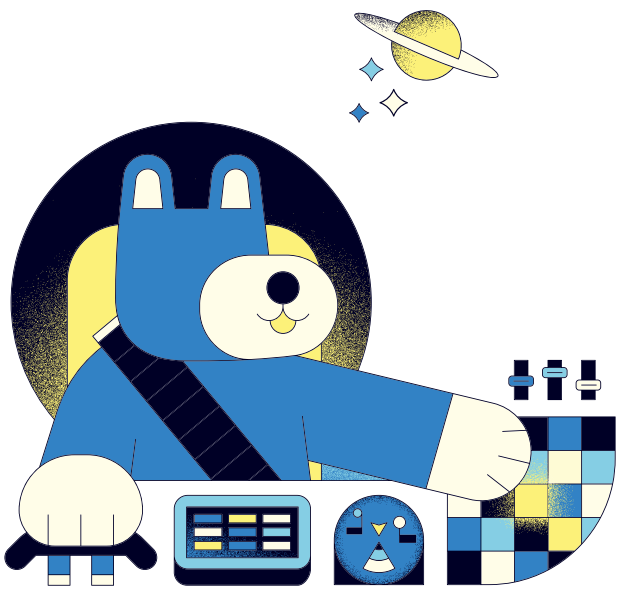
고등학교

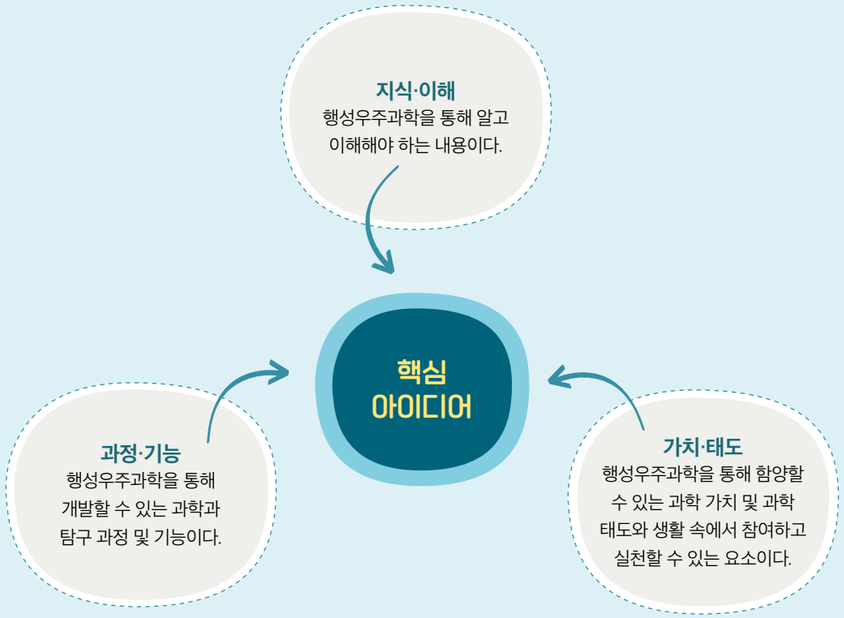
행성우주과학

김연귀
문무현
박창용
박재용
장유순
최윤옥



MiraeN

행성우주과학 교과서를 통해 다양한 활동과 탐구를 중심으로 한 학습을 하면서
지식·이해, 과정·기능, 가치·태도의 세 차원을 상호 보완적으로 함양함으로써
핵심 아이디어에 도달할 수 있다.



머리말

미래는 첨단 과학기술을 기반으로 다양한 영역이 융합·복합되어 새로운 가치를 창출하는 사회로, 과학적 문제해결력과 창의성을 갖춘 전문가 집단과 시민이 함께 주요 정책을 결정하고 추진해 나가게 될 것이다. 특히 빠르게 발전하는 우주과학 기술을 바탕으로 우주 탐사와 우주 개발이 본격적으로 진행됨에 따라 이와 관련된 문제를 인식하고 해결하는 능력은 매우 중요해질 것이다.

따라서 이 교과서는 우주 관련 현상을 과학적으로 이해하고 우주를 탐구하는 능력을 함양하며, 이를 활용해 인류가 직면한 우주 관련 문제를 과학적으로 해결하고자 하는 태도를 기르는 데 중점을 두었다. 더불어 우주에 대한 흥미와 호기심을 가지고 우리가 살고 있는 지구의 소중함을 인식해 올바른 우주관을 가질 수 있도록 구성했다. 이를 통해 궁극적으로는 민주 시민으로서 과학적 소양을 바탕으로 더불어 살아가는 창의적인 사람을 육성하는 것을 목표로 삼았다.

교과서의 각 영역은 다양한 탐구를 중심으로 행성우주과학과 관련된 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도의 세 차원을 상호 보완적으로 배양할 수 있도록 구성했다. 우주 탐사와 행성계 영역에서는 우주 탐사를 통해 새롭게 밝혀진 사실과 함께 우주 위험 감시의 중요성 및 행성계의 특징을 다루고, 태양과 별의 관측 영역에서는 관측을 통해 알 수 있는 태양과 별의 물리적 특징을 다룬다. 또 은하와 우주 영역에서는 은하를 구성하는 물질과 관측 가능한 우주를 구성하는 은하의 분포를 다룬다.

이 교과서를 학습한 학생이 지식과 실천을 연계하여 미래 사회를 살아가는 데 필요한 행성우주과학 관련 소양을 함양하고, 주체성을 갖춘 시민으로 성장해 미래의 주역이 되기를 진심으로 바란다.

지은이

이 책의 구성과 특징

대단원 시작 학습

대단원 도입

- 대단원 내용을 아우르는 개방형 질문에 답해 보면서 호기심을 가질 수 있다.
- 이 단원에서 학습해야 할 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도를 확인할 수 있다.
- 중학교 과학, 통합과학, 지구과학과의 연계를 통해 학습 구조를 파악할 수 있다.

단원 학습

소단원 도입

일상생활에서 경험할 수 있는 소재로
단원을 시작하며 학습에 흥미를 느낄 수 있다.

본문

다양한 시각 자료를 보면서 학습 개념을 쉽게 이해할 수 있다.

해 보기 / 탐구

조사, 자료 분석, 모형 제작 등 다양한 활동으로 학습 개념을 이해하고 과학 역량을 키우며, 활동을 스스로 평가하고 점검할 수 있다.

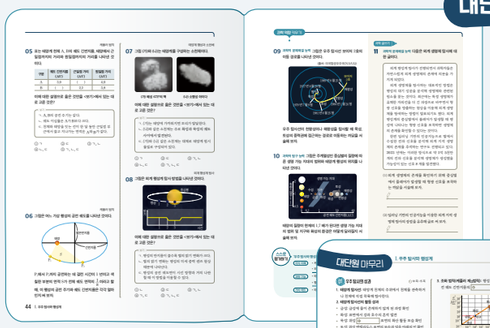
스스로 확인하기

소단원별 학습 내용을 스스로 평가하고 창의력을 키울 수 있다.

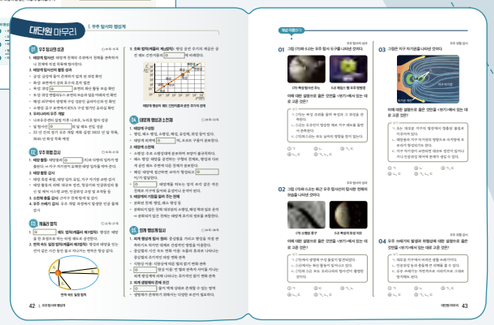
학습 도우미

- 용어에 대한 보충 설명
- 다른 단원, 다른 학년 단원과의 연계 설명
- 디지털 인터넷을 통해 자료를 얻거나 학습할 수 있는 누리집 등을 소개해 디지털 소양 함양
- 자료 연계 물음으로 자료 분석과 수리 역량 강화
- QR 코드를 통해 시뮬레이션, 누리집 방문 등 디지털 콘텐츠 활용

대단원 마무리 학습

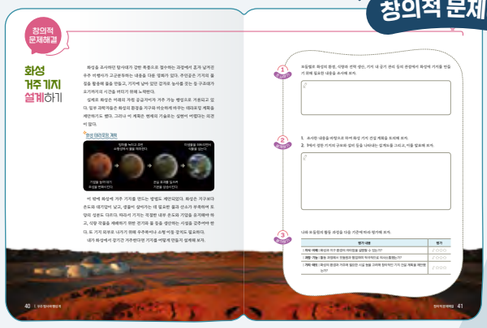


- 개념을 정리하고, 여러 가지 유형의 문제 풀이, 과학 글쓰기를 하면서 학습 내용을 최종 점검하고 과학 역량을 기를 수 있다.
- 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도별로 성취 수준을 스스로 평가할 수 있다.



창의적 문제해결

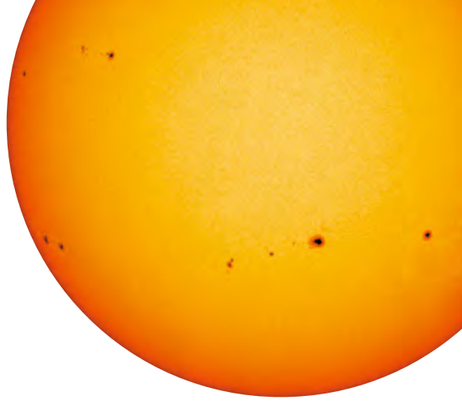
산출물 제작, 프로젝트, 토의/토론 등의 활동을 하면서 다양한 문제를 창의적으로 해결할 수 있다.



과학과 미래/과학 이야기

- 단원과 관련된 진로, 직업 내용을 읽고 스스로 진로를 탐색할 수 있고, 창의적 활동을 하면서 가치·태도를 함양할 수 있다.
- 최신 과학, 과학사 등 다양한 읽기 자료를 보고 관련 물음에 답해 보면서 창의력을 키울 수 있다.

이 책의 차례



Ⅰ 우주 탐사와 행성계

01 우주 탐사의 성과 10
02 우주 위험 감시 16
03 케플러 법칙 22
04 태양계 행성과 소천체 28
05 외계 행성계 탐사 34
● 과학과 미래 39
● 창의적 문제해결 40
● 대단원 마무리 42

Ⅱ 태양과 별의 관측

01 태양 관측 48
02 별의 거리 측정 54
03 별의 운동 58
04 쌍성과 별의 질량 62
05 변광성 67
● 과학과 미래 71
● 창의적 문제해결 72
● 대단원 마무리 74

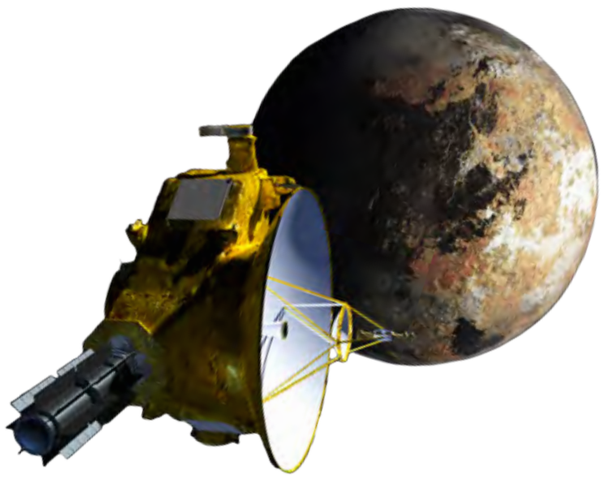
Ⅲ 은하와 우주

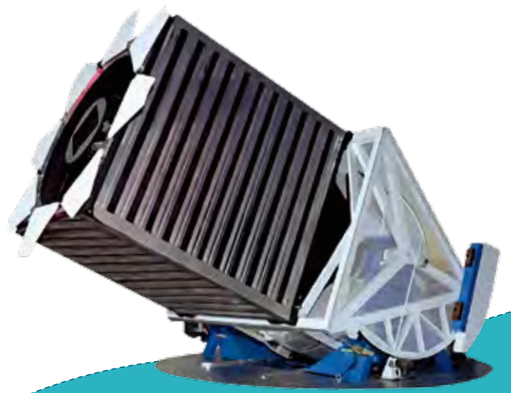
01 천체의 거리와 우리은하의 구조 80
02 성간 물질 90
03 우리은하의 회전과 질량 분포 94
04 전천 탐사와 은하의 공간 분포 98
05 은하의 집단과 우주거대구조 101
● 과학과 미래 105
● 창의적 문제해결 106
● 대단원 마무리 108

부록

학습 자료실 113
• 단위와 상수
• 천문학의 발전
• 우리나라 천문대 소개
• 천체 망원경 사용 방법
• 탐구 활동 자료

정답 및 해설 121
찾아보기 126
자료 출처 127





I

우주 탐사와 행성계

맨눈으로 바라보던 우주를 이제는 망원경으로 관측하고
탐사선으로 직접 탐사하는 시대가 되었다.
최근의 탐사로 우리는 우주에 대해 무엇을 알게 되었을까?

01 우주 탐사의 성과
02 우주 위험 감시
03 케플러 법칙
04 태양계 행성과 소천체
05 외계 행성계 탐사

창의적 문제해결 화성 거주 기지 설계하기

이 단원의 학습 내용

지식·이해
- 케플러의 세 가지 법칙을 이용하여 태양계 구성 천체들의 운동을 설명할 수 있다.
- 외계 행성계 탐사의 원리와 외계 행성에 생명체가 존재할 수 있는 조건을 설명할 수 있다.

과정·기능
- 태양계 탐사선의 성과를 이해하고, 인공위성을 활용한 우주 탐사의 필요성을 토론할 수 있다.
- 행성과 소천체의 정의를 이해하고, 소천체 탐사 자료를 통해 이들의 특징을 추론할 수 있다.

가치·태도
- 태양 활동 감시 시스템과 우주 위험 감시 기술의 중요성을 우주 재난 측면에서 인식할 수 있다.

단원 연계

중학교 과학	통합과학1	지구과학	행성우주과학
태양계	물질과 규칙성	태양계 천체와 별과 우주의 진화	우주 탐사와 행성계

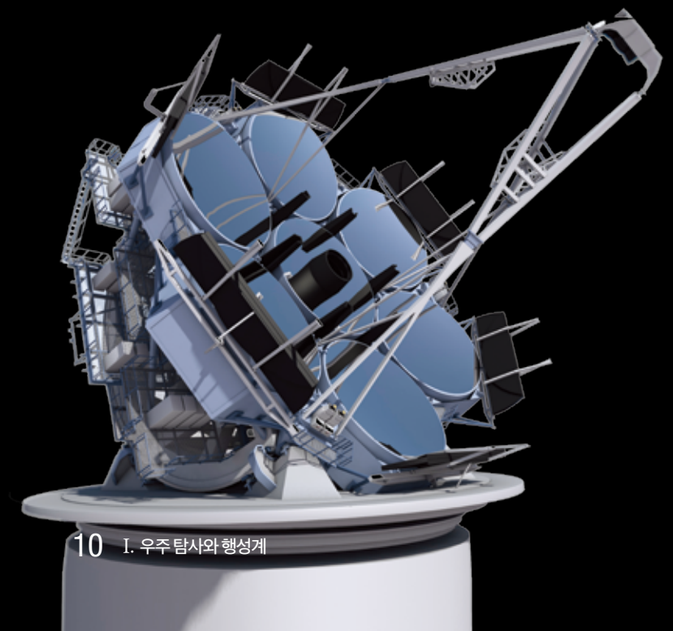
01 우주 탐사의 성과

학습 목표
- 태양계 탐사선의 활동을 통해 알아낸 성과를 설명할 수 있다.
- 인공위성을 활용한 우주 탐사의 필요성을 토론할 수 있다.

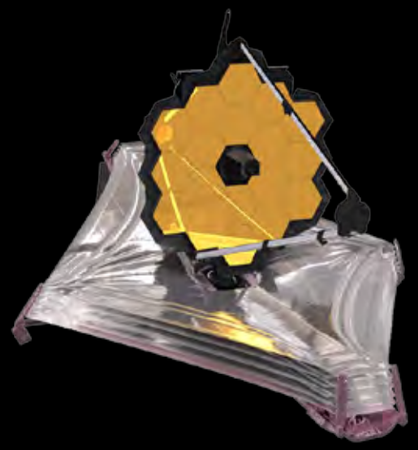
광대한 우주는 인류에게 경외의 대상이자 탐구의 목표이다. 우주를 탐사하기 위해 과학자들은 지상의 망원경을 이용하거나 우주에 띄운 망원경으로 우주를 관측한다. 또 탐사하려는 천체로 **우주 탐사선**을 보내기도 한다.

지상 망원경

지상에서는 주로 가시광선과 전파 영역으로 우주를 관측한다. 지상 망원경은 적외선, 자외선 등 관측하기 어려운 파장 영역이 있지만, 망원경의 성능을 결정하는 구경을 크게 제작하기가 비교적 쉽고 유지·보수도 편리하다는 장점이 있다.



거대 마젤란 망원경(상상도)
2029 년 완성 예정인 초대형 망원경으로 지름 8.4 m의 반사경 일곱 장을 모아 지름 25.4 m의 반사경 효과를 낸다. 우리나라도 제작에 참여하고 있다.



제임스 웹 우주 망원경
주로 적외선 영역으로 천체를 관측하며, 반사경의 지름이 6.5 m로 현존하는 우주 망원경 중에서 규모가 가장 크다.

우주 망원경

지상에 설치한 망원경은 지구의 대기 때문에 천체를 관측하는 데 한계가 있다. 따라서 천체를 자세하게 관측하기 위해 망원경을 우주로 보내기도 한다. 허블 우주 망원경(HST), 스피처 우주 망원경 등이 다양한 목적으로 우주로 발사되었고, 최근 제임스 웹 우주 망원경이 발사되었다.

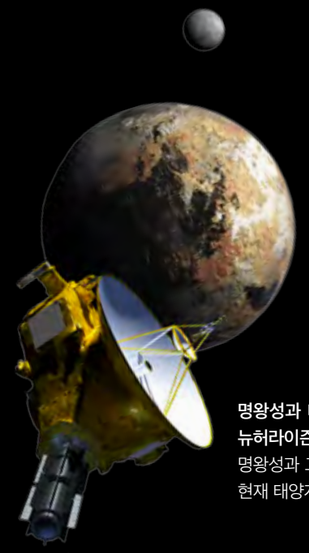
태양계 탐사선

태양계 탐사선은 태양, 행성, 소행성, 혜성 등의 천체 주위에서 천체를 관측하거나 천체에 직접 착륙해 탐사를 진행한다. 지구와의 거리가 가까운 금성, 화성에는 우주 탐사 초기부터 탐사선을 보내 자료를 수집했다. 특히 화성에는 다양한 탐사선이 직접 착륙해 행성의 대기와 표면, 진화 과정에 대한 정보를 수집했다. 1970년대부터는 더 먼 거리에 있는 행성에 탐사선을 보내기 시작했고, 지구에서 관측하지 못했던 목성형 행성의 고리와 수많은 위성을 관측했다. 최근에는 소행성이나 혜성에도 탐사선을 보내 탐사를 진행하고 있다.

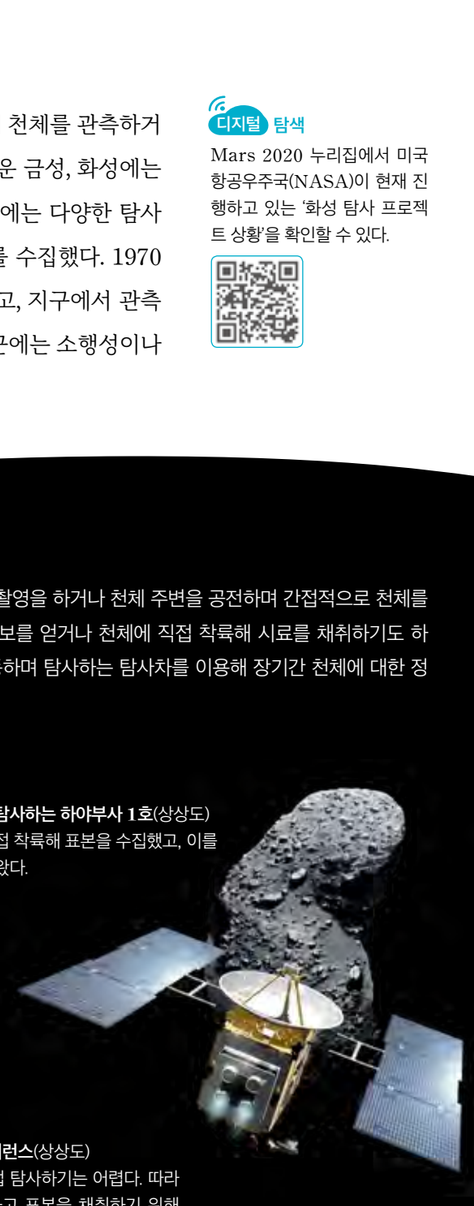
디지털 탐색
Mars 2020 누리집에서 미국 항공우주국(NASA)이 현재 진행하고 있는 '화성 탐사 프로젝트 상황'을 확인할 수 있다.

우주 탐사선

우주 탐사선은 천체를 지나며 근접 촬영을 하거나 천체 주변을 공전하며 간접적으로 천체를 탐사한다. 또 탐사체를 낙하시켜 정보를 얻거나 천체에 직접 착륙해 시료를 채취하기도 하고, 자체 동력으로 행성 표면을 이동하며 탐사하는 탐사차를 이용해 장기간 천체에 대한 정보를 수집하기도 한다.



명왕성과 태양계 외곽을 탐사하는 뉴허라이즌스(상상도)
명왕성과 그 위성을 근접 촬영했고, 현재 태양계 외곽을 지나고 있다.



소행성 이토카와를 탐사하는 하야부사 1호(상상도)
최초로 소행성에 직접 착륙해 표본을 수집했고, 이를 가지고 지구로 돌아왔다.

화성 표면을 탐사하는 퍼서비어런스(상상도)
아직까지 행성에서 사람이 직접 탐사하기는 어렵다. 따라서 행성 표면을 장기간 탐사하고 표본을 채취하기 위해 탐사차를 이용한다. 화성에는 최근 탐사를 시작한 퍼서비어런스를 비롯해 다양한 탐사차가 활동하고 있다.

탐구 능력 | 문제해결 능력

탐구

자료 수집 / 의사소통과 협업

태양계 탐사 프로젝트 조사하기

목표

다양한 태양계 탐사 프로젝트를 조사하고 그 성과를 설명할 수 있다.

과정

준비물 ☑
☑ 스마트 기기

디지털 탐색
빅데이터를 활용한 뉴스 분석 도구인 빅카인즈 누리집(https://www.bigkinds.or.kr)에서 검색어를 입력하면 관련된 뉴스를 주제별로 묶어서 볼 수 있다.

디지털 공유
공유 플랫폼을 이용해 모둠의 조사 결과를 공유할 수 있다.

1. 모둠별로 탐사 프로젝트의 대상이 되는 태양계 천체(태양, 달, 행성, 소행성, 혜성 등)를 정한다.
2. 모둠에서 정한 천체에 대한 탐사 프로젝트를 조사한다.
   - ⊕ 탐사 프로젝트의 진행 시기와 목적, 탐사 과정과 탐사 성과 등을 조사한다.
3. 조사한 결과를 정리해 다른 모둠과 공유한다.
4. 다른 모둠의 조사 결과를 확인하고, 최근 진행된 태양계 탐사로 새롭게 알게 된 사실에 대해 토의한다.

결과 및 정리

1. 모둠에서 정한 천체에 대한 탐사 프로젝트의 종류 및 성과를 설명해 보자.

2. 최근 진행된 태양계 탐사로 새롭게 알게 된 사실을 정리해 보자.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 태양계 탐사 프로젝트의 성과를 설명할 수 있는가? ☆☆☆
| 과정·기능 | 다양한 태양계 탐사 프로젝트를 조사하고 그 결과를 공유했는가? ☆☆☆
| 가치·태도 | 태양계 탐사의 필요성과 중요성을 인식했는가? ☆☆☆

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

그림 I-1 화성의 표면

태양계 탐사선의 활동 성과

금성은 온도와 대기압이 매우 높아 표면에 착륙해 탐사하기 어려운 행성이다. 탐사선 비너스 익스프레스는 금성 주위를 돌며 금성의 대기와 표면을 관측했고, 표면에 물이 존재하지 않게 된 과정을 밝혀냈다. 화성 탐사차 큐리오시티, 퍼서비어런스 등은 화성 표면에서 강과 호수가 존재했던 흔적을 발견했다. 과학자들은 화성이 미래에 인류가 거주할 수 있는 가능성이 높은 행성으로 판단하고 있다.

목성 탐사선 주노는 목성 주위를 돌며 목성과 목성의 위성을 촬영했고, 그림 I-2와 같이 위성 이오의 표면에서 화산 활동이 활발하게 일어나는 모습을 확인했다. 토성 탐사선 카시니는 그림 I-3과 같이 위성 엔켈라두스의 표면에서 뿜어져 나오는 수증기의 모습을 확인했다. 엔켈라두스는 표면이 얼음으로 덮여 있으며, 남극 부근에서 화산 활동이 일어나 얼음 조각과 수증기가 분출된다. 두꺼운 얼음 아래에는 액체 바다가 존재할 것으로 추정되며, 탐사선의 관측 자료를 분석한 결과 얼음 아래에 인이 풍부하게 포함되어 있다는 것이 밝혀졌다.

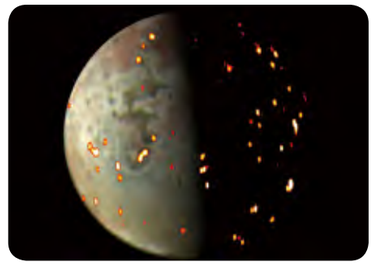


그림 I-2 목성의 위성 이오 밝게 표시된 영역에서 화산 활동이 활발하게 일어난다.

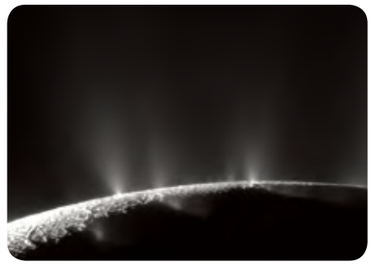


그림 I-3 토성의 위성 엔켈라두스 표면이 얼음으로 덮여 있고, 얼음의 틈으로 수증기가 뿜어져 나온다.

혜성, 소행성 등 태양계 소천체의 특징은 'I-04. 태양계 행성과 소천체'에서 배운다.
➡ 30 쪽

혜성과 지구의 물
과거 혜성이 원시 지구에 물을 공급했을 것이라는 주장이 있었으나 최근의 탐사로 혜성의 물은 지구의 물과 기원이 다르다는 것이 밝혀졌다.

혜성 탐사선 로제타는 혜성 67P에서 생명체의 중요 구성 성분인 글라이신과 인을 찾아냈다. 이는 혜성이 아미노산과 같은 생명체의 기원이 되는 물질을 지구에 전달했다는 주장의 근거가 되기도 했다.

그림 I-4는 탐사선 하야부사 2호가 소행성 류구의 표면에서 채취한 시료로, 이 시료를 분석한 결과 류구의 표면에 지구 생명체의 RNA를 구성하는 네 가지 염기 중 하나인 유라실이 존재하는 것을 확인했다. 이러한 결과를 바탕으로 과학자들은 생명체의 기본 물질이 지구에만 존재하는 것이 아니라 태양계, 더 나아가 우주 전역에 분포할 수 있다고 추론한다.

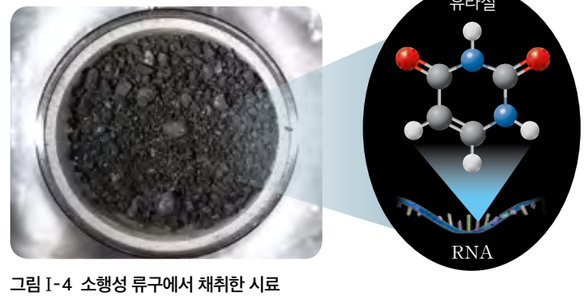


그림 I-4 소행성 류구에서 채취한 시료

우리나라의 우주 개발

우리나라의 우주 개발은 1992 년 인공위성 우리별 1호를 지구 궤도에 올리면서 시작되었다. 2009 년에는 전라남도 고흥군 외나로도에 나로우주센터가 설립되었고, 2013 년에는 나로호를 발사하는 데 성공했다.

그림 I-5 나로우주센터

나로호 발사를 시작으로 우리나라의 우주과학 기술은 빠르게 발전했다. 2022 년에는 달 탐사선 다누리를 발사해 달 궤도에 진입시켰고, 2023 년에는 독자적인 기술로 실용 위성을 탑재하여 누리호를 발사하는 데 성공했다.

이러한 성과에 기초해 우리나라는 달·화성 탐사, 우주 기술 강국 도약, 우주 산업 육성, 우주 안보 실현, 우주 인재 육성 등의 목표를 달성하기 위한 장기 우주 개발 계획을 설정했다. 우리나라는 우주 개발 경쟁에 후발 주자로 참여했으나, 바르게 발전하는 과학기술과 다양한 분야의 인재를 바탕으로 하여 선발 국가를 따라잡고 있다.

다누리의 관측 장비
다누리는 물과 얼음 탐지 장비, 자기장 측정 장비, 원소 탐사 장비, 우주 인터넷 시험 장비 등을 갖추고 있다.

달 탐사선 다누리(상상도)

아르테미스 계획
1970 년대 미국의 달 탐사 이후 50여 년 만에 진행되는 달 기지 건설 계획으로, 우리나라를 포함한 여러 국가가 참여하는 국제 우주 탐사 계획이다. 다누리는 달의 극지방을 촬영해 탐사선이 착륙할 지점을 결정하는 데 도움을 주었다.

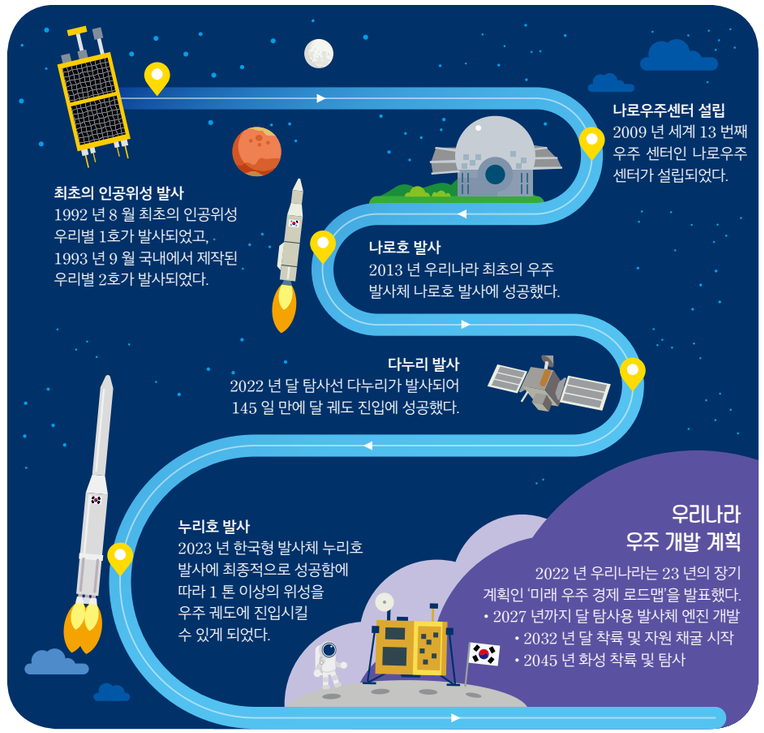


그림 I-6 우리나라의 우주 개발 성과와 계획

우주를 연구하기 위해 지상에 대형 망원경을 설치하는 것도 좋지만, 날씨의 영향을 받지 않는 지구 대기권 밖에 우주 탐사 장비를 탑재한 인공위성을 띄우면 긴 시간 동안 안정적으로 다양한 천체를 관측해 정밀한 자료를 얻을 수 있다. 그러나 지상에서의 우주 탐사에 비해 인공위성을 활용한 우주 탐사는 많은 재정이 투입되는 대형 사업이기 때문에 이를 반대하는 의견도 있다. 다음 활동에서 인공위성을 활용한 우주 탐사의 필요성을 알아보자.

지구 궤도 인공위성
지구 대기권 바깥에서 지구를 공전하는 위성으로, 지구 자전 주기와 같은 주기로 공전하는 정지 궤도 위성과 지구의 남극과 북극을 가로지르며 공전하는 극궤도 위성 등이 있다. 허블 우주 망원경(HST)도 지구 궤도 인공위성에 해당한다.

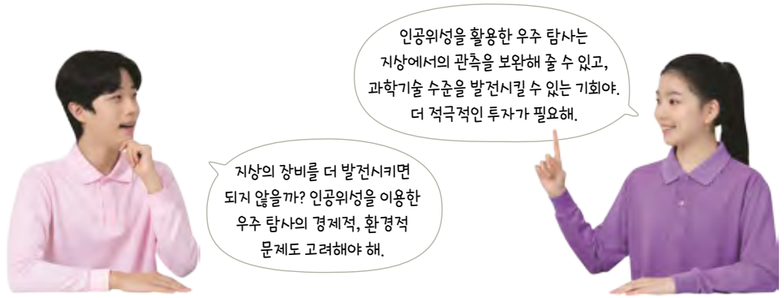
허블 우주 망원경(HST)

해보기

탐구 능력 | 의사결정 능력

인공위성을 활용한 우주 탐사의 필요성 토론하기

다음은 인공위성을 활용한 우주 탐사에 대한 두 학생의 의견이다.



1. 인공위성을 활용한 우주 탐사에 대한 나의 입장을 정하고, 입장을 뒷받침하는 자료를 조사해 보자.
2. 인공위성을 활용한 우주 탐사의 필요성에 대해 친구들과 토론해 보자.

인공위성을 활용한 우주 탐사는 지상 관측의 한계를 극복해 우주에 대한 더 많은 정보를 제공한다. 또 극한의 환경에서 작동할 수 있는 장비를 개발하는 기술·공학 분야의 발전에 도움이 되기도 한다.

스스로 확인하기

1 최근 진행된 태양계 행성 탐사의 성과를 설명해 보자.
2 인공위성을 활용한 우주 탐사의 장점을 설명해 보자.
3 | **창의력 더하기** | 그림은 우주의 낮은 중력을 보완하기 위해 고안된 유인 우주 탐사선을 나타낸 것이다. 이를 참고해 장기간의 유인 탐사를 위해 우주 탐사선이 갖춰야 할 기술은 어떤 것이 있을지 생각해 보자.

02 우주 위험 감시

학습 목표 | 태양 활동 감시 시스템과 우주 위험 감시 기술의 중요성을 우주 재난 측면에서 설명할 수 있다.

극지방에서 나타나는 오로라는
아름다운 모습으로 사람들의 감탄을 자아낸다.
그러나 오로라를 만드는 태양풍은 지구에 피해를 주기도 한다.
태양풍에 의해 어떤 피해가 생길 수 있을까?

우주 공간의 유해한 방사선, 지구 주변의 작은 천체나 인공 물체 등은 우주 탐사뿐만 아니라 실생활에도 위협이 될 수 있다. 우주의 위험 요소와 이에 대비하기 위한 감시 기술을 알아보자.

태양 활동

태양은 지구시스템을 유지하는 중요한 에너지원이지만, 태양 활동은 지구시스템을 위협하기도 한다. 태양의 대기를 이루는 전자와 양성자의 일부가 태양계 공간으로 불어 나가는 **태양풍**, 흑점 주변의 폭발로 막대한 에너지와 고에너지 입자가 방출되는 **플레어** 등은 지구에 큰 영향을 줄 수 있다.

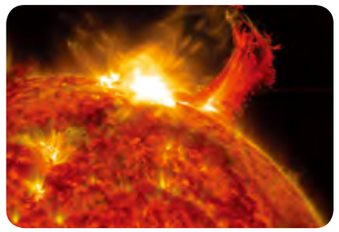


그림 I-7 플레어 밝은 부분은 플레어가 발생한 곳으로, 강력한 에너지가 방출된다.

태양에서 일어나는 현상은 'Ⅱ. 태양과 별의 관측'에서도 배운다.
➡ 52 쪽

태양풍이나 플레어로 방출된 입자가 지표면에 그대로 도달한다면 지구 생태계는 유지될 수 없을 것이다. 그러나 지구에는 자기권이 있어 이러한 입자들을 막아 준다. 지구 자기권은 지구 자기장의 영향이 미치는 영역으로 대기권보다 훨씬 더 높은 고도까지 분포하며, 그림 I-8과 같이 태양 방향은 태양풍에 밀려 납작하고 태양 반대 방향은 길게 늘어난 형태이다. 자기권에는 도넛 모양으로 지구를 둘러싸고 있는 •밴앨런대가 있다. 밴앨런대에 붙잡힌 태양풍 입자는 전하의 특성에 따라 남극과 북극 부근으로 나뉘어 이동하고, 지표를 향해 내려오다가 열권에서 대기 입자와 충돌하면서 오로라를 만들기도 한다.

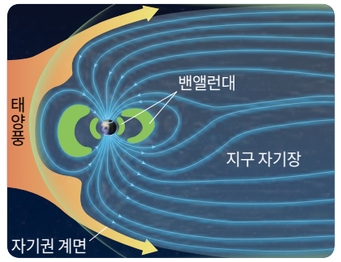


그림 I-8 지구 자기권과 태양풍

• 밴앨런대
1958 년 밴 앨런(Van Allen, J. A., 1914～2006)이 지구 자기권에서 발견한 구역으로, 태양풍에서 기원한 전자와 양성자가 밀집되어 있다.

그러나 평소보다 강한 태양풍이나 플레어가 발생하면 지구의 자기장이 심하게 교란되고, 여러 가지 피해가 발생하기도 한다.

태양 활동 감시

우리는 기상 정보를 확인해 옷차림을 바꾸거나 기상 재해에 대비한다. 태양 활동을 감시해 얻은 우주 기상 정보 역시 우리 생활에서 일어날 수 있는 피해를 예측하고, 이에 대비할 수 있게 한다.

태양 활동의 감시 요소는 태양 흑점 폭발, 태양 입자 유입, 지구 자기장 교란 등이 있다. 태양 흑점 폭발은 흑점 주변의 폭발(플레어)로 방출되는 X선, 자외선, 전파 등 전자기파의 영향을 나타내고, 태양 입자 유입은 플레어에 의해 지구로 유입되는 고에너지 입자의 양을 나타낸다. 지구 자기장 교란은 태양풍 입자 등에 의해 지구 자기장이 교란되는 정도이다. 이 요소들은 태양 활동이 지구 환경에 미칠 영향을 예측하고 대비하는 중요한 정보가 된다.

우리나라는 여러 기관에서 태양 활동 감시 시스템을 운영하고 있다. 각 기관은 그림 I-9와 같이 실시간으로 측정한 태양의 전파 및 고에너지 입자량, 지구 자기장 교란 등의 정보를 제공하고, 이를 분석해 인공위성 운영, 극 항로의 항공 기상, 통신과 항법 상태 등에 대해 예보하고 있다. 또 피해가 예상되는 경우 그 정도에 따라 경보를 발령하기도 한다.

(출처: 우주환경연구센터)

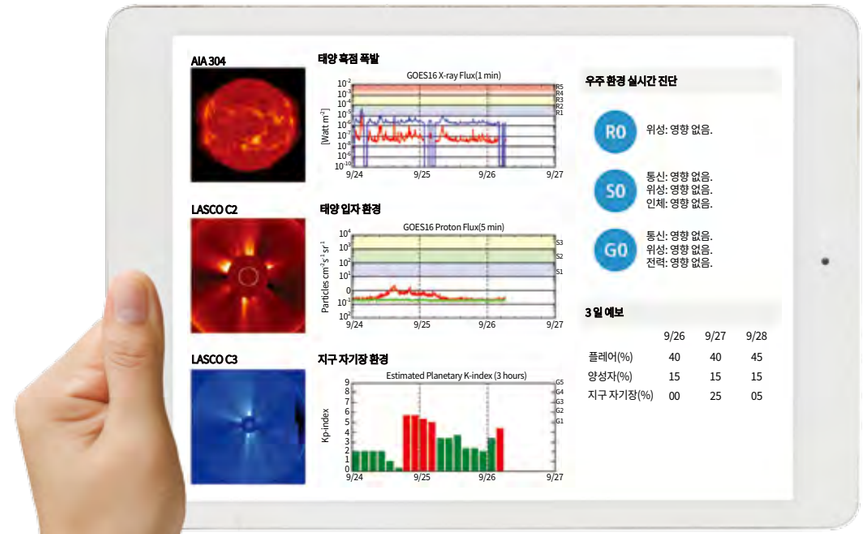


그림 I-9 태양 활동 감시 정보의 예

우주 기상(RSG) 지수
태양 흑점 폭발(R), 태양 입자 유입(S), 지구 자기장 교란(G)을 각각 1 단계～5 단계로 구분하며, 숫자가 클수록 피해가 크다.

태양 활동이 지구에 영향을 주는 데 걸리는 시간
태양에서 방출된 전자기파는 지구에 500 초 정도면 도착하지만, 태양풍 등 태양에서 방출된 입자가 도달해 지구 자기장이 교란되는 데는 평균 3 일～4 일이 걸린다.

우리나라의 태양 활동 감시 및 예보 시스템
우리나라는 우주환경연구센터, 국가기상위성센터, 우주환경센터에서 태양 활동 감시 시스템을 운영하고 있다. 공식적인 우주 기상 예보는 우주환경센터에서 담당한다.

탐구

탐구 능력 | 문제해결 능력

자료 수집 / 자료 분석 및 해석

태양 활동 감시 시스템의 실생활 관련성 조사하기

목표

태양 활동이 실생활에 미치는 영향을 알고, 태양 활동 감시 시스템이 필요한 까닭을 설명할 수 있다.

준비물
- ☑ 스마트 기기

과정

1. 우주환경센터 누리집(https://spaceweather.kasa.go.kr)의 예·경보 항목에서 3 일 예보를 확인한다.
2. 지난 24 시간 동안 태양 활동 감시 결과와 위성, 항공 등 분야별 영향 가능성을 확인하고, 각 감시 요소가 분야별로 미치는 영향을 파악한다.

3. 우주 환경 경보 등급을 확인하고, 경보가 발령될 때 실생활에 나타날 수 있는 피해를 조사한다.
4. 태양 활동 감시 시스템이 필요한 까닭을 토의한다.
5. 태양 활동 감시 시스템의 역할과 필요성을 카드 뉴스로 만들어 발표한다.

결과 및 정리

1. 태양 활동 감시 요소가 위성, 항공 등 분야별로 미치는 영향을 설명해 보자.

2. 우주 환경 경보가 발령될 때 실생활에 나타날 수 있는 피해를 정리해 보자.

3. 태양 활동 감시 시스템이 필요한 까닭을 설명해 보자.

4. 창의 2017 년 9 월 강력한 태양 흑점 폭발이 발생하면서 98 편의 미국발 국제선 항공기가 북극 항공로를 피해 운항해야 했다. 항공기의 운항 경로를 변경한 까닭을 이야기해 보자.

디지털 탐색
KREAM 누리집에서 '항공 운항 경로에 따른 일별 우주 방사선 피폭량'을 확인할 수 있다.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 태양 활동이 실생활에 미치는 영향을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
| 과정·기능 | 태양 활동 감시 시스템의 역할 및 실생활 관련성을 조사했는가? ☆☆☆
| 가치·태도 | 우리 생활의 안전을 지키는 태양 활동 감시 시스템의 중요성을 인식했는가? ☆☆☆

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

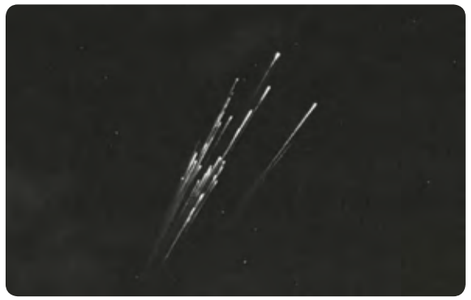


그림 I-10 궤도 진입에 실패한 인공위성 2022 년 2 월 3 일 미국에서 발사된 인공위성 중 다수가 태양풍에 의한 지구 자기장 교란으로 궤도 진입에 실패해 대기권으로 추락했다.

태양 활동이 활발했던 1989 년에는 캐나다 퀘벡주에서 정전이 발생해 약 500만 명이 피해를 입었다. 이처럼 태양 활동으로 지구 자기장이 교란되면 대규모 정전이 일어나거나 인공위성의 방향 제어에 문제가 생길 수 있다. 태양에서 방출되는 강한 전파와 고에너지 입자는 인공위성과 항공기의 통신 시스템을 교란하고, 인공위성의 고장이나 오작동을 일으켜 위성위치확인시스템에 오류가 생기기도 한다. 또 고에너지 입자 유입이 증가하면 우주 비행사나 항공기 승무원이 강한 우주 방사선에 노출되어 건강을 해칠 수 있다.

태양 활동의 변화는 특정 장비의 장애로 그치지 않고 우리의 삶에 직접적인 피해를 줄 수 있다. 이러한 우주 재난에 대비하기 위해서는 지속적으로 태양 활동을 감시하고, 태양 활동을 예측하기 위해 연구해야 한다.

