한다.

★ | 또 다른 논술 |

■ 논술 문항

제시문 (가)에서 올버스가 가정한 내용이 현대 우주론과 어떻게 다른지 설명해 보자.

■ 예시 답안

우주 전체로 볼 때 은하 분포는 비교적 균일하다고 볼 수 있다. 그러나 지구는 별들이 특히 많은 우리 은하의 은하면에 있으므로 지구의 밤하늘은 우주의 평균 밝기보다 밝을 것이다. 또, 대폭발 우주론에 의하면 우주는 137억 년 전에 탄생하였으므로 우주의 크기가 유한하고 영원히 존재했었다는 가정은 옳지 않다.

■ 평가 기준표

평가 기준	배점(%)
별들의 분포와 우주의 크기에 대한 가정에 대해 타당한 근거를 제시한 경우	100
별들의 분포나 우주의 크기에 대한 가정에 대한 근거가 한 가지만 타당하게 제시된 경우	50

단원 마무리

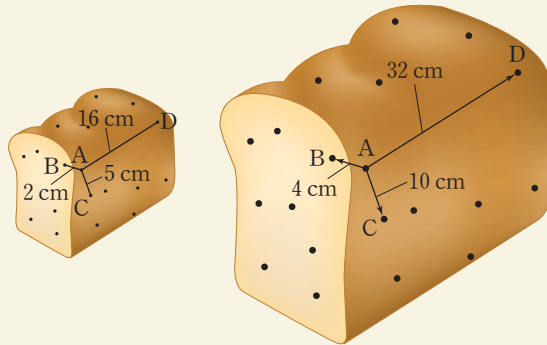
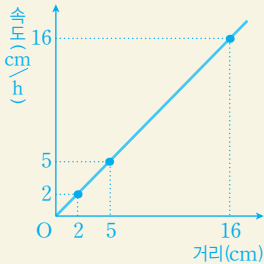
사고력 향상 문제

- 매우 먼 거리에 있는 은하들을 관측하면 우주가 탄생한 초기의 모습을 알 수 있는 까닭은 무엇인지 이야기해 보자.
지구에서 매우 먼 거리에 있는 은하의 빛이 지구에 도달하려면 매우 오랜 시간이 걸린다. 만약 지구에서 100억 광년 떨어져 있는 은하의 빛을 관측한다면 이 빛은 100억 년 전에 그 은하에서 방출된 것이다.

사고력 향상 문제

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

빵이 부푸는 속도는 그래프의 기울기와 같으며, $\frac{1 \text{ cm/h}}{1 \text{ cm}}$ 이다.



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

- 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.
원자핵 내에서 양성자와 중성자들을 강하게 결합시키는 강한 상호 작용력(강력)이 작용하기 때문이다. 강력은 자연에 존재하는 네 가지 기본 힘 중에 가장 세지만, 양성자와 중성자 정도의 크기를 벗어나면 급격히 감소하여 작용하지 않는다. 따라서 강력은 실생활에서는 느낄 수 없다.

수소와 헬륨의 질량 비율이 3:1이다. | 우주 배경 복사

창의력 문제

- 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.

원자 내 전자가 에너지 준위가 낮은 곳으로 내려올 때에는 에너지를 빛의 형태로 방출하여 방출 스펙트럼이 관찰되고, 전자가 빛을 흡수하여 에너지 준위가 높은 곳으로 올라갈 때에는 흡수 스펙트럼이 관찰된다. 이때 전자가 존재할 수 있는 에너지 준위의 간격은 물질의 종류에 따라 정해져 있으므로 방출되거나 흡수되는 스펙트럼을 관찰하면 어떠한 종류의 원소로 구성되어 있는지 알 수 있다. 따라서 별빛의 스펙트럼을 관찰하여 별의 구성 원소를 알 수 있기 때문에 스펙트럼을 별의 지문이라고 한다.

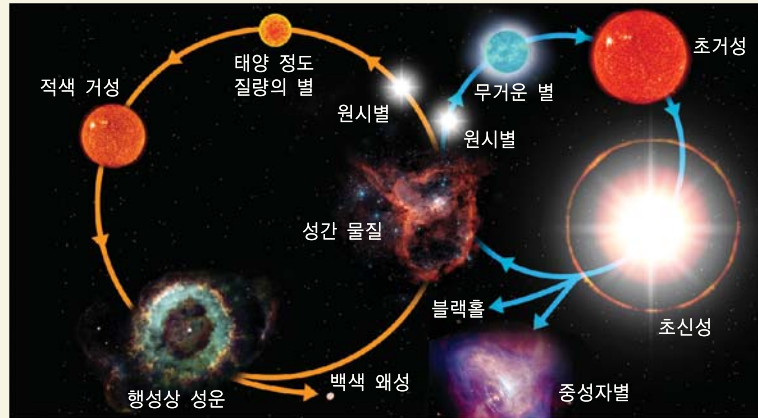
탐구형 문제

- 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.

- (나) 질량이 매우 큰 별
- (1) 성간 물질이 수축되어 원시별로 태어난다.
 - (2) 수소 핵융합 반응이 시작되어 주계열성이 된다.
 - (3) 중심핵에서 수소, 헬륨, 탄소, 산소, 규소 등이 차례로 핵융합 반응을 하며 밝게 빛난다.
 - (4) 중심부에서 핵융합 반응에 참여할 물질들이 고갈되면 적색 초거성이 된다.
 - (5) 중심핵에서 철이 만들어지고 난 후 초신성 폭발이 일어난다.
 - (6) 별의 바깥 부분이 우주 공간으로 퍼져나가고, 중심핵은 중성자별이나 블랙홀이 된다.



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

(가) 태양 정도의 질량의 별

- (1) 성간 물질이 수축되어 원시별로 태어난다, (2) 수소 핵융합 반응이 시작되어 주계열성이 된다, (3) 중심핵에서의 수소 핵융합 반응이 끝나 적색 거성이 된다, (4) 별의 바깥층이 팽창하여 행성상 성운이 되고, 중심핵은 백색 왜성이 된다.

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.
우리 은하의 원반부에는 많은 별들이 모여 있으며 지구가 속한 태양계도 우리 은하의 원반부에 있다. 은하수는 우리 은하의 원반부가 밤하늘에 보이는 것이므로, 만약 태양이 우리 은하의 가장자리에 있다면 은하수는 하늘의 절반에만 보일 것이다.

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.
암흑 물질이 많다면 우주 전체의 질량이 커져 중력이 강하게 작용하므로, 대폭발 이후 우주가 팽창하는 속도는 점차 느려질 것이다.

사고력 향상 문제

9. 성간에서 원자들이 결합하는 화학 반응을 통해 만들어지는 여러 가지 분자 중 수소 분자가 가장 많은 까닭은 무엇인지 설명해 보자.
우주 공간에 수소 원자가 가장 많이 존재했으므로, 이들 사이의 반응으로 생성되는 여러 가지 생성물질 중 수소 원자 2개가 공유 결합하여 수소 분자가 만들어지는 반응 속도가 가장 빠르기 때문이다.

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.
부채질을 하여 아궁이에 바람을 불어넣으면 산소 공급이 더욱 많아져 산소의 농도가 진해진다. 이와 같이 반응물질의 농도가 진해지므로 나뭇가지의 연소 반응 속도가 증가한다.