소천체 충돌 감시

태양계 소행성이나 혜성 중에는 공전 궤도가 지구 공전 궤도에 근접하는 것도 있다. 공전 중 지구와 가까워진 천체는 지구의 중력에 이끌려 지구와 충돌할 위험이 있다. 따라서 우리나라를 비롯한 여러 국가는 ●근지구 천체를 찾고 이를 감시하는 기관을 운영하고 있다. 그림 I-11은 2023 년까지 발견된 근지구 소행성 수를 나타낸 것으로, 크기 140 m 이상인 소행성은 예상 개수(약 26000 개)의 절반 이하만 발견되었다. 이에 새로운 우주 망원경을 발사해 크기 140 m 이상인 소행성을 90 % 이상 찾아내는 계획이 진행되고 있다.

● **근지구 천체**
태양 주위를 공전하며 근일점 거리가 1.3 AU 이내인 천체로, 주로 소행성과 혜성이다.

소행성의 크기에 따른 충돌 위력
크기 140 m 이상의 소행성은 충돌 시 지구에 큰 피해를 주므로 별도로 구분해 감시하고 있다.
(출처: 미국국가과학기술위원회)

소행성 크기	위력	충돌 빈도
5 m	대기 중 유성 폭발	1 년
140 m	도시 규모 파괴	2만 년
10^3 m	전 지구적 재난	70만 년
10^4 m	생물 대멸종	1억 년

(출처: 미국항공우주국(NASA))

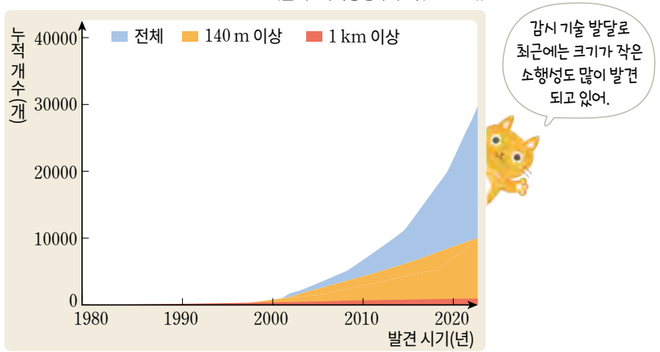


그림 I-11 2023 년까지 발견된 근지구 소행성의 수

또 과학자들은 지구와 충돌 가능성이 있는 근지구 천체에 대비하는 방법도 연구하고 있다. 2022 년 미국은 160 m 정도의 작은 소행성에 우주선을 충돌시켜 소행성의 공전 궤도를 변경하는 실험에 성공했다.

우주 쓰레기 감시

지구 주변의 우주 공간에는 자연적으로 존재하는 천체들 외에 다양한 우주 쓰레기가 존재한다. **우주 쓰레기**는 인류의 우주 개발 과정에서 발생한 모든 인공 물체로, 버려진 로켓이나 수명이 다한 인공위성 및 그 잔해 등이 포함된다.

(출처: 유럽우주기구(ESA))

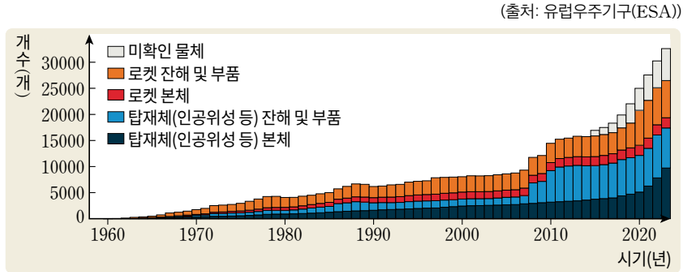


그림 I-12 지구 주변 우주 쓰레기의 유형별 개수

그림 I-13 우주 쓰레기(상상도)

우주 쓰레기는 크기가 작아도 속도가 매우 빨라 인공위성 등에 부딪힐 경우 큰 피해를 줄 수 있다. 따라서 과학자들은 우주에 있는 장비와의 충돌을 방지하기 위해 우주 쓰레기를 지속적으로 감시하고 있다.

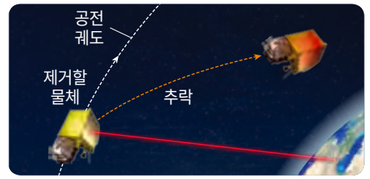
한편 이미 존재하는 우주 쓰레기를 줄이기 위한 방법도 다양하게 제안되고 있다. 레이저 빔을 쏘거나 전자기를 띤 밧줄을 부착해 우주 쓰레기의 속도를 줄여 대기권에 진입시킨 뒤 처리하는 방법, 청소 위성이 직접 그물이나 로봇팔로 우주 쓰레기를 수거하는 방법 등이다. 다만 이 방법들은 비용이 많이 들고, 예상하지 못한 또 다른 피해를 유발할 위험이 있으므로 조심스럽게 적용해야 한다. 다음 활동에서 우주 쓰레기를 효과적으로 처리하는 방법을 제안해 보자.

해보기

탐구 능력 | 의사결정 능력

우주 쓰레기 처리 방법 제안하기

그림은 우주 쓰레기를 처리하는 방법을 나타낸 것이다.



지상에서 레이저 빔을 쏘는 방법

그물로 수거하는 방법

1. 모둠별로 위와 같이 우주 쓰레기를 처리하는 방법의 장단점을 토의해 보자.
2. 수명이 다한 인공위성을 효과적으로 처리할 방법을 구상해 그림과 글로 제안해 보자.

우리가 지구 환경과 더불어 살아가듯이 우주 환경과도 서로 공존하려는 태도가 필요하다. 우주의 다양한 위험 요소를 감시하며 우주 재난에 대비하고, 우주 쓰레기의 발생을 줄이며 지속가능한 우주 개발을 위해 노력해야 한다.

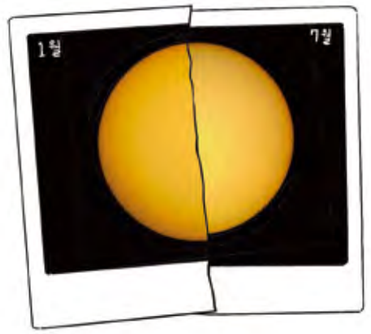
스스로 확인하기

1 태양 활동 감시 시스템의 중요성을 설명해 보자.
2 우주 쓰레기를 감시하고 제거하기 위해 노력하는 까닭을 설명해 보자.
3 | **창의력 더하기** | 2046 년 지구와 충돌할 가능성이 있는 소행성 2023DW가 발견되었다. 이 소행성과의 충돌을 막을 방법을 설명해 보자.

03 케플러 법칙

학습 목표
- 태양계를 지배하는 힘이 태양의 중력임을 설명할 수 있다.
- 케플러의 세 가지 법칙을 이용하여 태양계 천체의 운동을 설명할 수 있다.

천체 망원경으로 관측하면 태양은 1 월에 가장 크게 보이고 7 월에 가장 작게 보인다. 두 시기에 태양의 크기가 다르게 보이는 까닭은 무엇일까?



태양계는 태양과 태양의 중력에 묶여 태양 주위를 공전하는 천체 및 천체를 포함하는 공간이다. 즉, 태양계를 지배하는 근본적인 힘은 태양의 중력이다.

중력의 크기는 두 물체의 질량의 곱에 비례하고 두 물체 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 그림 I-14와 같이 질량이 m_1, m_2인 두 천체가 d만큼 떨어져 있을 때, 두 천체 사이에 작용하는 중력 F의 크기는 $G\frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$이다.

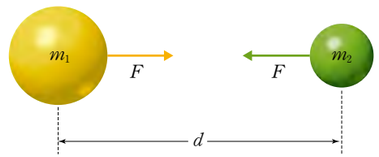
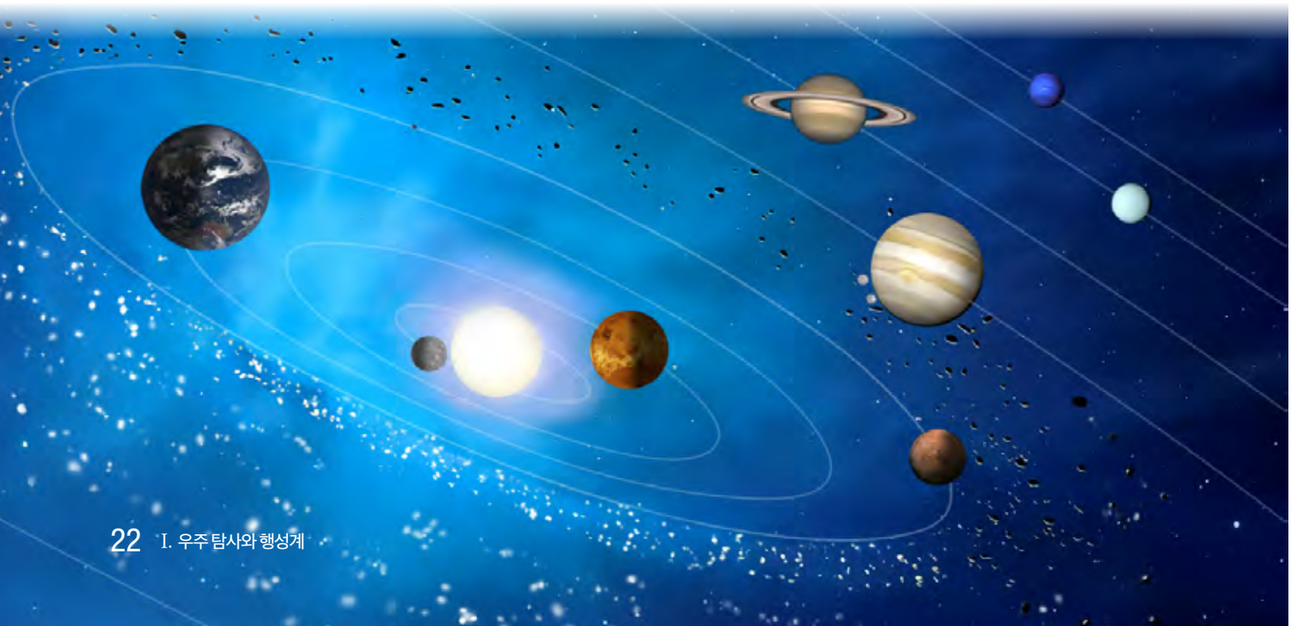


그림 I-14 두 물체 사이에 작용하는 힘

만유인력 상수(G)
질량이 있는 모든 물체에 적용되는 상수이며, 크기는 약 $6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2/kg^2}$이다.

태양계에서는 태양의 질량이 나머지 모든 천체의 질량을 더한 것보다 훨씬 크기 때문에 태양의 중력이 태양계 천체들의 운동에 지배적으로 작용하며, 태양계 공간을 비행하는 탐사선 역시 그 영향을 받는다.

그림 I-15 태양과 태양계 천체



케플러 제1법칙: 타원 궤도 법칙

브라헤는 천체 망원경이 발명되기 전부터 태양계 행성의 운동에 관심을 가지고 정밀한 관측으로 행성의 위치를 정확하게 기록했다. 케플러는 오랜 시간에 걸쳐 브라헤의 관측 자료를 계산하고 정리해 행성의 운동을 설명하는 세 가지 법칙을 찾아냈다.

케플러는 브라헤가 기록한 화성의 위치가 원 궤도에 맞지 않으며, ●타원 궤도를 적용할 때 화성의 위치 변화를 정확히 설명할 수 있다는 것을 알아냈다. 이에 따라 1609 년에 모든 행성이 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전한다는 **타원 궤도 법칙**을 발표했다.

그림 I-16과 같이 공전 궤도상에서 행성이 태양으로부터 가장 멀리 있는 위치를 원일점, 가장 가까이 있는 위치를 근일점이라고 한다. 근일점에서 원일점까지 거리의 절반을 궤도 긴반지름이라고 하며, 이는 태양과 행성 사이의 평균 거리와 같다.

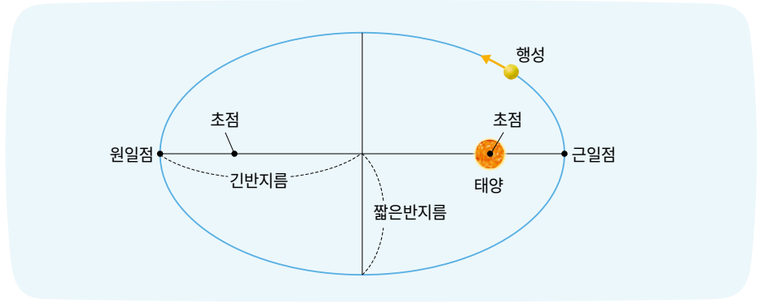


그림 I-16 타원 궤도 법칙

? 1 월과 7 월에 관측한 태양의 크기를 고려할 때, 지구가 근일점에 위치하는 시기는 언제인가?

타원의 납작한 정도는 이심률로 나타내는데, 이심률이 클수록 더 납작한 타원이다. 수성을 제외한 태양계 행성은 공전 궤도가 원에 가까워 궤도 이심률이 매우 작다.

표 I-1 태양계 행성의 궤도 긴반지름과 궤도 이심률 (출처: 미국항공우주국(NASA))

행성	수성	금성	지구	화성	목성	토성	천왕성	해왕성
궤도 긴반지름(AU)	0.39	0.72	1.00	1.52	5.20	9.57	19.17	30.18
궤도 이심률	0.206	0.007	0.017	0.094	0.049	0.052	0.047	0.010

타원 궤도 법칙에 따르면 행성은 태양의 중력에 묶여 타원 궤도를 따라 태양 주위를 공전한다. 엄밀하게는 태양과 행성의 질량 중심을 중심으로 태양과 행성이 모두 공전하지만, 태양에 비하면 행성의 질량은 매우 작으므로 태양은 거의 움직이지 않는다고 볼 수 있다.

브라헤 (Brahe, T., 1546~1601)
덴마크의 천문학자. 행성의 위치에 관한 정밀한 관측 기록을 남겼다.

케플러 (Kepler, J., 1571~1630)
독일의 천문학자. 행성 운동에 관한 세 가지 법칙을 발표했으며 갈릴레이와 교류하며 태양 중심설을 확립하는 데 기여했다.

● **타원**
두 초점으로부터 거리의 합이 일정한 점들의 집합이다.

타원의 이심률
타원 중심에서 초점까지의 거리를 긴반지름으로 나눈 값으로, e로 나타내며 0과 1 사이의 값을 가진다.

$$e = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

(a: 긴반지름, b: 짧은반지름, c: 타원 중심에서 초점까지의 거리)

각운동량보존 법칙
회전하는 물체에 외부로부터 힘이 작용하지 않으면 물체의 각운동량은 보존된다.

케플러 제2법칙: 면적 속도 일정 법칙

케플러는 일정한 시간 간격으로 화성의 위치를 타원 궤도에 표시했다. 그 결과 그림 I-17과 같이 행성과 태양을 이은 선이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적이 항상 같다($S_1=S_2=S_3$)는 것을 알아내고 **면적 속도 일정 법칙**을 발표했다. 면적 속도 일정 법칙에 따르면 행성은 태양의 중력이 강한 근일점 부근에서 빠르게 공전하고, 상대적으로 중력이 약한 원일점 부근에서 느리게 공전한다. 이 과정에서 행성의 질량, 태양과 행성 사이의 거리, 공전 속도의 곱으로 정의되는 행성의 각운동량은 보존된다.

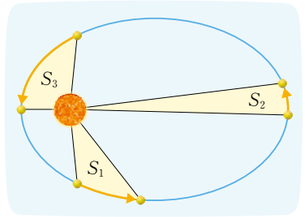


그림 I-17 면적 속도 일정 법칙

케플러 제3법칙: 조화 법칙

행성 운동에 관한 두 가지 법칙을 발표하고 약 10 년이 지난 뒤, 케플러는 행성의 공전 주기가 길수록 궤도 긴반지름이 크다는 것을 알아내고 **조화 법칙**을 발표했다. 이 법칙에 따르면 행성의 공전 주기(P)와 궤도 긴반지름(a) 사이에 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{a^3}{P^2}=k(\text{일정})$$

여기서 P의 단위를 년, a의 단위를 천문단위(AU)로 하면 $k=1$이 되며, 태양계 행성의 공전 주기와 궤도 긴반지름을 그래프에 표시하면 그림 I-18과 같다. 즉, 행성의 공전 주기를 알아내면 행성의 공전 궤도 긴반지름을 계산할 수 있다.

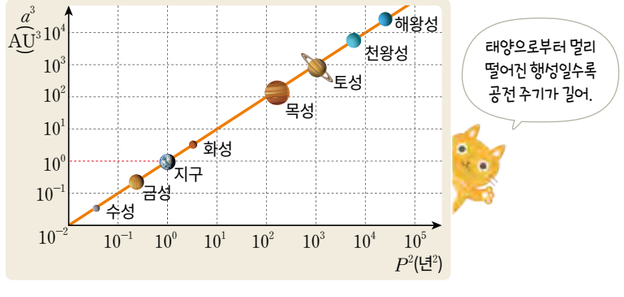


그림 I-18 태양계 행성의 궤도 긴반지름과 공전 주기의 관계

조화 법칙은 궤도 긴반지름이 큰 행성일수록 공전 주기가 길어진다는 사실로부터 얻어진 법칙이지만, 태양계 행성뿐만 아니라 소행성이나 혜성, 행성의 위성에도 적용할 수 있다.

조화 법칙의 증명과 응용

케플러는 세 가지 법칙을 통해 행성의 운동을 설명했으나 그 까닭을 설명하지는 못했다. 케플러가 조화 법칙을 발표하고 약 50 년이 지난 뒤 뉴턴(Newton, I., 1642~1727)이 이 법칙을 증명했다.

질량이 m_1, m_2인 두 천체가 질량 중심에서 a_1, a_2만큼 떨어진 거리에서 v_1, v_2의 속도로 원운동하고 있다. 두 천체의 공전 주기를 P, 천체 사이의 거리를 a라고 하면 천체 사이에 작용하는 만유인력 $F=G\frac{m_1m_2}{a^2}$이며, 물체가 등속 원운동을 할 때 만유인력과 ●구심력은 크기가 같다. 따라서 질량이 m_1, m_2인 천체에 작용하는 힘 F_1과 F_2는 다음과 같다.

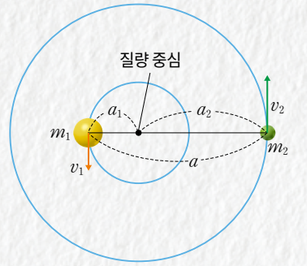


그림 I-19 질량 중심을 공전하는 두 천체

$$F_1=G\frac{m_1m_2}{a^2}=\frac{m_1v_1^2}{a_1} \quad \cdots\cdots ①$$

$$F_2=G\frac{m_1m_2}{a^2}=\frac{m_2v_2^2}{a_2} \quad \cdots\cdots ②$$

질량이 m_1인 천체의 공전 궤도 반지름이 a_1이므로 공전 속도 v_1은 $\frac{2\pi a_1}{P}$이고, 질량이 m_2인 천체의 공전 궤도 반지름이 a_2이므로 공전 속도 v_2는 $\frac{2\pi a_2}{P}$가 된다. 이를 ①과 ②에 각각 대입하면 다음과 같다.

$$G\frac{m_1m_2}{a^2}=\frac{m_1 4\pi^2 a_1}{P^2} \quad \cdots\cdots ③$$

$$G\frac{m_1m_2}{a^2}=\frac{m_2 4\pi^2 a_2}{P^2} \quad \cdots\cdots ④$$

③과 ④의 각변을 더해 정리하면 $\frac{4\pi^2(a_1+a_2)}{P^2}=\frac{G(m_1+m_2)}{a^2}$이 된다. 이때 $a_1+a_2=a$이므로 정리하면 조화 법칙이 유도된다.

$$\frac{a^3}{P^2}=\frac{G}{4\pi^2}(m_1+m_2)$$

태양계의 경우 태양이 대부분의 질량을 차지하므로 $m_1+m_2\fallingdotseq M_\odot$으로 쓸 수 있고, 위 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{a^3}{P^2}=\frac{G}{4\pi^2}M_\odot=k(\text{일정})$$

● 구심력
물체가 원운동을 할 수 있도록 원의 중심 방향으로 작용하는 힘이다. 회전 속도를 v, 원운동의 반지름을 r라고 할 때, 질량 m인 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{mv^2}{r}$이다.

태양 질량의 표기
태양 질량은 일반적으로 $M_\odot$로 나타낸다.

? 어떤 태양계 소행성의 공전 주기가 8 년이라면 이 소행성의 궤도 긴반지름은 몇 AU인가?

탐구

자료 분석 및 해석

케플러 법칙을 이용해 태양계 천체의 자료 해석하기

목표

케플러 법칙이 태양계의 다양한 천체에 적용됨을 확인할 수 있다.

준비물
- 스마트 기기

활동 도우미
스프레드시트 프로그램을 이용해 천체들의 궤도 긴반지름과 공전 주기의 관계를 나타내는 그래프를 그릴 수 있다.

과정

오른쪽은 네 천체 집단(행성, 왜소행성, 소행성, 혜성)의 궤도 긴반지름과 이심률, 공전 주기를 나타낸 것이다.

1. 네 천체 집단의 궤도 이심률을 확인하고, 집단별로 공전 궤도 모양을 비교한다.
2. 천체들의 $\frac{(\text{궤도 긴반지름})^3}{(\text{공전 주기})^2}$을 계산하고, 궤도 긴반지름과 공전 주기 사이의 관계를 해석해 집단별로 비교한다.

(출처: 미국항공우주국(NASA))

천체		궤도 긴반지름(AU)	궤도 이심률	공전 주기(년)
행성	수성	0.39	0.206	0.24
	금성	0.72	0.007	0.62
	지구	1.00	0.017	1.00
	화성	1.52	0.094	1.88
	목성	5.20	0.049	11.90
	토성	9.57	0.052	29.40
	천왕성	19.17	0.047	83.70
	해왕성	30.18	0.010	163.70
왜소행성	명왕성	39.58	0.251	249.09
	에리스	68.15	0.432	562.65
소행성	에로스	1.46	0.223	1.76
	베스타	2.36	0.089	3.63
혜성	핼리	17.94	0.967	76.10
	헤일-밥	250.00	0.995	4000.00

결과 및 정리

1. 네 천체 집단의 궤도 이심률과 공전 궤도의 모양을 비교하여 설명해 보자.

2. 네 천체 집단의 궤도 긴반지름과 공전 주기의 관계를 비교하여 설명해 보자.

3. 창의 지구에 근접한 어느 혜성의 궤도 긴반지름이 3.15 AU로 관찰되었다면 이 혜성이 같은 위치로 돌아오는 것은 몇 년 뒤가 될지 설명해 보자.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 케플러 법칙을 이용해 태양계 천체의 공전을 설명할 수 있는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 케플러 법칙을 이용해 다양한 천체의 자료를 분석하고 해석했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 다양한 천체의 운동을 설명할 수 있는 케플러 법칙의 가치를 인식했는가? ☆☆☆

한 걸음 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

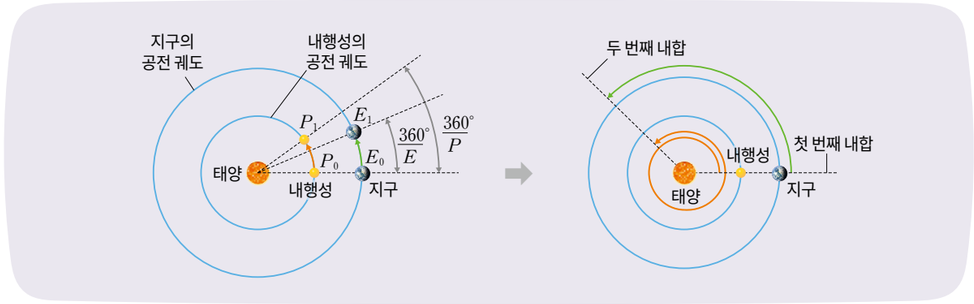
행성의 운동에 관한 케플러 법칙은 태양계의 모든 천체에 적용할 수 있으며, 다양한 태양계 천체의 궤도 정보를 유도하는 데 유용하게 사용된다.

자료실 행성의 회합 주기와 공전 주기

지구를 비롯한 태양계 행성은 각각 다른 속도로 태양을 공전하고 있으므로 지구에서 다른 행성의 공전 주기를 직접 측정하기는 어렵다. 우리가 관측을 통해 얻을 수 있는 정보는 회합 주기이다. 내행성이 내합(또는 외합)에서 출발해 다음 내합(또는 외합)에 이르거나, 외행성이 합(또는 충)에서 다음 합(또는 충)이 되는 데 걸리는 시간을 회합 주기라고 한다.

내행성의 공전 주기를 P, 지구의 공전 주기를 E라고 하면 하루 동안 내행성과 지구가 공전하는 각도는 각각 $\frac{360^\circ}{P}$와 $\frac{360^\circ}{E}$이다. 내행성은 지구보다 공전 속도가 빠르므로 하루에 지구를 $\frac{360^\circ}{P}-\frac{360^\circ}{E}$만큼씩 앞서 나가게 된다. 이 차이가 매일 더해지면 내행성이 지구를 따라잡아 다시 내합의 위치에 오게 된다. 따라서 회합 주기(S)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{360^\circ}{P}-\frac{360^\circ}{E}\right)\times S=360^\circ,\ \frac{1}{S}=\frac{1}{P}-\frac{1}{E}$$



내행성의 회합 주기

한편 외행성은 지구보다 공전 속도가 느리므로 회합 주기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{360^\circ}{E}-\frac{360^\circ}{P}\right)\times S=360^\circ,\ \frac{1}{S}=\frac{1}{E}-\frac{1}{P}$$

이미 알고 있는 지구의 공전 주기와 관측을 통해 알아낸 행성의 회합 주기를 이용하면 행성의 공전 주기를 계산할 수 있다. 행성의 회합 주기는 지구에 가까울수록 길고 지구에서 멀수록 짧다. 특히 외행성은 지구에서 멀수록 회합 주기가 1 년에 가까워진다.

(출처: 미국항공우주국(NASA))

행성	수성	금성	지구	화성	목성	토성	천왕성	해왕성
회합 주기(년)	0.317	1.599	–	2.135	1.092	1.035	1.012	1.009
공전 주기(년)	0.24	0.62	1.00	1.88	11.90	29.40	83.70	163.70

태양계 행성의 회합 주기와 공전 주기

스스로 확인하기

1 태양계에 지배적으로 작용하는 힘은 무엇인지 설명해 보자.

2 케플러 법칙을 이용해 태양계 행성의 공전 궤도 모양과 공전 속도를 설명해 보자.

3 | 창의력 더하기 | 혜성 탐사선은 주로 혜성이 화성 궤도 바깥쪽에 있을 때 탐사한다. 그 까닭은 무엇일지 설명해 보자.

04 태양계 행성과 소천체

학습 목표
- 행성과 소천체의 정의를 구분하여 설명할 수 있다.
- 소천체 탐사 자료를 통해 소천체의 특징을 추론할 수 있다.

최근 우주 탐사선 오시리스-렉스가
소행성 베누에 접근해 표면을 촬영했다.
소행성의 표면은 어떤 모습일까?

태양계의 구성원

태양계는 태양과 그 주위를 공전하는 8 개의 행성, 왜소 행성, 소행성, 혜성, 유성체, 행성 주위를 공전하는 위성 등으로 이루어져 있다. 태양계 외곽에는 카이퍼 띠가 있으며 그 바깥에 오르트 구름이 분포한다.

카이퍼 띠와 오르트 구름
카이퍼 띠는 공전 주기가 짧은 혜성을 비롯한 소천체가 분포하는 해왕성 궤도 바깥쪽의 원반형 영역이다. 오르트 구름은 공전 주기가 긴 혜성이 분포하는 구형 공간으로, 태양의 중력이 우세하게 작용하는 한계로 볼 수 있다.

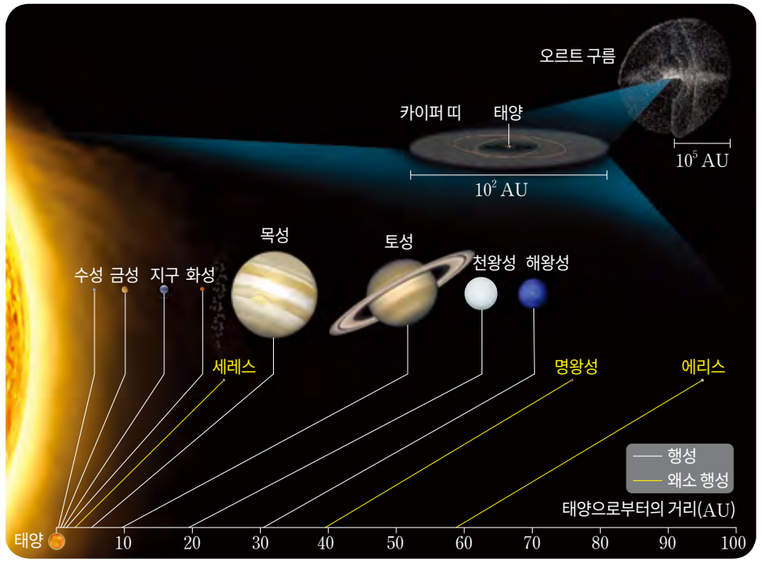
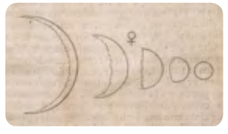


그림 I-20 태양계의 구성

금성이나 목성은 밤하늘에서 달 다음으로 밝게 보이는 천체이지만, 맨눈으로는 위상이나 표면의 모습을 확인하기 어렵다. 1609 년 갈릴레이(Galilei, G., 1564～1642)가 자신이 만든 망원경으로 태양계 천체를 관측하기 시작하면서 맨눈으로 천체를 관측하던 시대에서 망원경 관측의 시대로 발전했다. 다음 활동에서 천체 망원경을 이용해 행성을 관측해 보자.

갈릴레이의 천체 관측
갈릴레이는 망원경으로 태양의 흑점, 금성의 위상 변화, 목성의 위성, 토성의 고리 등을 관측하고 기록으로 남겼다.



금성의 위상 변화 관측 기록

탐구 능력 | 문제해결 능력

탐구 천체 망원경을 이용하여 행성 관측하기

탐구 설계 및 수행

목표

천체 망원경을 이용해 행성을 관측하고, 특징을 파악할 수 있다.

과정

1. 천체 관측 애플리케이션 등을 이용해 관측하려는 행성이 보이는 시각과 방향을 확인한다.
2. 천체 망원경을 설치한 뒤, 경통이 행성을 향하게 하고 파인더의 십자선 가운데에 행성 상이 오게 조정한다.
3. 접안렌즈를 보면서 행성 상이 선명하게 보이도록 초점을 맞추고, 행성의 모습을 관찰한다.

결과 및 정리

1. 관측한 행성의 특징(색깔, 모양, 고리, 위성 등)을 설명해 보자.

2. 창의 천체 망원경으로 행성을 관측하다 보면 곧 시야에서 행성이 사라진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 망원경은 어떤 기능을 갖추는 것이 좋을지 이야기해 보자.

다른 탐구

인터넷 망원경을 이용해 행성 관찰하기

준비물: 스마트 기기
1. 인터넷 망원경 누리집(https://worldwidetelescope.org/webclient)에 접속한다.
2. 태양계 또는 원하는 행성 항목을 선택하고 전 세계 다양한 망원경이 촬영한 행성의 모습을 관찰한다.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 천체 망원경으로 관측한 행성의 특징을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
| 과정·기능 | 천체 망원경을 스스로 조립하고 조작해 행성을 관측했는가? ☆☆☆
| 가치·태도 | 태양계 행성의 아름다움을 인식하고, 행성 관측에 흥미를 가지게 되었는가? ☆☆☆

준비물
- ☑ 천체 망원경
- ☑ 스마트 기기

안전
- 천체 망원경은 정밀하고 무거운 장비이므로 다룰 때 주의한다. 특히 균형추가 떨어지면 다칠 수 있으므로 반드시 두 손으로 조립한다.
- 야간에 야외에서 긴 시간을 보내야 하므로 손전등, 여벌 옷 등을 준비한다.

활동 도우미
- 천체 망원경 사용 방법은 118 쪽～119 쪽을 참고한다.
- 스마트 기기의 천체 관측 애플리케이션에서 위치 확인 기능을 활성화하면 현재 위치에서 볼 수 있는 행성을 확인할 수 있다.
- 관측 후 접안렌즈에 스마트 기기 촬영 어댑터를 장착하고 스마트 기기를 연결해 행성의 사진을 찍을 수 있다.

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

태양계 소천체

태양계에는 행성보다 작은 소천체인 소행성, 왜소 행성, 혜성 등이 있다. **소행성**은 주로 화성과 목성의 공전 궤도 사이에 위치한 소행성대에서 태양 주위를 공전하며, 크기가 다양하고 그림 I-21과 같이 모양이 불규칙하다.

탐사 기술이 발달하면서 카이퍼 띠 부근에서 크기가 비교적 크고 구형인 에리스가 발견되었다. 이에 따라 2006 년 국제천문연맹에서는 새롭게 왜소 행성을 정의했다. **왜소 행성**은 태양 주위를 공전하며 행성의 위성이 아닌 천체로, 질량이 충분히 커 구형을 띠지만 행성과 다르게 중력적으로 지배적이지 않아 공전 궤도 주변에 다른 천체가 분포한다. 새로운 정의에 따라 기존에 소행성으로 분류되었던 세레스, 행성으로 분류되었던 명왕성 등이 왜소 행성으로 분류되었다.

행성의 정의
국제천문연맹에서 정의한 태양계 행성은 태양 주위를 공전하고, 구형을 유지할 수 있을 정도로 충분한 질량을 가지며, 자신의 공전 궤도 주변의 천체를 제거해 궤도상에 다른 천체가 존재하지 않는 천체이다.

그림 I-21 소행성 아이다(왼쪽)와 위성(오른쪽)

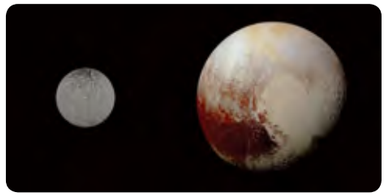


그림 I-22 왜소 행성 세레스(왼쪽)와 명왕성(오른쪽)

혜성은 주로 이심률이 큰 타원 궤도를 따라 태양 주위를 공전한다. 혜성의 핵은 카이퍼 띠나 오르트 구름에 분포하며, 먼지와 가스가 얼어붙은 상태이다. 혜성이 태양에 접근하면 얼어 있던 물질이 증발하며 그림 I-23과 같이 코마를 형성하고, 태양의 반대 방향으로 꼬리가 발달한다.

혜성의 궤도
혜성 중에는 타원 궤도가 아닌 포물선 또는 쌍곡선 궤도로 운동하는 것도 있다.

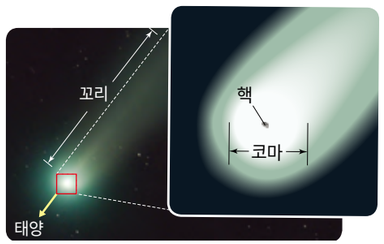


그림 I-23 혜성의 구조 중앙의 핵과 핵을 둘러싼 코마, 태양 반대 방향으로 늘어난 꼬리를 확인할 수 있다.

유성체는 태양계를 떠돌아다니는 암석 조각 같은 작은 천체를 말한다. 유성체가 지구의 중력에 이끌려 대기권 안으로 들어와 대기와의 마찰로 빛을 내는 것을 **유성**이라고 한다. 유성체는 대기를 통과하는 과정에서 대체로 소멸되지만, 일부 남은 부분이 지표면에 떨어지기도 하는데, 이를 **운석**이라고 한다.

그림 I-24 유성과 운석

탐구 능력 | 문제해결 능력

탐구 태양계 천체의 지질학적 특징 조사하기

자료 수집 / 자료 분석 및 해석 / 의사소통 및 협업

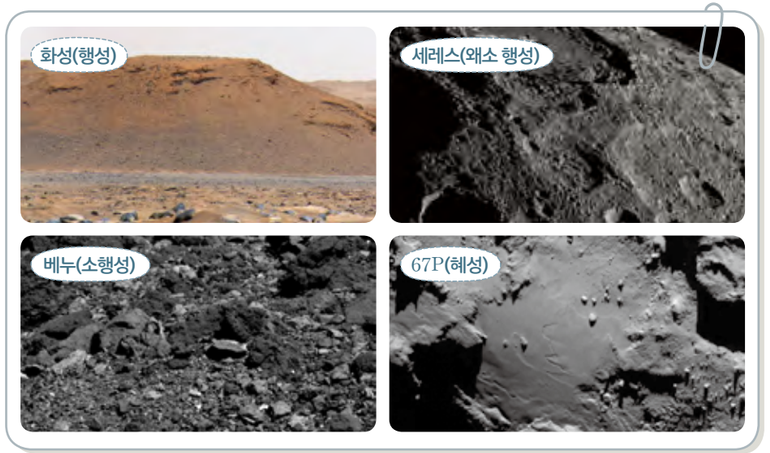
목표

태양계 탐사선의 관측 자료를 이용해 태양계 천체의 지질학적 특징을 조사할 수 있다.

준비물 ☑
☑ 스마트 기기

과정

다음은 태양계 탐사선이 촬영한 행성, 왜소 행성, 소행성, 혜성의 표면 사진이다.



1. 모둠별로 각 천체의 표면을 관찰하고 천체의 지질학적 특징을 토의한다.
2. 네 천체를 탐사한 자료를 추가로 조사하고, 천체의 전체적인 형태 및 지질학적 특징을 정리한다.
3. 2의 결과를 발표하고, 각 모둠의 조사 결과를 비교한다.

활동 도우미
천체의 지질학적 특징에는 다음과 같은 것이 있다.
- 전체적인 형태
- 표면을 구성하는 물질
- 화산 분화구나 운석 구덩이 등 표면에서 관찰되는 지형

결과 및 정리

1. 태양계 천체의 지질학적 특징을 설명해 보자.

2. 다른 모둠의 발표 내용을 통해 더 알게 된 태양계 천체의 특징을 정리해 보자.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 태양계 천체의 지질학적 특징을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
| 과정·기능 | 다양한 태양계 탐사선 관측 자료를 활용해 천체의 지질학적 특징을 조사했는가? ☆☆☆
| 가치·태도 | 태양계 천체의 특징을 알려 주는 탐사선 관측 자료의 유용성을 인식했는가? ☆☆☆

디지털 시뮬레이션
미국항공우주국(NASA)의 NASA's Eyes 누리집에서 간단한 조작으로 '태양계 천체의 모습'을 살펴보고 '3차원 공간 분포'를 확인할 수 있다.

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

태양계의 기원을 알려 주는 천체

지구에서 가장 오래된 암석의 나이는 약 40억 년이고, 아폴로 탐사선이 달에서 가져온 암석의 나이는 약 45억 년이다. 지구와 달은 태양계가 형성되고 얼마간의 시간이 흐른 뒤 형성되었다. 그렇다면 태양계 형성 초기의 기록을 가진 천체는 무엇일까?

약 50억 년 전 거대한 성운이 수축하며 고온의 원시 태양계 성운이 탄생했고, 시간이 흐르며 온도가 낮아진 성운 외곽의 원반에서 고체 입자가 생성되었다. 이 입자들은 충돌과 집적 과정을 거치며 미행성체를 형성했고, 미행성체가 성장해 원시 행성이 되었다. 원시 행성이 행성, 왜소 행성으로 진화하는 과정에서 다양한 원인으로 내부 온도가 상승해 천체를 이루는 물질들이 용융되었고, 고밀도의 물질이 중심부로 이동하고 저밀도의 물질이 바깥쪽으로 이동하는 분화가 일어났다.

반면 대부분의 소행성, 혜성 핵과 일부 운석은 분화가 일어나지 않아 태양계 원시 물질이 그대로 남아 있다. 따라서 이 천체들은 태양계의 형성 과정과 초기 상태를 추론할 수 있는 정보를 담고 있다.

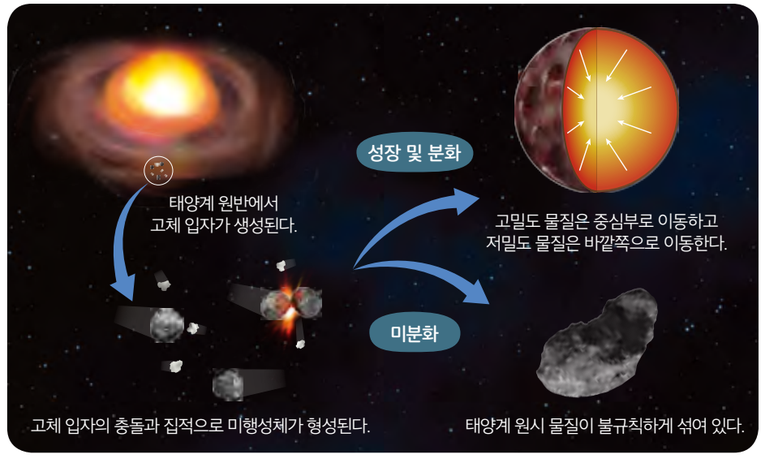


그림 I-25 태양계 천체의 형성과 분화

스스로 확인하기

1 태양계 소천체의 특징을 설명해 보자.

2 태양계 천체 중 태양계 형성 초기의 정보를 가진 것은 무엇인지 설명해 보자.

3 | **창의력 더하기** | 지구에서 운석 탐사가 주로 남극 대륙에서 이루어지는 까닭을 유추해 보자.

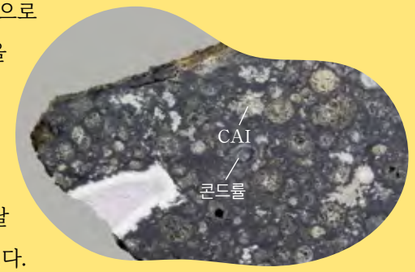
태양계 초기의 고체 물질과 콘드라이트

태양계 형성 초기에 생성된 고체 물질은 운석의 형태로 발견되어 태양계 형성 시기와 초기 상태에 대한 정보를 제공하기도 한다.

CAI(Calcium-Aluminium-rich Inclusion)는 태양계 성운의 원반에서 생성된 최초의 고체 물질로, 현재까지 연령이 측정된 CAI 중 가장 오래된 것은 45.67억 년 전에 생성되었다. 이후 규산염 광물, 감람석, 휘석, 철, 니켈 등으로 이루어진 크기 1 mm 내외의 구형 암석 덩어리가 생성되었는데, 이를 콘드룰이라고 한다.

CAI와 콘드룰을 비롯한 주변의 입자들은 충돌과 집적을 거치며 미행성체를 형성했고, 미행성체들이 계속 성장해 행성이나 왜소 행성을 형성했다. 이 과정에서 방사성 동위원소의 붕괴 등으로 천체 내부의 온도가 높아지며 분화가 일어났다. 즉, 철이나 니켈 같은 고밀도 물질은 중심부로 이동하고 규산염 광물과 같은 저밀도 물질은 바깥으로 이동해 층을 이루었다. 이 천체가 다른 천체와 충돌해 파괴된 뒤 지구로 끌려 들어오면 중앙에 있던 물질은 철질 운석이 되고, 바깥층의 물질은 석질 운석이 되며, 중간 부분의 물질은 석철질 운석이 된다. 이러한 운석을 분화 운석이라고 한다.

한편 더 이상 성장하지 못해 분화가 일어나지 않은 미행성체가 유성체 등의 형태로 태양계를 떠돌다가 지구에 운석으로 떨어지는 경우가 있다. 이러한 운석을 미분화 운석이라고 하며, 콘드룰을 풍부하게 포함해 콘드라이트라고도 부른다. CAI와 콘드룰을 포함하는 콘드라이트는 태양계의 형성과 발달 과정을 연구하는 데 중요한 자료가 된다.



콘드라이트에 포함된 CAI와 콘드룰

창의력 기르기

콘드라이트는 왜소 행성과 소행성 중 어디에 남아 있을 가능성이 큰지 설명해 보자.

05 외계 행성계 탐사

학습 목표
- 외계 행성계를 탐사하는 원리를 설명할 수 있다.
- 외계 생명체가 존재할 수 있는 조건을 알고, 외계 생명체의 존재 가능성에 대해 논증할 수 있다.

영국의 한 공상 과학 소설가는 다음과 같은 말을 남겼다.
"외계 생명체의 존재에 관해 두 가지 가능성이 있다.
우주에 우리만 존재하거나 그렇지 않거나. 둘 다 끔찍한 일이다."
외계 생명체가 존재하는 행성이 있을까?

외계 행성계 탐사 원리

태양이 아닌 별 주위를 공전하는 행성이 존재하는 경우 이를 **외계 행성계**라고 한다. 지구로부터 거리가 가깝고 행성이 존재할 가능성이 높은 별이 있을 때 그림 I-26과 같이 행성을 직접 관측하기도 한다. 그러나 행성은 별에 비해 크기가 매우 작고 어두워 직접 관측하기 어렵다. 따라서 과학자들은 주로 간접적인 방법으로 외계 행성계를 탐사한다.

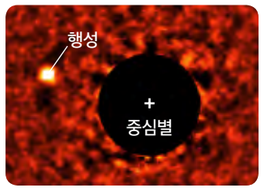


그림 I-26 중심별을 가리고 직접 촬영한 외계 행성계

중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 방법 >> 중력적으로 묶여 있는 두 천체는 질량 중심 주위를 회전한다. 별 주위를 공전하는 행성은 별보다 질량이 매우 작으므로 중심별은 위치가 거의 변하지 않아 운동을 직접 관측하기 어렵다. 대신 중심별의 스펙트럼을 분석하면 그림 I-27과 같이 ●도플러 효과에 의해 파장의 변화가 주기적으로 나타나므로 이 별이 행성계를 가지고 있다고 추정할 수 있다. 외계 행성의 질량이 클수록 중심별의 파장 변화가 크게 나타나기 때문에 이 방법은 질량이 큰 행성을 찾는 데 효과적이다.

● **도플러 효과**
파동의 발생원과 관측자 사이의 거리가 가까워지거나 멀어질 때 파장이 짧아지거나 길어지는 현상이다.

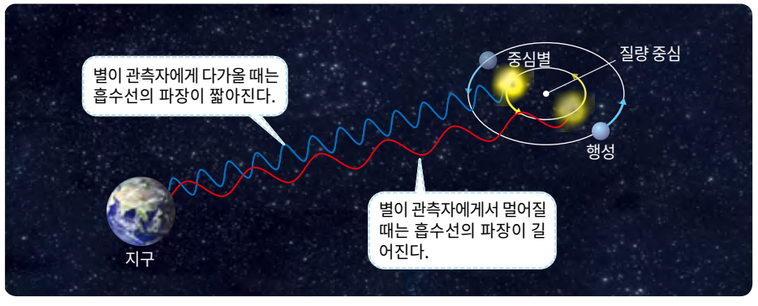


그림 I-27 중심별의 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

외계에서 본 태양의 시선 속도 변화
목성은 태양계에서 질량이 가장 큰 행성이다. 만약 외계에서 태양계를 본다면 태양과 목성이 질량 중심 주위를 회전함에 따라 태양의 파장 변화가 나타날 수 있다.

식현상을 이용하는 방법 >> 그림 I-28과 같이 공전하는 행성이 중심별 앞을 지나는 식현상이 일어나면 중심별의 밝기가 약간 감소한다. 따라서 중심별의 밝기가 주기적으로 감소하는 현상을 이용하면 외계 행성을 확인할 수 있다.

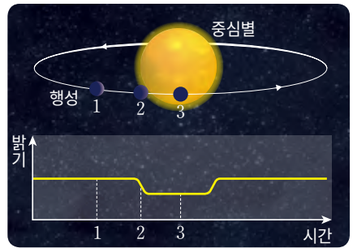


그림 I-28 식현상에 따른 중심별의 밝기 변화

식현상을 이용하는 방법은 외계 행성의 공전 궤도면이 우리의 시선 방향과 거의 나란한 경우에만 이용할 수 있다. 또 크기가 작은 행성은 중심별을 가리는 효과가 매우 작으므로 이 방법은 반지름이 큰 행성을 찾는 데 적합하다.

식현상과 행성의 크기
식현상이 일어나는 동안 별의 광도 변화를 측정하면 외계 행성의 크기를 계산할 수 있다.

미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법 >> 멀리 있는 천체의 빛이 블랙홀이나 은하 집단같이 중력이 매우 큰 천체 주변을 지나면 빛의 경로가 휘어지는 **중력 렌즈 현상**이 나타난다. 별이나 행성의 중력으로도 빛의 굴절이 일어날 수 있지만, 그 효과가 매우 작아 **미세 중력 렌즈 현상**이라고 한다.

그림 I-29와 같이 멀리 있는 별 A를 관측할 때 다른 별 B가 지구와 별 A 사이를 지나가면 별 B의 미세 중력 렌즈 현상에 의해 별 A의 밝기가 약간 증가한다. 이때 별 B가 행성을 거느리고 있다면 추가적인 밝기 변화가 나타나므로 외계 행성이 존재함을 알 수 있다.

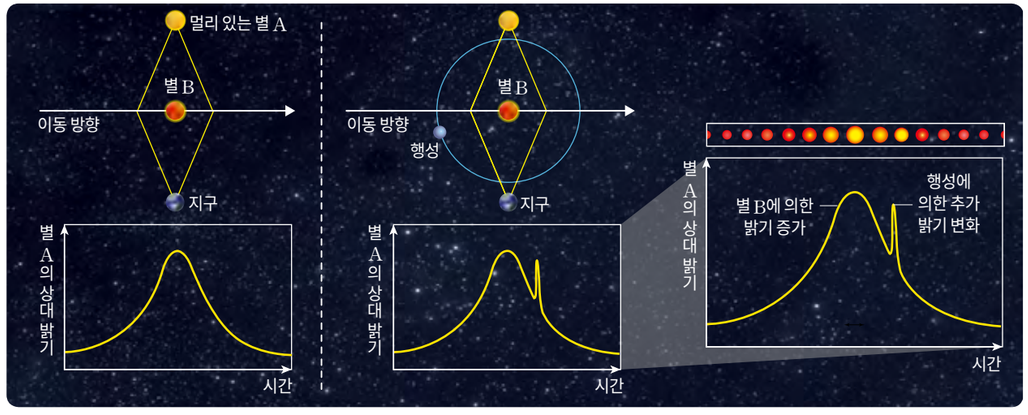


그림 I-29 별에 의해 나타나는 미세 중력 렌즈 현상과 행성에 의해 나타나는 추가적인 밝기 변화

이 방법은 행성의 질량이 크지 않은 경우에도 이용할 수 있어 질량이 지구와 비슷한 정도의 행성을 찾는 데 이용할 수 있다. 그러나 외계 행성계가 관측 중인 다른 별 앞을 지나는 현상은 매우 드물게 나타나므로 수많은 별의 밝기를 지속적으로 관측하고 분석하는 빅데이터 활용 기술이 필요하다.

(출처: https://exoplanet.eu/catalog)

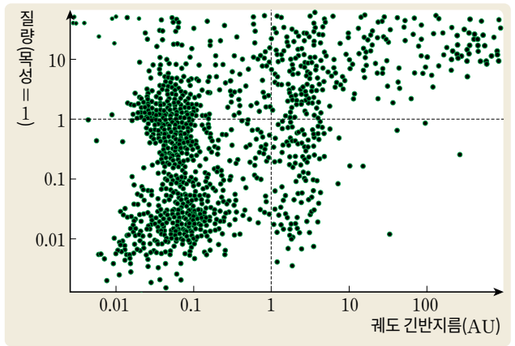


그림 I-30 현재까지 발견된 외계 행성의 궤도 긴반지름과 질량

그림 I-30은 현재까지 발견한 외계 행성의 궤도 긴반지름과 질량을 나타낸 것이다. 탐사 초기에는 질량이 크고 중심별과 가까운 행성이 주로 발견되었으나 관측 기술이 발달함에 따라 최근에는 질량이 작은 행성도 많이 발견되고 있다.

현재까지 발견된 외계 행성은 중심별로부터의 거리가 10 AU 이내이고 질량이 목성의 10 배 이내인 것이 많다. 한편 질량이 큰 행성은 주로 중심별로부터 먼 거리에 분포한다.

외계 생명체의 존재 조건

생명 가능 지대와 액체 상태의 물
물은 생명체의 생존과 진화에 필요한 물질을 쉽게 녹이는 성질이 있고, 비열이 커서 주변의 온도가 급격히 변하지 않게 해 주는 등 생명체에게 적절한 서식 환경을 제공하는 생명 활동의 중요 요소이다.

지구를 기준으로 볼 때, 생명체가 존재하기 위해서는 액체 상태의 물이 존재할 정도로 행성의 온도가 유지되어야 한다. 별 주변에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 영역을 **생명 가능 지대**라고 한다. 중심별의 질량이 크면 생명 가능 지대는 별로부터 먼 곳에 형성되고 폭이 넓다. 반면 중심별의 질량이 작으면 생명 가능 지대는 별 가까이에 위치하고 폭이 좁다.

주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높고 광도가 크다. 따라서 중심별의 표면 온도가 높을수록 생명 가능 지대는 별에서 멀어지고 폭이 넓어진다.

외계 행성이 생명 가능 지대에 위치한다고 해도 반드시 생명체가 존재한다고는 할 수 없다. 한 행성이 형성되고 생명체가 탄생해 정착하기까지는 상당히 긴 시간이 필요하다. 따라서 행성에 생명체가 존재하기 위해서는 중심별이 안정한 상태를 오래 유지해야 한다. 별은 질량이 클수록 수명이 짧으므로 중심별의 질량이 너무 큰 경우 생명체가 탄생하고 진화하기에 시간이 충분하지 않아 생명체가 존재할 가능성이 작아진다.

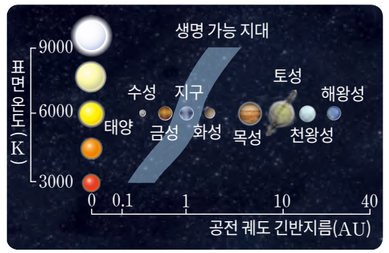


그림 I-31 중심별의 표면 온도에 따른 생명 가능 지대

생명 가능 지대와 주계열성
생명 가능 지대를 다룰 때 중심별은 주로 주계열성을 뜻한다. 거성이나 왜성은 별의 진화 단계에서 비교적 짧은 시간 동안 머물기 때문에 생명 가능 지대를 판단할 때는 거의 다루지 않는다.

질량이 아주 작은 별은 수명이 길지만, 생명 가능 지대가 별에 가까이 위치한다. 이때 생명 가능 지대에 위치하는 행성은 중심별의 중력 때문에 자전 속도가 느려져 낮과 밤의 변화가 없어지므로 생명체가 존재하기 어렵다.

지구는 액체 상태의 물이 풍부해 생명체의 서식과 물질대사에 적합한 환경을 제공하는 등 생명체가 존재하기에 유리한 조건을 두루 갖추고 있다.

지구에 생명체가 존재할 수 있는 조건
지구는 액체 상태의 물이 존재하는 것 외에도 적절한 두께와 조성의 대기, 유해한 우주 방사선을 막는 자기장 등 생명체가 존재하기에 적절한 조건을 갖추고 있다.

탐구 능력 | 문제해결 능력

탐구

자료 분석 및 해석 / 결론 도출 및 일반화

중심별의 표면 온도에 따른 생명 가능 지대 추론하기

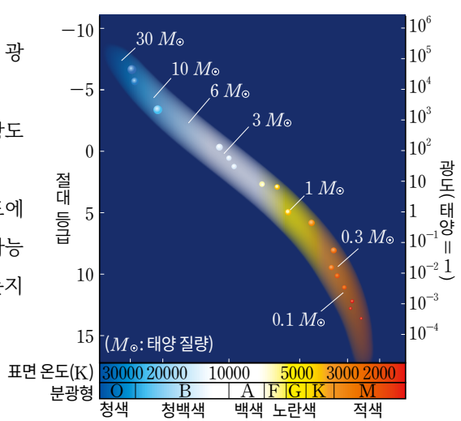
목표

중심별의 표면 온도에 따른 생명 가능 지대의 범위를 추론할 수 있다.

과정

오른쪽은 주계열성의 표면 온도와 광도, 질량을 나타낸 H-R도이다.

1. 주계열성의 질량과 표면 온도, 광도의 관계를 확인한다.
2. 주계열성인 중심별의 표면 온도에 따라 별 주위에 형성되는 생명 가능 지대의 범위가 어떻게 달라지는지 추론하고, 그 까닭을 토의한다.



결과 및 정리

1. 주계열성의 질량과 표면 온도, 광도의 관계를 정리해 보자.

2. 주계열성인 중심별의 표면 온도에 따른 생명 가능 지대의 위치와 폭의 변화 및 그 까닭을 설명해 보자.

3. 창의 지구 생명체 진화의 역사를 고려해 외계 행성에 생명체가 존재하기 위해서는 중심별의 표면 온도가 어느 정도여야 할지 추론해 보자.

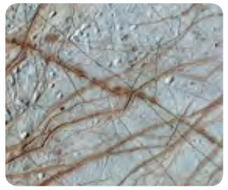
스스로 평가하기

| 지식·이해 | 중심별의 표면 온도와 생명 가능 지대의 관계를 설명할 수 있는가? ☆☆☆
| 과정·기능 | H-R도에서 별의 물리량 사이의 관계를 파악해 중심별의 표면 온도에 따른 생명 가능 지대의 범위를 추론했는가? ☆☆☆
| 가치·태도 | 생명체가 존재할 수 있는 지구 환경의 소중함을 인식했는가? ☆☆☆

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

태양계에서 생명체가 존재할 가능성이 있는 천체

목성의 위성인 유로파는 고체 상태의 두꺼운 얼음 아래에 액체 상태의 바다가 존재한다. 토성의 위성인 타이탄에는 질소 대기와 메테인 호수가 있는 것으로 확인되었다. 따라서 이들 위성의 생명체에 대한 탐사가 진행되고 있다.



유로파의 표면

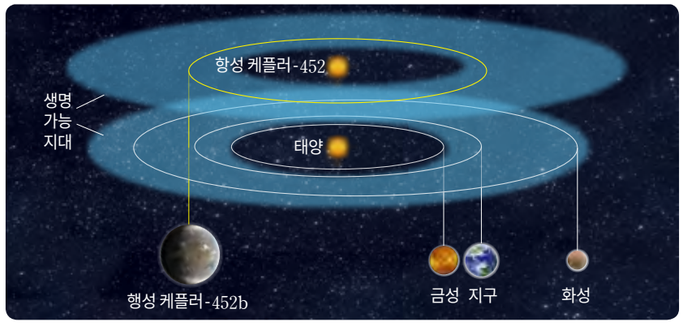
아직 지구 외의 천체에서는 생명체를 찾지 못했다. 그러나 우리은하에는 수천억 개의 별이 있고, 관측 가능한 우주에는 이러한 은하가 수천억 개 존재한다. 따라서 과학자들은 어딘가에 외계 생명체가 존재한다는 믿음을 가지고 다양한 방법으로 외계 행성계를 찾고 있다. 지금까지 확인된 외계 행성 중에는 케플러-452b와 같이 지구와 매우 유사한 환경에 있는 행성도 있다. 다음 활동에서 케플러-452b에 생명체가 존재할 가능성을 알아보자.

해보기

탐구 능력 | 의사결정 능력

외계 생명체의 존재 가능성에 대해 논증하기

그림은 케플러-452b와 태양계 행성을 비교하여 나타낸 것이다.



1. 케플러-452b에 생명체가 존재할 가능성을 논증해 보자.
2. 외계 행성계에 생명체가 존재할 가능성은 어떻게 확인할 수 있을지 토의해 보자.

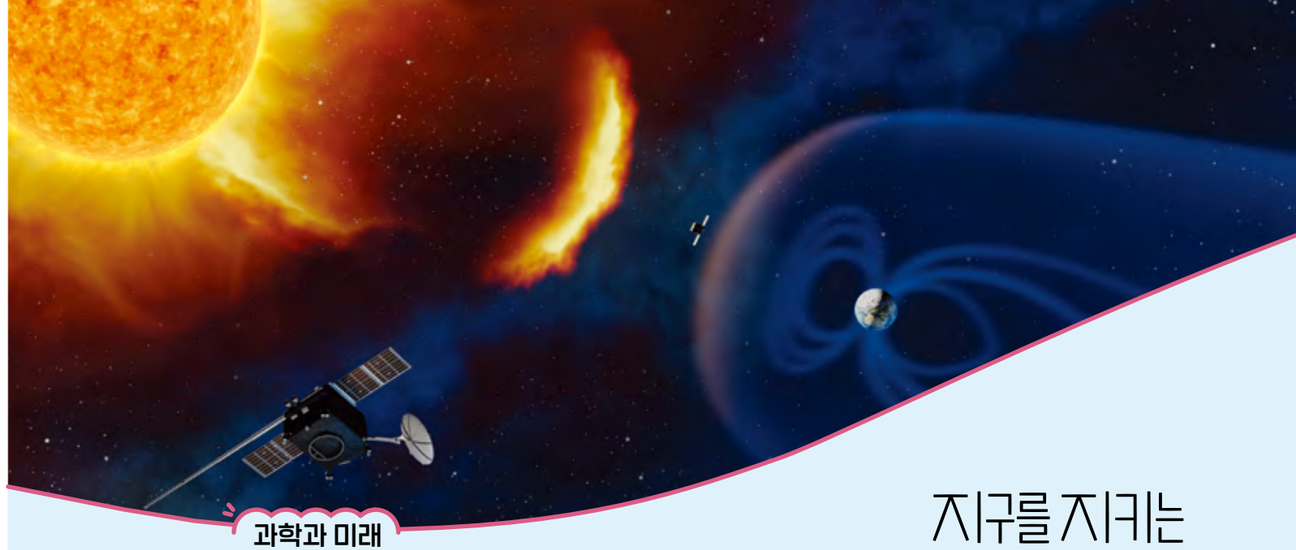
과학기술이 발달하고 외계 행성계 탐사가 계속되면 지구와 환경이 비슷한 외계 행성계를 더 많이 찾게 될 것이다. 그중 어딘가에서 외계 생명체의 증거를 찾을 수도 있다. 외계 생명체에 대한 탐사는 우주 연구의 지평을 넓힐 뿐만 아니라, 지구 생명체를 더 깊이 이해할 수 있게 할 것이다.

스스로 확인하기

1 외계 행성계를 탐사하는 주요 방법 세 가지를 설명해 보자.

2 외계 생명체가 존재할 수 있는 기본적인 조건을 설명해 보자.

3 | **창의력 더하기** | 최근 고온의 맨틀 주변에서 생존하는 박테리아가 발견되었다. 이러한 생명체를 고려해 생명 가능 지대의 기준을 새롭게 정하고, 범위를 추론해 보자.



과학과 미래 진로

지구를 지키는 우주전파예보관

태양 에너지는 지구시스템의 주 에너지원이지만, 태양에서 방출되는 다량의 입자와 전자기파는 지구 생명체에게 위협이 되기도 한다.

과학기술이 발전하면서 무선 통신과 인공위성에 대한 의존도가 점점 높아지고 있으며, 이에 따라 태양 활동의 변화는 일상생활에 더 큰 영향을 주게 되었다. 따라서 태양 흑점 수 변화, 지구 자기장 변화, 태양풍 변동 등을 측정하고 분석하는 일이 매우 중요해졌다. 또 첨단 기술이 발달하고 우주 개발이 본격화되면서 우주 기상을 전문적으로 연구하는 인력의 필요성이 높아지고 있다.

우주전파예보관은 천문학과 전자·전파 공학 지식을 바탕으로 다양한 프로그램과 모델을 이용해 태양을 관측한 자료를 해석한다. 또 그 결과를 바탕으로 하여 우주 기상을 예측하고, 실생활에 나타날 피해에 대비할 수 있게 한다. 현재 우주전파예보관이 연구를 수행하는 기관으로는 우주항공청 산하의 우주환경센터가 있으며, 향후 우주 기상 응용 분야가 늘어남에 따라 관련 기관은 더 늘어날 것으로 전망된다.

우주환경센터

커리어넷에서 '우주전파예보관'과 관련된 정보를 볼 수 있다.

관련 학과

천문우주학과, 우주과학과, 물리천문학부, 전자공학과, 지구과학교육과 등

활동하기

태양에 거대 흑점이 발생해 대규모 플레어가 일어날 가능성이 커지고 있다. 실생활의 피해를 줄이기 위한 우주 기상 예보 및 대처 안내문을 작성해 보자.

창의적 문제해결

화성 거주 기지 설계하기

화성을 조사하던 탐사대가 강한 폭풍으로 철수하는 과정에서 혼자 남겨진 우주 비행사가 고군분투하는 내용을 다룬 영화가 있다. 주인공은 기지의 물질을 활용해 물을 만들고, 기지에 남아 있던 감자로 농사를 짓는 등 구조대가 오기까지의 시간을 버티기 위해 노력한다.

실제로 화성은 미래의 자원 공급지이자 거주 가능 행성으로 거론되고 있다. 일부 과학자들은 화성의 환경을 지구와 비슷하게 바꾸는 테라포밍 계획을 제안하기도 했다. 그러나 이 계획은 현재의 기술로는 실현이 어렵다는 의견이 많다.

화성 테라포밍 계획

이 밖에 화성에 거주 기지를 만드는 방법도 제안되었다. 화성은 지구보다 온도와 대기압이 낮고, 생물이 살아가는 데 필요한 물과 산소가 부족하며 토양의 성분도 다르다. 따라서 기지는 적절한 내부 온도와 기압을 유지해야 하고, 식량 작물을 재배하기 위한 전기와 물 등을 생산하는 시설을 갖추어야 한다. 또 기지 외부로 나가기 위해 우주복이나 소형 이동 장치도 필요하다.

내가 화성에서 장기간 거주한다면 기지를 어떻게 만들지 설계해 보자.

1 조사하기

모둠별로 화성의 환경, 식량과 전력 생산, 기지 내 공기 관리 등의 관점에서 화성에 기지를 만들기 위해 필요한 내용을 조사해 보자.

2 설계하기

1. 조사한 내용을 바탕으로 하여 화성 기지 건설 계획을 토의해 보자.
2. 1에서 정한 기지의 규모와 설비 등을 나타내는 설계도를 그리고, 이를 발표해 보자.

3 평가하기

나와 모둠원의 활동 과정을 다음 기준에 따라 평가해 보자.

평가 내용	평가
| **지식·이해** | 화성과 지구 환경의 차이점을 설명할 수 있는가?	☆☆☆
| **과정·기능** | 활동 과정에서 모둠원과 협업하며 적극적으로 의사소통했는가?	☆☆☆
| **가치·태도** | 화성의 환경과 거주에 필요한 시설 등을 고려해 창의적인 기지 건설 계획을 제안했는가?	☆☆☆

01 우주 탐사의 성과

10 쪽~15 쪽

1. **태양계 탐사선**: 태양계 천체의 주위에서 천체를 관측하거나 천체에 직접 착륙해 탐사한다.
2. **태양계 탐사선의 활동 성과**
- 금성: 금성에 물이 존재하지 않게 된 과정 확인
- 화성: 표면에서 강과 호수의 흔적 발견
- 목성: 위성 ① 표면의 화산 활동 모습 확인
- 토성: 위성 엔켈라두스 표면의 모습과 얼음 아래의 인 확인
- 혜성: 67P에서 생명체 구성 성분인 글라이신과 인 확인
- 소행성: 류구 표면에서 RNA 구성 염기인 유라실 확인
3. **우리나라의 우주 개발**
- 나로우주센터 설립 이후 나로호, 누리호 발사 성공
- 달 탐사선 ② 의 달 궤도 진입 성공
- 23 년 간의 장기 우주 개발 계획 설정: 2032 년 달 착륙, 2045 년 화성 착륙 예정

02 우주 위험 감시

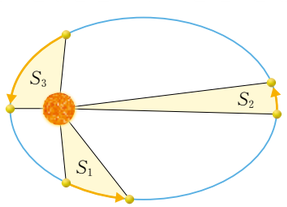
16 쪽~21 쪽

1. **태양 활동**: 태양풍과 ③ (으)로 다량의 입자가 방출된다. ➡ 지구 자기권이 유해한 태양 입자를 막아 준다.
2. **태양 활동 감시**
- 태양 흑점 폭발, 태양 입자 유입, 지구 자기장 교란 감시
- 태양 활동의 피해: 대규모 정전, 항공기와 인공위성의 통신 및 제어 시스템 교란, 인공위성 고장 및 오작동 등
3. **소천체 충돌 감시**: 근지구 천체 탐색 및 감시
4. **우주 쓰레기 감시**: 우주 개발 과정에서 발생한 인공 물체 감시

03 케플러 법칙

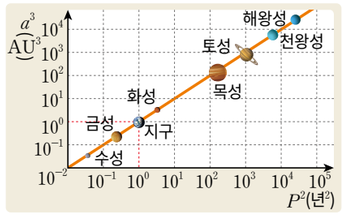
22 쪽~27 쪽

1. ④ **궤도 법칙(케플러 제1법칙)**: 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도로 공전한다.
2. **면적 속도 일정 법칙(케플러 제2법칙)**: 행성과 태양을 잇는 선이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 항상 같다.



면적 속도 일정 법칙

3. **조화 법칙(케플러 제3법칙)**: 행성 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 ⑤ 에 비례한다.



태양계 행성의 궤도 긴반지름과 공전 주기의 관계

04 태양계 행성과 소천체

28 쪽~32 쪽

1. **태양계 구성원**
- 행성, 왜소 행성, 소행성, 혜성, 유성체, 위성 등이 있다.
- 태양계 외곽에 ⑥ 띠, 오르트 구름이 분포한다.
2. **태양계 소천체**
- 소행성: 주로 소행성대에 분포하며 모양이 불규칙하다.
- 왜소 행성: 태양을 공전하는 구형의 천체로, 행성과 다르게 공전 궤도 주변에 다른 천체가 분포한다.
- 혜성: 태양에 접근하면 코마가 형성되고 ⑦ 이/가 발달한다.
- ⑧ : 태양계를 떠도는 암석 조각 같은 작은 천체로 지구에 들어와 유성이나 운석이 된다.
3. **태양계의 기원을 알려 주는 천체**
- 분화된 천체: 행성, 왜소 행성 등
- 분화되지 않은 천체: 대부분의 소행성, 혜성 핵과 일부 운석 ➡ 분화되지 않은 천체는 태양계 초기의 정보를 포함한다.

05 외계 행성계 탐사

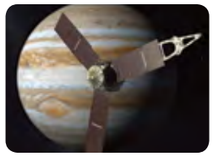
34 쪽~38 쪽

1. **외계 행성계 탐사 원리**: 중심별을 가리고 행성을 직접 관측하기도 하지만 대체로 간접적인 방법을 이용한다.
- 중심별의 시선 속도 변화 이용: 도플러 효과로 나타나는 중심별의 주기적인 파장 변화 관측
- 식현상 이용: 식현상에 따른 별의 밝기 변화 관측
- ⑨ 현상 이용: 먼 별과 관측자 사이를 지나는 외계 행성계에 의해 나타나는 추가적인 밝기 변화 관측
2. **외계 생명체의 존재 조건**
- ⑩ : 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 영역
- 생명체가 존재하기 위해서는 다양한 조건이 필요하다.

개념 적용하기

우주 탐사의 성과

01 그림 (가)와 (나)는 우주 탐사 도구를 나타낸 것이다.



(가) 목성 탐사선 주노

(나) 제임스 웹 우주 망원경

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

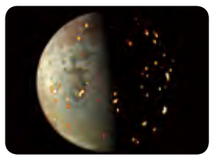
보기
ㄱ. (가)는 목성 주위를 돌며 목성과 그 위성을 관측한다.
ㄴ. (나)는 우주인이 탑승한 채로 지구 궤도를 돌면서 관측한다.
ㄷ. (가)와 (나)는 모두 날씨의 영향을 받지 않는다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

우주 탐사의 성과

02 그림 (가)와 (나)는 최근 우주 탐사선이 탐사한 천체의 모습을 나타낸 것이다.

(가) 소행성 류구



(나) 목성의 위성 이오

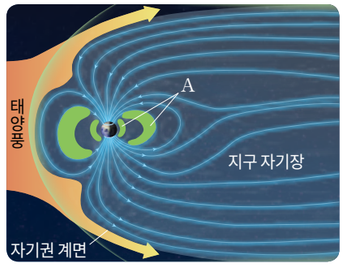
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. (가)에서 생명체 구성 물질이 발견되었다.
ㄴ. (나)에서는 화산 활동이 일어나고 있다.
ㄷ. (가)와 (나) 모두 우리나라의 탐사선이 촬영한 것이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

우주 위험 감시

03 그림은 지구 자기권을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. A는 대부분 지구의 열권에서 방출된 물질로 이루어져 있다.
ㄴ. 태양풍과 지구 자기권의 영향으로 극지방에 오로라가 형성되기도 한다.
ㄷ. 지구 자기장이 교란되면 대규모 정전이 일어나거나 인공위성 제어에 문제가 생길 수 있다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

우주 위험 감시

04 우주 쓰레기의 발생과 위험성에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. 대부분 지구에서 버려진 생활 쓰레기이다.
ㄴ. 인공위성 등과 충돌해 큰 피해를 줄 수 있다.
ㄷ. 우주 쓰레기는 자연적으로 사라지므로 그대로 방치해도 된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

케플러 법칙

05 표는 태양계 천체 A, B의 궤도 긴반지름, 태양에서 근일점까지의 거리와 원일점까지의 거리를 나타낸 것이다.

구분	궤도 긴반지름 (AU)	근일점 거리 (AU)	원일점 거리 (AU)
A	3.0	( )	4.0
B	( )	2.2	3.8

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

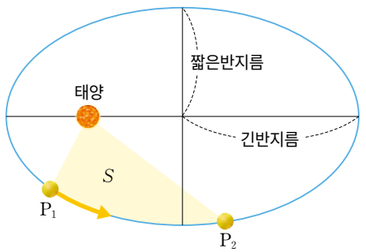
보기

ㄱ. A, B의 공전 주기는 같다.
ㄴ. 궤도 이심률은 A가 B보다 크다.
ㄷ. 천체와 태양을 잇는 선이 한 달 동안 근일점 부근에서 쓸고 지나가는 면적은 A와 B가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

케플러 법칙

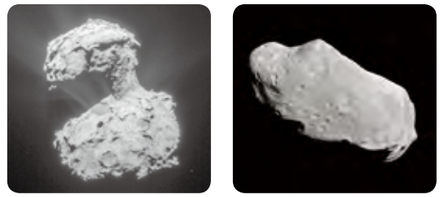
06 그림은 어느 가상 행성의 공전 궤도를 나타낸 것이다.



P_1에서 P_2까지 공전하는 데 걸린 시간이 1 년이고 색칠한 부분의 면적 S가 전체 궤도 면적의 $\frac{1}{8}$이라고 할 때, 이 행성의 공전 주기와 궤도 긴반지름은 각각 얼마인지 써 보자.

태양계 행성과 소천체

07 그림 (가)와 (나)는 태양계를 구성하는 소천체이다.



(가) 혜성 67P의 핵 (나) 소행성 아이다

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

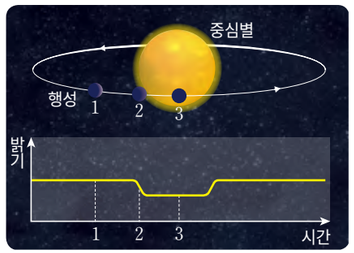
보기

ㄱ. (가)는 태양에 가까워지면 꼬리가 발달한다.
ㄴ. (나)와 같은 소천체는 주로 화성과 목성의 궤도 사이에서 발견된다.
ㄷ. (가)와 (나) 같은 소천체는 대체로 태양계 원시 물질로 구성되어 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

외계 행성계 탐사

08 그림은 외계 행성계 탐사 방법을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 행성의 반지름이 클수록 별의 밝기 변화가 크다.
ㄴ. 별의 밝기 변화는 행성의 미세 중력 렌즈 현상 때문에 나타난다.
ㄷ. 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 거의 나란할 때 이 방법을 이용할 수 있다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

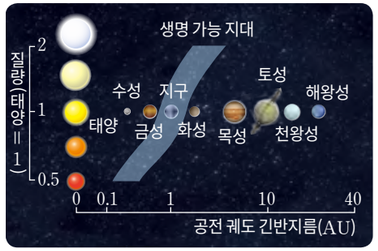
과학 역량 키우기

09 과학적 문제해결 능력 그림은 우주 탐사선 보이저 2호의 이동 경로를 나타낸 것이다.

(출처: 미국항공우주국(NASA))

우주 탐사선이 천왕성이나 해왕성을 탐사할 때 목성, 토성의 중력권에 접근하는 경로로 이동하는 까닭을 서술해 보자.

10 과학적 탐구 능력 그림은 주계열성인 중심별의 질량에 따른 생명 가능 지대의 범위와 태양계 행성의 위치를 나타낸 것이다.



태양의 질량이 현재의 1.7 배가 된다면 생명 가능 지대의 범위 및 지구와 화성의 환경은 어떻게 달라질지 서술해 보자.

과학 글쓰기

11 과학적 문제해결 능력 다음은 외계 생명체 탐사에 대한 글이다.

> 외계 행성계 탐사가 진행되면서 과학자들은 자연스럽게 외계 생명체의 존재에 의문을 가지게 되었다.
> 외계 생명체를 탐사하는 대표적인 방법은 행성의 대기 성분을 분석해 생명체와 관련된 원소를 찾는 것이다. 최근에는 특정 생명체가 유해한 자외선을 더 긴 파장으로 바꾸면서 형광 신호를 방출하는 현상을 이용해 외계 생명체를 탐색하는 방법이 발표되기도 했다. 외계 행성계의 중심별에서 플레어가 발생할 때 행성에 나타나는 형광 신호를 포착하면 생명체의 존재를 확인할 수 있다는 것이다.
> 한편 딥러닝 기반의 인공지능으로 별에서 수집한 전파 신호를 분석해 외계 지적 생명체의 존재를 추적하는 연구도 진행되고 있다. 2023 년에는 이러한 방식으로 약 1억 5천만 개의 전파 신호를 분석해 생명체가 생성했을 가능성이 있는 신호 8 개를 발견했다.

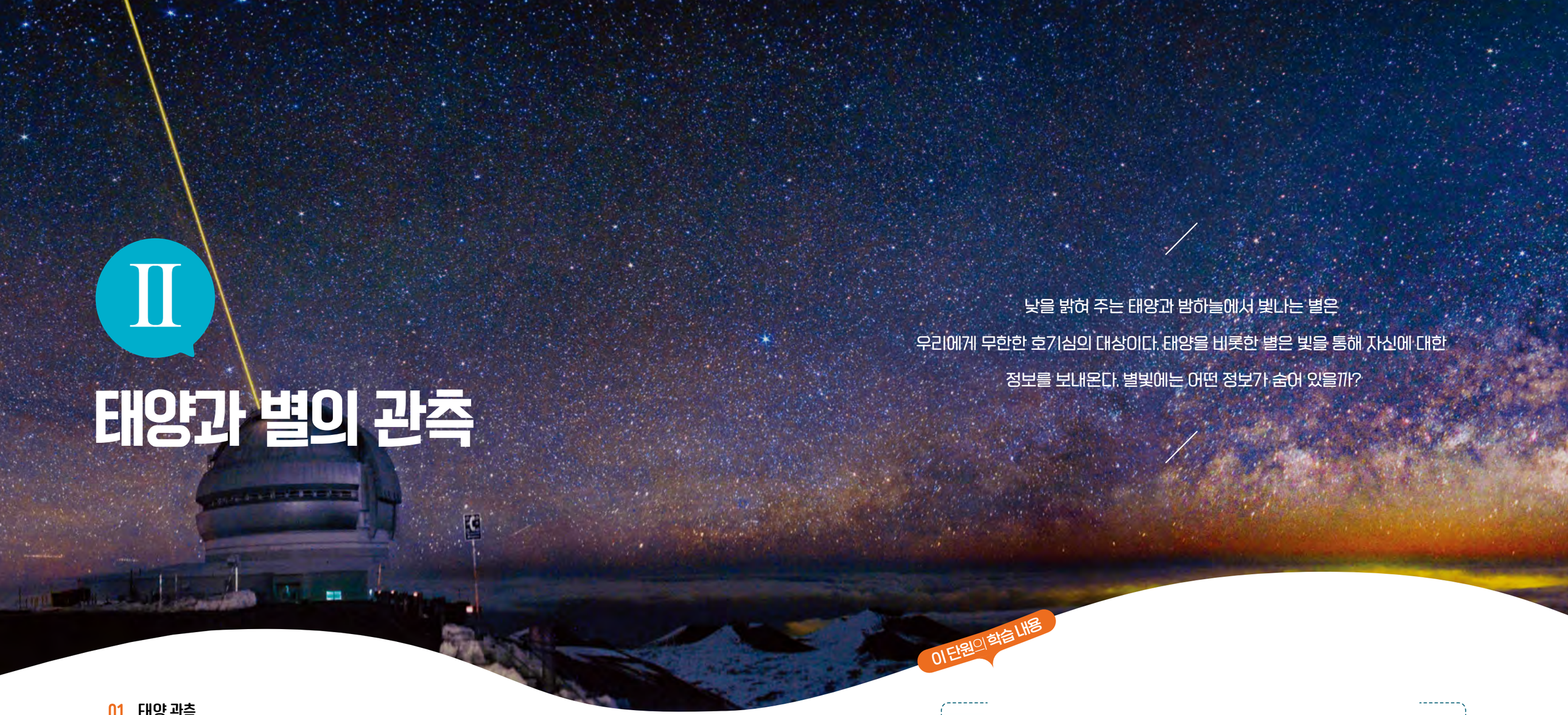
(1) 외계 생명체의 존재를 확인하기 위해 중심별에서 플레어가 발생할 때 형광 신호를 포착하는 까닭을 서술해 보자.

(2) 딥러닝 기반의 인공지능을 이용한 외계 지적 생명체 탐사의 장점을 유추해 글로 써 보자.

스스로 평가하기

'우주 탐사와 행성계'를 학습한 다음, 나의 성취 수준을 스스로 평가해 보자.

지식·이해	• 케플러의 세 가지 법칙을 이용하여 태양계 구성 천체들의 운동을 설명할 수 있는가?	☆☆☆☆☆
	• 외계 행성계 탐사의 원리와 외계 행성에 생명체가 존재할 수 있는 조건을 설명할 수 있는가?	☆☆☆☆☆
과정·기능	• 태양계 탐사선의 성과를 이해하고, 인공위성을 활용한 우주 탐사의 필요성을 토론했는가?	☆☆☆☆☆
	• 행성과 소천체의 정의를 이해하고, 소천체 탐사 자료를 통해 이들의 특징을 추론했는가?	☆☆☆☆☆
가치·태도	• 태양 활동 감시 시스템과 우주 위험 감시 기술의 중요성을 우주 재난 측면에서 인식했는가?	☆☆☆☆☆



Ⅱ 태양과 별의 관측

01 태양 관측
02 별의 거리 측정
03 별의 운동
04 쌍성과 별의 질량
05 변광성

창의적 문제해결 우주 자원 관리 결정하기

낮을 밝혀 주는 태양과 밤하늘에서 빛나는 별은 우리에게 무한한 호기심의 대상이다. 태양을 비롯한 별은 빛을 통해 자신에 대한 정보를 보내온다. 별빛에는 어떤 정보가 숨어 있을까?

이 단원의 학습 내용

지식·이해
- 태양의 광구와 대기에서 나타나는 다양한 현상을 설명할 수 있다.
- 별의 시선 속도와 접선 속도로 별의 공간 운동을 나타내는 방법을 설명할 수 있다.

과정·기능
- 질량 광도 관계를 이용하여 별의 질량을 구할 수 있다.
- 별의 시차와 밝기를 이용하여 거리를 측정하는 다양한 방법을 비교, 평가할 수 있다.
- 관측 자료를 비교해 변광성을 구분하고, 초신성 관측 자료를 통해 알 수 있는 과학적 사실을 추론할 수 있다.

가치·태도
- 별에 대한 흥미와 호기심을 바탕으로 우주를 과학적으로 탐구하려는 태도를 가질 수 있다.

단원 연계

중학교 과학		지구과학	행성우주과학
• 태양계 • 별과 우주		태양계 천체와 별과 우주의 진화	태양과 별의 관측

01 태양 관측

학습 목표
- 태양의 광구와 대기에서 나타나는 현상을 설명할 수 있다.
- 광구와 대기의 현상이 다양한 파장의 관측 자료에서 어떻게 나타나는지 비교, 분석할 수 있다.

고구려 고분 벽화에 등장하는 태양에는 검은색 새가 그려져 있다. 과거 사람들은 태양에서 어떤 모습을 보고 그림을 그렸을까?

태양은 지구와 가장 가까운 항성으로, 표면의 모습이나 자전을 직접 관측할 수 있어 멀리 떨어져 있는 별을 연구하는 기초 자료가 된다. 태양에서 일어나는 다양한 현상을 알아보자.

태양의 광구와 자전

태양은 매우 밝아 맨눈으로 표면을 직접 관측하기 어렵다. 태양 필터 등을 이용하면 태양의 표면을 볼 수 있는데, 이를 **광구**라고 한다. 광구에서는 쌀알 무늬와 흑점이 나타난다. 광구를 큰 망원경으로 관측하면 쌀알을 뿌려 놓은 듯한 모습의 **쌀알 무늬**를 볼 수 있다. 쌀알 무늬는 크기가 평균 1000 km 정도이며, 광구 아래에서 일어나는 대류 현상 때문에 나타난다. 밝게 보이는 중심부에서는 고온의 가스가 상승하고, 어둡게 보이는 가장자리에서는 가스가 식어 하강한다.

광구에 보이는 검은색 점을 **흑점**이라고 한다. 흑점을 자세히 관찰하면 중심부가 주변부보다 더 어둡다. 흑점에서 더 어두운 중심부를 암부라고 하며, 암부를 둘러싼 가는 선 모양의 구조를 반암부라고 한다.

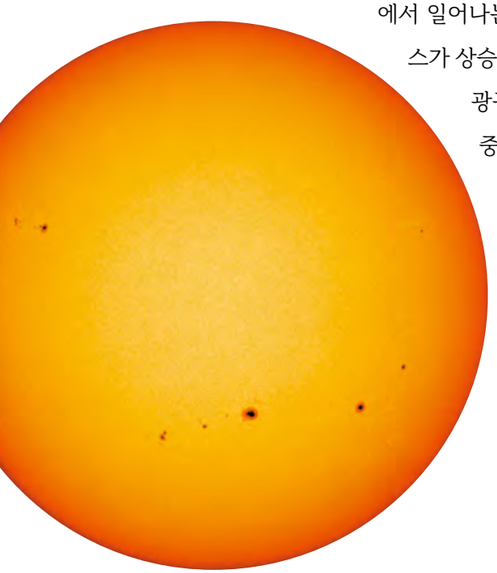


그림 Ⅱ-1 태양의 광구

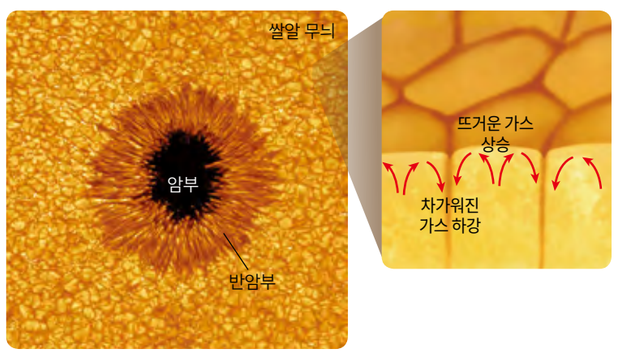


그림 Ⅱ-2 쌀알 무늬와 흑점

흑점의 온도는 약 3800 K으로, 주변보다 온도가 2000 K 정도 낮아 상대적으로 어둡게 보인다. 이는 흑점의 자기장이 다른 부분보다 매우 강해 광구로 에너지를 운반하는 대류가 억제되기 때문이다. 흑점은 크기에 따라 수명이 다르지만 며칠에서 길게는 몇 달 동안 존재하기도 한다.

흑점의 수는 그림 Ⅱ-3과 같이 약 11 년을 주기로 증감한다. 흑점 수는 태양 활동과 밀접한 관계가 있으므로 흑점 수의 증감을 관측하면 태양 활동의 주기를 알 수 있다. 태양 활동이 활발해지면 흑점 수가 증가하고, 태양 활동이 약해지면 흑점 수가 감소해 흑점이 거의 나타나지 않기도 한다. 그림 Ⅱ-4와 같이 흑점은 한 주기가 시작할 때는 주로 위도 20°~40°에서 발생하고, 시간이 흐를수록 저위도에서 발생한다.

(출처: 벨기에왕립천문대)

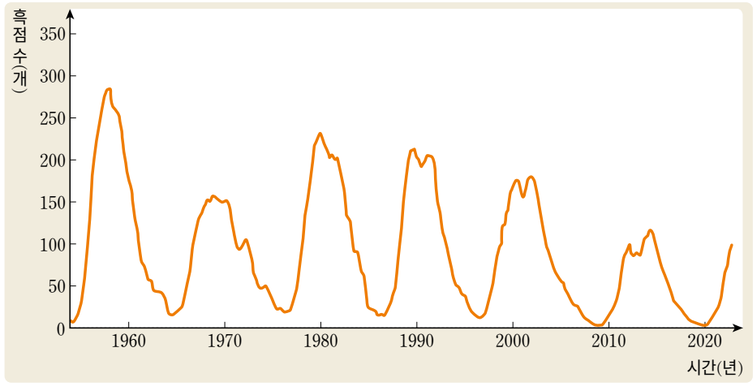


그림 Ⅱ-3 태양 흑점 주기 한 주기에서 흑점 수가 가장 많을 때를 흑점 극대기, 가장 적을 때를 흑점 극소기라고 한다.

(출처: 일본국립천문대)

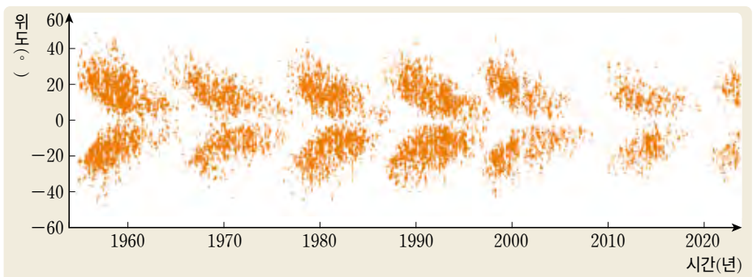
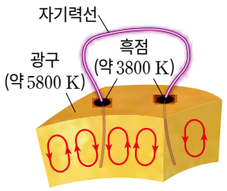


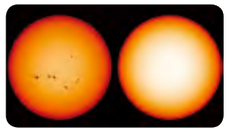
그림 Ⅱ-4 흑점의 위도별 분포 흑점 주기의 시기별로 흑점이 주로 발생하는 위치가 다르다.

흑점은 태양이 자전함에 따라 보이는 위치가 달라진다. 갈릴레이는 흑점을 관측해 태양이 약 한 달마다 서쪽에서 동쪽으로 한 바퀴씩 자전한다는 것을 알아냈다. 이후 천문학자들의 관측으로 태양의 자전 주기가 위도에 따라 다르다는 것을 알게 되었다.

흑점의 자기장 세기
흑점의 자기장 세기는 주변보다 10 배 정도 크다.



태양 활동에 따른 광구의 모습
왼쪽은 오른쪽보다 태양 활동이 활발할 때의 모습으로, 광구에 흑점이 많이 나타난다.



다음 활동에서 망원경으로 태양을 관측하고, 흑점 이동 자료를 분석해 위도별 태양의 자전 주기를 구해 보자.

탐구

탐구 설계 및 수행 / 자료 분석 및 해석 / 의사소통 및 협업

탐구 능력 | 문제해결 능력

망원경으로 태양 광구를 관측하고 흑점의 이동 자료를 이용하여 태양의 자전 주기 구하기

목표

망원경으로 태양 광구를 관측하고, 흑점 이동 자료로 태양의 위도별 자전 주기를 구할 수 있다.

준비물
- ☑ 천체 망원경
- ☑ 태양 필터
- ☑ 스마트 기기

안전
- 맨눈으로 태양을 오래 보거나 태양 필터 없이 천체 망원경으로 직접 태양을 보면 실명할 수 있으므로 주의한다.
- 태양 필터를 사용하기 전에 이상이 없는지 점검하고, 관측 중 태양 필터가 떨어지지 않도록 단단하게 부착한다.
- 파인더를 제거하거나 파인더의 덮개를 닫고 관측한다.

활동 도우미

천체 망원경에 태양 필터를 부착하는 대신 태양 투영판을 부착하거나 태양 망원경을 사용해 태양을 관측할 수 있다.

태양 투영판

탐구 1 망원경으로 태양 관측하기

과정

1. 모둠별로 천체 망원경을 설치하고 대물렌즈 앞에 태양 필터를 부착한다.
2. 경통이 태양을 향하게 하고, 접안렌즈의 가운데에 태양 상이 오게 조정한다.
   - ⊕ 경통 그림자의 크기가 가장 작아지게 방향을 조절하면 태양 상을 쉽게 찾을 수 있다.
3. 태양 상이 선명하게 보이도록 접안렌즈의 초점을 맞추고, 광구의 모습을 관찰한다.
   - ⊕ 관측 후 접안렌즈에 스마트 기기 촬영 어댑터를 장착하고 스마트 기기를 연결해 광구의 사진을 찍을 수 있다.

결과 및 정리

관측한 광구의 모습을 그리고 특징을 설명해 보자.

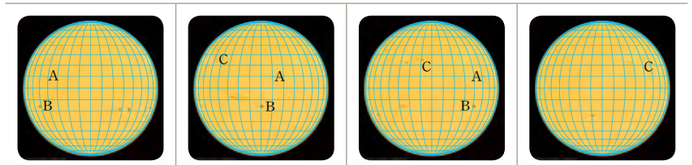
탐구 2 흑점 이동 자료로 태양 자전 주기 구하기

과정

1. 모둠별로 태양 관측 위성이 광구를 촬영한 한 달 분량의 영상 자료를 내려받는다.
2. 1의 자료를 합성해 흑점의 이동 모습을 동영상으로 제작한다.
3. 동영상에 나타난 흑점들을 관찰해 위도를 확인하고, 시간에 따른 각 흑점의 회전각(경도 변화량)을 측정한다.
4. 스프레드시트 프로그램을 이용해 각 위도에서 태양의 자전 주기를 구한다.

360° : 흑점의 회전각(경도 변화량) = 태양의 자전 주기 : 흑점 이동 시간

예 2023 년 6 월 1 일부터 6 월 12 일까지 흑점의 이동 모습



6 월 1 일	6 월 5 일	6 월 8 일	6 월 12 일

	A	B	C	D	E
1	흑점	위도(°)	이동 시간(일)	회전각(°)	자전 주기(일)
2	A	11	7	94	=360*C2/D2
3	B	−15	7	92	
4	C	26	7	91	
5					

결과 및 정리

1. 한 달 동안 나타난 흑점의 위도와 해당 위도에서 태양의 자전 주기를 정리해 보자.
2. 태양의 자전 주기가 위도에 따라 어떻게 달라지는지 설명해 보자.
3. ⊕창의 흑점의 크기와 수명은 어떤 관계가 있는지 영상을 근거로 설명해 보자.

활동 도우미
- 동영상을 제작할 때 흑점의 위치를 파악하기 쉽도록 태양의 위·경도를 나타내는 격자 그림을 합성한다.
- 영상에서 광구의 가장자리 부분은 왜곡이 심해 경도를 정확하게 파악하기 어려우므로 흑점이 이 부분을 벗어난 시기에 회전각을 측정한다.

디지털 탐색

SDO 누리집(https://sdo.gsfc.nasa.gov)에서 태양 관측 위성이 촬영한 가시광선 영상(HMI Intensitygram)을 내려받을 수 있다.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 위도에 따라 태양의 자전 주기가 어떻게 달라지는지 설명할 수 있는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 망원경으로 태양 광구를 관측하고, 흑점 이동 자료를 분석해 위도별 태양의 자전 주기를 구했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 태양을 관측하는 천체 망원경과 인공위성의 유용성을 깨달았는가? ☆☆☆

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

태양은 위도별로 자전 주기가 다른 **차등 자전**을 한다. 이는 태양이 기체로 되어 있다는 증거이다. 태양의 자전 주기는 그림 Ⅱ-5와 같이 적도 부근에서 약 25 일이고, 고위도로 갈수록 점점 길어져 극 부근에서는 약 35 일이다. 즉, 태양의 자전 속도는 극보다 적도에서 더 빠르다.

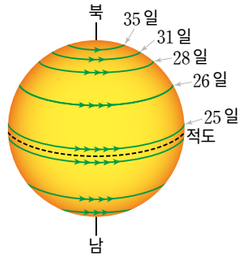


그림 Ⅱ-5 위도별 태양의 자전 주기

태양의 대기

태양의 대기는 태양의 크기에 비해 얇지만, 이곳에서 일어나는 활동은 태양계 전체에 많은 영향을 미친다. 광구를 둘러싸고 있는 하층 대기는 채층이라고 하며, 상층 대기는 코로나라고 한다.

채층은 광구 위로 얇은 층을 이루며 밀도는 광구보다 작다. 채층의 온도는 높이가 높아짐에 따라 수만 K까지 높아진다. 채층에서는 뜨거운 가스가 고리나 아치 형태로 수만 km까지 치솟는 **홍염**을 볼 수 있다. 홍염은 태양 활동이 활발한 영역에서 주로 발생한다.

채층은 점진적으로 코로나로 이어진다. **코로나**는 채층보다 밀도가 훨씬 작고 온도가 백만 K 이상으로 매우 높다. 코로나의 형태와 크기는 일정하지 않지만, 일반적으로 흑점 수와 관계가 있다. 코로나는 흑점 극대기에는 크기가 크고 밝으며, 흑점 극소기에는 비교적 크기가 작고 어둡다.

개기일식이 일어나면 채층은 태양 바깥쪽의 좁은 영역에서 붉게 보이며, 코로나는 넓은 영역에서 백색으로 희미하게 빛나는 모습으로 보인다.

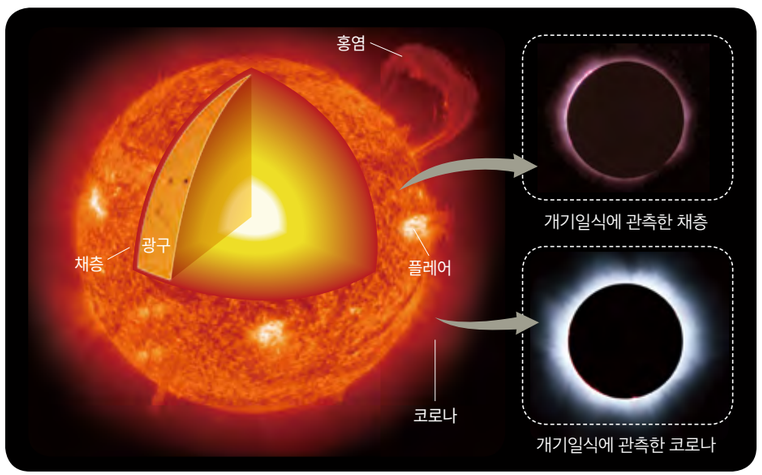


그림 Ⅱ-6 태양의 구조와 대기

흑점 주변의 폭발로 대기층이 급격히 밝아지며 짧은 시간 동안 대규모의 에너지가 방출되는 현상을 **플레어**라고 한다. 플레어는 흑점 주변의 자기장이 교란됨에 따라 축적된 에너지가 한꺼번에 방출되며 발생한다고 알려져 있다. 플레어가 발생할 때는 수백억 톤에 달하는 고에너지 입자가 500 km/s 이상의 속도로 우주 공간으로 방출되는 현상이 일어나기도 한다.

태양은 다양한 파장 영역에서 에너지를 방출한다. 다음 활동에서 관측 파장에 따라 태양의 광구와 대기에서 나타나는 현상이 어떻게 보이는지 비교해 보자.

해보기

탐구 능력

다양한 파장 영역으로 관측한 태양의 모습 비교하기

그림은 가시광선, 자외선, X선 영역으로 관측한 태양의 모습이다.

디지털 탐색
SDO 누리집에서 '다양한 파장 영역으로 관측한 태양 영상'을 비교해 볼 수 있다.

옹스트롬(Å)
길이의 단위로, 1 Å은 10^{-10} m를 나타낸다. 6173 Å은 617.3 nm이다.

1. 가시광선 영상에서 흑점이 나타나는 곳이 다른 영상에서 어떻게 보이는지 비교해 보자.
2. 코로나, 플레어 등이 잘 나타나는 파장 영역을 찾아보자.

가시광선 영역으로는 태양의 광구를 관측할 수 있다. 광구보다 온도가 높은 채층이나 코로나는 파장이 짧은 자외선, X선 영역으로 관측할 수 있다. 또 파장별로 광구나 대기에서 나타나는 현상의 모습이 다르게 관측된다. 가시광선 영역에서 어둡게 보이는 흑점 부분은 자외선이나 X선 영역에서는 밝게 보인다. 태양 활동이 활발한 지점에서는 자외선과 X선 복사가 많으므로 플레어 같은 현상은 가시광선 영역으로는 보기 어렵고, 자외선과 X선 영역으로 관측할 수 있다.

스스로 확인하기

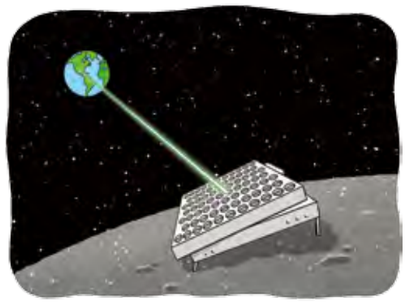
1 태양의 광구와 대기에서 나타나는 현상에는 무엇이 있는지 설명해 보자.

2 흑점 관측 자료로 알 수 있는 태양 자전의 특징을 설명해 보자.

3 | **창의력 더하기** | 지구에서 태양까지의 거리는 약 1.5억 km이다. 플레어가 일어날 때 방출된 입자가 지구에 도달하는 데 최대 며칠이 걸릴지 설명해 보자.

02 별의 거리 측정

학습 목표
- 별의 시차와 밝기를 이용하여 거리를 측정하는 방법을 설명할 수 있다.
- 별의 거리를 측정하는 다양한 방법을 비교, 평가할 수 있다.



지구에서 달까지의 거리는 달에 설치한 반사경에 쏜 레이저가 왕복하는 시간을 측정해 잴 수 있다. 달보다 훨씬 멀리 있는 별까지의 거리는 어떻게 알 수 있을까?

연주시차

물체를 보는 방향에 따라 나타나는 겉보기 위치의 차이를 시차라고 한다. 지구는 이심률이 매우 작은 타원 궤도로 태양 주위를 공전한다. 따라서 지구에서 어떤 별을 관측하고 6 개월 뒤에 다시 관측하면 멀리 있는 별을 기준으로 시차가 생기는데, 이 시차의 절반을 **연주시차**라고 한다. 연주시차를 이용하면 별까지의 거리를 측정할 수 있다. 별까지의 거리를 d, 연주시차를 $p(''')$라고 하면 다음 식이 성립한다.

$$p'' : 1\ \mathrm{AU} = 360^\circ : 2\pi d$$

이때 $\dfrac{360\times60\times60}{2\pi}$ AU를 1 pc으로 하면 별까지의 거리는 다음과 같다.

$$d(\mathrm{pc}) = \frac{1}{p('')}$$

태양을 제외한 별들은 지구로부터 매우 멀리 떨어져 있으므로 지구에서 가장 가까운 별의 연주시차가 $0.767''$일 정도로 별의 연주시차는 매우 작다.

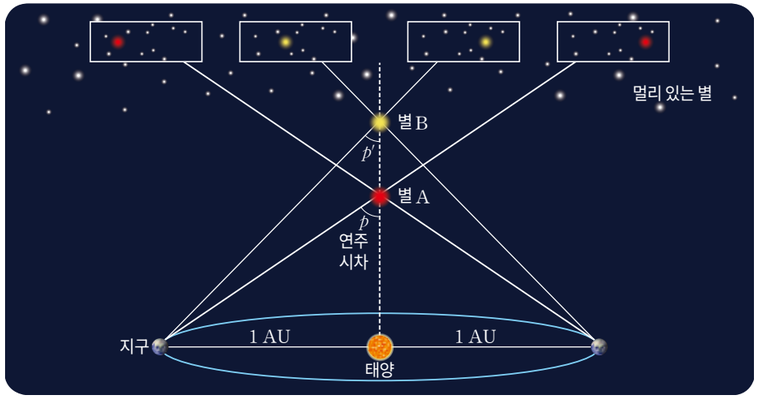


그림 Ⅱ-7 연주시차와 별까지의 거리 거리가 먼 별 B의 연주시차(p')는 가까운 별 A의 연주시차(p)보다 작다.

연주시차와 별까지의 거리
별은 매우 멀리 떨어져 있으므로 지구에서 별까지의 거리는 태양에서 별까지의 거리와 같다고 할 수 있다. 이때 지구와 태양 사이의 거리는 별까지의 거리를 반지름으로 하는 원에서 연주시차 p에 대한 호의 길이와 같다.

천체의 거리를 나타내는 단위
- 천문단위(AU): 태양에서 지구까지의 평균 거리로, 1 AU는 약 1.5×10^8 km이다.
- 광년(LY): 빛의 속도로 1 년 동안 이동한 거리로, 1 LY은 약 9.5×10^{12} km이다.
- 파섹(pc): 연주시차가 $1''$인 별까지의 거리로, 1 pc은 약 206265 AU와 같다.

거리지수

별의 밝기는 등급으로 나타낸다. 1 등급인 별은 6 등급인 별보다 100 배 밝으므로, 1 등급 차이는 $100^{\frac{1}{5}}$ 배(약 2.5 배)의 밝기 차이가 난다. 따라서 겉보기 등급이 m_1, m_2인 두 별의 밝기를 각각 l_1, l_2라고 하면 두 별의 등급과 밝기의 관계는 다음과 같다.

$$\frac{l_1}{l_2} = 100^{\frac{1}{5}(m_2-m_1)} = 10^{\frac{2}{5}(m_2-m_1)}$$

$$m_2 - m_1 = 2.5\log\frac{l_1}{l_2}$$

그림 Ⅱ-8과 같이 별의 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로, 두 별까지의 거리를 d_1, d_2라고 하면 위 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_2 - m_1 = 2.5\log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = 5\log\frac{d_2}{d_1}$$

이때 별의 겉보기 등급을 m, 절대 등급을 M, 지구에서 별까지의 거리를 d(pc)라고 하면 다음 식이 성립한다.

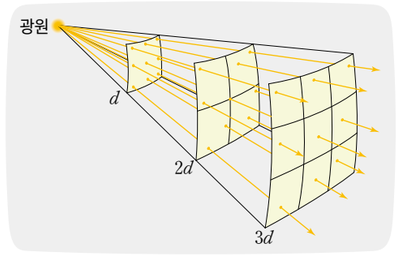


그림 Ⅱ-8 별의 밝기와 거리의 관계 별까지의 거리가 2 배, 3 배로 멀어질수록 같은 면적에서의 밝기는 $\frac{1}{4}$ 배, $\frac{1}{9}$ 배로 줄어든다.

겉보기 등급과 절대 등급
겉보기 등급은 지구에서 보이는 대로 별의 밝기를 나타낸 등급이고, 절대 등급은 별을 지구로부터 거리가 10 pc인 곳에 놓았다고 가정할 때의 밝기를 나타낸 등급이다.

$$m - M = 5\log d - 5$$

이때 $(m-M)$은 별까지의 거리를 알 수 있는 척도가 되므로 **거리지수**라고 한다.

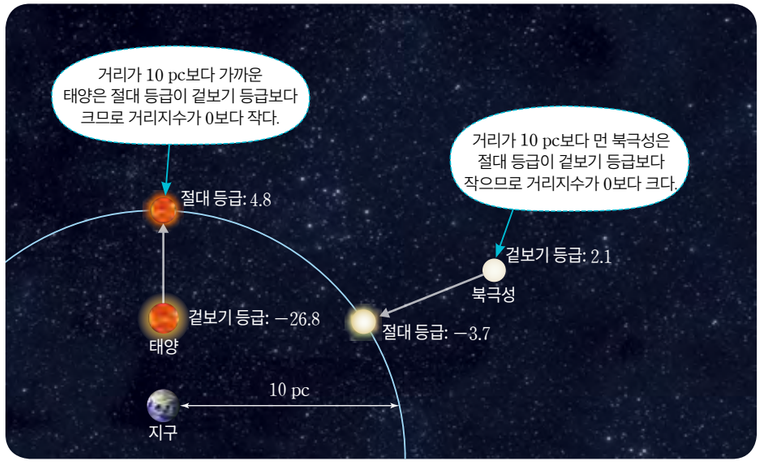


그림 Ⅱ-9 거리지수와 별까지의 거리

? 지구에서 북극성까지의 거리는 몇 pc인가?

별의 겉보기 등급은 지구에서 관측해 알아낼 수 있으므로 별의 절대 등급이나 광도를 알 수 있다면 별까지의 거리를 측정할 수 있다. 별의 절대 등급을 알아내는 방법 중 한 가지는 주계열성의 분광형을 이용하는 것이다. 그림 Ⅱ-10과 같이 주계열성의 스펙트럼을 분석해 분광형을 측정했다면 H-R도를 이용해 절대 등급을 알아내고 별의 거리를 계산할 수 있다.

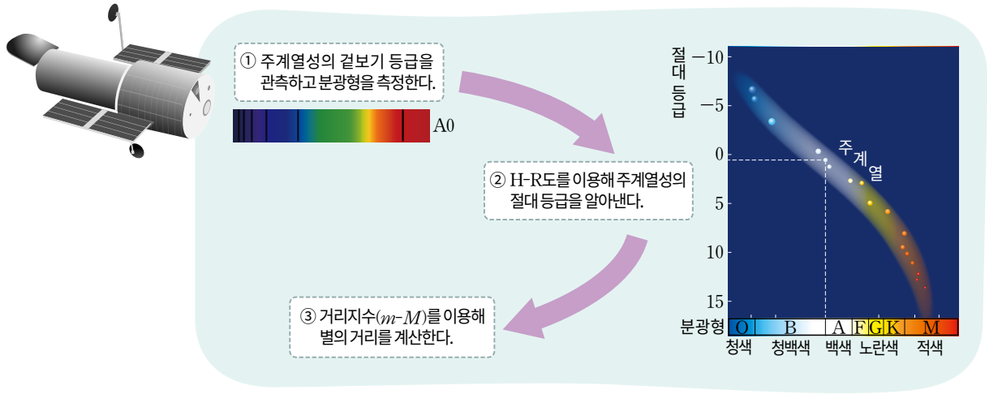


그림 Ⅱ-10 분광형을 이용해 주계열성의 거리를 알아내는 방법

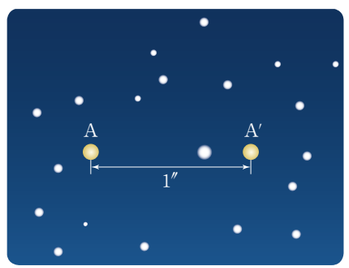
다음 활동에서 시차와 거리지수를 이용한 별의 거리 측정 방법을 비교해 보자.

해보기

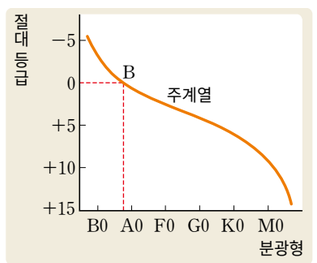
탐구 능력 | 의사결정 능력

별의 거리를 측정하는 방법 비교하기

그림 (가)는 별 A를 6 개월 간격으로 관측해 위치를 나타낸 것이고, (나)는 주계열성 B를 H-R도에 나타낸 것이다.



(가)



(나)

1. 지구에서 별 A, B까지의 거리를 각각 구해 보자.(단, B의 겉보기 등급은 +5이다.)
2. 별 A, B의 거리를 구한 방법 중 더 멀리 있는 별까지의 거리를 측정할 수 있는 방법을 고르고, 그 까닭을 설명해 보자.

별의 연주시차는 매우 작기 때문에 일반적으로 수천 pc 이내에 있는 가까운 별의 거리를 구할 때만 이용할 수 있으나, 비교적 정확하게 거리를 구할 수 있다. 분광형과 거리지수를 이용하면 별의 스펙트럼을 측정할 수 있는 수만 pc까지 별의 거리를 알아낼 수 있다. 이보다 멀리 있는 천체는 대부분 다른 은하에 있다. 이러한 천체의 거리는 절대 등급을 추정할 수 있는 Ia형 초신성, 세페이드 변광성 등의 거리지수를 이용해 측정한다.

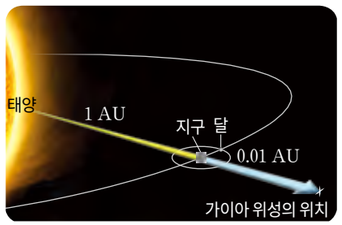
세페이드 변광성을 이용한 천체의 거리 측정 방법은 'Ⅲ. 은하와 우주'에서 배운다.
➡ 84 쪽

별의 거리를 측정하는 것은 우주를 연구하는 데 매우 중요하다. 별의 실제 밝기, 질량, 크기 등 별의 물리량을 알아내기 위해서는 별까지의 거리를 정확하게 알아야 한다. 별의 거리 측정 기술의 발달은 관측 가능한 우주의 끝까지 우리의 이해를 넓혀 줄 것이다.

자료실 연주시차의 관측 범위를 확장한 히파르코스 위성과 가이아 위성

지상의 망원경은 지구 대기의 영향을 받기 때문에 20 세기 후반까지 관측할 수 있는 별의 연주시차는 0.01″ 정도가 한계였다. 이에 1989 년 유럽우주기구(ESA)는 연주시차를 약 0.001″까지 관측할 수 있는 히파르코스 위성을 발사해 약 12만 개 별의 연주시차를 확인했다. 2013 년에는 히파르코스 위성의 뒤를 이어 가이아 위성이 발사되었다. 가이아 위성의 목표 중 하나는 10억 개 이상의 별의 연주시차를 관측해 별의 거리를 측정하고 위치를 파악하는 것이다. 가이아 위성은 히파르코스 위성보다 성능이 높은 관측 기기를 탑재해 별의 연주시차를 약 0.0002″까지 관측할 수 있다. 하지만 가이아 위성으로 관측할 수 있는 별도 우리은하 전체의 1 %에 불과하다.

히파르코스 위성과 가이아 위성이 관측한 자료는 누구나 내려받아 사용할 수 있어 천문학자들의 보물 창고와 같은 역할을 하고 있다.



가이아 위성의 위치

은하수를 관측하는 가이아 위성(상상도)

스스로 확인하기

1 연주시차가 0.1″인 별까지의 거리를 구해 보자.

2 연주시차와 거리지수를 이용해 측정할 수 있는 별의 거리 범위를 비교하여 설명해 보자.

3 | **창의력 더하기** | 화성에서 시차를 이용해 별의 거리를 측정한다면 지구에서 측정하는 것보다 어떤 점이 더 좋을지 설명해 보자.

03 별의 운동

학습 목표
- 별의 시선 속도와 접선 속도의 합으로 공간 운동을 설명할 수 있다.
- 별자리를 이루는 별들의 장시간에 걸친 형태 변화를 추론할 수 있다.

다가오는 버스는 크기가 점점 크게 보이므로 가까워지는 것을 알 수 있다. 하지만 별은 매우 멀리 떨어져 있어 맨눈으로는 운동 방향을 알기 어렵다. 별의 운동은 어떻게 알 수 있을까?

별은 매우 멀리 있기 때문에 움직이지 않는 것처럼 느껴지지만 실제로는 우주 공간을 빠른 속도로 움직이고 있다.

별의 시선 속도와 접선 속도

별이 시선 방향으로 가까워지거나 멀어지는 속도를 **시선 속도**라고 한다. 별의 시선 속도는 별의 스펙트럼에 나타나는 흡수선을 분석해 알아낼 수 있다. 별이 시선 방향으로 멀어지면 흡수선의 파장이 길어지고, 가까워지면 흡수선의 파장이 짧아진다. 빛의 속도를 c, 별이 정지 상태일 때 흡수선의 파장을 λ_0, 흡수선의 파장 변화량을 $\Delta\lambda$라고 하면 별의 시선 속도(v_r)는 다음과 같다.

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c$$

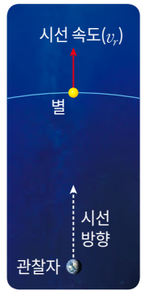


그림 Ⅱ-11 별의 시선 속도

● **각거리**
하늘에 보이는 두 지점 사이의 거리를 관측자를 중심으로 한 각의 크기로 나타낸 것이다.

천구상에서 별이 1 년 동안 이동한 ●각거리를 고유 운동이라고 한다. 고유 운동은 우주 공간에서 움직이고 있는 별의 운동을 천구상에 투영해 나타낸 것으로, 시선 방향에 수직인 접선 방향의 운동을 나타낸다. 별이 접선 방향으로 운동하는 속도를 **접선 속도**라고 한다. 거리가 같은 별은 접선 속도가 클수록 고유 운동이 크게 나타나고, 접선 속도가 같은 별이라면 거리가 가까울수록 고유 운동이 크게 나타난다. 별이 지구에서 떨어진 거리가 d(pc), 고유 운동이 μ(″/년)일 때 단위를 km/s로 나타내면 별의 접선 속도(v_t)는 다음과 같다.

$$v_t = 4.74\mu d$$

고유 운동(μ)과 접선 속도(v_t)
별까지의 거리(d)를 반지름으로 하는 원을 생각하면 다음과 같은 비례식이 성립한다.

$$360^\circ : 2\pi d = \mu : v_t$$

이때 단위를 km/s로 변환하면 $v_t = 4.74\mu d$를 얻을 수 있다.

그림 Ⅱ-12 별의 접선 속도

지구에서 관측할 때 고유 운동이 가장 큰 별은 바너드별이다. 바너드별의 고유 운동은 약 10.3″/년으로, 1° 움직이는 데 약 360 년이 걸린다. 따라서 대부분 별은 움직이지 않고 고정되어 있는 것처럼 보인다.

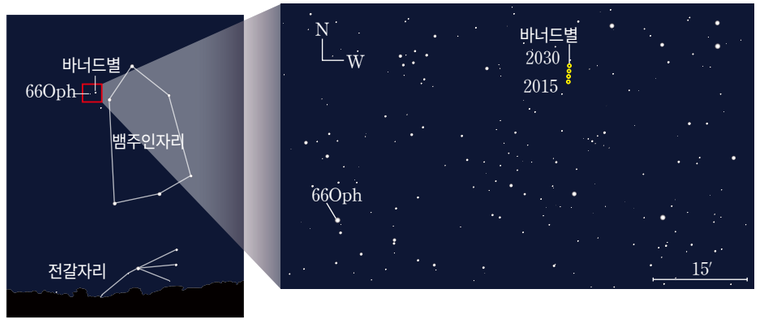


그림 Ⅱ-13 바너드별의 위치와 고유 운동 바너드별은 뱀주인자리에 속하는 별로, 2015 년에서 2030 년까지 북쪽으로 약 2.6′ 이동한다.

? 지구에서 바너드별까지의 거리는 1.83 pc이다. 바너드별의 접선 속도는 몇 km/s인가?

바너드별의 고유 운동 크기
천체의 크기나 거리, 운동을 나타낼 때 각의 단위인 도(°), 분(′), 초(″)를 사용하기도 한다. 태양과 보름달의 겉보기 크기는 약 0.5°로, 바너드별이 이 정도의 거리를 이동하는 데는 약 180 년이 걸린다.

별의 공간 운동

별이 우주 공간에서 실제로 움직인 것을 **공간 운동**이라고 한다. 별의 공간 운동은 직접 관측할 수 없지만 흡수선의 파장 변화량으로 알아낸 시선 속도와 고유 운동을 관측해 알아낸 접선 속도를 이용해 구할 수 있다. 별의 공간 운동은 **공간 속도**로 나타내며, 공간 속도(v)와 시선 속도(v_r), 접선 속도(v_t)의 관계는 다음과 같다.

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2}$$

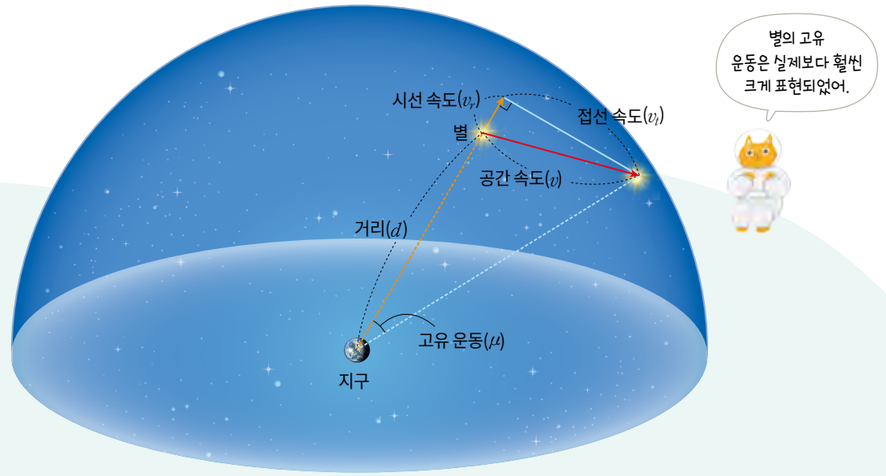


그림 Ⅱ-14 별의 공간 운동

탐구

탐구 능력 | 문제해결 능력

탐구 설계 및 수행 / 수학적 사고와 모형 활용

별자리를 구성하는 별들의 공간 분포를 입체적으로 표현하기

목표

별자리를 구성하는 별들의 공간 분포를 입체적으로 표현할 수 있다.

준비물 ☑

- ☑ 투명 상자
- ☑ 면장갑
- ☑ 칼
- ☑ 자
- ☑ 송곳
- ☑ 낚싯줄
- ☑ 고무찰흙
- ☑ 셀로판테이프

안전 ⚠

송곳이나 칼을 사용할 때는 반드시 면장갑을 끼고 손을 찔리지 않게 주의한다.

활동 도우미 ➕

- 별자리의 모양을 확인할 수 있는 주요 별만을 나타낸다.
- 거리의 기준점을 낚싯줄에 표시하고, 이 부분을 모아 고정한다. 낚싯줄이 팽팽하지 않다면 별자리 그림 뒤쪽으로 낚싯줄을 조금씩 당겨 조정한다.

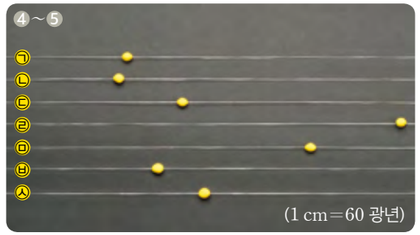
과정

1. 별자리를 하나 정하고, 별자리를 이루는 주요 별의 거리를 조사한다.

예 오리온자리

별	㉠	㉡	㉢	㉣	㉤	㉥	㉦
거리(광년)	520	470	800	1500	1325	650	900

2. 별자리 그림을 인쇄해 투명 상자의 한쪽 끝에 붙이고, 별 부분에 구멍을 뚫는다.
3. 상자의 반대쪽 가운데에 지구 위치를 나타내는 구멍을 뚫는다.
4. 상자의 길이와 가장 먼 별의 거리를 고려해 낚싯줄 1 cm가 나타낼 거리를 정한다.
5. 별의 개수만큼 낚싯줄을 잘라 별의 거리에 맞게 고무찰흙을 붙인다.



6. 별자리 그림에 뚫은 구멍에 5의 낚싯줄을 끼우고, 줄을 모아 지구 위치에 고정한다.
7. 별자리를 이루는 별의 분포를 지구 위치 및 상자의 여러 방향에서 관찰한다.

결과 및 정리

1. 지구 위치에서 볼 때와 다른 방향에서 볼 때 별자리의 모양을 비교하여 설명해 보자.

2. 별자리를 이루는 별들이 실제 우주 공간에서 어떻게 분포되어 있는지 설명해 보자.

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 별자리를 이루는 별들의 실제 공간 분포를 설명할 수 있는가?	☆☆☆
| 과정·기능 | 별자리를 이루는 별들의 거리 비를 계산해 모형을 만들었는가?	☆☆☆
| 가치·태도 | 모형을 활용한 과학 탐구의 유용성을 인식했는가?	☆☆☆

공간 운동에 따른 별자리의 형태 변화

별자리는 시선 방향의 범위가 비슷한 별을 임의의 경계로 나누어 이름을 붙인 것으로, 별자리를 구성하는 별들은 물리적인 연관성을 가지고 있지 않다.

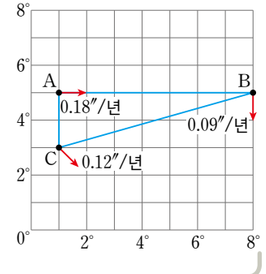
별들은 우주 공간에서 각각 다른 속도로 운동하고 있지만 짧은 시간 동안에는 상대적인 위치 변화를 관측하기 어렵다. 따라서 우리에게는 별자리의 형태가 변하지 않는 것처럼 보인다. 다음 활동에서 긴 시간이 흐른 뒤 별자리의 형태가 어떻게 달라질지 알아보자.

해보기

탐구 능력

별자리의 형태 변화 추론하기

그림은 가상의 별자리를 이루는 별 A, B, C의 고유 운동 방향과 크기를 나타낸 것이다.



- 10만 년 뒤 이 별자리의 모습을 그려 보자.(단, 별의 시선 속도는 고려하지 않는다.)

오랜 시간이 지나면 그림 Ⅱ-15와 같이 별자리를 이루는 별들의 공간 운동에 따라 별자리의 모양이 지금과 다르게 보일 것이다.

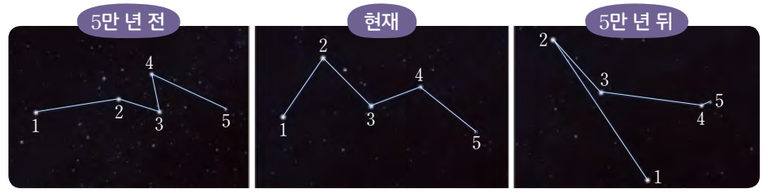


그림 Ⅱ-15 시간에 따른 카시오페이아자리의 모양 변화

스스로 확인하기

1. 별의 시선 속도와 접선 속도를 이용해 별의 공간 운동을 설명해 보자.
2. 1만 년 전 사람들이 보던 별자리와 현재 별자리의 모양이 다른 까닭을 설명해 보자.
3. | 창의력 더하기 | 지구에서 만든 별자리 지도를 가지고 우주를 여행한다면 어떤 문제가 생길지 이야기해 보자.

04 쌍성과 별의 질량

학습 목표
- 쌍성의 관측 자료로 항성의 질량을 구할 수 있다.
- 주계열성의 질량 광도 관계를 이용하여 쌍성이 아닌 별의 질량을 구할 수 있다.

우주가 배경인 공상 과학 영화에서는
태양 같은 별이 두 개 뜨는 행성이 등장한다.
실제로 이런 행성이 존재할까?

쌍성의 관측

맑은 날 밤하늘에서는 수많은 별을 관측할 수 있다. 별은 태양처럼 단독으로 존재하기도 하고 두 개 이상의 별이 하나의 별처럼 보이기도 한다. 두 별이 중력으로 묶여 질량 중심을 같은 주기로 공전하는 항성계를 **쌍성**이라고 하는데, 하나의 별로 관측되었더라도 쌍성인 경우는 흔하게 나타난다. 쌍성은 관측 방법에 따라 안시 쌍성, 식쌍성, 분광 쌍성 등으로 분류할 수 있다.

안시 쌍성은 두 별의 상대적 위치가 시간에 따라 변하는 것을 망원경으로 직접 관측할 수 있는 쌍성을 말한다. 두 별 중 밝은 별을 주성, 어두운 별을 동반성이라고 한다.

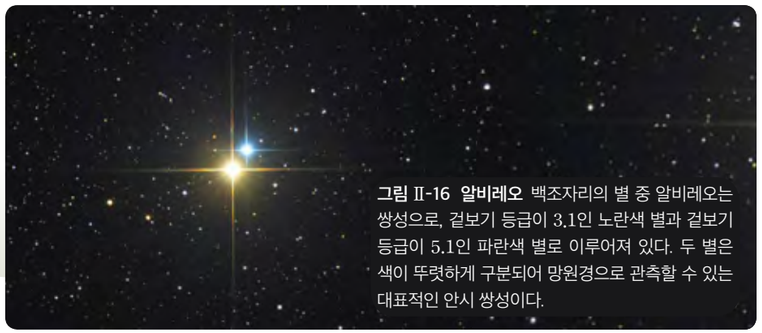


그림 Ⅱ-16 알비레오 백조자리의 별 중 알비레오는 쌍성으로, 겉보기 등급이 3.1인 노란색 별과 겉보기 등급이 5.1인 파란색 별로 이루어져 있다. 두 별은 색이 뚜렷하게 구분되어 망원경으로 관측할 수 있는 대표적인 안시 쌍성이다.

안시 쌍성을 이루는 두 별은 거리가 멀어 질량 중심을 도는 공전 주기가 수 년에서 수만 년에 이를 정도로 길다. 연주시차를 이용하여 별까지의 거리를 구하고 두 별 사이의 각거리를 측정하면 두 별 사이의 거리를 구할 수 있다. 안시 쌍성을 이루는 두 별 사이의 거리를 알게 되면 케플러 제3법칙을 이용해 쌍성계 전체의 질량을 추정할 수 있다. 현재는 망원경의 성능이 향상되면서 과거보다 많은 안시 쌍성이 발견되고 있다.

식쌍성은 두 별의 공전 궤도가 지구 관찰자의 시선 방향과 거의 일치할 때 한 별이 다른 별을 가리는 현상이 주기적으로 반복되는 쌍성이다. 식쌍성은 별빛의 일부가 차단되어 쌍성계 전체의 밝기가 변하므로 별의 주기적인 겉보기 밝기 변화를 통해 찾아낼 수 있다. 그림 Ⅱ-17은 식쌍성의 밝기 변화 곡선이다. 두 별의 전체 밝기가 가장 어두워지는 때를 주극소, 밝기가 약간 어두워지는 때를 부극소라고 한다. 주극소 또는 부극소의 밝기 변화 주기를 측정하면 별의 공전 주기를 알 수 있으며, 주극소와 부극소일 때 걸리는 시간을 계산하여 두 별의 상대적인 크기도 계산할 수 있다.

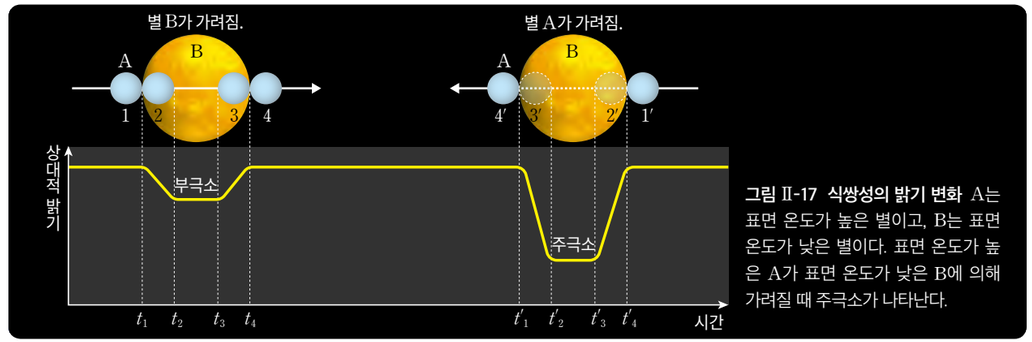


그림 Ⅱ-17 식쌍성의 밝기 변화 A는 표면 온도가 높은 별이고, B는 표면 온도가 낮은 별이다. 표면 온도가 높은 A가 표면 온도가 낮은 B에 의해 가려질 때 주극소가 나타난다.

분광 쌍성은 별빛 스펙트럼에 나타난 흡수선 파장의 주기적인 변화를 통해서 확인할 수 있는 쌍성을 말한다. 쌍성을 이루는 두 별이 가까이 위치하거나 지구로부터 거리가 먼 곳에 있어 쌍성임을 알기 어렵더라도 도플러 효과에 따른 흡수선의 파장 변화를 관측해 보면 쌍성이라는 것을 알 수 있다. 별이 지구에 가까워지면 청색 편이가 나타나고 별이 멀어지면 적색 편이가 나타나는데, 그림 Ⅱ-18처럼 별빛 스펙트럼에서 고유 파장이 같은 두 흡수선이 갈라졌다가 다시 합쳐지기를 반복하는 것처럼 관측된다. 쌍성의 공전 궤도와 시선 방향이 나란하면 분광 쌍성을 이루는 별의 질량을 알 수 있다.

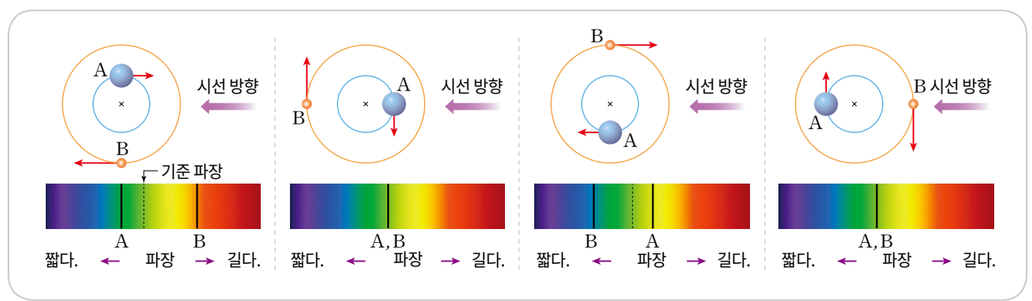


그림 Ⅱ-18 분광 쌍성의 스펙트럼 쌍성 중 하나의 별이 지구를 향할 때 다른 별은 멀어지기 때문에 스펙트럼의 흡수선이 주기적으로 움직인다.

별의 질량

별의 질량은 별의 수명과 진화 과정에 영향을 미치는 중요한 물리량이다. 별의 질량은 직접 측정하기는 어렵지만 별이 쌍성이라면 관측을 통해 별의 질량을 구할 수 있다. 별의 질량을 구하기 위해 필요한 관측값은 쌍성의 공전 주기와 두 별 사이의 거리이다. 그림 Ⅱ-19와 같이 질량이 m_1, m_2인 두 별이 질량 중심으로부터 a_1, a_2만큼 떨어진 거리에서 v_1, v_2의 속도로 원운동을 하고 있다고 하자. 두 별의 공전 주기를 P, 두 별 사이의 거리를 a라고 하면, 케플러 제3법칙으로부터 두 별의 질량의 합을 구할 수 있다.

케플러 제3법칙의 증명과 적용은 'Ⅰ. 우주 탐사와 행성계'에서 배웠다.
➡ 25 쪽

$$m_1+m_2=\frac{4\pi^2}{G}\cdot\frac{a^3}{P^2} \cdots\cdots ①$$

또 질량 중심의 정의로부터 다음 식이 성립한다.

$$m_1a_1=m_2a_2 \cdots\cdots ②$$

그러므로 a_1과 a_2의 비를 알면 식 ①과 ②를 통해 별의 질량 m_1, m_2를 각각 구할 수 있다. 다음 활동에서 쌍성의 관측 자료를 이용하여 별의 질량을 구해 보자.

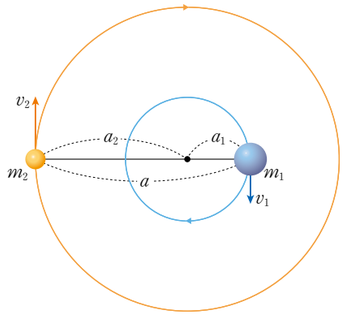


그림 Ⅱ-19 쌍성의 운동

쌍성의 질량
공전 주기를 '년', 두 별 사이 거리의 단위를 'AU'로 나타내면 식 ①은 다음과 같다.

$$m_1+m_2=\frac{a^3}{P^2}\cdot M_\odot$$

($M_\odot$: 태양 질량)

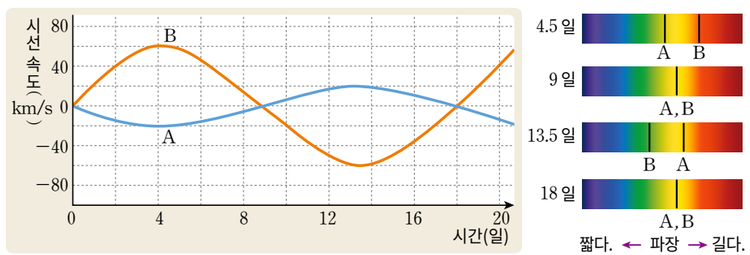
해보기

탐구 능력

분광 쌍성의 질량 구하기

그림은 어느 쌍성계의 별 A와 B에서 측정한 시선 속도 변화와 관측된 스펙트럼의 위치를 나타낸 것이다. 쌍성의 공전 궤도는 원이며 공전 궤도면은 시선 방향과 나란하다.

별의 시선 속도를 구하는 방법은 'Ⅱ-03. 별의 운동'에서 배웠다.
➡ 58 쪽



1. 별 A와 B의 공전 주기와 공전 속도를 구해 보자.
2. 별 A와 B의 공전 궤도 반지름비를 구해 보자.
3. 별 A와 B의 질량비를 구해 보자.

탐구

탐구 능력 | 문제해결 능력

쌍성의 질량과 절대 등급 자료를 이용하여 주계열성의 질량 광도 관계 구하기

자료 분석 및 해석 / 결론 도출 및 일반화

목표

관측된 쌍성의 질량과 광도 자료로부터 주계열성의 질량 광도 관계를 구할 수 있다.

준비물 ☑
☑ 스마트 기기

과정

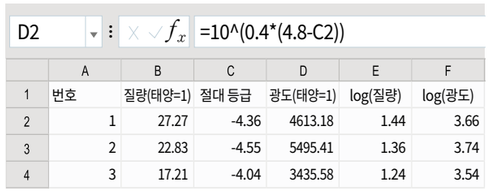
다음은 관측된 쌍성 중 주계열성 일부의 질량과 광도를 나타낸 것이다.

(태양 질량=1)

번호	질량	절대 등급	번호	질량	절대 등급	번호	질량	절대 등급	번호	질량	절대 등급
1	27.27	−4.36	11	2.53	0.21	21	1.56	2.35	31	0.91	6.04
2	22.83	−4.55	12	2.48	0.99	22	1.23	3.80	32	0.93	5.71
3	17.21	−4.04	13	1.90	1.78	23	1.49	2.62	33	0.83	6.37
4	11.34	−2.71	14	1.56	2.98	24	1.28	3.42	34	1.01	5.84
5	9.25	−2.29	15	2.31	−0.05	25	1.03	4.32	35	0.76	6.41
6	5.16	−1.48	16	1.49	3.08	26	1.11	4.33	36	0.88	5.71
7	5.32	−1.11	17	1.77	1.72	27	0.93	4.46	37	0.61	8.68
8	5.27	−1.07	18	1.63	2.50	28	0.96	5.38	38	0.60	9.01
9	2.50	1.22	19	1.27	3.66	29	1.17	4.37	39	0.43	13.07
10	2.10	1.04	20	1.46	3.12	30	1.05	4.81	40	0.23	14.46

(출처: 《Accurate masses and radii of normal stars: Modern results and applications》, 2009.)

1. 스프레드시트 프로그램에서 위 값을 입력하고 절대 등급을 광도로 변환한다.
2. 스프레드시트의 다른 열에 질량과 광도의 로그를 취한 값을 각각 계산한다.



	A	B	C	D	E	F
1	번호	질량(태양=1)	절대 등급	광도(태양=1)	log(질량)	log(광도)
2	1	27.27	-4.36	4613.18	1.44	3.66
3	2	22.83	-4.55	5495.41	1.36	3.74
4	3	17.21	-4.04	3435.58	1.24	3.54

⊕ 광도의 범위가 너무 크므로 질량 광도 관계 그래프를 그리면 직관적으로 이해하기 어렵다. 광도에 로그를 취하면 범위를 줄여 주므로 그래프를 해석하기 쉽다.

3. x축을 'log(질량)', y축을 'log(광도)'로 하는 분산형 그래프를 그린다.
4. 추세선을 추가하고, 추세선 수식을 표시한다.

활동 도우미 ⊕
절대 등급(M)과 광도(L)는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\frac{L_{별}}{L_{태양}}=10^{\frac{2}{5}(M_{태양}-M_{별})}$$

결과 및 정리

주계열성의 질량과 광도는 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.

스스로 평가하기

지식·이해	주계열성의 질량과 광도의 관계를 설명할 수 있는가?	☆☆☆
과정·기능	수학적 사고를 활용하여 질량 광도 관계 그래프를 그리고 해석할 수 있었는가?	☆☆☆
가치·태도	별의 물리량 사이의 관계를 알아내는 데 관측 자료의 중요성을 느꼈는가?	☆☆☆

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

케플러 제3법칙을 이용해 질량을 알게 된 쌍성 중 주계열성인 별들의 질량과 광도를 그래프로 나타내면 일정한 관계가 있음을 알 수 있다. 그림 Ⅱ-20과 같이 주계열성의 광도는 질량의 약 세제곱~네제곱에 비례하는데, 이와 같은 관계를 주계열성의 **질량 광도 관계**라고 한다.

따라서 쌍성이 아닌 주계열성도 분광형을 측정하면 광도를 알 수 있고, 질량 광도 관계를 이용해 주계열성의 질량을 알아낼 수 있다.

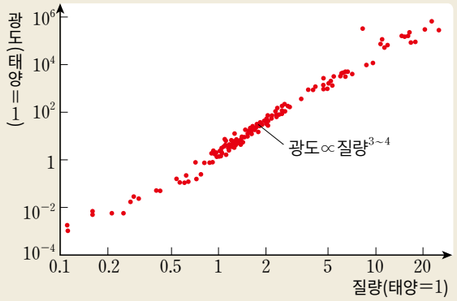


그림 Ⅱ-20 질량 광도 관계 주계열성에서만 성립하며 거성, 백색왜성과 같은 별에서는 성립하지 않는다.

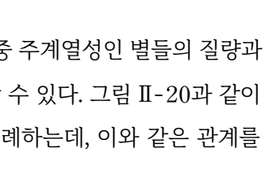
? 광도∝질량$^{3.5}$일 때, 태양 광도의 100 배인 주계열성의 질량은 태양 질량의 몇 배인가?

자료실 **식쌍성에서 별의 반지름을 구하는 방법**

쌍성을 이루는 두 별 A, B의 공전 궤도가 원이라면 식쌍성의 밝기 변화 곡선으로부터 별 A, B의 반지름을 구할 수 있다. 별 A의 반지름을 R_A, B의 반지름을 R_B, B에 대한 A의 상대 공전 속도를 v라고 하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$2R_A=v(t_2-t_1),\ 2R_B=v(t_3-t_1)$$

$v=\frac{2\pi a}{P}$(P: 쌍성의 공전 주기, a: 궤도 반지름)를 대입하면 두 별의 반지름은 각각 $R_A=\frac{\pi a(t_2-t_1)}{P}$, $R_B=\frac{\pi a(t_3-t_1)}{P}$이다.



➡ 식쌍성을 관측하여 별의 공전 주기와 상대적인 공전 속도를 알고, 밝기 변화를 측정하면 별의 반지름을 구할 수 있다.

스스로 확인하기

1 쌍성을 이루는 별의 질량 합을 구하기 위해 알아야 하는 자료를 설명해 보자.

2 주계열성의 질량을 구하는 방법에 대해 설명해 보자.

3 | **창의력 더하기** | 행성은 항성의 중력에 의해 행성 주위를 공전하고 있다. 쌍성계에서 안정적으로 공전하는 행성이 존재할 수 있는 조건을 이야기해 보자.

05 변광성

학습 목표
- 광도 곡선으로 맥동 변광성과 폭발 변광성을 구분할 수 있다.
- 초신성 관측 자료를 통해 알 수 있는 과학적 사실을 추론할 수 있다.

조선왕조실록에는 1604 년 하늘에 갑자기 나타난 별의 밝기와 크기 등을 목성, 금성과 비교한 기록이 있다. 이 별은 어떤 종류의 별이었을까?

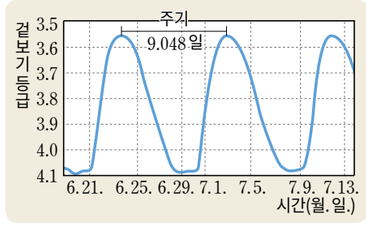
맥동 변광성과 폭발 변광성

1596 년 고래자리의 별 미라가 주기적으로 보였다가 안 보였다가 하는 현상이 발견되면서 별의 밝기가 변한다는 사실을 알게 되었다. 이 발견은 하늘은 불변한다는 이전 시대의 주장이 틀렸다는 것을 증명하며 천문학의 발전으로 이어졌다. 이후 망원경 기술의 발전으로 관측 정밀도가 향상되었고, 이에 따라 밝기가 주기적으로 변하는 많은 별을 발견할 수 있게 되었다. 이처럼 밝기가 일정하지 않고 변하는 별을 **변광성**이라고 한다. 변광성에는 일정한 주기로 밝기가 변하는 **맥동 변광성**과 별의 밝기가 급격하게 밝아졌다가 어두워지는 **폭발 변광성**이 있다. 다음 활동에서 두 변광성의 광도 곡선을 비교해 보자.

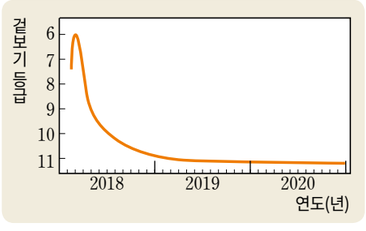
해보기 탐구 능력

변광성의 광도 곡선 비교하기

그림은 서로 다른 변광성의 모습과 광도 곡선을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

1. (가)와 (나)의 광도 곡선의 특징을 비교해 보자.

2. (가)와 (나)를 맥동 변광성과 폭발 변광성으로 구분해 보고, 그렇게 구분한 까닭을 설명해 보자.

맥동 변광성 >> 맥동 변광성은 심장 박동이 뛰는 것처럼 일정한 주기로 수축과 팽창을 반복하며 밝기가 변하는 별이다. 그림 Ⅱ-21과 그림 Ⅱ-22의 광도 곡선과 같이 맥동 변광성의 광도 곡선은 식쌍성의 밝기 변화 곡선 모양과 다르게 연속적인 분포가 나타난다. 맥동 변광성에는 1 일 이하의 주기로 광도가 변하는 거문고자리 RR형 변광성, 수 일에서 100 일 이내의 주기로 광도가 변하는 세페이드 변광성, 100 일 이상의 긴 주기로 광도 변화가 나타나는 장주기 변광성 등이 있다.

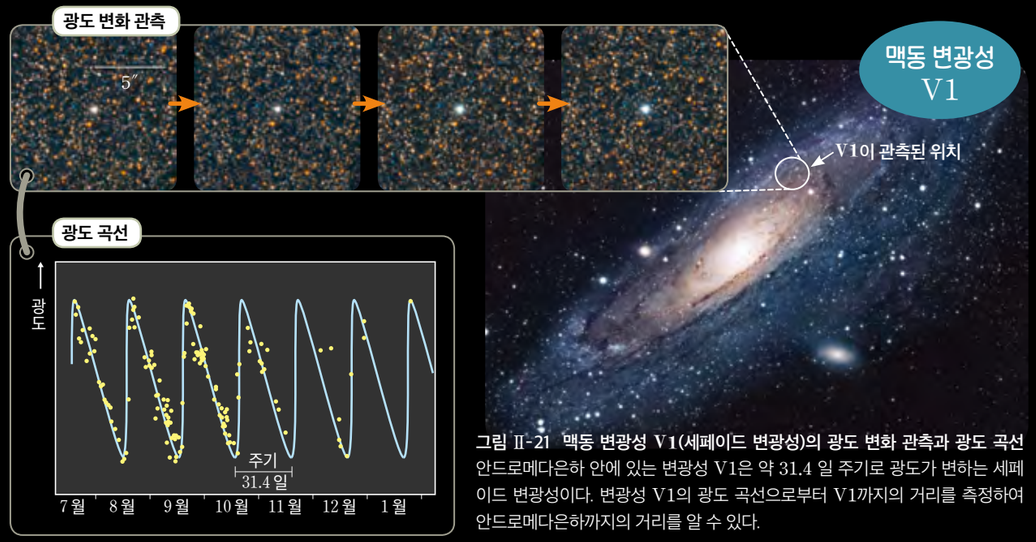


그림 Ⅱ-21 맥동 변광성 V1(세페이드 변광성)의 광도 변화 관측과 광도 곡선 안드로메다은하 안에 있는 변광성 V1은 약 31.4 일 주기로 광도가 변하는 세페이드 변광성이다. 변광성 V1의 광도 곡선으로부터 V1까지의 거리를 측정하여 안드로메다은하까지의 거리를 알 수 있다.

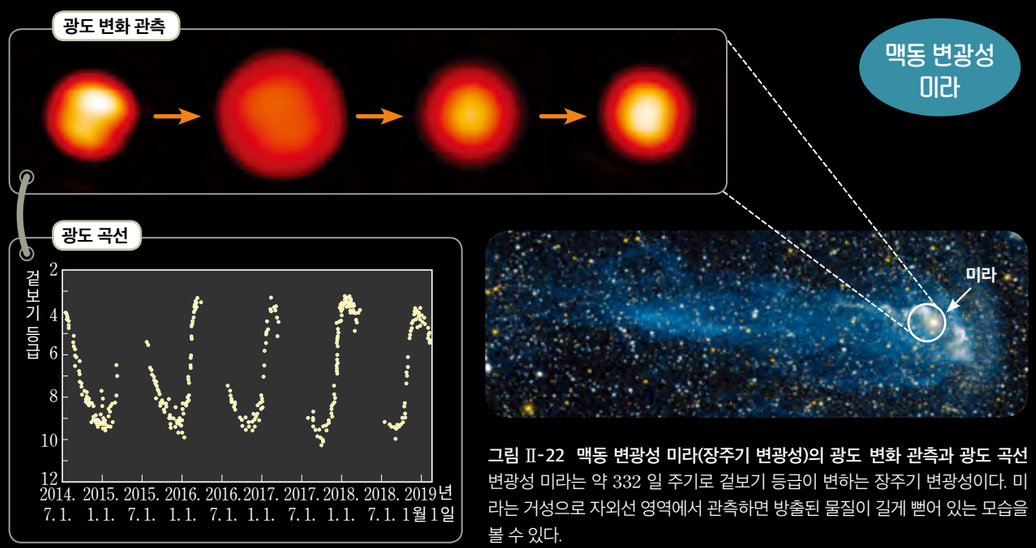


그림 Ⅱ-22 맥동 변광성 미라(장주기 변광성)의 광도 변화 관측과 광도 곡선 변광성 미라는 약 332 일 주기로 겉보기 등급이 변하는 장주기 변광성이다. 미라는 거성으로 자외선 영역에서 관측하면 방출된 물질이 길게 뻗어 있는 모습을 볼 수 있다.

폭발 변광성 >> 폭발 변광성은 초신성과 같이 별이 갑자기 폭발하면서 별의 밝기가 급격하게 밝아졌다가 어두워지는 별이다. 폭발하는 과정에서 많은 물질이 우주 공간으로 방출된다. 초신성의 밝기는 그림 Ⅱ-23과 같이 수 일 내에 급격하게 밝아졌다가 서서히 어두워진다. 그림 Ⅱ-24와 같이 초신성은 폭발 과정에서 구성 물질의 대부분을 방출하면서 주위의 성간 물질에 충격파를 일으키고, 충격파가 지나간 자리에는 팽창하는 가스와 먼지의 껍질이 남게 되는데 이것을 초신성 잔해라고 부른다. 초신성 잔해는 수천 년 동안 관측할 수 있는 상태로 남아 있다. 초신성 중 Ia형 초신성은 백색왜성이 격렬하게 폭발한 결과물로 가장 밝을 때의 절대 등급이 약 −19.3 등급으로 일정하다.

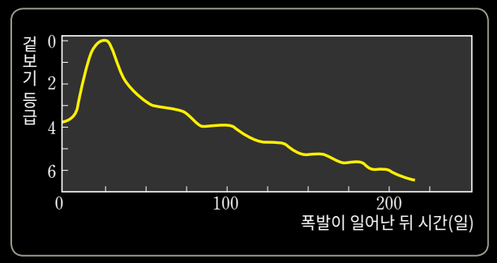


그림 Ⅱ-23 폭발 변광성(초신성)에서 나타나는 광도 곡선

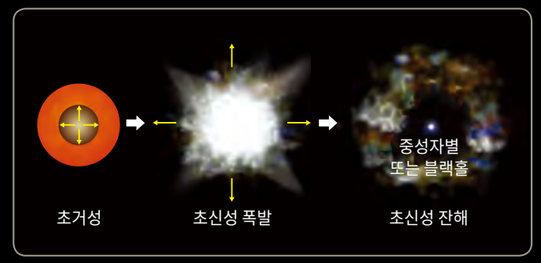


그림 Ⅱ-24 초거성의 진화로 초신성 폭발이 일어나 초신성 잔해를 남기는 과정

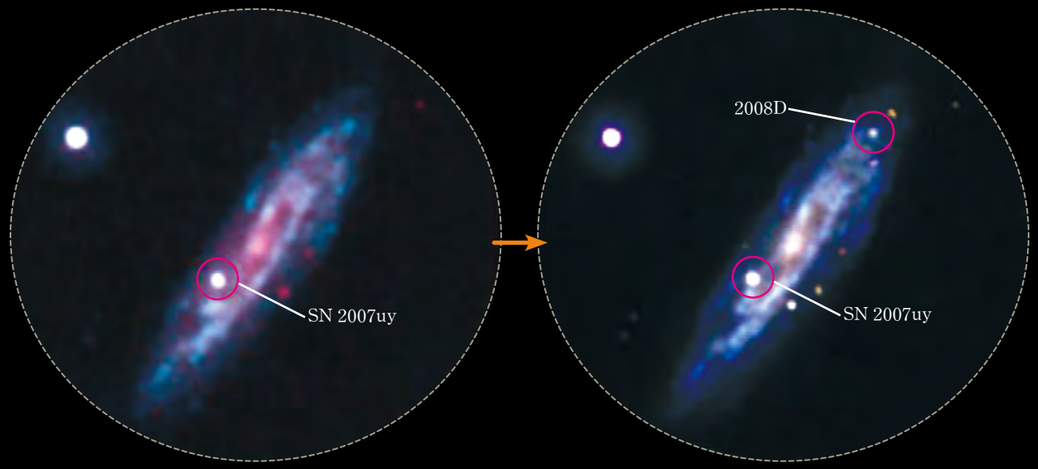


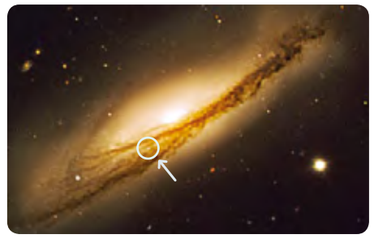
그림 Ⅱ-25 초신성 2008D의 폭발 미국항공우주국(NASA)의 스위프트 위성이 초신성 SN 2007uy를 관측하던 중 초신성 SN 2008D가 폭발한 모습을 관측했다.

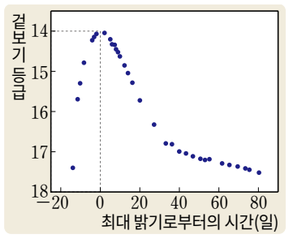
해보기

탐구 능력

Ia형 초신성 관측 자료로 알 수 있는 과학적 사실 추론하기

그림은 어느 은하에서 발견된 Ia형 초신성과 이 초신성의 겉보기 등급 변화이다.





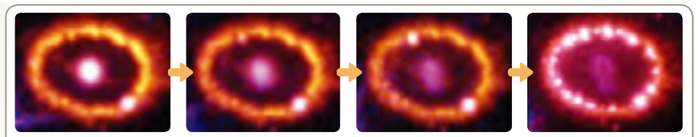
1. 이 초신성이 가장 밝을 때의 겉보기 등급은 몇 등급인지 써 보자.

2. 이 초신성이 가장 밝을 때의 절대 등급은 몇 등급인지 써 보자.

3. 이 관측 자료로 알 수 있는 사실은 무엇인지 설명해 보자.

Ia형 초신성은 최대 밝기의 절대 등급이 일정하기 때문에 최대 밝기일 때 겉보기 등급을 측정하면 초신성까지의 거리를 알 수 있다. 표준 촛불은 Ia형 초신성처럼 고유한 밝기를 알고 있는 천체로서, 고유한 밝기를 겉보기 밝기와 비교하여 거리를 구하는 데 이용된다.

변광성에 대한 연구는 별의 질량, 반지름, 광도, 온도, 화학 조성 등 별에 대한 정보를 제공하고 우주 전반에 대한 이해를 넓히는 데 기여하고 있다.



초신성 1987A는 1987 년에 첫 번째로 발견된 초신성으로 정밀한 관측이 이루어져 초신성 연구에 큰 발전을 가져왔다. 이 초신성의 거리는 16만 8천 광년으로, 16만 8천 년 전에 폭발했다.

스스로 확인하기

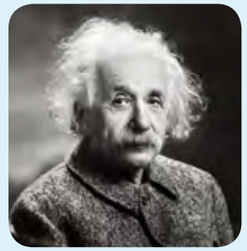
1 맥동 변광성과 폭발 변광성의 광도 곡선에서 나타나는 차이점을 설명해 보자.

2 Ia형 초신성의 밝기 관측 자료로 알 수 있는 사실을 설명해 보자.

3 | 창의력 더하기 | 대부분의 별은 폭발하면 밝기가 밝아지지만, 폭발 후 오히려 어두워졌다가 시간이 지나면서 밝아지는 별도 있다. 어떤 경우에 별의 밝기가 이와 같이 변할 수 있는지 추론해 보자.

과학과 미래 진로

우주의 비밀을 밝히는 천체물리학자



아인슈타인
(Einstein, A., 1879~1955)

허블
(Hubble, E. P., 1889~1953)

밤하늘을 보면서 우주는 어떻게 만들어졌는지, 우주에는 지구에 사는 생명체가 아닌 다른 생명체가 있을지 의문을 품어 본 적이 있을 것이다. 이런 의문에 답하기 위해 여러 가지 천체의 특성과 진화 과정, 천체의 운동, 그리고 우주의 진화 등을 물리학과 수학의 원리를 사용하여 밝혀내고 더 나아가 우주의 본질을 연구하는 과학자를 천체물리학자라고 한다.

천체물리학의 이론 및 관측 연구 성과는 여러 가지 다른 분야의 발전에도 기여한다. 예를 들면 태양의 흑점이나 항성의 에너지원을 연구하면서 핵융합 물리학이 발전하기도 했으며, 빅뱅 우주론, 외계 행성 탐색, 블랙홀과 같은 천체물리학의 주요 연구 주제는 대중의 관심이 높아 여러 매체로 소개되면서 과학의 대중문화로서의 발전에도 기여했다. 상대성 이론을 만든 아인슈타인이나 허블-르메르트 법칙을 발견한 허블은 대표적인 천체물리학자이다.

천체물리학자가 되고 싶다면 특히 물리학과 수학을 중점적으로 공부해야 하고, 관측 자료의 분석이나 이론 증명 과정 등이 컴퓨터로 이루어지는 만큼 컴퓨터 프로그래밍도 관심을 가져야 한다. 천체물리학자는 한국천문연구원, 한국항공우주연구원과 같은 기관에서 일할 수 있고, 과학관 등에서도 일할 수 있다.

미국항공우주국(NASA) 누리집에서 '천체물리학자'가 하는 일에 대한 정보를 볼 수 있다.

관련 학과

천문학과, 천체물리학과, 천문우주과학과, 우주공학과 등

활동하기

내가 천체물리학자가 된다면 무엇을 연구하고 싶은지 생각해 보고 관련 논문을 찾아 요약해 보자.

창의적 문제해결

우주 자원 관리 결정하기

지구의 자원은 한정되어 있고 언젠가는 고갈될 것이다. 인류는 자원 고갈에 위기를 느끼고 지구 밖 천체로부터 자원을 얻는 방법이나 지구가 아닌 다른 행성으로 이주하는 방법 등을 생각하기도 한다. 앞으로 인류의 우주 진출이 가속화되면 달에서 자원을 얻거나 인류가 화성에서 살 수도 있는 시대가 올 수도 있다.

지구와 가장 가까운 천체인 달에는 이미 인류가 다녀오기도 했고 현재 여러 나라가 탐사에 나서고 있는데, 만약 어떤 국가가 먼저 달에 기지를 건설하고 깃발을 꽂는다면 달은 그 국가의 소유가 되는 것일까?

이에 대해 달 및 천체를 포함한 외기권의 개발과 사용을 규제하는 조약으로 '외기권 우주 조약'이 있다. 이 조약은 우주 활동을 규제하는 최초의 조약이며, 현재 영국, 미국, 러시아 등 98 개국이 서명했다. 이 조약의 내용에는 우주의 개발과 사용은 모든 국가의 이익을 위한 것이어야 하고, 모든 국가는 평등하게 우주를 탐사 및 이용할 수 있다는 내용이 있다. 하지만 채취한 자원 활용을 규정하는 내용이 없어 국가별로 다른 해석을 하고 있다. 현재 중국, 러시아, 미국은 달에서 희귀 금속 채취를 계획하고 있으며, 달 탐사를 계획하는 다른 나라들도 달에서 채취하게 될 천연자원의 소유권을 주장하고 있다.

앞으로 가속화될 우주 자원 개발 경쟁에는 어떤 규정이 필요할지 생각해 보자.

화성을 탐사하는 모습 (상상도)

달에서 자원을 채굴하는 모습 (상상도)

1 조사하기

외기권 우주 조약의 구체적인 내용과 우주에서 자원을 채취하거나 기지 건설을 계획하고 있는 여러 가지 프로젝트에 대해 조사해 보자.

2 토의·결정하기

1. 달에서 채취한 자원이 있다면 그 자원의 소유권에 대해 토의해 보자.
2. 우주에서 얻을 수 있는 자원에 대한 개발 규정을 토의하여 결정해 보자.

3 평가하기

나와 모둠원의 활동 과정을 다음 기준에 따라 평가해 보자.

평가 내용	평가
| **지식·이해** | 외기권 우주 조약의 내용을 설명할 수 있는가?	☆☆☆
| **과정·기능** | 우주 개발 프로젝트에 대해 다양하게 조사했는가?	☆☆☆
| **가치·태도** | 토의에 적극적으로 참여하고 다양한 입장을 고려해 우주 자원의 개발 규정을 제시했는가?	☆☆☆

01 태양 관측

48 쪽~53 쪽

1. 태양의 광구와 자전

- 광구: 태양의 표면으로 쌀알 무늬와 ❶ 이/가 관찰된다.
- 태양의 차등 자전: 위도에 따라 자전 주기가 다르다.

2. 태양의 대기

❷ : 약 1만 K, 붉은색이고 홍염이 관찰된다.

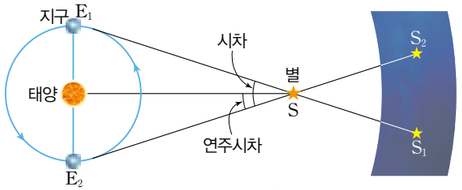
❸ : 약 100만 K, 희박한 가스로 이루어져 있고 크기가 변한다.

- 플레어: 짧은 시간에 에너지가 폭발적으로 방출되는 현상이다.

02 별의 거리 측정

54 쪽~57 쪽

1. 연주시차: 별을 6 개월 간격으로 관측했을 때 생긴 시차의 절반 ➡ 연주시차를 측정해 별까지의 거리를 알 수 있다.



$$\text{거리(pc)} = \frac{1}{\text{연주시차}(″)}$$

2. ❹ : 별의 겉보기 등급(m)과 절대 등급(M)의 차이로, 별까지의 거리(d)를 알 수 있다.

➡ $m-M=5\log d-5$

03 별의 운동

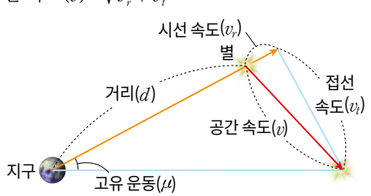
58 쪽~61 쪽

1. 별의 시선 속도와 접선 속도

- ❺ $=\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}\times c$ ➡ 별의 시선 방향 운동 속도
- 접선 속도(v_t)$=4.74\mu d$ ➡ 별의 접선 방향 운동 속도

2. 별의 공간 운동: 별이 우주 공간상에서 실제로 움직인 것

➡ 공간 속도(v)$=\sqrt{v_r^2+v_t^2}$

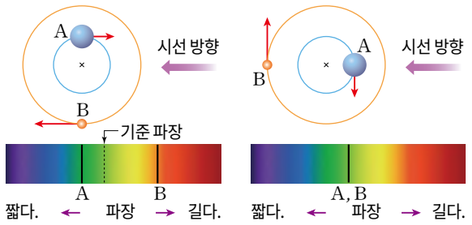


04 쌍성과 별의 질량

62 쪽~66 쪽

1. 쌍성의 종류와 질량

- 안시 쌍성: ❻ (으)로 관측할 수 있는 쌍성
- ❼ : 한 별이 다른 별을 가리는 현상이 주기적으로 반복되는 쌍성
- 분광 쌍성: 스펙트럼에서 흡수선의 규칙적 변화를 통해 확인할 수 있는 쌍성



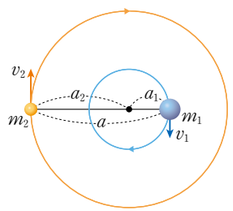
- 쌍성의 질량 구하기: 질량이 m_1, m_2인 두 별이 질량 중심으로부터 a_1, a_2만큼 떨어진 곳에서 원운동 한다고 할 때, 다음과 같이 두 별의 질량을 구할 수 있다.

(P: 공전 주기, a: 두 별 사이의 거리($a=a_1+a_2$))

$$m_1+m_2=\frac{4\pi^2}{G}\cdot\frac{a^3}{P^2} \cdots ①$$

$$m_1a_1=m_2a_2 \cdots\cdots ②$$

➡ ①, ②로부터 m_1, m_2를 구할 수 있다.



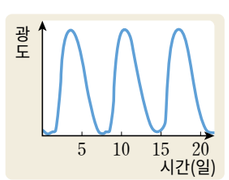
2. 질량 광도 관계: 주계열성의 광도는 ❽ 의 세제곱~네제곱에 비례한다.

05 변광성

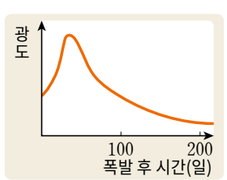
67 쪽~70 쪽

1. ❾ : 일정한 주기로 수축과 팽창을 반복하며 밝기가 변하는 별 예 세페이드 변광성, 장주기 변광성

2. 폭발 변광성: 별의 밝기가 급격하게 밝아졌다가 어두워지는 별 예 초신성



맥동 변광성의 광도 곡선



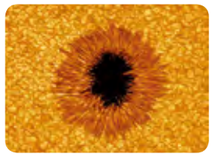
폭발 변광성의 광도 곡선

개념 적용하기

태양 관측

01 그림 (가)와 (나)는 태양의 대기와 표면에서 볼 수 있는 모습이다.

(가) 코로나



(나) 흑점

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

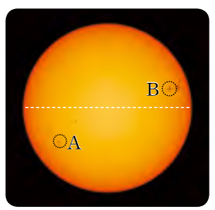
보기

ㄱ. (가)는 형태와 크기가 거의 변하지 않는다.
ㄴ. (나)가 많은 시기에는 태양 활동이 활발하다.
ㄷ. 온도는 (가)가 (나)보다 높다.

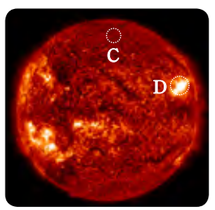
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

태양 관측

02 그림 (가)와 (나)는 태양을 같은 시각에 617.3 nm와 30.4 nm로 관측한 영상이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

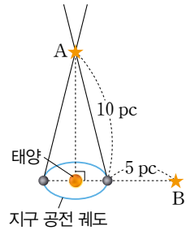
보기

ㄱ. 3 일 뒤 A 보다 B의 위치 변화가 더 크다.
ㄴ. 태양의 활동은 C보다 D에서 활발하다.
ㄷ. 채층은 (가)보다 (나)에서 잘 관찰된다.

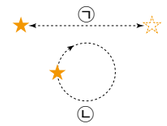
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

별의 거리 측정

03 그림 (가)는 겉보기 등급이 같은 두 별 A, B와 태양, 지구의 위치 관계를, (나)는 별 A와 B가 1 년 동안 천구상을 움직인 궤적을 ㉠과 ㉡으로 순서 없이 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 별 A의 연주시차는 별 B보다 크다.
ㄴ. 실제 밝기는 별 A가 B보다 밝다.
ㄷ. 별 A의 궤적은 ㉡이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

별의 거리 측정

04 표는 별 A, B, C의 거리와 절대 등급을 나타낸 것이다.

별	A	B	C
거리(pc)	5	10	100
절대 등급	0	3	6

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

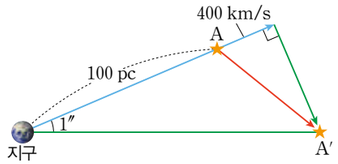
보기

ㄱ. A의 거리지수는 0보다 작다.
ㄴ. B는 겉보기 등급과 절대 등급이 같다.
ㄷ. 겉보기 등급은 B보다 C가 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

별의 운동

05 그림은 별 A가 1 년 동안 A′으로 움직인 위치를 나타낸 것이다. A의 시선 속도는 400 km/s, 고유 운동은 1″이다.



A에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?(단, 빛의 속도는 3×10^5 km/s이다.)

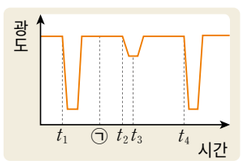
보기

ㄱ. 접선 속도는 474 km/s이다.
ㄴ. 원래 파장이 600 nm인 흡수선은 A의 스펙트럼에서 600.8 nm로 관측된다.
ㄷ. A의 공간 속도는 $\sqrt{(474)^2+(400)^2}$ km/s이다.

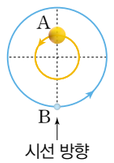
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

쌍성과 별의 질량

06 그림 (가)는 두 별 A와 B로 이루어진 식쌍성의 광도 곡선을 나타낸 것이고, (나)는 t_3일 때, 별 A와 B의 위치를 나타낸 것이다. 두 별의 공전 궤도면은 시선 방향에 나란하다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

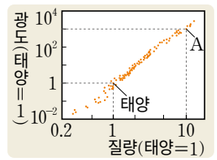
보기

ㄱ. ㉠에서 A의 적색 편이가 나타난다.
ㄴ. A의 공전 주기는 (t_2-t_1)이다.
ㄷ. 표면 온도는 A가 B보다 높다.

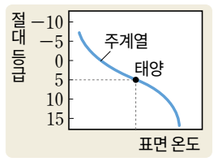
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

쌍성과 별의 질량

07 그림 (가)는 주계열성의 질량 광도 관계를, (나)는 H-R도에 주계열을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

A를 태양과 비교한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

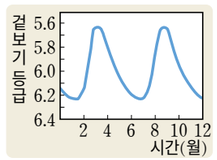
보기

ㄱ. A의 광도는 태양의 약 1000 배이다.
ㄴ. A의 표면 온도가 태양보다 높다.
ㄷ. A의 수명이 태양보다 짧다.

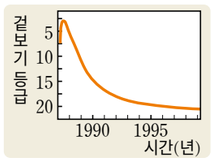
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

변광성

08 그림 (가)와 (나)는 서로 다른 변광성의 시간에 따른 광도 곡선을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

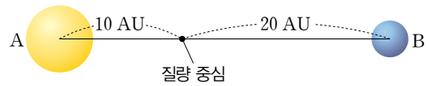
보기

ㄱ. (가)의 변광성은 거문고자리 RR형 변광성이다.
ㄴ. (나)의 변광성이 가장 밝을 때는 1999 년보다 100만 배 이상 밝았다.
ㄷ. 가장 밝을 때를 비교하면 (가)보다 (나)가 어둡게 보였다.

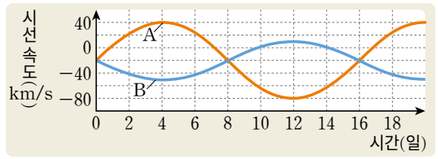
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

과학 역량 키우기

09 과학적 탐구 능력 그림은 쌍성을 이루는 별 A와 B 사이의 거리와 두 별의 질량 중심을 나타낸 것이다. 질량 중심을 공전하는 주기는 30 년일 때 별 A와 B의 질량은 각각 태양 질량($M_\odot$)의 몇 배인지 서술해 보자.



10 과학적 탐구 능력 그림은 어느 쌍성계의 두 별 A와 B의 시간에 따른 시선 속도 변화를 나타낸 것이다. 이 쌍성계의 공전 궤도면은 시선 방향과 나란하다.



(1) 쌍성계가 지구에 가까워지는지 멀어지는지 판단하고, 그 까닭을 서술해 보자.

(2) 별 A가 B를 가리는 날짜를 써 보자.

과학 글쓰기

11 과학적 문제해결 능력 다음은 지구 중심설과 태양 중심설에 관한 내용이다.

> 프톨레마이오스는 지구가 우주의 중심에 있고 태양계의 천체들이 지구를 중심으로 공전하고 있다는 지구 중심설을 주장했다. 그의 주장은 오랫동안 서양을 지배한 우주관이었다. 코페르니쿠스는 지구 중심설로 행성의 운동을 복잡하게 설명하는 것보다 태양을 중심으로 행성이 그 주위를 돈다고 가정했을 때 훨씬 쉽게 행성의 운동을 설명할 수 있다는 것에 주목하여 태양 중심설을 주장했다. 브라헤는 육안으로 가장 정밀한 천체 관측을 한 천문학자로, 태양 중심설에 따르면 연주시차가 발견되어야 한다고 생각했다. 그러나 연주시차 관측에 실패했고 수정된 지구 중심설을 주장했다. 이후 갈릴레이가 망원경을 사용하여 천체를 관측했고 지구 중심설의 모순을 발견하게 되었다.

(1) 브라헤가 연주시차를 발견하지 못한 까닭을 서술해 보자.

(2) 천문학에서 관측의 역할이 매우 중요하다. 관측 기술의 발달이 천문학 발전에 어떤 영향을 주는지 윗글을 참고해 글을 써 보자.

스스로 평가하기

'태양과 별의 관측'을 학습한 다음, 나의 성취 수준을 스스로 평가해 보자.

지식·이해	• 태양의 광구와 대기에서 나타나는 다양한 현상을 설명할 수 있는가?	☆☆☆☆☆
	• 별의 시선 속도와 접선 속도로 별의 공간 운동을 나타내는 방법을 설명할 수 있는가?	☆☆☆☆☆
과정·기능	• 질량 광도 관계를 이용하여 별의 질량을 구했는가?	☆☆☆☆☆
	• 별의 시차와 밝기를 이용하여 거리를 측정하는 다양한 방법을 비교, 평가했는가?	☆☆☆☆☆
	• 변광성과 초신성 관측 자료를 통해 알 수 있는 과학적 사실을 추론했는가?	☆☆☆☆☆
가치·태도	• 별에 대한 흥미와 호기심을 바탕으로 우주를 과학적으로 탐구하려는 태도를 가지게 되었는가?	☆☆☆☆☆

Ⅲ 은하와 우주

최근 첨단 장비를 통한 정밀한 천체 관측 자료는
엄청난 속도로 쌓이고 있다. 그와 함께 우주에 대한 우리의 이해 수준도
끊임없이 넓어지고 있다. 하지만 여전히 우주는 인류에게 수수께끼투성이다.
우리가 우주를 충분히 이해하게 되는 날은 언제일까?

01 천체의 거리와 우리은하의 구조
02 성간 물질
03 우리은하의 회전과 질량 분포
04 전천 탐사와 은하의 공간 분포
05 은하의 집단과 우주거대구조

창의적 문제해결 우주 영화 시나리오 작성하기

이 단원의 학습 내용

지식·이해
- 성단의 C-M도를 이용하여 성단의 나이와 거리를 비교할 수 있다.
- 세페이드 변광성의 주기 광도 관계를 이용하여 우리은하의 구조와 규모를 설명할 수 있다.
- 전천 탐사의 성과를 이해하고, 우주의 거시적인 구조를 설명할 수 있다.

과정·기능
- 성간 소광 자료를 통해 성간 티끌의 존재를 추론할 수 있다.
- 은하의 회전 곡선을 이용하여 질량 분포를 이해하고 빛을 내지 않는 물질의 존재를 추론할 수 있다.

가치·태도
- 은하의 공간 분포를 파악함에 있어서 분광 관측 자료의 중요성을 인식할 수 있다.

단원 연계

중학교 과학		지구과학		행성우주과학
• 태양계 • 별과 우주	>	태양계 천체와 별과 우주의 진화	>	은하와 우주

01 천체의 거리와 우리은하의 구조

학습 목표
- 성단의 C-M도를 이용하여 성단의 나이와 거리를 비교할 수 있다.
- 맥동 변광성의 주기 광도 관계를 이용하여 우리은하의 구조와 규모를 추론할 수 있다.

천문학자 허셜(Herschel, F. W., 1738～1822)은 밤하늘에서 관측되는 모든 별의 공간 분포 지도를 작성한 뒤, 우주의 중심에 태양이 존재한다고 주장했다. 그의 주장처럼 우주의 중심에 태양이 있을까?

가까운 별은 연주시차를 측정하여 거리를 알 수 있고, 절대 등급을 알고 있는 별은 겉보기 등급을 측정하여 거리를 알 수 있다. 별의 집단인 성단이나 비교적 가까운 거리에 있는 외부 은하까지의 거리를 구하는 방법을 알아보자.

색지수

필터
별빛의 특정 파장 영역만 통과시키는 관측 도구로 U, B, V 필터를 주로 사용한다. U는 자외선 영역, B는 파란색 영역, V는 노란색 영역의 필터이다.

별의 등급은 전체 파장 영역의 빛을 측정하여 나타낼 수도 있지만 특정 파장 영역의 빛을 측정하여 나타낼 수도 있다. 특정 파장 영역으로 별의 등급을 측정할 때에는 주로 파란색 영역과 노란색 영역의 빛을 이용하는데, 이때 각각 B 필터와 V 필터를 사용한다.

별은 파장에 따라 서로 다른 세기의 복사 에너지를 방출하기 때문에 어떤 파장 영역으로 관측하는지에 따라 별의 등급이 다르다. B 필터를 통과한 빛으로 정한 겉보기 등급은 B(또는 m_B)로 나타내고, V 필터를 통과한 빛으로 정한 겉보기 등급은 V(또는 m_V)로 나타낸다.

서로 다른 파장대로 측정한 등급의 차이를 **색지수**라고 하는데 주로 B 필터와 V 필터를 통과한 빛의 차이인 $(B-V)$를 사용한다. 표면 온도가 다른 두 별의 파장에 따른 복사 세기와 색지수$(B-V)$를 나타내면 그림 Ⅲ-1과 같다. 색지수는 별의 표면 온도가 높을수록 작은 값을 갖는다.

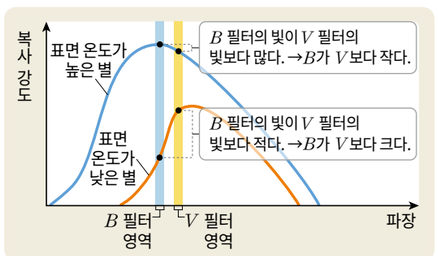


그림 Ⅲ-1 별의 표면 온도와 색지수$(B-V)$
표면 온도가 높은 별은 $(B-V)<0$이고, 표면 온도가 낮은 별은 $(B-V)>0$이다.

성단의 C-M도

별들이 비교적 좁은 공간에 무리 지어 있는 집단을 성단이라고 한다. 하나의 성단을 이루는 별들은 거대한 성운에서 거의 동시에 탄생하기 때문에 나이와 화학 조성이 거의 같다.

성단은 그 형태에 따라 산개 성단과 구상 성단으로 구분한다. **산개 성단**은 수백 개～수천 개의 별이 상대적으로 느슨하게 모여 있고 성간 물질을 많이 포함하고 있는 성단이다. 산개 성단의 별들은 상대적으로 무거운 원소를 많이 포함하며, 주로 나이가 적고 온도가 높은 파란색 별로 이루어져 있다.

이와 달리 **구상 성단**은 수만 개～수백만 개의 많은 별이 빽빽하게 구형으로 모여 있는 성단이다. 구상 성단의 별들은 상대적으로 무거운 원소를 적게 포함하며, 주로 나이가 많고 온도가 낮은 붉은색 별의 비율이 높다.

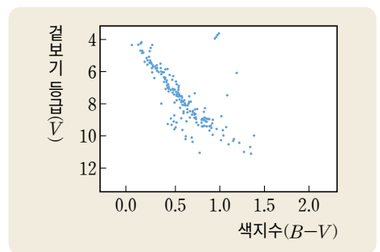
무거운 원소
별이나 성간 물질의 성분을 나타낼 때 '무거운 원소'라고 표현하는 경우가 많다. 이때 '무거운 원소'는 헬륨보다 원자 번호가 큰 모든 원소를 말한다.

그림 Ⅲ-2 산개 성단과 구상 성단의 모습

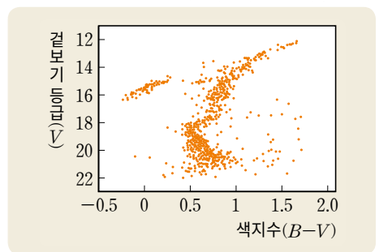
별의 색지수를 가로축에, 별의 등급을 세로축에 표현한 그림을 **C-M도(색등급도)**라고 한다. 그림 Ⅲ-3과 같이 산개 성단을 이루는 별들은 대부분 주계열성이며, 비교적 표면 온도가 높은 별이 많다. 이와 달리 구상 성단을 이루는 별들은 주로 표면 온도가 낮은 별들이 주계열 단계에 존재하며, 질량이 큰 별들은 대부분 주계열 단계를 벗어나 거성 단계나 초거성 단계에 분포한다.

(출처: 《기본 천문학》, 2019.)

C-M도와 H-R도
C-M도는 색(Color)과 등급(Magnitude)을 나타내는 영문자의 머리글자를 따서 나타낸 것이다. C-M도에서는 가로축을 색지수로 나타내고 H-R도에서는 가로축을 분광형으로 나타낸다. 따라서 C-M도와 H-R도는 같은 자료라고 할 수 있다.



산개 성단(히아데스성단)의 C-M도



구상 성단(M5)의 C-M도

그림 Ⅲ-3 산개 성단(히아데스성단)과 구상 성단(M5)의 C-M도

? 산개 성단과 구상 성단의 C-M도를 비교했을 때 별의 개수, 주계열성의 비율, 색지수에 어떤 차이가 있는가?

(출처: 《기본 천문학》, 2019.)

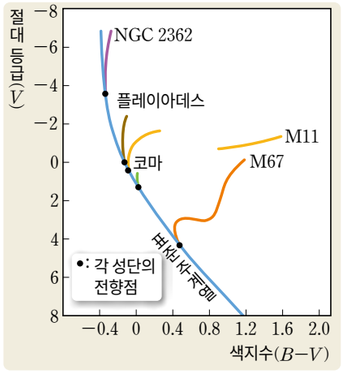


그림 Ⅲ-4 산개 성단의 전향점 비교 전향점에 위치한 주계열성의 색지수와 절대 등급이 작을수록 성단의 나이가 적다.

성단의 C-M도에서 별이 주계열을 벗어나는 지점을 **전향점**이라고 한다. 성단이 만들어질 때 질량이 다양한 주계열성이 거의 동시에 형성되고, 질량이 클수록 빠르게 진화하여 주계열을 먼저 벗어나므로 성단의 C-M도에서 전향점의 위치는 성단의 나이를 나타낸다. 그림 Ⅲ-4에 나타낸 산개 성단의 전향점 위치를 비교해 보면, 플레이아데스성단은 NGC 2362 성단에 비해 나이가 많지만 M11 성단, 코마 성단, M67 성단에 비해 나이가 적다.

성단의 주계열 맞추기

색지수와 절대 등급이 표시된 •표준 주계열의 C-M도를 성단의 C-M도와 비교하면 성단의 거리를 알 수 있다. 성단을 이루는 주계열성의 겉보기 등급(m)은 관측을 통해 알 수 있고, 절대 등급(M)은 색지수가 같은 표준 주계열성을 이용해 알 수 있다. 그림 Ⅲ-5와 같이 성단의 주계열과 표준 주계열의 C-M도를 비교해 성단의 거리지수($m-M$)를 구하는 방법을 **주계열 맞추기**라고 한다.

주계열 맞추기로 성단의 거리를 구하려면, 먼저 성단을 구성하는 별들의 겉보기 등급을 측정해야 한다. 외부 은하의 성단은 거리가 멀어 별 각각의 겉보기 등급을 측정하기 어렵기 때문에 주계열 맞추기 방법은 우리은하 안에 있는 성단의 거리 측정에 이용한다.

노란색 파장 영역으로 측정한 겉보기 등급을 m_V라고 표현하는 것처럼 노란색 파장 영역으로 측정한 절대 등급을 M_V라고 해.

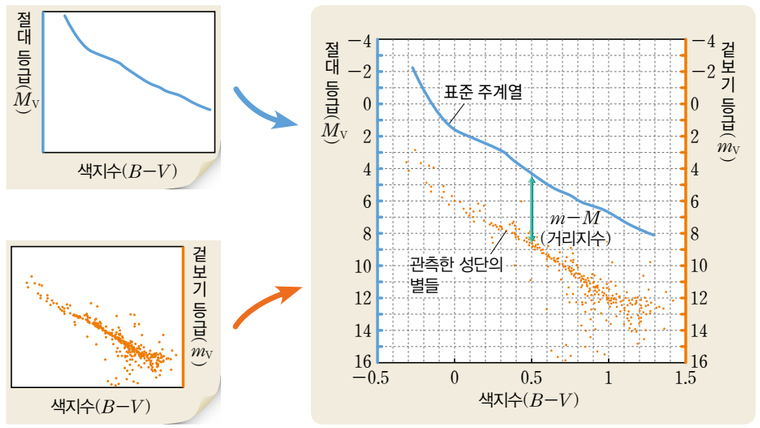


그림 Ⅲ-5 주계열 맞추기 색지수가 같은 주계열성의 수직 방향 등급 차($m-M$)가 성단의 거리지수에 해당한다.

• 표준 주계열
다양한 질량의 별이 주계열 단계에 처음 도달했을 때의 위치를 C-M도(H-R도)에 나타낸 것으로 영년 주계열이라고도 한다.

주계열 맞추기
색지수가 같은 주계열성은 광도가 같다고 가정할 수 있다. 따라서 성단 주계열성의 겉보기 등급과 표준 주계열성의 절대 등급을 비교하여 거리지수를 알 수 있다.

탐구 능력 | 문제해결 능력

탐구 주계열 맞추기를 이용하여 성단의 거리 구하기

자료 분석 및 해석

목표

성단의 C-M도를 작성하고 주계열 맞추기를 이용하여 성단까지의 거리를 구할 수 있다.

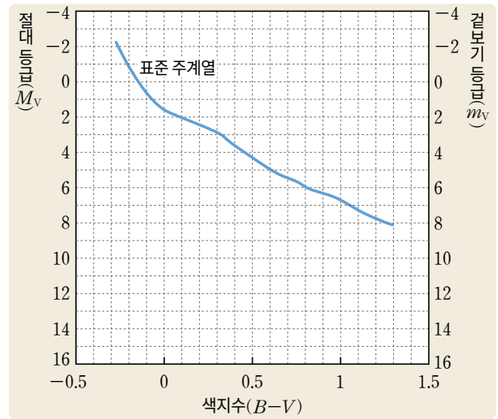
준비물
- ☑ 계산기
- ☑ 자

과정

표는 산개 성단 NGC 2632를 구성하는 일부 별들의 색지수($B-V$)와 겉보기 등급을, 그림은 표준 주계열의 C-M도를 나타낸 것이다.

별	색지수 ($B-V$)	m_V	별	색지수 ($B-V$)	m_V
1	0.01	6.6	13	0.53	10.4
2	0.12	7.5	14	0.57	10.8
3	0.17	6.3	15	0.69	6.6
4	0.19	7.3	16	0.70	11.3
5	0.22	8.0	17	0.75	11.5
6	0.26	7.7	18	0.85	12.2
7	0.30	8.8	19	0.91	12.3
8	0.34	9.4	20	0.98	13.0
9	0.42	9.7	21	1.01	12.9
10	0.45	9.9	22	1.06	13.0
11	0.47	10.1	23	1.12	13.2
12	0.51	10.5	24	1.21	13.7

(출처: https://webda.physics.muni.cz/navigation.html)



❶ 산개 성단 NGC 2632의 C-M도를 표준 주계열이 그려진 C-M도에 그려 본다.
❷ 주계열 맞추기를 이용해 NGC 2632의 거리지수를 구한다.
❸ 부록 120 쪽에 제시한 히아데스성단 자료로 과정 ❶, ❷를 반복하고, 두 성단의 거리를 비교한다.

결과 및 정리

1. NGC 2632의 C-M도를 표준 주계열과 비교해 전향점의 위치와 주계열을 파악해 보자.

2. 주계열 맞추기로 구한 NGC 2632의 거리지수를 쓰고, 거리를 구해 보자.

3. NGC 2632와 히아데스성단의 거리를 비교하여 설명해 보자.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 성단의 거리지수를 구한 뒤 성단의 거리를 계산할 수 있는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 성단의 C-M도를 작성해 주계열 맞추기를 했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 천체의 거리를 알아내는 데 관측 자료의 중요성과 가치를 느낄 수 있었는가? ☆☆☆

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

세페이드 변광성 이름의 유래
세페이드 변광성 중 가장 유명한 별은 세페우스자리의 델타별이며, 이 별자리의 이름을 따서 세페이드 변광성이라고 부른다.

세페이드 변광성의 주기 광도 관계

세페이드 변광성은 별이 수축과 팽창을 반복하는 과정에서 광도가 주기적으로 변하는 맥동 변광성의 한 종류이다. 1912 년 리비트(Leavitt, H. S., 1868~1921)는 소마젤란은하에서 발견된 세페이드 변광성의 밝기를 기록하는 작업 중에 변광 주기가 길수록 광도가 크다는 사실을 알아냈다. 이후 세페이드 변광성은 무거운 원소를 많이 포함하는 종족 I과 상대적으로 적게 포함하는 종족 II로 구분할 수 있으며, 그림 III-6과 같이 주기 광도 관계가 성립한다는 것이 알려졌다. 다음 활동에서 세페이드 변광성의 거리를 구해 보자.

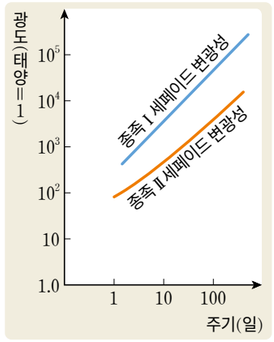


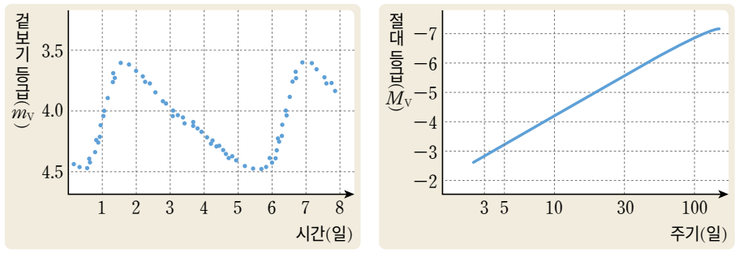
그림 III-6 세페이드 변광성의 주기 광도 관계

해보기

탐구 능력

세페이드 변광성의 거리 구하기

그림은 종족 I 세페이드 변광성 중 하나인 세페우스자리 델타별의 겉보기 등급과 종족 I 세페이드 변광성의 주기 광도 관계를 나타낸 것이다.



1. 세페우스자리 델타별의 변광 주기와 평균 겉보기 등급을 구해 보자.

2. 변광 주기로부터 이 별의 절대 등급을 구해 보자.

3. 세페우스자리 델타별의 거리를 구해 보자.

세페이드 변광성의 겉보기 등급 변화를 관측하면 변광 주기를 알 수 있고, 주기 광도 관계로부터 절대 등급도 알 수 있다. 이로부터 변광성까지의 거리를 구할 수 있다. 세페이드 변광성은 변광 주기가 규칙적이고 밝은 별이다. 따라서 먼 거리에 있는 구상 성단이나 상대적으로 가까운 거리에 있는 외부 은하에 속한 세페이드 변광성의 변광 주기를 관측해 그 천체까지의 거리를 측정할 수 있다.

우리은하의 구조와 규모

2000 년대 초까지 우리은하는 정상 나선 은하로 알려졌지만, 전파 망원경과 우주 망원경을 이용해 중심부에 막대 구조가 존재하는 막대나선 은하라는 사실이 밝혀졌다. 우리은하는 은하 가운데에 팽대부가 있고, 은하 원반에는 여러 개의 나선팔이 있다. 태양은 은하 중심에서 약 8.5 kpc 떨어져 있는 나선팔에 위치한다.

우리은하의 중심부에는 태양 질량의 약 300만 배에 이르는 거대한 블랙홀이 존재하는 것으로 추정된다. 은하 원반의 나선팔에는 성간 물질이 풍부하기 때문에 나이가 적은 산개 성단이 주로 분포하고, 성간 물질이 상대적으로 적은 헤일로와 은하 중심부에는 대체로 나이가 많은 구상 성단이 분포한다.

섀플리 (Shapley, H., 1885~1972)
미국의 천문학자. 우리은하 내 구상 성단의 분포를 통해 우리은하의 크기와 태양의 위치를 알아냈다.

은하 원반에 위치한 태양에서 어떻게 우리은하의 중심을 찾을 수 있었을까? 1917 년 섀플리는 세페이드 변광성의 주기 광도 관계를 이용하여 우리은하 안에 있는 90여 개의 구상 성단의 거리를 측정해 공간 분포를 알아낸 뒤 우리은하의 중심을 알아냈다. 그 결과 그림 III-7과 같이 태양이 우리은하의 중심에 위치하지 않는다는 사실을 밝혀냈다. 구상 성단은 수만 개~수백만 개의 별이 모여 있는 집단이므로 질량이 매우 크다. 따라서 은하가 역학적으로 안정하려면 은하의 질량 중심과 구상 성단의 공간 분포 중심이 일치해야 한다. 그러므로 구상 성단의 분포 중심을 우리은하의 중심이라고 볼 수 있다. 하지만 섀플리는 성간 물질의 영향을 고려하지 못해 우리은하의 크기를 실제보다 훨씬 크게 측정했다.

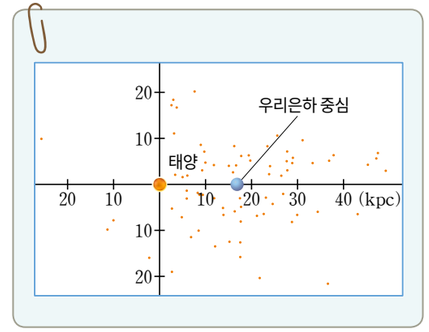


그림 III-7 섀플리가 주장한 우리은하 중심

그림 III-8 우리은하의 구조와 규모 우리은하는 팽대부와 나선팔, 그리고 은하 원반을 둘러싼 헤일로로 이루어져 있다. 태양은 은하 중심에서 약 8.5 kpc 떨어진 곳에 있으며 나선팔에 위치한다.

다음 활동에서 세페이드 변광성을 이용해 알아낸 구상 성단의 공간 분포 자료로부터 우리은하의 중심과 크기를 구해 보자.

탐구

탐구 능력 | 문제해결 능력

수학적 사고와 모형 활용 / 자료 분석 및 해석

세페이드 변광성을 이용하여 우리은하의 중심 찾기와 크기 구하기

목표

세페이드 변광성을 이용하여 알아낸 구상 성단의 공간 분포로부터 우리은하의 중심과 크기를 구할 수 있다.

준비물 ☑
☑ 스마트 기기

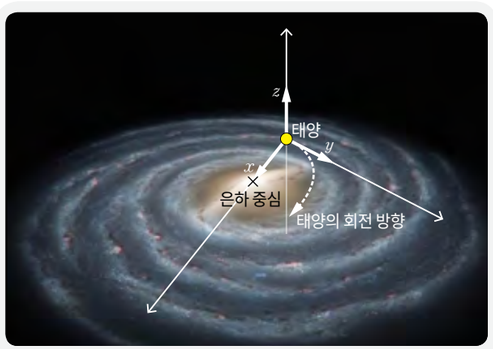
과정

표는 우리은하에 속한 일부 구상 성단의 위치를 태양을 중심으로 한 공간 좌표로 나타낸 것이다.

구상 성단	x (kpc)	y (kpc)	z (kpc)	구상 성단	x (kpc)	y (kpc)	z (kpc)	구상 성단	x (kpc)	y (kpc)	z (kpc)
1	3.1	−3.9	1.3	11	5.6	7.5	−6.7	21	3.2	0.6	−0.4
2	25.6	2.5	−6.5	12	1.5	1.3	10.0	22	9.3	−4.0	2.4
3	11.5	−1.3	−1.0	13	26.4	−13.7	12.1	23	3.1	−5.1	−6.2
4	1.9	−2.6	−3.1	14	8.4	1.1	0.6	24	9.6	−3.0	1.2
5	9.6	−2.5	−1.2	15	7.6	−8.6	2.1	25	10.4	−0.5	1.0
6	2.0	−9.2	−1.9	16	2.8	−1.4	17.6	26	−4.2	−8.9	−6.9
7	3.9	8.3	−4.8	17	17.6	6.5	−9.1	27	7.2	2.8	0.9
8	6.7	−0.8	0.9	18	2.8	4.6	4.7	28	10.8	0.1	−1.3
9	8.7	−0.5	1.4	19	7.3	−1.4	−1.5	29	10.0	3.5	1.3
10	8.3	3.3	2.4	20	14.7	1.7	2.7	30	9.4	−1.2	3.3

(출처: https://physics.mcmaster.ca/~harris/mwgc.dat)

1. 구상 성단의 공간 좌표를 스프레드시트에 입력한다.
2. 스프레드시트에서 각 구상 성단 x, y, z 좌표의 평균값(x_0, y_0, z_0)을 구한다.
3. 각 좌표의 평균값(구상 성단 분포의 중심) 좌표가 우리은하의 중심이라고 할 수 있을지 토의한다.
4. 스프레드시트를 이용해 과정 2에서 구한 구상 성단 분포의 중심으로부터 각 구상 성단까지의 거리를 구한다.
5. 구상 성단 분포의 중심에서 가장 멀리 있는 구상 성단은 무엇인지 찾아보고, 이로부터 우리은하의 대략적인 크기를 추정한다.



3차원 직교 좌표계의 중심에는 태양이 위치한다. x 방향은 은하 중심 방향(궁수자리 방향), y 방향은 태양이 우리은하를 회전하는 방향, z 방향은 은하 평면의 북쪽 방향(은하 북극 방향)을 나타낸다.

활동 도우미
- 우리은하에 속한 구상 성단은 약 150 개이다. 이 중에서 질량이 상대적으로 큰 30 개로부터 우리은하의 질량 중심을 찾을 수 있다.
- 우리은하의 질량 중심을 x_0, y_0, z_0라고 할 때, 질량 중심에서 각 구상 성단까지의 거리(d)는 $[(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2]^{\frac{1}{2}}$로 구할 수 있다.

결과 및 정리

1. 과정 2에서 구한 구상 성단의 분포 중심을 우리은하의 중심이라고 할 수 있는 까닭을 설명해 보자.

2. 이 자료로부터 구한 우리은하의 크기를 실제 크기와 비교해 보자.

3. 창의 우리은하의 중심에서 태양까지의 거리를 구해 보고, 이 값이 실제 값과 차이가 나는 까닭을 설명해 보자.

다른탐구

1. 우리은하에 속한 구상 성단의 공간 분포를 컴퓨터에서 프로그래밍 언어를 사용하여 3차원으로 구현한다(부록 120 쪽 참고).
2. 과정 1에서 나타난 구상 성단의 공간 분포를 보고 우리은하의 대략적 중심을 찾아본다.

3차원으로 나타낸 우리은하에 속한 구상 성단의 공간 분포

스스로 평가하기

지식·이해	우리은하의 대략적인 크기를 설명할 수 있는가?	☆☆☆
과정·기능	스프레드시트 프로그램을 활용해 우리은하의 중심을 찾았는가?	☆☆☆
가치·태도	관측 자료로부터 새로운 사실을 알아낼 수 있다는 것을 느꼈는가?	☆☆☆

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

스스로 확인하기

1 세페이드 변광성의 변광 주기를 측정하여 거리를 구하는 과정을 설명해 보자.

2 태양이 우리은하에서 중심에 위치하지 않는다는 관측적 증거를 제시해 보자.

3 | 창의력 더하기 | 우리은하에 속한 구상 성단은 궁수자리 방향에서 가장 많이 발견된다. 그 까닭은 무엇인지 설명해 보자.

천체의 거리 측정 방법

천체의 거리를 측정할 때 천체까지의 거리 규모에 따라 서로 다른 방법을 사용하고 있다. 특히 이러한 방법들은 천체를 관측하는 도구와 측정 기술이 발달함에 따라 정확도가 계속 향상되고 있다.

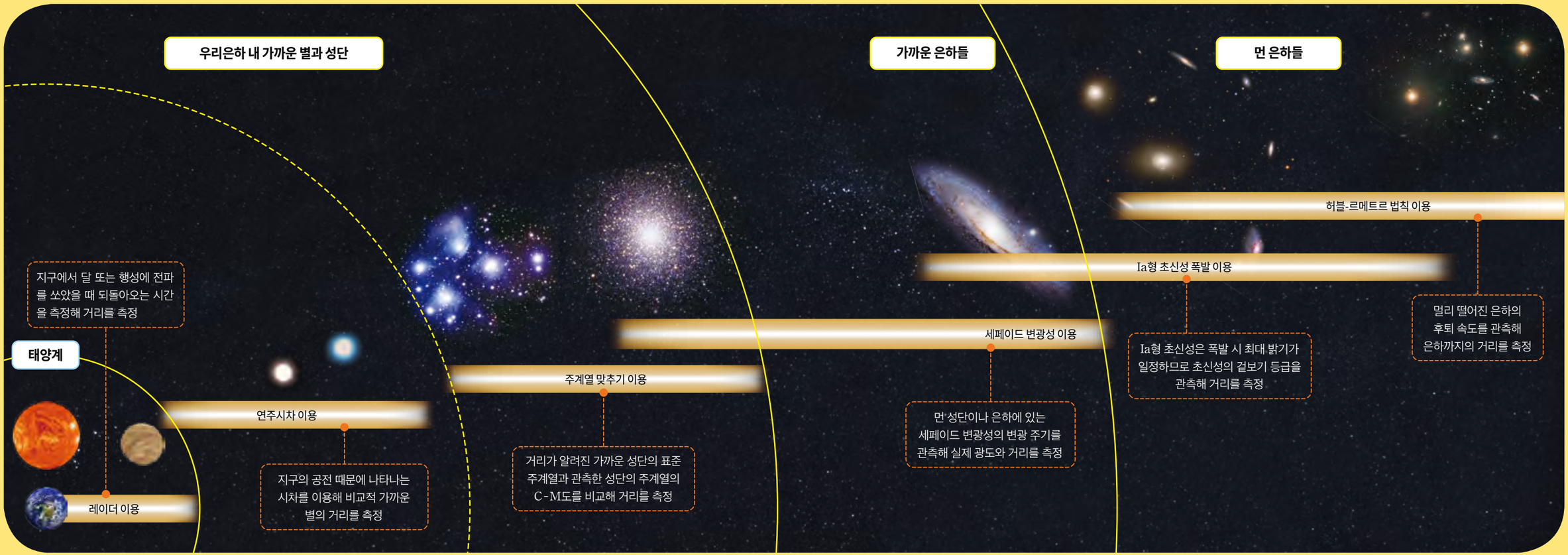
상대적으로 아주 가까운 거리에 있는 태양계 천체(달, 금성 등)는 레이더 측정 기술이 알려진 20 세기 중반부터 매우 정확하게 거리를 구할 수 있었다. 태양계 밖의 비교적 가까운 별은 연주시차를 이용하는데, 이 방법은 19 세기 중반부터 사용되었다. 최근에는 인공위성을 이용하여 매우 정밀한 연주시차를 측정할 수 있게 되었으나, 연주시차로 거리를 구할 수 있는 별은 우리은하를 이루는 별의 약 1 %이다. 우리은하 안에 있는 성단의 거리를 측정할 때는 주계열 맞추기 방법을 이용할 수 있고, 이보다 멀리 있는 우리은하 주변의 외부 은하까지의 거리를 측정할 때는 세페이드 변광성의 주기 광도 관계를 이용할 수 있다.

이보다 훨씬 멀리 있는 외부 은하의 거리는 해당 은하 안에서 폭발한 Ia형 초신성의 최대 밝기를 측정하여 구할 수 있다. 한편 1920 년대 말에 처음 알려진 허블-르메트르 법칙은 현재 가장 먼 거리에 있는 천체의 거리를 측정할 때 이용되고 있다.

창의력 기르기

다음 천체들은 어떤 방법으로 거리를 측정할 수 있는지 각각 설명해 보자.

- 시리우스
- 안드로메다은하
- 페르세우스성단



02 성간 물질

학습 목표
- 성간 소광 자료를 통해 성간 티끌의 존재를 추론할 수 있다.
- 성간 티끌의 특징을 설명할 수 있다.

이 은하는 멕시코에서 사용하는 챙이 넓은 모자인 솜브레로와 닮았기 때문에 솜브레로은하라고 한다. 이 은하의 옆면에서는 검은 띠를 볼 수 있다. 이러한 검은 띠가 나타나는 까닭은 무엇일까?

성간 기체와 성간 티끌

별과 별 사이의 공간은 아무것도 존재하지 않는 진공 상태가 아니라 매우 희박하게 성간 물질이 분포한다. 성간 물질은 **성간 기체**와 **성간 티끌**로 이루어져 있는데, 성간 기체가 약 99 %를 차지하고, 성간 티끌이 약 1 %를 차지한다. 성간 기체는 대부분 수소와 헬륨으로 이루어져 있으며, 그중에서 수소가 가장 높은 비율을 차지한다.

성간 기체에서 수소는 온도와 밀도에 따라 이온, 중성 원자, 분자 상태로 존재한다. 고온의 별 주위에 밀집된 수소는 별이 방출하는 자외선을 흡수해 이온화되었다가 가시광선을 방출하면서 붉게 보이는데, 이러한 영역을 HII 영역이라고 한다. 또 우리은하의 원반에는 온도가 비교적 낮아 수소가 중성 원자 상태로 밀집되어 있는 영역이 있는데, 이러한 영역을 HI 영역이라고 한다. 한편 우리은하의 원반에서 밀도가 높고, 온도가 낮은 영역에서는 수소가 분자 상태로 존재하는데, 이를 분자운이라고 한다.

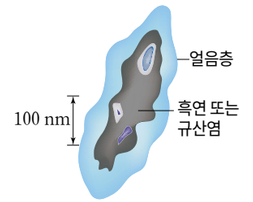
성간 기체의 관측
- HII 영역: 가시광선(수소 발머선, 붉은색) 영역으로 관측한다.
- HI 영역: 전파(21 cm) 영역으로 관측한다.
- 분자운: 수소 분자 스펙트럼은 관측이 어려워 주로 CO 분자 스펙트럼을 관측하여 그 존재를 확인한다.

그림 Ⅲ-9 HII 영역 부분적으로 이온화된 기체로 이루어진 밀도가 낮은 구름이다. 이 영역의 중심에 갓 태어난 뜨거운 별이 있다.

그림 Ⅲ-10 분자운 성운을 이루는 기체가 대부분 수소 분자로 이루어져 있다. 은하에 존재하는 성간 물질 중 분자운이 차지하는 비율은 약 1 %로 추정된다.

성간 티끌은 미세한 고체 입자로 흑연, 규산염, 얼음 등으로 이루어져 있을 것으로 추정하고 있다. 성간 티끌은 전체 성간 물질에서 차지하는 비율이 매우 낮지만 성간 기체에 비해 별빛을 훨씬 잘 흡수하거나 산란시킨다.

성간 티끌 모형



성간 소광과 성간 적색화

성운 내부에 빛을 흡수하거나 산란시키는 성간 티끌이 존재할 때, 성운이 있는 영역이 매우 어둡게 보인다. 다음 활동에서 성운에 의한 빛의 파장에 따른 흡수 정도를 비교해 보고, 성간 티끌이 존재하는지 알아보자.

해보기 — 탐구 능력

성간 티끌의 존재 추론하기

그림은 어느 성운을 서로 다른 파장으로 촬영한 사진이다.

1. 두 촬영 사진에 나타난 별의 개수가 다른 까닭을 설명해 보자.
2. 두 촬영 사진에 근거하여 성운 내부에 별빛을 차단하는 성간 티끌이 존재함을 설명해 보자.

성간 티끌에 의해 별빛의 흡수와 산란이 일어나 별빛의 세기가 약해지는 현상을 **성간 소광**이라고 한다. 성간 소광이 일어나면 별들은 실제보다 더 어둡게 보인다. 그러므로 성간 티끌이 많이 존재하는 암흑 성운에서는 성운 뒤에 있는 별이 관측되지 않아 어둡게 보인다.

그림 Ⅲ-11과 같이 은하수의 중심부에 어두운 영역이 관측되는 것과 솜브레로은하의 원반을 따라 검은 띠를 볼 수 있는 것도 성간 티끌의 영향이다. 성간 소광은 파장에 따라 빛을 흡수하는 정도가 다르기 때문에 서로 다른 파장으로 촬영한 사진을 비교하면 빛을 가로막는 물질이 존재한다는 것을 확인할 수 있다.

그림 Ⅲ-11 은하수의 모습 은하수의 중심부에는 성간 티끌에 의해 만들어진 어두운 영역이 보인다.

성간 티끌을 통과하는 별빛은 파장에 따라 산란되는 정도가 달라지는데, 짧은 파장의 빛이 긴 파장의 빛보다 잘 산란된다. 따라서 성간 티끌이 많은 성운을 통과하는 별빛은 파란색이 붉은색보다 많이 줄어들어 별의 색깔이 실제보다 더 붉게 보이는데, 이를 **성간 적색화**라고 한다. 그림 Ⅲ-13과 같이 해가 질 무렵에 태양이 실제보다 훨씬 붉게 보이는 현상은 대기 중의 먼지에 의해 파란색 빛의 산란이 더 잘 일어나기 때문이며, 이는 성간 적색화와 같은 원리로 일어난다.

별빛이 성간 티끌을 통과할 때, 산란된 빛이 관측자에게 도달할 수도 있다. 이 경우 붉은색 빛보다 파란색 빛이 잘 산란되므로 관측자는 그림 Ⅲ-14와 같이 파란색의 반사 성운을 보게 된다.

(출처: 《천문학 및 천체물리학》, 2010.)

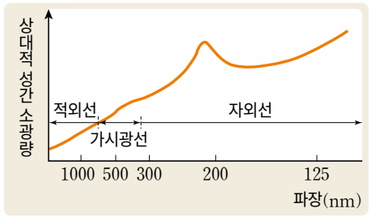


그림 Ⅲ-12 파장에 따른 성간 소광량 비교 적외선에서 자외선으로 갈수록 성간 소광량이 대체로 증가한다. 가시광선 영역에서는 파란색 빛이 붉은색 빛보다 소광이 잘 일어난다.

그림 Ⅲ-13 붉게 보이는 태양 태양이 지평선에 가까워질수록 파란색 빛이 많이 산란되므로 점점 더 붉게 보인다.

그림 Ⅲ-14 반사 성운 성간 티끌에 의해 빛이 산란되어 파란색의 반사 성운이 관측된다.

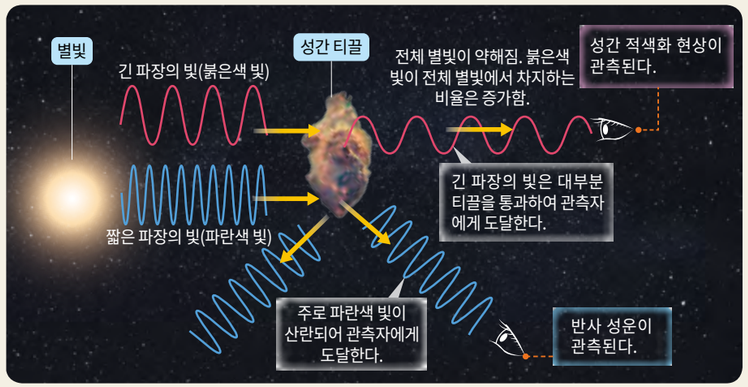


그림 Ⅲ-15 성간 티끌에 의한 성간 적색화와 반사 성운의 관측

성간 소광의 보정

성간 티끌이 밀집된 지역 너머에 존재하는 별은 성간 소광에 의해 실제보다 어둡게 보이므로, 실제보다 멀게 관측된다.

성간 소광이 일어나면 관측한 별의 겉보기 등급은 실제 겉보기 등급보다 큰 값을 가지므로 별의 거리지수는 실제보다 크게 측정되고, 별은 더 멀리 있는 것으로 나타난다. 따라서 별까지의 거리를 정확하게 계산하려면 성간 소광을 고려하여 측정값을 보정해야 한다. 우리은하 안에 있는 별을 가시광선으로 관측할 때 별의 거리가 1 kpc 멀어질 때마다 대략 2 등급 크게 관측되므로 성간 소광을 고려한 거리지수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m-M=5\log d-5+A$$

(d: 별의 거리, A: 성간 소광량)

성간 소광량 A
A는 성간 소광량을 등급으로 나타낸 상수로 2 등급/kpc을 평균값으로 쓴다.

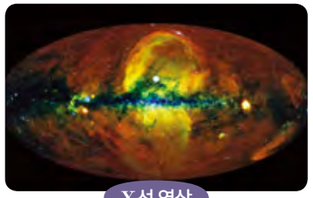
? 성간 소광량을 2 등급/kpc이라고 할 때, 절대 등급이 -5.0, 거리가 2 kpc인 별의 겉보기 등급을 구해 보자.(단, $\log 2 \fallingdotseq 0.3$이다.)

자료실 여러 가지 파장으로 관측한 우리은하(은하수 부근)의 모습

은하수는 나선팔에 위치한 태양계에서 우리은하의 은하면을 관측한 모습이다. 은하수 부근의 모습을 가시광선, 적외선, X선으로 각각 관측하면 다양한 정보를 얻을 수 있다. 가시광선으로 촬영한 영상에서는 밝은 별과 성간 물질이 주로 은하면을 따라 집중적으로 분포하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 적외선으로 촬영한 영상에서는 표면 온도가 낮고 나이가 많은 별들의 분포를 확인할 수 있고, X선으로 촬영한 영상에서는 상대적으로 매우 강한 복사를 방출하는 천체의 분포를 확인할 수 있다.

가시광선 영상

적외선 영상


X선 영상

스스로 확인하기

1 성운 내부에 성간 티끌이 존재한다는 것을 어떻게 알 수 있는지 설명해 보자.

2 성간 기체와 성간 티끌이 성간 적색화에 주는 영향은 어느 정도인지 설명해 보자.

3 | **창의력 더하기** | 별은 파란색 별이 붉은색 별보다 온도가 높지만, 성운은 파란색의 반사 성운보다 붉은색의 방출 성운이 온도가 높다. 그 까닭을 설명해 보자.

03 우리은하의 회전과 질량 분포

학습 목표
- 은하의 회전 속도 곡선을 이용하여 우리은하의 질량 분포를 설명할 수 있다.
- 은하에 빛을 내지 않는 물질이 존재한다는 사실을 추론할 수 있다.

숲의 내부에서는 숲 전체의 모습을 파악하기가 어렵다. 우리은하 안에서 우리은하의 전체적인 형태를 어떻게 알 수 있을까?

21 cm 수소선과 우리은하의 나선팔 구조

우리은하의 은하 원반에 분포하는 별들은 은하 중심 주위를 일정한 주기로 회전한다. 태양 근처에 있는 별들의 공간 운동을 조사해 보면, 그림 Ⅲ-16과 같이 은하 중심으로부터 멀어질수록 회전 속도가 감소한다. 따라서 태양 위치에서 별을 관측할 때 그림 Ⅲ-17처럼 D와 E는 태양과 회전 속도가 같으므로 시선 속도가 0, A와 H는 태양에서 멀어지므로 시선 속도가 (+), C와 F는 태양에 가까워지므로 시선 속도가 (−)로 관측된다.

태양에서 관측한 별 A의 상대 운동

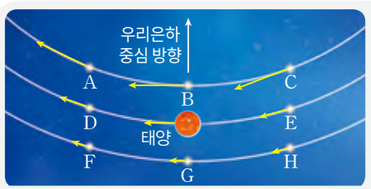


그림 Ⅲ-16 태양 부근 별들의 공간 운동

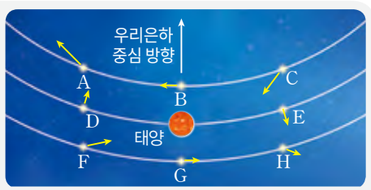
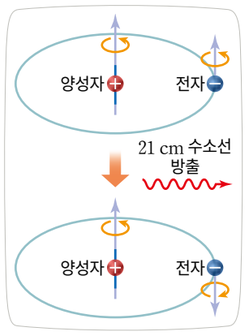


그림 Ⅲ-17 태양에 대한 별들의 상대 운동

21 cm 수소선 방출



수소 원자에서 양성자와 전자의 회전(스핀) 방향이 서로 반대가 될 때 파장이 약 21 cm인 복사 에너지를 방출한다.

성간 물질을 이루는 수소는 대부분 중성 원자 상태로 존재한다. 중성수소 원자에서는 파장이 21 cm인 전파 영역의 복사 에너지가 방출되는데 이를 21 cm 수소선이라 한다. 우리은하의 물질 분포와 구조를 연구할 경우, 성간 소광의 영향을 거의 받지 않는 21 cm 수소선을 활용하여 성간 물질의 분포와 우리은하의 구조를 파악할 수 있다.

21 cm 수소선 관측 결과를 보면, 그림 Ⅲ-18과 같이 중성수소 원자들이 우리은하의 원반에 집중되어 있다는 것을 알 수 있다.

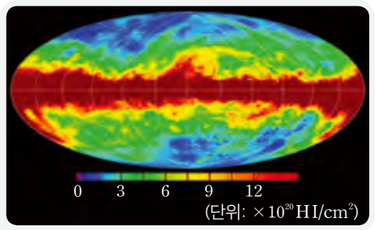


그림 Ⅲ-18 우리은하의 21 cm 수소선 영상

21 cm 수소선의 세기는 중성수소 원자가 많이 밀집해 있는 수소운(HI 영역)에서 강하게 나타난다. 수소운과 태양은 모두 은하 중심을 회전하고 있으므로 태양과 나선팔 내 수소운 A, B, C의 시선 속도와 접선 속도는 그림 Ⅲ-19와 같이 나타낼 수 있다.

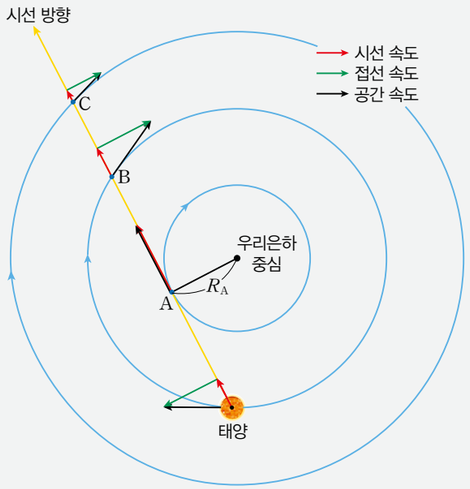


그림 Ⅲ-19 태양과 수소운 A, B, C의 공간 운동

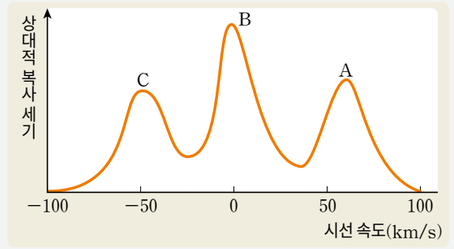
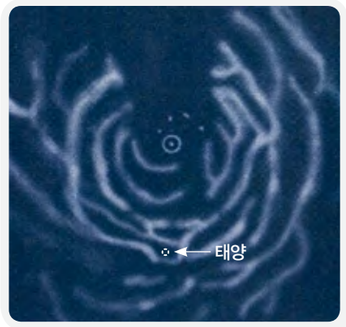


그림 Ⅲ-20 21 cm 수소선의 상대적 복사 세기 수소운(A, B, C)의 밀도는 B가 가장 크다.

우리은하 중심으로부터의 거리가 태양보다 가까운 A는 태양보다 빠른 속도로 회전하고 있으므로 태양 위치에서 관측할 때 시선 속도가 (+) 값으로 나타난다. 태양과 같은 거리에 있는 B는 태양과 같은 속도로 회전하므로 시선 속도는 0이다. 우리은하 중심으로부터의 거리가 태양보다 먼 C의 시선 속도는 (−) 값으로 나타난다. 만약 A, B, C에서 방출하는 21 cm 수소선의 상대적 복사 세기가 그림 Ⅲ-20과 같이 관측되었다면, 시선 속도의 크기와 복사 세기로부터 수소운의 밀도도 파악할 수 있다.

은하 중심으로부터의 거리에 따른 회전 속도를 구하는 방법
- 최대 시선 속도가 나타나는 A의 공간 속도를 구하면 은하 중심으로부터 거리가 R_A인 지점의 회전 속도를 구할 수 있다.
- 시선 방향을 바꾸면서 최대 시선 속도가 나타나는 지점의 공간 속도를 구하면 은하 중심으로부터의 거리에 따른 회전 속도를 구할 수 있다.



은하면을 따라 모든 시선 방향에 대한 21 cm 수소선 관측을 수행한 결과, 은하면에 성간 물질이 고르게 분포하는 것이 아니라 그림 Ⅲ-21과 같이 특정 위치에 많이 분포하며 전체적으로 우리은하는 **나선팔 구조**를 이룬다는 사실이 밝혀졌다.

그림 Ⅲ-21 21 cm 수소선 관측으로 알아낸 나선팔 구조 은하 중심부 방향은 관측되지 않는다.

강체 회전과 케플러 회전
회전의 중심에서 멀어질수록 속도가 증가하는 회전을 강체 회전이라 하고, 회전의 중심에서 멀어질수록 속도가 감소하는 회전을 케플러 회전이라고 한다. 우리은하는 은하 중심 부근에서는 강체 회전을 하고, 태양 부근에서는 케플러 회전을 한다.

우리은하의 회전 속도 곡선과 질량 분포

은하 중심으로부터의 거리에 따른 회전 속도는 은하 원반에 존재하는 성간 물질과 밝은 별들의 공간 운동을 관측하여 알아낼 수 있다. 그림 Ⅲ-22는 우리은하의 회전 속도 곡선을 나타낸 것이다. 우리은하에서 빛을 내는 물질들은 주로 중심부에 많이 분포하므로 은하 중심에서 멀어질수록 회전 속도가 감소할 것으로 예상했지만 실제로는 중심에서 멀어지더라도 감소하지 않는 것으로 나타났다.

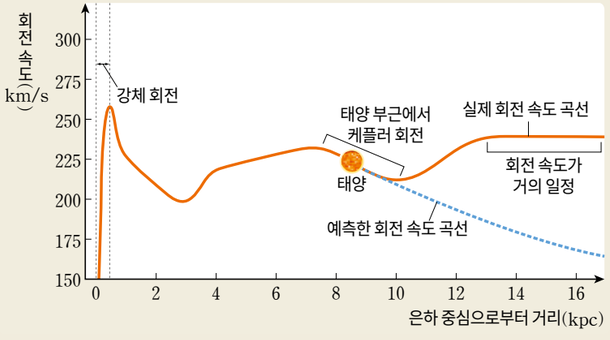


그림 Ⅲ-22 우리은하의 회전 속도 곡선

은하 원반에 분포하는 별들은 중력에 의해 회전하기 때문에 은하 중심으로부터의 거리에 따른 회전 속도를 측정하면 질량 분포를 추정할 수 있다. 예를 들어 태양은 우리은하 중심에서 약 8.5 kpc 떨어진 위치에서 약 220 km/s의 속력으로 회전하고 있으므로 은하 중심을 한 바퀴 회전하는 데 약 2억 3천만 년 걸린다. 케플러 제3법칙을 이용하면, 은하 중심에서 약 8.5 kpc 거리 내부에 존재하는 물질의 질량은 다음과 같이 구할 수 있다.

8.5 kpc은 약 1.76×10^9 AU에 해당한다. 따라서
$\frac{a^3}{P^2}=\frac{(8.5\text{ kpc})^3}{(2\text{억 }3\text{천만 년})^2}$
$\fallingdotseq\frac{(1.76\times10^9)^3}{(2.3\times10^8)^2}\cdot\frac{\text{AU}^3}{\text{년}^2}$
$\fallingdotseq10^{11}\frac{\text{AU}^3}{\text{년}^2}\fallingdotseq10^{11}$이다.

$$M_{\text{은하}}+M_{\odot}=\frac{4\pi^2}{G}\cdot\frac{a^3}{P^2}\fallingdotseq10^{11}M_{\odot}$$

($M_{\odot}$: 태양 질량, a: 태양의 공전 반지름, P: 태양의 공전 주기)

그림 Ⅲ-23은 우리은하에서 은하 중심으로부터의 거리에 따른 회전 속도를 관측하여 알아낸 은하 전체의 질량 분포와 빛을 내는 물질의 광도를 관측하여 알아낸 은하 원반과 은하 팽대부의 질량 분포를 나타낸 것이다. 또 암흑 물질의 질량 분포도 제시되어 있다. 이에 따르면 우리은하에서 빛을 내는 물질은 대부분 태양의 공전 궤도 안쪽에 분포하고, 태양의 공전 궤도 바깥쪽에는 대부분 암흑 물질이 분포한다는 것을 알 수 있으며, 암흑 물질이 우리은하 질량의 대부분을 차지한다는 것도 알 수 있다.

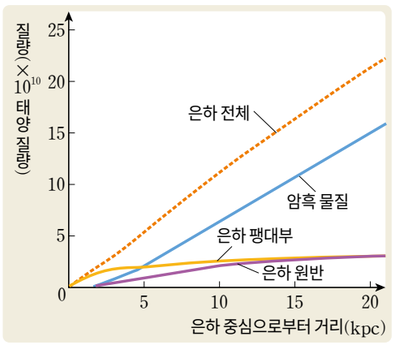


그림 Ⅲ-23 우리은하의 질량 분포 비교

해보기

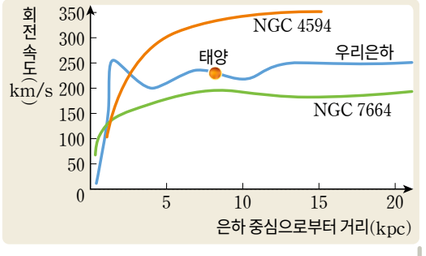
탐구 능력 | 의사결정 능력

우리은하와 외부 은하의 회전 속도 곡선 비교하기

그림은 우리은하와 두 나선 은하(NGC 4594, NGC 7664)의 회전 속도 곡선을 나타낸 것이다.

(출처: 《천문학 및 천체물리학》, 2010.)

1. 세 은하의 회전 속도 곡선의 공통점과 차이점에 대해 모둠별로 토의해 보자.
2. 회전 속도 곡선에 근거하여 세 은하의 질량 분포에 대해 설명해 보자.



디지털 공유
모둠별 활동 결과를 보고서로 정리해 공유 플랫폼에 공유할 수 있다.

우리은하에 존재하는 암흑 물질

우리은하의 가장 바깥쪽 영역에 위치한 천체의 회전 속도를 이용하여 우리은하의 질량을 구하면 대략 $10^{12}M_{\odot}$이고, 이 값은 태양의 공전 궤도 안쪽에 있는 질량의 10 배에 이른다. 이로부터 은하 전체 질량의 대부분은 빛을 내지 않는 물질로 존재하며, 태양의 공전 궤도 바깥쪽에 존재하고 있음을 추론할 수 있다.

빛을 내지 않지만, 질량을 갖고 있는 미지의 물질을 **암흑 물질**이라고 한다. 그림 Ⅲ-24는 암흑 물질의 존재를 알 수 있는 중력 렌즈 현상을 나타낸 것이다. 멀리 있는 은하에서 출발한 빛은 질량이 큰 중력 주변에서 휘어지는데, 이때 빛이 휘어지는 정도로부터 물질의 양을 계산할 수 있다. 이 양에서 빛을 내는 물질의 양을 제거하면 암흑 물질의 양을 알아낼 수 있다.

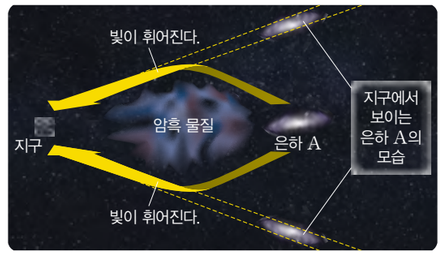


그림 Ⅲ-24 중력 렌즈 현상을 일으키는 암흑 물질

스스로 확인하기

1 우리은하에 나선팔 구조가 존재한다는 사실을 어떻게 알 수 있는지 설명해 보자.

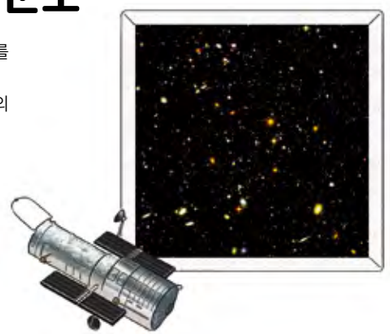
2 은하의 회전 속도 곡선이 태양 외곽에서도 감소하지 않는 까닭을 설명해 보자.

3 | **창의력 더하기** | 빛은 질량이 없으므로 원칙적으로 중력의 영향을 받지 않는다. 하지만 중력 렌즈 현상을 보면 빛이 중력과 상호작용 하는 것처럼 보인다. 중력 렌즈 현상을 빛의 성질과 관련지어 설명해 보자.

암흑 물질 연구
1930 년대에 스위스의 츠비키(Zwicky, F., 1898~1974)는 은하 집단의 운동을 연구하여 보이지 않는 물질이 존재해야 한다는 가설을 제시했다. 1960년~1970 년대에 미국의 루빈(Rubin, V., 1928~2016)은 은하의 회전 속도를 분석하여 암흑 물질이 빛을 내는 물질보다 약 6 배 많다는 것을 밝혀냈다.

04 전천 탐사와 은하의 공간 분포

학습 목표
- 대규모로 이루어진 외부 은하의 적색 편이 탐사의 성과를 설명할 수 있다.
- 은하의 공간 분포를 파악함에 있어서 분광 관측 자료의 중요성을 인식할 수 있다.



이 사진은 허블 우주 망원경(HST)이 촬영한 것으로, 촬영 면적은 전체 하늘 면적의 약 1300만분의 1이고, 사진에 담긴 은하의 수는 1만 개가 넘는다. 관측 가능한 우주에는 얼마나 많은 은하가 있을까?

우주를 매우 큰 규모에서 바라보면 어떻게 보이는지 알아내기 위해 하늘에서 보이는 모든 천체를 관측하는 **전천 탐사**가 이루어졌다. 최초의 전천 탐사는 1950 년대에 북쪽 밤하늘의 일부 영역을 자세하게 촬영하면서 시작되었다.

1980 년대 초반까지는 은하들이 대규모로 집단을 이루고 있으며, 이 집단이 우주에 비교적 고르게 분포되어 있을 것으로 추정했다. 하지만 1980 년대부터 본격적으로 은하의 공간 분포 탐사를 하면서 우주의 대규모 구조에 대한 새로운 사실들이 알려지기 시작했다. 특히 1990 년에 은하의 남극 부근에 대한 전천 탐사가 이루어졌는데 약 2백만 개의 은하 분포가 확인되었다. 탐사 결과 그림 Ⅲ-25처럼 은하들은 균일하게 분포하고 있는 것이 아니라 집단을 이루고 있으며, 실 모양의 구조를 형성하고 있다는 것이 확인되었다.

이후에도 외부 은하의 공간 분포를 알아내기 위한 다양한 대규모 탐사가 수행되면서 은하의 분포와 우주의 구조에 대한 새로운 사실들이 계속 확인되었다.

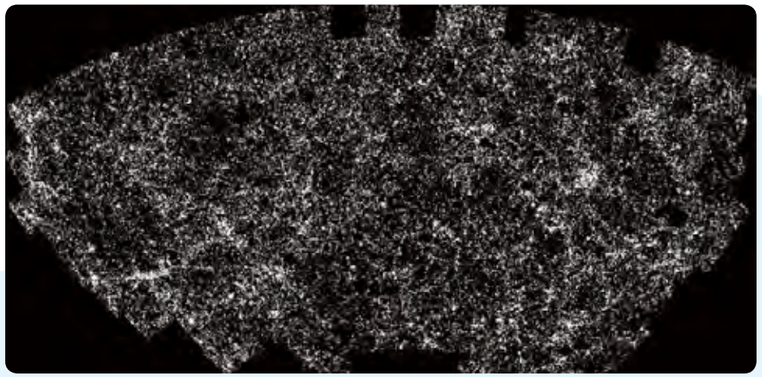


그림 Ⅲ-25 은하 남극 부근의 은하 분포 지도 흰색 점은 매우 밝은 은하를 나타낸다. 은하들이 실 모양의 구조를 형성하고 있다는 것을 알 수 있다.

적색 편이 탐사

CfA 적색 편이 탐사 >> 우주의 대규모 구조를 찾으려는 최초의 전천 탐사는 1977 년~1982 년 사이에 이루어진 CfA 적색 편이 탐사이다. 이 탐사에서는 은하의 분광 관측을 통해 적색 편이로부터 은하의 거리를 구한 후 은하의 공간 분포 지도를 작성했다. 그 결과 그림 Ⅲ-26과 같이 은하들이 거의 존재하지 않는 영역인 **거대 공동(보이드)**과 은하 집단들이 모여 형성한 **은하 장성**을 발견했다. 이후 1985 년~1995 년까지 약 18000 개 은하의 추가 탐사(CfA2 적색 편이 탐사)가 이루어졌다.

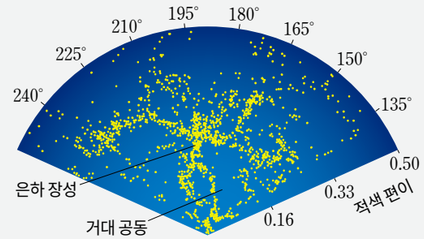


그림 Ⅲ-26 CfA 적색 편이 탐사 결과 은하의 공간 분포 지도에서 거대 공동과 은하 장성을 확인했다. 그림 위쪽에 표시한 각은 춘분점(춘분날 태양이 천구상에 위치한 지점) 방향을 기준으로 시계 반대 방향으로 잰 각을 나타낸다.

- **거대 공동(보이드)** 은하가 없거나 극소수의 은하만 존재하는 거대한 빈 공간이다.
- **은하 장성** 수많은 은하 집단이 모여 형성한 거대한 은하의 벽이다.

2dF 적색 편이 탐사 >> 두 번째 대규모 전천 탐사는 2dF 적색 편이 탐사로 1997 년~2002 년 사이에 수행되었다. 이 탐사에서는 적색 편이 약 0.2 이내의 2 개 영역에서 우주의 대규모 구조를 확인했다. 약 5 년에 걸쳐 총 23만 2155 개의 은하와 125 개의 퀘이사를 관측했으며, CfA 적색 편이 탐사에서 확인한 은하 장성보다 훨씬 큰 규모의 은하 장성이 존재한다는 것을 알아냈다.

슬로운 전천 탐사(SDSS) >> 슬로운 전천 탐사는 대규모 다중 분광 관측을 이용한 적색 편이 탐사 계획이다. 이 탐사는 약 2.5 m 크기의 광학 망원경을 이용했으며, 2000 년부터 관측하기 시작해 현재까지 전체 하늘 면적의 약 35 %를 탐사했다.

그림 Ⅲ-27은 슬로운 전천 탐사로 확인된 은하의 공간 분포 지도를 2dF 적색 편이 탐사 결과와 비교한 것이다. 슬로운 전천 탐사는 기존의 전천 탐사에 비해 훨씬 넓고 먼 영역의 은하 분포 지도를 작성했고, 아주 먼 거리에 있는 퀘이사의 분포도 확인했다.

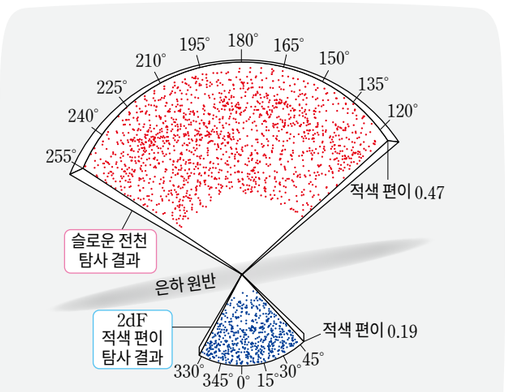


그림 Ⅲ-27 슬로운 전천 탐사와 2dF 적색 편이 탐사 결과 비교 슬로운 전천 탐사로 적색 편이 0.16~0.47 사이에 존재하는 밝은 은하(약 1만 개)들을 확인할 수 있었다.

해보기

탐구 능력

슬로운 전천 탐사 조사하기

1. 슬로운 전천 탐사의 개요와 현재까지의 탐사 성과에 대해 조사해 보자.

⊕ 탐사 시기와 목적 등을 고려해 I 단계~IV 단계로 조사해 보자.

구분	탐사 개요	탐사 성과
SDSS I		
SDSS II		
SDSS III		
SDSS IV		

디지털 탐색
슬로운 전천 탐사 누리집(https://www.sdss4.org/science)에서 탐사 성과를 알아볼 수 있다.

2. 미래의 전천 탐사 계획에 대해 조사해 보자.

그림 Ⅲ-28 슬로운 전천 탐사 망원경

은하의 분광 관측으로 은하가 방출하는 빛의 세기와 적색 편이에 대한 정보를 얻을 수 있다. 특히 적색 편이로부터 은하의 공간 분포를 알 수 있고, 빛이 지구에 도달하는 데 걸리는 시간을 고려해 과거 우주의 모습도 파악할 수 있다.

은하의 분포는 초기 우주의 질량 분포와 밀접한 관계가 있기 때문에 전천 탐사를 통해 작성된 은하 분포 지도는 우주의 대규모 구조를 형성하게 한 초기 우주의 물질 분포와 우주 진화에 대한 실마리도 제공해 준다.

스스로 확인하기

1 은하의 공간 분포를 파악하려고 할 때 주로 분광 관측을 수행하는 까닭을 설명해 보자.

2 전천 탐사를 통해 알아낸 은하의 공간 분포 특징에 대해 설명해 보자.

3 | **창의력 더하기** | 전천 탐사를 통해 알려진 은하의 공간 분포를 비교해 보고, 우주의 등방성과 균질성이 존재한다고 할 수 있는지 설명해 보자.

05 은하의 집단과 우주거대구조

학습 목표
- 은하의 공간 분포 자료를 통해 은하의 집단을 이해할 수 있다.
- 은하 장성, 거대 공동 등 우주의 거시적인 구조를 현대 우주론과 관련지어 설명할 수 있다.

구성원들이 모여 하나의 집단을 형성하고
이들 집단이 모여 점점 더 큰 집단을 형성하는 경우를 쉽게 볼 수 있다.
우주의 구성원들도 이런 방식으로 거대한 집단을 이루고 있을까?

별들이 중력에 의해 무리 지어 성단을 이루는 것처럼 은하들도 중력의 작용으로 서로 묶여 다양한 규모의 집단을 이루고 있다. 또 은하 집단들이 모여 우주의 거시적인 구조를 형성한다.

은하의 집단

지름이 수 Mpc 정도인 공간에 수십 개의 은하가 모여 있는 집단을 **은하군**이라고 한다. 우리은하는 약 40 개의 은하로 이루어진 **국부 은하군**에 속해 있다. 국부 은하군의 대표적인 중심 은하는 우리은하와 안드로메다은하이다. 이 두 은하를 제외하면 대부분 왜소한 은하들이다.

국부 은하군
지름은 약 3 Mpc이다. 무게 중심은 질량이 큰 우리은하와 안드로메다은하 사이에 있다. 우리은하와 가까운 곳에 있는 대마젤란은하와 소마젤란은하, 안드로메다은하는 미래에 우리은하와 충돌할 것으로 예상된다.

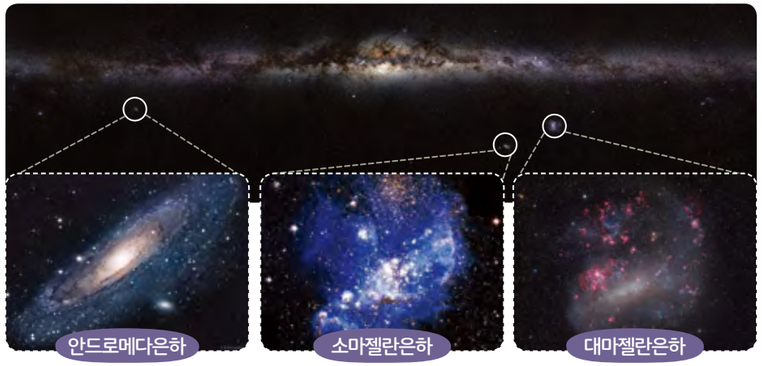
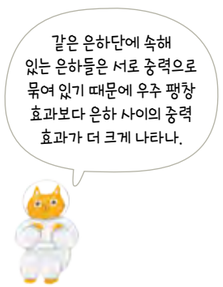


그림 Ⅲ-29 국부 은하군을 이루는 주요 은하들 은하수(우리은하)를 관측하면 우리은하와 함께 국부 은하군을 이루는 세 은하를 볼 수 있다.

은하군보다 규모가 더 큰 은하들의 집단을 **은하단**이라고 한다. 은하단은 수백 개~수천 개의 은하로 구성되어 있으며, 구성 은하들은 서로의 중력에 강하게 묶여 있다. 국부 은하군에서 가장 가까운 은하단은 처녀자리은하단으로, 지름이 약 5 Mpc이고 약 1300 개의 은하들이 모여 있다.



라니아케아 초은하단
은하들의 상대 속도를 분석하여 알아낸 초은하단으로, 우리은하가 속해 있어 국부 초은하단으로 불리기도 한다. 지름은 약 160 Mpc으로 추정한다.

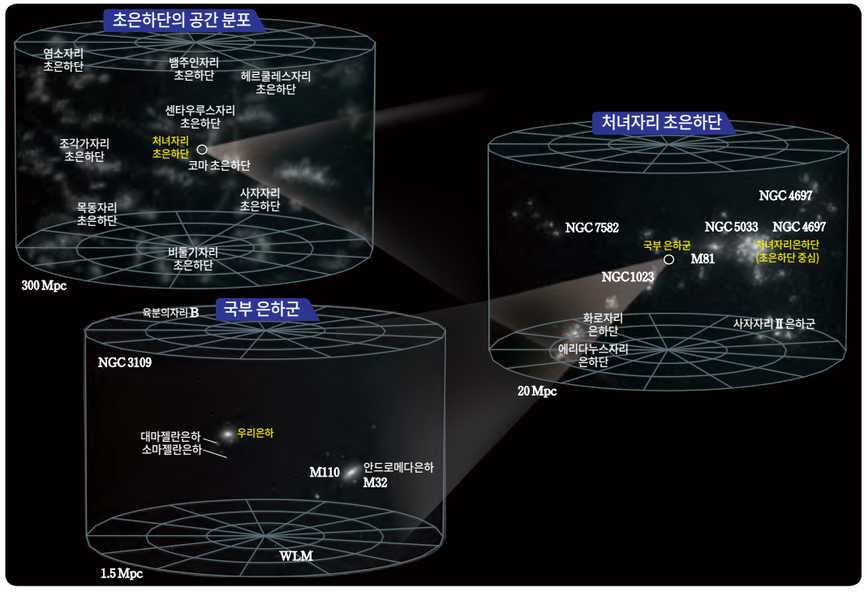
은하군과 은하단이 모이면 더 큰 집단인 **초은하단**을 이룬다. 초은하단은 은하 집단 중 가장 큰 단위로 규모가 수십 Mpc~수백 Mpc이며, 초은하단을 이루는 각 은하단은 중력으로 묶여 있지 않고 우주의 팽창으로 서로 멀어지고 있다. 관측 가능한 우주에 존재하는 초은하단은 약 1000만 개이다. 국부 은하군이 속한 처녀자리 초은하단은 약 100 개의 은하군과 은하단으로 이루어져 있으며, 지름이 약 33 Mpc으로 추정된다. 2014 년 연구 결과에 따르면 국부 은하군이 속한 처녀자리 초은하단은 규모가 훨씬 더 큰 라니아케아 초은하단에 속해 있다고 한다. 이에 따르면 우리은하를 포함하고 있는 초은하단은 라니아케아 초은하단이라고 할 수 있다. 다음 활동에서 우리은하가 포함된 은하 집단을 알아보자.

해보기

탐구 능력

우리은하가 포함된 은하 집단 알아보기

그림은 우리은하가 속해 있는 은하 집단을 나타낸 것이다.



1. 국부 은하군에서 질량이 가장 큰 은하 2 개를 조사해 보자.

2. 지구가 속한 집단을 작은 것부터 순서대로 써 보자.

지구 → ( ) → ( ) → ( ) → ( )

우주거대구조

우주의 구조를 연구할 때, 은하는 기본 단위에 해당한다. 기본 단위인 은하가 모여 집단을 이루고, 많은 수의 은하 집단이 모여 거시적인 구조를 형성하는데 이를 **우주거대구조**라고 한다. 다음 활동에서 전천 탐사로 얻은 은하의 공간 분포 자료로부터 우주거대구조를 식별해 보자.

탐구

탐구 능력 | 문제해결 능력

전천 탐사를 통해 얻은 은하의 공간 분포 자료에서 우주거대구조 식별하기

자료 분석 및 해석

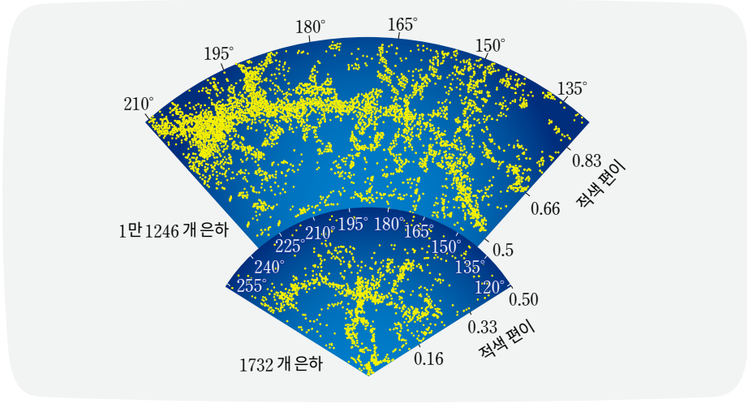
목표

은하의 공간 분포 자료에서 우주거대구조를 식별할 수 있다.

준비물
- [ ] 스마트 기기

과정

그림은 CfA 적색 편이 탐사와 슬로운 전천 탐사로 알려진 은하의 분포를 나타낸 것이다.



1. 은하의 공간 분포 특징에 대해 토의한다.
2. 은하 분포 자료에서 은하 집단이 형성하고 있는 우주거대구조를 찾아본다.

결과 및 정리

1. 은하의 공간 분포 특징을 설명해 보자.

2. 우주거대구조를 찾고, 각각의 크기를 국부 은하군의 크기와 비교해 보자.
   ⊕ 적색 편이 0.1에 해당하는 거리는 420 Mpc이다.

스스로 평가하기

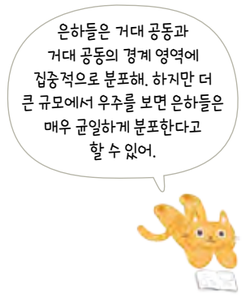
| 지식·이해 | 우주거대구조의 특징을 설명할 수 있는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 은하의 분포 자료에서 우주거대구조를 구분했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 은하의 공간 분포를 알기 위한 전천 탐사의 가치를 인식했는가? ☆☆☆

한 걸음 더 탐구 과정에서 보완할 점이나 더 알아보고 싶은 내용을 자유롭게 써 보자.

큰 규모에서 은하들의 분포를 살펴보면 그림 Ⅲ-30과 같이 은하들은 우주에 고르게 흩어져 분포하는 것이 아니라 길이가 수십 Mpc이 넘는 실 모양으로 이어져 **필라멘트**를 형성한다. 이들은 3차원의 그물처럼 얽혀 있고 필라멘트가 만나는 지점에 매우 규모가 큰 초은하단이 분포하며, 거대한 규모의 필라멘트는 벽과 같은 은하 장성을 형성하기도 한다. 그물 모양의 필라멘트 사이에는 은하들이 거의 없는 거대 공동이 존재하는데 이러한 거대 공동과 초은하단들은 자체 중력에 의한 효과보다 우주 팽창의 영향을 더 크게 받는 규모이다. 따라서 먼 미래에는 거대 공동의 규모가 현재보다 더 커지고, 초은하단을 이루는 은하단들은 서로 멀어져 흩어질 것이다.



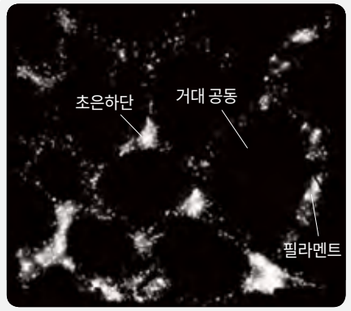


그림 Ⅲ-30 초은하단들의 연결 구조 단면 초은하단의 연결로 나타나는 필라멘트 구조와 거대 공동을 볼 수 있다.

현대 우주론에서는 우주거대구조를 우주 진화의 초기 단계 흔적으로 보고 있다. 초기 우주에는 물질 분포에 미세한 차이가 존재했다. 특히 암흑 물질에 의한 중력이 우세한 영역에서 별과 은하들이 활발하게 생성되었고, 시간이 흘러 현재의 은하 분포와 우주거대구조가 형성되었을 것으로 추정하고 있다.

아직까지는 우주에 존재하는 다양한 거대 구조와 그 구조들이 어떻게 만들어졌는지 밝혀지지 않았지만 우주거대구조 연구가 우주의 탄생과 진화를 이해하는 데 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

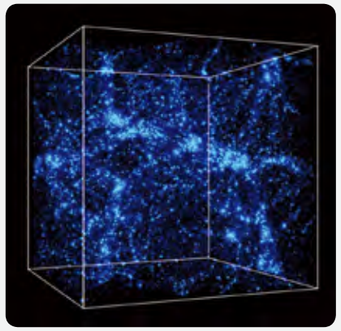


그림 Ⅲ-31 컴퓨터 시뮬레이션으로 추정한 우주의 은하 분포 전천 탐사를 통해 확인한 필라멘트, 거대 공동 등의 우주거대구조를 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인할 수 있다.

스스로 확인하기

1 우리은하가 속한 은하 집단의 종류를 설명해 보자.

2 암흑 물질이 우주거대구조 형성에 미친 영향을 설명해 보자.

3 | **창의력 더하기** | 국부 은하군에 속한 외부 은하들은 허블-르메트르 법칙을 적용하기 어렵다. 그 까닭을 설명해 보자.

과학과 미래 진로

항공기, 로켓, 우주선을 연구하는 항공우주공학자

제임스 웹 우주 망원경과 점검 중인 연구원 제임스 웹 우주 망원경은 은하의 형성과 기원, 별과 외계 행성에 대한 연구를 목적으로 2021 년에 발사했다.

항공우주 분야는 미래 산업을 이끌어갈 핵심 분야로, 지구 대기권을 날아다니는 항공기 개발뿐만 아니라 지구 밖의 우주 공간을 이동하는 로켓, 인공위성, 우주선을 연구하고 개발하는 역할을 한다. 특히 항공우주공학자는 이 분야의 가장 핵심이 되는 연구 인력으로, 제임스 웹 우주 망원경과 유클리드 우주 망원경 개발을 주도적으로 이끌었다.

항공우주공학 분야와 관련된 기술은 최첨단 비행체, 로켓 엔진, 인공위성, 우주선 등을 만들어 내는 첨단 기술이며, 앞으로 다가올 우주 시대의 가장 핵심 기술이라고 할 수 있다. 이 기술은 과학기술 전반에 걸친 연구 인력들 간의 협력이 필요하며, 국가 경쟁력에 직접적인 영향을 미치기 때문에 국가적으로 매우 중요하다.

항공우주공학자는 우주 및 항공과 관련된 산업 전반을 다루고 있어 관련 직업이 다양하다. 예를 들면 항공공학자, 항공기상전문가, 항공기개발원, 로켓개발연구원, 인공위성개발연구원, 신소재개발원 등이 있다. 이 분야에서 일하고 싶다면, 기초 학문인 수학, 물리학, 천문학에 흥미가 있어야 하며, 기계나 전자 등의 공학 분야에 관심이 있으면 더 적합하다.

커리어넷에서 '항공우주공학자'와 관련된 정보를 볼 수 있다.

관련 학과

항공우주공학과, 항공우주시스템공학과, 천문우주과학과, 물리천문학부, 천문대기과학부 등

활동하기

자신이 항공우주공학자라면 어떤 연구를 해 보고 싶은지 구체적으로 생각해 보고, 연구 목적과 연구 주제에 대해 정리해 보자.

유클리드 우주 망원경 발사 암흑 물질 탐사를 목적으로 2023 년 7 월에 발사했다.

창의적 문제해결

우주 영화 시나리오 작성하기

인류 역사를 보면 인류는 끊임없이 자신을 포함한 주변 환경의 근원에 대해 질문해 왔다. 그중에서도 특히 우주는 지적 호기심의 가장 큰 대상이다. 첨단 과학 기술로 발전을 거듭하고 있는 현대 사회에서도 마찬가지이다. 우주를 향한 인류의 호기심은 과학 기술과 인문학적 상상력이 결합해 다양한 영화를 통해 구현되었다.

영화에서는 태양계의 다른 행성에 고립된 우주인이 지구로 귀환하기까지 지구가 아닌 낯선 환경에서 견뎌 내는 상황을 다룬다거나 미래의 지구에서 인류가 살 수 없게 되자 거주할 수 있는 외계 행성을 탐사하는 과정을 다루기도 했다. 또 광활한 우주 영역을 탐사하면서 여러 외계 문명과의 조우를 다루기도 했다.

우리도 과학적 상상력을 발휘하여 모둠별 협업 작업으로 우주 영화 시나리오를 작성해 보자.

1 조사하기

모둠별로 우주 영화에서 다룰 수 있는 핵심 주제를 조사하고 시나리오를 만들 주제를 선정해 보자.

2 작성·발표하기

1. 모둠에서 선정한 주제로 시나리오의 전체 스토리라인을 구상하고 모둠원별로 영역을 나누어 구체적인 시나리오를 작성해 보자.

활동 도우미
- 가능한 한 과학적 사실에 부합하도록 시나리오를 작성한다.
- 지구 환경과 다른 우주 환경의 특징(시공간, 중력, 외계 생명체 등)을 어떻게 묘사할지 사전에 토의한다.

2. 각자 작성한 시나리오를 모아 자연스럽게 연결되도록 다듬어 전체 시나리오를 완성해 보고, 완성한 시나리오를 발표해 보자.

3 평가하기

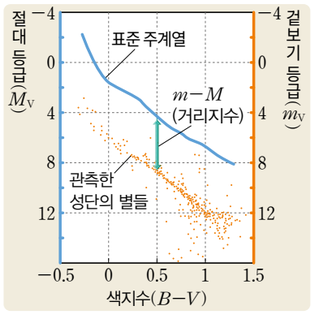
나와 모둠원의 활동 과정을 다음 기준에 따라 평가해 보자.

평가 내용	평가
| **지식·이해** | 작성한 시나리오가 과학적 사실에 부합하는가?	☆☆☆
| **과정·기능** | 자신이 맡은 영역의 시나리오를 구체적으로 작성했는가?	☆☆☆
| **가치·태도** | 협업을 통해 창의적인 우주 영화 시나리오를 작성했는가?	☆☆☆

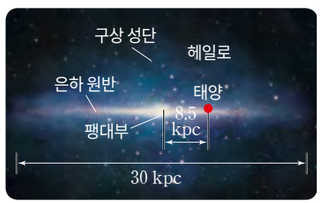
01 천체의 거리와 우리은하의 구조

80 쪽~89 쪽

1. **색지수($B-V$)**: 하나의 별을 다른 파장대에서 측정했을 때 나타나는 등급의 차이로 별의 ❶ 이/가 높을수록 작다.
2. **성단의 C-M도**: 성단을 구성하는 별의 색지수를 가로축에, 별의 등급을 세로축에 나타낸 것 ➡ ❷ 에 위치한 주계열의 색지수가 클수록 성단의 나이가 많다.
3. **성단의 주계열 맞추기**: 성단의 주계열과 표준 주계열의 C-M도에서 색지수가 같은 주계열성의 수직 방향 등급 차가 성단의 ❸ 에 해당한다.



4. **세페이드 변광성의 주기 광도 관계**: 변광 주기를 측정하여 평균 겉보기 등급과 절대 등급을 알아내면 변광성까지의 ❹ 을/를 알 수 있다.
5. **우리은하의 구조와 규모**
- 우리은하는 막대나선 은하이다.
- 우리은하의 ❺ 분포 중심은 우리은하의 중심이다.



02 성간 물질

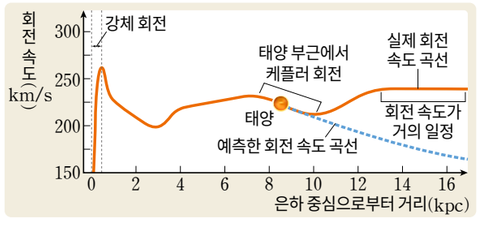
90 쪽~93 쪽

1. **성간 기체와 성간 티끌**: 성간 기체는 거의 대부분 ❻ 와/과 헬륨이고, 성간 티끌은 미세한 고체 입자로 별빛을 흡수하거나 산란시킨다.
2. **성간 소광과 성간 적색화**
- 성간 소광: 성간 티끌에 의해 흡수와 산란이 일어나 별빛의 세기가 약해지는 현상이다.
- ❼ : 성간 소광에 의해 별빛이 실제보다 붉게 보이는 현상이다.
3. **성간 소광의 보정**: 천체까지의 거리를 측정할 때 성간 소광을 보정해야 한다.

03 우리은하의 회전과 질량 분포

94 쪽~97 쪽

1. **21 cm 수소선과 우리은하의 나선팔 구조**: ❽ 관측을 통해 나선팔 구조가 존재함을 확인했다.
2. **우리은하의 회전 속도 곡선과 질량 분포**: 우리은하의 회전 속도 분포로부터 은하 외곽부에 ❾ 이/가 존재함을 알 수 있다.



우리은하의 회전 속도 곡선

3. **우리은하에 존재하는 암흑 물질**: 중력 렌즈 현상을 이용해 암흑 물질의 양을 추정할 수 있다.

04 전천 탐사와 은하의 공간 분포

98 쪽~100 쪽

1. **전천 탐사**: 전천 탐사를 통해 은하의 공간 분포를 확인한다.
2. **적색 편이 탐사**: CfA 적색 편이 탐사, 2dF 적색 편이 탐사, 슬로운 전천 탐사를 통해 ❿ 을/를 확인했다.

05 은하의 집단과 우주거대구조

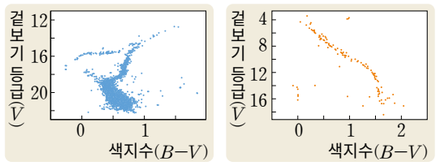
101 쪽~104 쪽

1. **은하의 집단**: 은하 집단의 규모는 은하군 < ⓫ < 초은하단 순이다.
2. **우주거대구조**: 은하 집단들이 모여 형성한 거시적인 구조로, 초기 우주의 암흑 물질 분포와 관련이 있다.
- 은하들이 모여 실 모양의 필라멘트를 형성한다. 필라멘트 사이에는 은하가 거의 없는 거대 공동이 존재한다.
- ⓬ 은/는 수많은 은하 집단이 모여 형성한 거대한 벽과 같은 구조이다.

개념 적용하기

천체의 거리와 우리은하의 구조

01 그림은 우리은하 안에 있는 두 성단 (가)와 (나)의 C-M도를 나타낸 것이다.



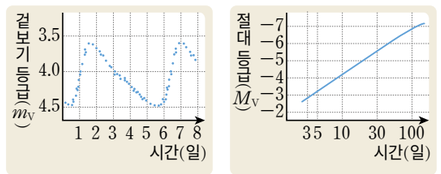
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. (가)는 구상 성단이다.
ㄴ. 주계열성의 비율은 (가)가 (나)보다 많다.
ㄷ. 성단까지의 거리는 (가)가 (나)보다 가깝다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

천체의 거리와 우리은하의 구조

02 그림 (가)는 종족 Ⅰ 세페이드 변광성 A의 겉보기 등급 변화를, (나)는 종족 Ⅰ 세페이드 변광성의 주기 광도 관계를 나타낸 것이다.



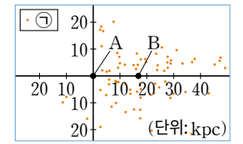
A에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. 변광 주기는 5 일보다 길다.
ㄴ. 절대 등급은 약 −4.5이다.
ㄷ. 거리 지수는 5보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

천체의 거리와 우리은하의 구조

03 그림은 섀플리가 제시한 우리은하에 존재하는 성단 ㉠의 분포를 나타낸 것이다. 태양은 A 또는 B에 위치한다고 할 때 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



보기
ㄱ. ㉠은 구상 성단이다.
ㄴ. 태양은 B에 위치한다.
ㄷ. ㉠은 A를 중심으로 우리은하를 회전한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

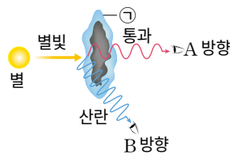
성간 물질

04 성간 물질에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 성간 기체와 성간 티끌로 이루어져 있다.
② 성간 기체가 질량의 대부분을 차지한다.
③ 성간 기체는 대부분 수소로 이루어져 있다.
④ 성간 소광은 주로 성간 티끌에 의해 일어난다.
⑤ 성간 티끌은 주로 자외선 복사 에너지를 방출한다.

성간 물질

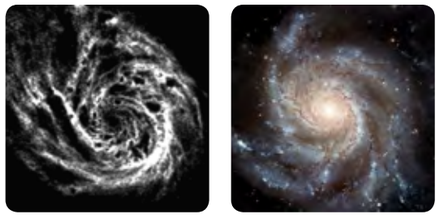
05 그림은 성운 내부에 존재하는 성간 물질 ㉠에 의해 별빛이 통과하거나 산란되어 A와 B 방향으로 진행하는 모습을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 골라 보자.



보기
ㄱ. ㉠은 성간 티끌이다.
ㄴ. A 방향에서는 별이 실제보다 붉게 관측된다.
ㄷ. B 방향에서는 암흑 성운이 관측된다.

우리은하의 회전과 질량 분포

06 그림 (가)와 (나)는 어느 외부 은하를 가시광선과 21 cm 전파로 관측한 영상을 순서 없이 나타낸 것이다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

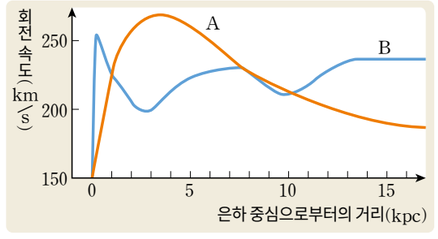
보기

ㄱ. (가)는 가시광선으로 관측한 영상이다.
ㄴ. (나)로부터 중성수소의 분포를 확인할 수 있다.
ㄷ. 고온의 천체는 (가)보다 (나)에서 잘 나타난다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

우리은하의 회전과 질량 분포

07 그림은 두 나선 은하 A와 B의 회전 속도 곡선이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

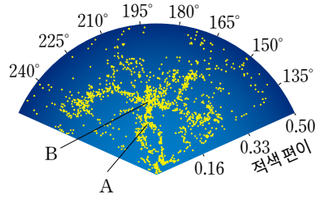
보기

ㄱ. 강체 회전하는 영역은 은하 A가 B보다 넓다.
ㄴ. 헤일로 영역에 존재하는 암흑 물질의 양은 은하 A가 B보다 많다.
ㄷ. 우리은하의 회전 곡선은 은하 A보다 B에 가깝다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

전천 탐사와 은하의 공간 분포

08 그림은 전천 탐사를 통해 알아낸 은하의 공간 분포 중 일부를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 은하까지의 거리는 A가 B보다 가깝다.
ㄴ. 우주 공간의 대부분은 은하들이 차지한다.
ㄷ. 우주거대구조가 존재함을 확인할 수 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

은하의 집단과 우주거대구조

09 은하 집단에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 골라 보자.

보기

ㄱ. 우리은하는 국부 은하군에 속한다.
ㄴ. 국부 은하군은 처녀자리은하단을 포함한다.
ㄷ. 초은하단에 속한 은하단들은 우주 팽창에 의해 서로로부터 멀어지고 있다.

은하의 집단과 우주거대구조

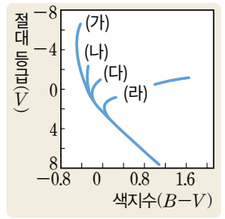
10 우주거대구조에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 골라 보자.

보기

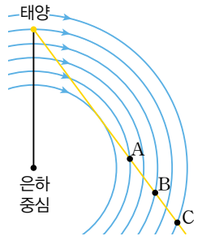
ㄱ. 필라멘트가 만나는 지점에 큰 규모의 초은하단이 형성된다.
ㄴ. 필라멘트 사이에는 은하들이 거의 없는 거대 공동이 존재한다.
ㄷ. 암흑 물질은 보통 물질보다 우주거대구조 형성에 더 큰 영향을 미친다.

과학 역량 키우기

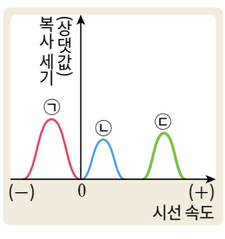
11 과학적 탐구 능력 그림은 산개 성단 (가)~(라)의 C-M도를 나타낸 것이다. (가)~(라)의 나이를 전향점 위치와 관련지어 서술해 보자.



12 과학적 탐구 능력 그림 (가)는 우리은하의 원반에서 태양과 수소운 A, B, C의 위치를, (나)는 A, B, C에서 방출된 21 cm 수소선의 시선 속도와 복사 세기를 ㉠, ㉡, ㉢으로 순서 없이 나타낸 것이다. 태양과 A, B, C는 케플러 회전을 한다.



(가)



(나)

(1) 수소운 A, B, C에서 관측된 21 cm 수소선은 ㉠, ㉡, ㉢ 중 각각 어느 것인지 서술해 보자.

(2) A, B, C 중에서 밀도가 가장 높은 곳은 어디인지 서술해 보자.

과학 글쓰기

13 과학적 문제해결 능력 다음은 우리은하의 성간 물질 분포와 나선팔 구조에 대한 글이다.

- 성간 기체와 티끌은 은하 원반에 집중적으로 분포하고 있다. 중성수소는 21 cm 수소선 관측, 수소 분자는 CO 분자선 관측을 통해 우리은하 내에서 성간 물질의 전체적인 분포 지도를 작성할 수 있다. 특히 수소 분자와 성간 티끌은 은하 원반을 따라 은하 중심과 태양 사이의 영역에 주로 분포한다.
- 나선 은하의 원반에는 나선팔 구조가 나타난다. 수소운(HI 영역), O형과 B형 별, HII 영역, 산개 성단은 나선팔 구조를 파악하는 척도로 이용된다. 또 질량이 큰 주계열성에서 주로 방출하는 파장을 관측하면 나선 은하의 나선팔 구조를 상대적으로 뚜렷하게 볼 수 있다.

(1) 현재 우리은하에서 새로운 별의 탄생이 나선팔에서 가장 활발하다는 사실을 윗글에 근거해 서술해 보자.

(2) 우리은하에서 가까운 거리에 있는 어떤 나선 은하의 나선팔 구조를 확인할 때, 짧은 파장보다 긴 파장으로 관측하는 것이 유리한 까닭은 무엇인지 글을 써 보자.

스스로 평가하기

'은하와 우주'를 학습한 다음, 나의 성취 수준을 스스로 평가해 보자.

지식·이해	• 성단의 C-M도를 이용하여 성단의 나이와 거리를 비교할 수 있는가?	☆☆☆☆☆
	• 전천 탐사의 성과를 이해하고, 우주의 거시적인 구조를 설명할 수 있는가?	☆☆☆☆☆
과정·기능	• 성간 소광 자료를 통해 성간 티끌의 존재를 추론했는가?	☆☆☆☆☆
	• 은하의 회전 속도 곡선을 이용해 질량 분포를 이해하고 빛을 내지 않는 물질의 존재를 추론했는가?	☆☆☆☆☆
가치·태도	• 은하의 공간 분포를 파악함에 있어서 분광 관측 자료의 중요성을 느꼈는가?	☆☆☆☆☆

부록

학습 자료실

- 단위와 상수
- 천문학의 발전
- 우리나라 천문대 소개
- 천체 망원경 사용 방법
- 탐구 활동 자료

정답 및 해설

찾아보기

자료 출처

기본 단위(국제 단위계: SI)

양	단위 기호	단위 간의 관계
길이	m	$1\,\mu m = 10^{-6}$ m $1\,Å = 10^{-10}$ m
질량	kg	$1\,t = 10^{3}$ kg
시간	s	1 년 $= 3.2 \times 10^{7}$ s
온도	K	온도 차 1 K = 1 ℃ 0 ℃ = 273.15 K

유도 단위(국제 단위계: SI)

양	단위 기호	단위 간의 관계
속도	m/s	
가속도	m/s^2	
힘	N(뉴턴)	$1\,N = 1\,kg \cdot m/s^2$
압력	Pa(파스칼)	$1\,Pa = 1\,N/m^2$ 100 Pa = 1 hPa = 1 mb
일	J(줄)	$1\,J = 1\,N \cdot m$
일률	W(와트)	1 W = 1 J/s

지구과학의 주요 상수

만유인력 상수(G)
$G = 6.67408 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2/kg^2$

표준 중력 가속도(g_n)
$g_n = 9.80665\ m/s^2$

진공에서의 빛의 속도(c)
$c = 2.99792458 \times 10^{8}\ m/s$

슈테판·볼츠만 상수(σ)
$\sigma = 5.670367 \times 10^{-8}\ W/m^2 \cdot K^4$

천문단위(AU)
$1\ AU = 1.4959787 \times 10^{11}\ m$

광년(LY)
$1\ LY = 9.46073 \times 10^{15}\ m$
$= 6.324 \times 10^{4}\ AU$

파섹(pc)
$1\ pc = 206264.806\ AU$
$= 3.26156$ 광년 $= 3.0857 \times 10^{16}\ m$

태양 질량($M_\odot$)
$M_\odot = 1.9891 \times 10^{30}\ kg$

태양 광도($L_\odot$)
$L_\odot = 3.839 \times 10^{26}\ W$

태양 상수(I)
$I = 1367\ W/m^2$

태양 반지름
$6.96 \times 10^{5}\ km$

태양 표면 온도
약 5800 K

지구 표면 온도
약 288 K

지구 질량
$5.972 \times 10^{24}\ kg$

지구 적도 반지름
$6.378135 \times 10^{3}\ km$

지구 공전 속도
$2.9783 \times 10^{4}\ m/s$

지구 자전 각속도
$7.292 \times 10^{-5}\ rad/s$

달 질량
$7.35 \times 10^{22}\ kg$

달 반지름
$1.738 \times 10^{3}\ km$

황도 경사
$23^\circ 26' 21'' 406$

1

코페르니쿠스

(Copernicus, N., 1473~1543, 폴란드)

코페르니쿠스는 지구 중심설로 행성의 운동을 복잡하게 설명하는 것보다 태양을 중심으로 행성들이 그 주위를 돈다고 가정하면 훨씬 쉽게 행성의 운동을 설명할 수 있다는 것에 주목했다. 그는 자신의 저서 《천체의 회전에 관하여》를 통해 태양 중심설(지동설)을 주장했다. 당시 그가 생각한 행성의 궤도는 원 궤도였다.

2

브라헤

(Brahe, T, 1546~1601, 덴마크)

브라헤는 망원경이 발명되기 전 가장 정밀한 천체 관측을 한 천문학자로, 1575 년 덴마크 국왕의 배려로 벤섬에 천문대를 설치해 항성과 행성의 위치 관측에 전념했다. 이때 남긴 기록은 케플러 법칙의 밑거름이 되었다. 그는 태양 중심설의 증거인 연주시차 관측에 실패해 수정된 지구 중심설을 주장했다.

3

갈릴레이

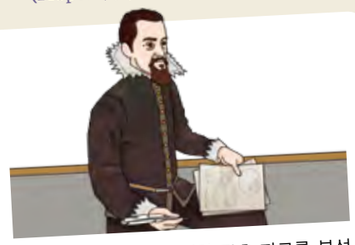
(Galilei, G., 1564~1642, 이탈리아)

갈릴레이는 1609 년 직접 제작한 망원경으로 천체를 관측해 달의 운석 구덩이를 관측했고, 목성의 위성을 발견했다. 여러 관측을 통해 지구 중심설의 모순을 확인했고, 《지구 중심설과 태양 중심설, 두 체계에 관한 대화》를 출판했으나 이 책이 원인이 되어 종교 재판을 받았다.

4

케플러

(Kepler, J., 1571~1630, 독일)



케플러는 브라헤의 방대한 관측 자료를 분석해 화성의 공전 궤도를 연구했고, 1609 년 그 결과를 정리해 저서 《신천문학》을 발표했다. 이 책에서 케플러 제1법칙, 제2법칙을 발표했고, 1619 년 저서 《우주의 조화》를 통해 케플러 제3법칙을 발표했다.

5

뉴턴

(Newton, I., 1642~1727, 영국)

광학과 중력에 큰 관심을 가지고 있던 뉴턴은 반사 망원경을 제작했고, "행성과 관련된 힘은 거리의 제곱에 반비례한다."라는 사실을 정리해 만유인력 법칙을 확립했다. 1687 년 저서 《프린키피아》에서 역학의 원리, 만유인력 법칙 및 태양계 행성의 운동에서 조석의 이론 등을 설명했다.

6

베셀

(Bessel, F. W., 1784~1846, 독일)

백조자리 61 번 별의 연주시차를 최초로 측정함으로써 태양 이외의 다른 별까지의 거리를 정확하게 측정했으며, 지구가 공전함을 증명했다. 별 목록을 작성했으며, 해왕성의 존재를 예언하기도 했다.

7

리비트

(Leavitt, H. S., 1868~1921, 미국)

하버드 대학 천문대 직원으로서 1912 년 소마젤란은하에 있는 32 개 세페이드 변광성을 연구하고 변광 주기와 절대 등급과의 관계를 발견했다. 이를 이용해 먼 거리에 있는 천체의 거리를 측정할 수 있게 되었다. 또 2400 개 이상의 변광성을 관측하여 변광성표를 제작했다.

8

펄머터

(Perlmutter Saul, 1959~, 미국)

슈밋(Schmidt, B. P., 1967~), 리스(Riess, A. G., 1969~)와 함께 Ia형 초신성을 연구해 우주 팽창 속도가 가속된다는 사실을 발견했고, 2011 년 노벨 물리학상을 공동 수상했다.

우리나라의 천문대

천문대에 방문해 대형 망원경으로 행성, 달, 별 등의 천체를 관측하면 눈으로 보는 것과 다른 우주를 만날 수 있다. 천문대마다 당일 또는 1 박 2 일로 진행하는 다양한 천체 관측 프로그램이 있으며, 천문대 누리집에서 천체 관측 프로그램의 시간과 활동 내용을 확인할 수 있다. 우리 지역에서 가까운 천문대를 찾아보고, 날씨가 맑은 날 천문대를 방문해 보자.

국립과천과학관

국립과천과학관 안의 천문대로, 과학관 조직에 천문우주팀이 별도로 존재해 다양한 천체 관측 및 체험 프로그램을 운영하고 있다. 전파 망원경을 보유하고 있어 중성수소 관측 및 해설 프로그램이 1 일 1 회 진행된다.

대전시민천문대

우리나라 최초의 시민 천문대이다. 천체 관측 외에도 별 음악회, 별빛 속 시 낭송회, 사진전 등 다채로운 프로그램을 운영하고 있으며 무료로 이용할 수 있다.

부안청림천문대

청소년 수련 시설을 겸하는 천문대로, 1 m 구경의 대형 망원경과 다수의 보조 망원경을 보유하고 있다. 상시 관측 프로그램과 일식, 월식 등 특이 천문 현상 관측 프로그램을 운영하고 있다.

화천조경철천문대

광덕산 정상에 위치한 천문대로, 시민 천문대 중 가장 높은 해발 1010 m에 위치해 있다. 구경 1 m의 대형 망원경을 보유하고 있어 성단이나 은하 등 멀리 있는 천체를 더욱 실감나게 관측할 수 있다. 일반 관람 외에도 심도 있는 천체 관측을 위한 특별 프로그램을 운영하고 있다.

소백산천문대

우리나라 최초의 국립 천문대로 국내 천문학 연구의 선도적인 역할을 수행해 왔다. 천문학자들이 주로 이용하는 장소로 일반인은 견학만 가능하다. 주간(13 시～16 시)에만 천문대 견학이 가능하며, 관측 시설 및 장비, 우주에 대한 설명을 들을 수 있다.

보현산천문대

국립 천문대로 국내 최대 구경인 1.8 m 반사 망원경을 보유하고 있는 연구 시설이다. 야간에는 연구자들이 천체 관측을 수행하므로 관람객은 일몰 이전에 관람을 마쳐야 하며, 산기슭의 보현산천문과학관에서 천체 관측 프로그램을 이용할 수 있다.

김해천문대

분성산 정상에 위치한 영남 지역 최초의 시민 천문대이다. 전시실, 천체투영관 관람 외에도 다양한 체험 프로그램을 운영하고 있으며 망원경을 이용해 태양 관측과 천체 관측을 할 수 있다.

고흥우주천문과학관

장기산 정상에 위치한 천문대로, 80 cm 구경의 주 망원경과 다수의 보조 망원경을 갖추고 있다. 당일 프로그램만 운영하고 있으며, 근처의 나로우주센터 우주과학관과 함께 체험할 수 있다.

제주별빛누리공원

한라산 중턱에 위치해 별을 관측하기 좋은 천문대이다. 4D 영상관, 천체투영실, 전시실, 관측실 등 여러 시설을 갖추고 있어 체험할 거리가 많다. 밤에는 옥상에 설치된 망원경으로 다양한 천체를 관측할 수 있다.

천체 망원경의 구조

천체 망원경 설치 방법

1 평평한 곳에 삼각대를 펼친다.

2 삼각대 위에 가대를 올려 고정하고, 균형추를 단단히 매단다.

3 가대 위에 경통을 올려 고정한다.

4 경통에 파인더와 접안렌즈를 부착한다.

5 균형추와 경통의 위치를 조절해 망원경의 균형을 맞춘다.

6 파인더와 주 망원경의 시야 중앙에 같은 물체가 보이도록 조절한다.

학습 자료실 탐구 활동 자료

본문 83 쪽 히아데스성단을 구성하는 별 일부의 색지수와 겉보기 등급 자료

별	색지수 $(B-V)$	겉보기 등급 (m_v)	별	색지수 $(B-V)$	겉보기 등급 (m_v)	별	색지수 $(B-V)$	겉보기 등급 (m_v)
1	0.12	4.27	9	0.26	5.40	17	0.97	12.52
2	0.16	4.20	10	0.29	5.57	18	0.98	3.76
3	0.18	4.62	11	0.33	5.78	19	0.99	9.07
4	0.21	5.01	12	0.35	5.87	20	0.99	3.65
5	0.24	5.43	13	0.35	5.95	21	1.00	9.52
6	0.25	5.53	14	0.76	8.57	22	1.01	3.53
7	0.26	5.37	15	0.83	8.93	23	1.07	9.97
8	0.26	5.38	16	0.87	9.35	24	1.01	12.86

본문 87 쪽 다른탐구 프로그래밍 언어(파이썬)를 사용해 3차원으로 우리은하의 구상 성단 분포 나타내기

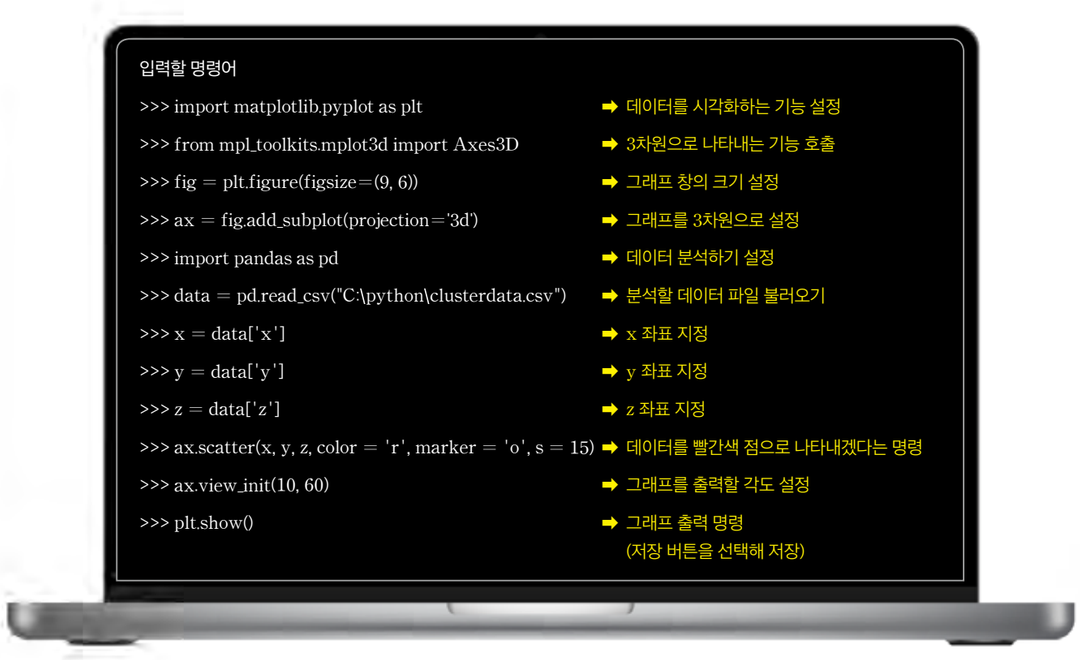
❶ 프로그래밍 언어(파이썬)를 사용하기 위해 데이터 분석에 사용하는 여러 가지 패키지가 포함되어 있는 파이썬 배포판을 설치한다.

❷ 컴퓨터에 'python' 폴더를 만들고, 구상 성단의 위치 데이터 값을 csv 파일로 저장한다(예 C:\python\clusterdata.csv).

❸ 설치한 파이썬 배포판의 입력창(예 Anaconda Prompt)을 실행한다.

❹ 명령어 입력창에서 'python'을 입력 후 Enter를 치면 입력 화면이 >>>로 바뀐다.

❺ 다음 명령어를 한 줄씩 입력하면 구상 성단의 분포를 3차원으로 나타낼 수 있다.



정답 및 해설

I 우주 탐사와 행성계

? 물음

23 쪽 | 1 월

25 쪽 | 4 AU

스스로 확인하기

15 쪽 | 1. 금성의 표면에 물이 존재하지 않게 된 과정을 밝혀냈고 화성 표면에서 강과 호수가 존재했던 흔적을 발견했다. 또 목성의 위성 표면에서 화산 활동이 활발하게 일어나는 모습과 토성의 위성 표면을 덮은 얼음 틈으로 수증기가 분출되는 모습을 확인했다.
2. 인공위성은 날씨의 영향을 받지 않고 긴 시간 동안 안정적으로 다양한 천체를 관측해 정밀한 자료를 얻을 수 있다. 또 인공위성을 활용한 우주 탐사는 극한 환경에서 작동할 수 있는 장비를 개발하는 기술·공학 분야의 발전에 도움이 되기도 한다.
3. 예시 답안 사람이 무중력 상태에 오래 노출되면 다양한 생리적 문제가 발생하기 때문에 회전을 통해 생기는 원심력 등으로 중력을 대체하는 기술이 필요하다. 또 물이나 산소를 생산하고 이산화 탄소를 제거하는 생명 유지 기술도 필요하다.

21 쪽 | 1. 태양 활동에 따라 지구 주위의 인공위성과 지구의 전력, 통신, 항공 분야에 많은 문제가 발생할 수 있으므로 태양 활동을 지속적으로 감시하고 예측하는 시스템은 매우 중요하다.
2. 우주 쓰레기가 인공위성 등 우주에 있는 장비에 부딪히면 큰 피해를 줄 수 있기 때문이다.
3. 예시 답안 지구에서 보낸 로켓을 소행성에 충돌시켜 궤도를 변화시킨다. 소행성에 폭탄을 설치해 작은 조각으로 폭발시킨다. 등

27 쪽 | 1. 태양계를 지배하는 근본적인 힘은 태양의 중력이다.
2. 타원 궤도 법칙에 따르면 태양계의 모든 행성은 태양을 한 초점으로 타원 궤도를 따라 공전한다. 면적 속도 일정 법칙에 따르면 행성은 근일점 부근에서는 빠르게 공전하고, 원일점 부분에서는 느리게 공전한다.
3. 예시 답안 혜성이 태양에 가까워지면 태양의 중력에 의해 속력이 빨라져 접근하기 어려워지기 때문이다.

32 쪽 | 1. 소행성은 주로 화성과 목성 궤도 사이에 존재하며 모양이 불규칙하다. 왜소 행성은 태양 주위를 공전하며 위성이 아닌 천체로, 질량이 충분히 커 구형을 띠지만 행성과 다르게 공전 궤도 주변에 다른 천체들이 분포한다. 혜성은 주로 이심률이 큰 타원 궤도를 따라 태양을 공전하고, 핵이 먼지와 가스로 되어 있어 태양에 접근하면 코마와 꼬리가 발달한다.
2. 대부분의 소행성, 혜성 핵과 일부 운석은 태양계 원시 물질이 그대로 남아 있어 태양계 형성 초기의 정보를 가지고 있다.
3. 예시 답안 남극 표면은 주로 얼음으로 덮여 있어 표면에서 암석을 발견하기 쉽고, 암석이 발견되었을 때 운석일 확률이 높기 때문이다.

38 쪽 | 1. 외계 행성계를 탐사하는 주요 방법에는 중심별이 행성과의 질량 중심 주위를 회전하며 생기는 주기적인 파장 변화를 관찰하는 방법, 행성의 식현상으로 나타나는 별의 밝기 변화를 관찰하는 방법, 먼 별의 앞을 지나는 별이 만드는 미세 중력 렌즈 현상에 추가로 나타나는 행성에 의한 밝기 변화를 관찰하는 방법이 있다.
2. 행성이 액체 상태의 물이 존재할 정도의 온도를 유지해야 한다. 즉, 생명 가능 지대에 위치해야 한다.
3. 예시 답안 지구상의 일반적인 환경에서 서식하는 생물에서 극한 환경에서 생존하는 박테리아로 생명체의 범위를 확대하면 생명 가능 지대는 액체 상태의 물이 존재하는 영역에서 상부 맨틀의 온도(약 1000 ℃)에 해당하는 영역까지 확장할 수 있다. 따라서 생명 가능 지대의 폭은 지금보다 훨씬 더 넓어질 것이다.

대단원 마무리

42 쪽~45 쪽

❶ 이오 ❷ 다누리 ❸ 플레어 ❹ 타원
❺ 세제곱 ❻ 카이퍼 ❼ 꼬리 ❽ 유성체
❾ 미세 중력 렌즈 ❿ 생명 가능 지대

01 ③ **02** ③ **03** ④ **04** ②
05 ③ **06** 8 년, 4 AU **07** ⑤
08 ④ **09** 해설 참조 **10** 해설 참조
11 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

01 제임스 웹 우주 망원경은 무인 망원경이며, 우주인이 탑승한 탐사 도구는 우주 체류 기간이 짧은 국제 우주 정거장이나 달 탐사선 정도이다. 행성 탐사선이나 우주 망원경은 지구 날씨의 영향을 받지 않는다.

02 (가)는 RNA의 구성 성분이 발견된 소행성 류구, (나)는 화산 활동이 일어나고 있는 목성의 위성 이오이다. 우리나라는 현재 달 탐사선 다누리가 활동하고 있으며, 그 외 천체의 탐사선은 아직 개발하지 못했다.

03 A는 밴앨런대로, 지구 자기장에 붙잡힌 태양풍 입자가 밀집되어 있다. 지구 자기장이 교란되면 위성, 전력 분야 등에 문제가 생길 수 있다.

04 우주 쓰레기는 우주 개발 과정에서 발생한 인공 물체이다.

우주 쓰레기를 방치하면 인공위성에 부딪혀 사고가 나는 등 우주 탐사에 피해를 줄 수 있으므로 이를 제거하기 위해 노력해야 한다.

05 궤도 긴반지름은 근일점에서 원일점까지 거리의 절반이므로 A의 근일점 거리는 2.0 AU이고, B의 궤도 긴반지름은 3.0 AU이다. 따라서 두 천체의 공전 주기는 같으며 궤도 이심률은 근일점 거리와 원일점 거리 차가 큰 A가 더 크다. 궤도 긴반지름이 같을 때 이심률에 따라 전체 궤도 면적이 달라지므로 같은 기간 동안 쓸고 지나가는 면적은 A와 B가 다르다.

06 면적 속도 일정 법칙에 따라 이 가상 행성의 공전 주기는 8년이고, 조화 법칙에 따라 궤도 긴반지름은 4 AU가 된다.

07 혜성 핵과 소행성은 대부분 태양계 원시 물질로 구성되어 있다.

08 외계 행성이 중심별 앞을 지나는 식현상에 의해 별의 밝기가 감소하는 것을 이용하면 외계 행성계를 탐사할 수 있다. 행성의 식현상은 공전 궤도면이 지구에서 바라보는 시선 방향과 거의 나란할 때 관측할 수 있으며, 행성의 반지름이 클수록 별의 밝기 변화가 커 관측이 쉽다.

09 예시 답안 멀리 있는 천왕성이나 해왕성으로 가는 과정에서 목성이나 토성 근처를 지나면서 추가적으로 행성 탐사를 할 수 있고, 중력이 큰 천체 주위를 지나면서 가속을 할 수 있어 연료 소모를 줄이고 더 먼 거리까지 운행을 할 수 있기 때문이다.

10 예시 답안 태양의 질량이 현재의 1.7 배가 되면 생명 가능 지대는 1 AU보다 먼 곳에서 시작되어 5 AU 이내에 존재하게 될 것이다. 따라서 지구는 생명 가능 지대를 벗어나게 되고, 화성이 생명 가능 지대에 들어가게 된다. 지구 표면에서는 액체 상태의 물이 모두 증발하고, 화성 표면에 액체 상태의 물이 존재할 수 있어 생명체가 존재하기에 더 유리한 환경이 될 수 있다.

11 (1) 예시 답안 지구와 같은 행성을 생각해 보면 평상시에는 행성으로 유입되는 자외선이 적어 현재의 관측 기술로 포착할 만큼의 형광 신호가 발생하지 않을 것이다. 그러나 중심별에서 플레어가 발생하면 막대한 양의 자외선이 방출되므로 행성에서도 평상시보다 훨씬 강한 형광 신호가 발생하여 관측하기가 쉬워지기 때문이다.

(2) 예시 답안 외계 지적 생명체를 찾기 위해 수집하는 데이터는 그 양이 매우 많다. 기존에는 과학자들이 직접 개입해 알고리즘을 적용해야 했기 때문에 데이터를 분석하는 데 긴 시간이 필요했다. 그러나 딥러닝 기반의 인공지능으로 정보를 처리하면 외계 지적 생명체의 신호를 구분하는 속도가 매우 빨라져 엄청난 양의 신호 분석을 빠른 시간에 처리할 수 있다. 또 사람이 분석하기에 매우 복잡한 패턴의 데이터도 처리할 수 있다.

Ⅱ 태양과 별의 관측

? 물음

55 쪽 | $10^{2.16}$ pc(약 144.54 pc)

59 쪽 | 약 89.34 km/s

66 쪽 | $100^{\frac{1}{3.5}}$ 배(약 3.72 배)

스스로 확인하기

53 쪽 | 1. 태양의 광구에서는 쌀알 무늬와 흑점이, 채층에서는 홍염이 관측된다. 흑점 주변에서 플레어가 관측되기도 한다.

2. 태양은 고위도로 갈수록 자전 주기가 길어지는 차등 자전을 한다.

3. 예시 답안 방출되는 입자의 속도가 500 km/s 이상이므로 입자가 지구에 도착하는 데는 최대 3.5 일 정도가 걸린다.

57 쪽 | 1. 10 pc

2. 연주시차를 이용해 측정할 수 있는 별의 거리는 수천 pc 이내이지만 거리지수를 이용하면 별의 거리를 수만 pc 이상까지 측정할 수 있다. 즉 거리지수를 이용하는 방법이 더 멀리 있는 별까지의 거리를 측정할 수 있다.

3. 예시 답안 시차가 더 크게 나타나므로 지구에서 관측할 때보다 더 멀리 있는 별까지의 거리를 측정할 수 있다.

61 쪽 | 1. 공간 운동은 별이 우주 공간에서 실제로 움직인 것이다. 별의 공간 운동은 공간 속도로 나타내며 공간 속도의 크기는 $\sqrt{(\text{시선 속도})^2+(\text{접선 속도})^2}$이다.

2. 별들은 각각 다른 속도로 공간 운동을 하고 있으므로 1만 년 정도의 시간이 흐르면 하늘에서의 상대적인 위치가 눈에 보일 정도로 변한다. 따라서 관측한 당시의 시선 방향에 따라 임의로 별들을 연결한 별자리의 모양은 달라진다.

3. 예시 답안 지구에서 별자리를 보는 방향과 다른 방향으로 우주 공간에서 별자리를 보면 전혀 다른 모습으로 보일 것이다. 따라서 이 지도로는 목적지를 찾아 가기 어렵다.

66 쪽 | 1. 쌍성의 질량의 합을 알기 위해서는 쌍성의 공전 주기와 쌍성 사이의 거리를 알아야 한다.

2. 주계열성의 광도는 질량의 세제곱~네제곱에 비례하여 커진다는 질량 광도 관계를 이용해 주계열성의 질량을 알아낼 수 있다.

3. 예시 답안 행성이 한 개의 항성에서만 중력의 영향을 받고 나머지 한 개의 항성에 의한 중력은 무시할 수 있으면 역학적으로 안정한 행성이 존재할 수 있다.

- 쌍성계를 이루는 두 별이 멀리 떨어져 있고, 행성이 모항성에 비교적 가깝게 붙어 있을 때 존재할 수 있다.
- 행성이 쌍성을 이루는 두 별로부터 매우 멀리 떨어져 있을 때 존재할 수 있다.

70 쪽 | 1. 맥동 변광성은 주기적인 광도 변화가 일어나고 폭발 변광성은 별의 밝기가 급격히 밝아졌다가 서서히 어두워지는 밝기 변화가 일어난다.

2. Ia형 초신성은 최대 밝기의 절대 등급이 일정하므로 겉보기 등급을 측정하면 초신성까지의 거리를 알 수 있다.

3. 예시 답안 폭발이 일어나면서 별 주변으로 대량의 물질이 분출되고, 이 물질이 응축되며 별빛을 가리면 마치 별이 구름에 가려진 것처럼 어두워질 수 있다. 그러다 시간이 흘러 이 물질들이 걷히면 밝기가 다시 밝아질 것이다.

74 쪽~**77** 쪽

대단원 마무리

① 흑점 ② 채층 ③ 코로나 ④ 거리지수
⑤ 시선 속도(v_r) ⑥ 망원경 ⑦ 식쌍성
⑧ 질량 ⑨ 맥동 변광성

01 ④ **02** ⑤ **03** ④ **04** ⑤
05 ⑤ **06** ① **07** ⑤ **08** ②
09 해설 참조 **10** (1) 해설 참조 (2) 0 일 또는 16 일
11 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

01 코로나는 태양의 흑점 극대기에 형태가 뚜렷하고 크기가 커지며, 극소기에는 크기가 작아진다. 흑점은 태양의 자기장이 강한 곳으로 흑점이 많을수록 태양의 활동이 활발하다. 코로나의 온도는 약 100만 K이고, 흑점의 온도는 약 3800 K이다.

02 태양은 저위도로 갈수록 자전 속도가 빠르므로 A보다 B의 위치 변화가 더 크다. C보다 D에서 색이 밝은 것으로 보아 태양의 활동은 D에서 더 활발하다. (가)에서는 광구, (나)에서는 채층과 코로나가 관찰된다.

03 별 A의 연주시차는 0.1″, 별 B의 연주시차는 0.2″이다. 별 A는 B보다 멀리 떨어져 있는데 겉보기 등급이 같은 것으로 보아 실제 밝기는 별 A가 B보다 밝다. 지구 공전 궤도에 수직인 위치에 있는 별 A의 궤적은 ㉡, 지구 공전 궤도와 나란한 곳에 위치한 B의 궤적은 ㉠이다.

04 거리지수는 (겉보기 등급−절대 등급)으로 별 A는 거리가 절대 등급을 측정하는 거리인 10 pc보다 안쪽에 있으므로 겉보기 등급은 0보다 작다. 그러므로 거리지수는 (−)이다. 별 B는 10 pc에 있으므로 겉보기 등급과 절대 등급이 같다. 별 C는 절대 등급의 기준인 10 pc보다 10 배 멀리 있어 약 100 배 어둡게 보이므로 겉보기 등급이 11이다. 따라서 별 B보다 겉보기 등급이 크다.

05 접선 속도는 474 km/s(=4.74×1″×100 pc)이다. 원래 파장이 600 nm인 흡수선의 관측 파장은 후퇴 속도를 구하는 식에 의해 $400\ \text{km/s}=\frac{\Delta\lambda}{600}\times3\times10^5\ \text{km/s}$이고 $\Delta\lambda=0.8$이므로 600.8 nm로 관측된다. 공간 속도는 $\sqrt{(\text{접선 속도})^2+(\text{시선 속도})^2}$ km/s이므로 $\sqrt{(474)^2+(400)^2}$ km/s이다.

06 ㉠은 별 A가 지구에 가장 가까운 위치에서 가장 먼 위치로 이동할 때이므로 적색 편이가 나타난다. 별 A와 B의 공전 주기는 광도 곡선에서 주극소가 나타나는 시간과 같으므로 $2(t_2-t_1)$이다. 별 B가 별 A를 가렸을 때, 부극소가 나타났으므로 별 B의 표면 온도는 별 A보다 높다.

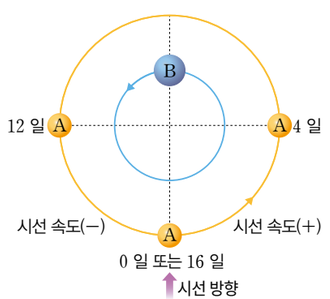
07 (가)에서 별 A의 광도는 태양의 10^3 배임을 알 수 있다. 별 A는 질량이 태양보다 큰 주계열성이므로 태양보다 표면 온도가 높고 수명이 짧다.

08 (가)의 변광 주기는 약 6 일이므로 세페이드 변광성이다. (나)는 1999 년 1월에 겉보기 등급이 약 20이고 가장 밝을 때는 약 3이므로 등급 차이가 약 17이다. 5 등급 차이가 100 배의 밝기 차이이므로 100만 배 이상 밝았음을 알 수 있다. 가장 밝을 때 겉보기 등급이 (가)는 약 5.65이고, (나)는 약 3이므로 (나)가 더 밝게 보였다.

09 예시 답안 별 A, B의 질량을 m_A, m_B라고 할 때 $m_A+m_B=\frac{(30\ \text{AU})^3}{(30\ \text{년})^2}M_\odot=30M_\odot$이고, $m_A\times10\ \text{AU}=m_B\times20\ \text{AU}$이므로 $m_A:m_B=2:1$이다.
따라서 $m_A=20M_\odot$, $m_B=10M_\odot$이다.

10 (1) 예시 답안 이 쌍성계는 지구에 가까워지고 있다. 시선 속도 평균이 −20 km/s로 (−) 값을 가지므로 지구에 가까워지고 있다.

(2) A는 B보다 시선 속도 변화가 큰 것으로 보아 질량 중심에서 더 멀리 떨어져 공전하고 있는 별이다. 그러므로 A가 B를 가릴 때는 지구에 가장 가까이 위치한 때이고, 시선 속도가 (−)에서 (+)로 변하는 지점이다.



11 (1) 예시 답안 연주시차는 매우 작기 때문에 맨눈으로 관측하기가 어렵기 때문이다.
(2) 예시 답안 눈으로 별을 보던 시절에는 천체의 위치와 변화를 기록하여 천체의 운동을 파악하고 절기를 이해했다. 갈릴레이가 망원경으로 천체를 관측하면서 태양 중심설을 주장했고 우주에 대한 인류의 인식을 바꾸게 되었다. 이후 천체 관측은 망원경이 커지면서 더욱 많은 천체를 관측하게 되었다. 또한 망원경의 크기뿐만 아니라 여러 가지 성능을 갖추게 되는 등 관측 기술이 발달하면서 더 많은 천체 및 우주 탐사가 가능해졌고, 이는 천문학의 발달에 크게 기여했다.

III 은하와 우주

? 물음

81 쪽 | 산개 성단은 구상 성단에 비해 별의 개수가 적지만, 전체 별 중 주계열성이 차지하는 비율이 높고 별의 평균 색지수가 작다.

93 쪽 | 10.5 등급

스스로 확인하기

87 쪽 | 1. 세페이드 변광성은 주기 광도 관계가 성립하므로 주기를 측정하면 절대 등급을 구할 수 있다. 따라서 세페이드 변광성의 겉보기 등급을 관측하면 거리지수를 알 수 있으므로 거리를 구할 수 있다.
2. 우리은하에 속한 구상 성단의 분포 중심을 우리은하의 중심이라고 할 수 있다. 구상 성단 분포를 관측한 결과, 우리은하의 중심은 태양으로부터 약 8.5 kpc 떨어진 은하 원반에 위치한다.
3. 예시 답안 구상 성단은 은하 중심부 부근에 많이 분포하는데 우리은하의 중심이 궁수자리 부근에 위치하기 때문이다.

93 쪽 | 1. 별빛이 성간 티끌을 통과할 때 성간 소광 현상이 일어난다. 따라서 성운 영역과 성운 밖 영역에서 관측되는 별의 개수를 비교하면 성운 내부에 성간 소광을 일으키는 성간 티끌이 존재함을 추론할 수 있다.
2. 성간 적색화는 주로 성간 티끌에 의해 빛의 흡수와 산란이 일어날 때 나타난다. 성간 기체는 성간 티끌과 비교했을 때 상대적으로 성간 적색화에 미치는 영향이 매우 적다.
3. 예시 답안 반사 성운은 온도가 높아서 빛을 방출하는 것이 아니라 파장이 짧은 파란색 별빛을 주로 산란시켜 파랗게 보이는 것이다. 따라서 온도가 높아 스스로 붉은색 빛을 내보내는 방출 성운보다 온도가 훨씬 낮다.

97 쪽 | 1. 은하 원반을 따라 모든 시선 방향에 대해 21 cm 수소선 관측을 해 보면 은하 원반에 나선팔 구조가 존재한다는 사실을 확인할 수 있다.
2. 태양의 공전 궤도 바깥쪽에 많은 양의 암흑 물질이 존재하고 있기 때문이다.
3. 예시 답안 질량이 큰 물체는 중력에 의해 주변 공간을 굽어지게 만든다. 이때 빛은 굽은 공간을 따라 직진하기 때문에 휘어지는 것처럼 보이므로 중력 렌즈 현상이 나타난다.

100 쪽 | 1. 분광 관측을 통해 은하가 방출하는 빛의 적색 편이에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이로부터 은하까지의 거리를 알 수 있고, 빛이 지구에 도달하는 데 걸리는 시간을 고려해 보면 과거 우주의 모습도 파악할 수 있다
2. 전천 탐사를 통해 은하들이 균일하게 분포하고 있는 것이 아니라 크고 작은 집단을 이루고 있으며, 은하 집단들이 실 모양으로 연결되어 더 거대한 구조를 형성하고 있다는 것이 확인되었다.
3. 예시 답안 상대적으로 좁은 영역에서는 은하 분포의 등방성과 균질성이 성립하지 않는 것처럼 보이지만, 훨씬 큰 규모의 영역에서는 은하 분포가 매우 균질하며 등방적임을 알 수 있다.

104 쪽 | 1. 우리은하는 국부 은하군에 속하고 국부 은하군은 처녀자리 초은하단(라니아케아 초은하단)에 속한다.
2. 초기 우주에서는 암흑 물질에 의한 중력이 우세한 곳에서 별과 은하들이 활발하게 생성되었고, 이후 시간이 흐름에 따라 우주거대구조가 형성되었다.
3. 예시 답안 국부 은하군에 속한 은하들 사이에는 우주 팽창보다는 서로의 중력에 의한 영향이 훨씬 우세하게 작용한다. 따라서 허블-르메트르 법칙을 적용하기 어렵다.

대단원 마무리

108 쪽~111 쪽

① 표면 온도 ② 전향점 ③ 거리지수 ④ 거리
⑤ 구상 성단 ⑥ 수소 ⑦ 성간 적색화
⑧ 21 cm 수소선 ⑨ 암흑 물질
⑩ 우주거대구조 ⑪ 은하단 ⑫ 은하 장성

01 ① **02** ④ **03** ① **04** ⑤
05 ㄱ, ㄴ **06** ② **07** ③ **08** ③
09 ㄱ, ㄷ **10** ㄱ, ㄴ, ㄷ **11** 해설 참조
12 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조
13 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

01 (가)는 구상 성단, (나)는 산개 성단의 C-M도이다. 주계열성의 비율은 (가)가 (나)보다 적다. 색지수가 같은 주계열성의 겉보기 등급은 (가)가 (나)보다 크므로 성단까지의 거리는 (가)가 (나)보다 멀다.

02 (가)에서 A의 변광 주기는 약 5.5 일이다. (나)에서 변광 주기가 5.5 일인 세페이드 변광성의 절대 등급은 −3에서 −4 사이이다. 또, (가)로부터 변광성의 평균 겉보기 등급은 약 +4.0이므로 거리지수는 5보다 크다.

03 ㉠은 은하 중심부와 헤일로에 주로 분포하는 구상 성단이다. 태양은 은하 중심(B 부근)에 위치하지 않으므로 A에 위치한다. 구상 성단 ㉠은 우리은하의 중심인 B 부근을 중심으로 우리은하를 회전하고 있다.

04 성간 물질은 성간 기체와 성간 티끌로 이루어져 있으며, 성간 기체가 차지하는 질량비는 약 99 %이다. 성간 티끌은 자외선을 잘 흡수하거나 산란시키고, 온도가 낮아 적외선 복사 에너지를 방출한다.

05 ㉠은 주로 성간 소광을 일으키는 성간 티끌이다. A 방향에서는 별빛이 실제보다 붉게 보이는 성간 적색화 현상이 관측되고, B 방향에서는 산란된 빛에 의해 반사 성운이 관측될 수 있다.

06 (가)는 21 cm 전파로 관측한 영상이고, (나)는 가시광선으로 관측한 영상이다. 주로 나선팔에 많이 분포하는 중성 수소는 (가)에서 확인할 수 있다. 고온의 천체는 (가)보다 파장이 짧은 (나)에서 잘 나타난다.

07 은하 중심부에서 거리에 따라 회전 속도가 증가하는 강체 회전 영역은 은하 A가 B보다 넓다. 헤일로 영역에 존재하는 암흑 물질의 양은 중심에서 멀어지더라도 회전 속도가 감소하지 않는 은하 B가 A보다 많다. 우리은하는 은하 중심에서 멀어지더라도 회전 속도가 감소하지 않으므로 은하 A보다 B의 회전 곡선이 우리은하와 유사하다.

08 적색 편이는 A가 B보다 작으므로 은하까지의 거리는 A가 B보다 가깝다. 우주 공간에서 은하가 차지하는 부피보다 거대 공동이 차지하는 부피가 훨씬 크다. 이 자료로부터 우주거대구조(거대 공동, 필라멘트, 은하 장성 등)를 확인할 수 있다.

09 우리은하는 국부 은하군에 속하며, 국부 은하군과 처녀자리은하단은 처녀자리초은하단에 속한다. 초은하단에 속한 은하단들은 중력에 의한 영향보다 우주 팽창에 의한 영향이 더 우세하므로 서로로부터 멀어지고 있다.

10 은하들은 실 모양의 필라멘트를 형성하며 필라멘트가 만나는 지점에 큰 규모의 초은하단이 형성된다. 한편 필라멘트 사이에는 은하들이 거의 없는 거대 공동이 있다. 현재 관측되는 우주거대구조는 암흑 물질의 분포와 관련이 큰 것으로 추정하고 있다.

11 예시 답안 전향점은 성단의 주계열성 중에서 주계열 단계를 벗어나기 시작하는 지점을 말하며, 전향점에 위치한 별의 색지수가 작을수록 성단의 나이가 젊다. 따라서 성단 (가)~(라)의 나이는 (라) > (다) > (나) > (가)이다.

12 (1) 예시 답안 태양과 수소운 A, B, C는 케플러 회전을 하므로 태양에서 관측할 때 A와 B는 멀어지고, C는 가까워진다. 이때 A는 B보다 더 빨리 멀어진다. 따라서 시선 속도가 (−)인 ㉠은 C이고, 시선 속도가 가장 큰 ㉢은 A이며, ㉡은 B이다.
(2) 예시 답안 수소운 A, B, C의 복사 세기를 비교하면 C(㉠)에서 가장 강하다. 따라서 수소운의 밀도는 C에서 가장 크다.

13 (1) 예시 답안 새로운 별은 성간 물질이 중력 수축하여 형성된다. 따라서 별은 성간 물질이 많이 분포하는 은하 원반의 나선팔 영역에서 가장 활발하게 탄생한다.
(2) 예시 답안 성간 물질에 의한 성간 소광이 일어나기 때문에 짧은 파장 영역에서 관측하면 은하 원반의 나선팔 구조를 확인하기 어렵다. 따라서 파장이 긴 전파 영역(21 cm 파 관측 또는 CO 분자선 관측)에서 관측할 때 나선팔 구조를 확인하기 쉽다.

찾아보기

ㄱ

거대 공동(보이드) 99, 104
거리지수 55
고유 유동 58
공간 속도 59
공간 운동 59
광구 48
구상 성단 81
국부 은하군 101

ㄴ

나선팔 구조 94

ㄹ

라니아케아 초은하단 102

ㅁ

맥동 변광성 67, 68
면적 속도 일정 법칙 24
미세 중력 렌즈 현상 35

ㅂ

변광성 67
분광 쌍성 63

ㅅ

산개 성단 81
색지수 80
생명 가능 지대 36
성간 기체 90
성간 물질 90
성간 소광 91
성간 적색화 92
성간 티끌 90
세페이드 변광성 68, 84
소행성 13, 30
슬로운 전천 탐사(SDSS) 99
시선 속도 58
식쌍성 63
쌀알 무늬 48
쌍성 62
CfA 적색 편이 탐사 99
C-M도 81

ㅇ

안시 쌍성 62
암흑 물질 97
HI 영역 90
HII 영역 90
연주시차 54
왜소 행성 30
외계 행성계 34
우리은하의 구조와 규모 85
우리은하의 회전 속도 96
우주 쓰레기 20
우주 탐사선 10
우주거대구조 103
운석 30
유성 30
유성체 30
은하 장성 99
은하군 101
은하단 101
21 cm 수소선 94

ㅈ

적색 편이 탐사 99
전천 탐사 98
전향점 82
접선 속도 58
조화 법칙 24
주계열 맞추기 82
중력 렌즈 현상 35, 97
질량 광도 관계 66

ㅊ

차등 자전 52
채층 52
처녀자리 은하단 101

ㅋ

케플러 제1법칙 23
케플러 제2법칙 24
케플러 제3법칙 24
코로나 52

ㅌ

타원 궤도 법칙 23
태양계 소천체 30
태양계 탐사선 11
태양풍 16
2dF 적색 편이 탐사 99

ㅍ

폭발 변광성 67, 69
플레어 16, 53
필라멘트 104

ㅎ

혜성 13, 30
홍염 52
흑점 48

자료 출처

I 우주 탐사와 행성계

- 6 쪽(뉴허라이즌스 상상도), 7 쪽(태양계 천체), 10 쪽(제임스 웹 우주 망원경), 11 쪽(뉴허라이즌스 상상도, 퍼서비어런스 상상도), 12 쪽(화성 탐사 프로젝트), 13 쪽(화성 표면, 이오, 엔켈라두스), 15 쪽(허블 우주 망원경(HST)), 16 쪽(플레어), 20 쪽(근지구 소행성의 수), 22 쪽(1 월과 7 월 태양의 겉보기 크기, 태양계 행성), 23 쪽(태양계 행성의 궤도 긴반지름과 궤도 이심률), 26 쪽(태양계 천체 자료), 27 쪽(태양계 행성의 화합 주기와 공전 주기), 28 쪽(태양계 행성), 30 쪽(아이다, 세레스, 명왕성, 혜성, 유성), 31 쪽(화성, 세레스, 베누, 67P의 표면), 38 쪽(유로파의 표면), 43 쪽(주노, 제임스 웹 우주 망원경), 44 쪽(67P의 핵), 45 쪽(보이저 2호 이동 경로): 미국항공우주국(NASA)
- 14 쪽(다누리): 과학기술정보통신부
- 8 쪽(태양계), 10 쪽(거대 마젤란 망원경 상상도), 14 쪽 (나로우주센터, 지구와 달), 16 쪽(오로라), 21 쪽(우주 쓰레기), 33 쪽(콘드라이트, 태양계 초기 상상도): 게티이미지코리아
- 11 쪽(하야부사 1호), 13 쪽(류구 시료), 43 쪽(류구 표면): 일본우주항공연구개발기구(JAXA)
- 17 쪽(태양 활동 감시 정보): 우주환경연구센터
- 17 쪽(태블릿), 25 쪽(종이): 셔터스톡
- 18 쪽(3 일 예보, 우주 환경 경보 등급): 우주환경센터
- 19 쪽(궤도 진입에 실패한 인공위성): 카리브천문학회(SAC)
- 20 쪽(우주 쓰레기의 유형별 개수), 39 쪽(우주 기상): 유럽우주기구(ESA)
- 20 쪽(소행성 크기에 따른 충돌 위력과 빈도): 미국국가과학기술위원회
- 28 쪽(금성의 위상 변화), 40 쪽(화성 테라포밍 계획): 위키미디어 커먼즈
- 30 쪽(운석), 39 쪽(우주환경센터), 40 쪽(모의 화성 기지): 연합뉴스
- 34 쪽(직접 촬영한 외계 행성계): 유럽남반구천문대(ESO)
- 36 쪽(현재까지 발견된 외계 행성의 궤도 긴반지름과 질량): https://exoplanet.eu/catalog
- 36 쪽(H-R도): B. W. Carroll 외, 강영운 외 역, 《현대 천체 물리학》2판, 청범출판사, 2009.

II 태양과 별의 관측

- 7 쪽(광구), 48 쪽(광구), 51 쪽(흑점의 이동 모습 예시), 53 쪽(가시광선 영상, 자외선 영상, X선 영상): https://sdo.gsfc.nasa.gov
- 46 쪽(제미니천문대), 52 쪽(채층), 71 쪽(아인슈타인): 게티이미지코리아
- 48 쪽(고구려 고분 벽화): 뉴스뱅크
- 48 쪽(쌀알 무늬와 흑점): Big Bear Solar Observatory
- 49 쪽(태양 흑점 주기): 벨기에왕립천문대
- 49 쪽(흑점의 위도별 분포): 일본국립천문대
- 49 쪽(태양 활동에 따른 광구의 모습), 52 쪽(태양의 구조), 67 쪽(첫번째 광도 곡선), 68 쪽(안드로메다은하, 맥동 변광성 V1의 광도 곡선과 광도 변화 관측 자료), 68 쪽(미라, 광도 변화 관측 자료), 69 쪽(초신성 잔해), 70 쪽(초신성 1987A의 변화 모습), 72 쪽 (화성 탐사 상상도, 달 채굴 상상도): 미국항공우주국(NASA)
- 52 쪽(코로나), 70 쪽(Ia형 초신성 SN2002bo): 유럽남반구천문대(ESO)
- 56 쪽(우주 망원경 아이콘), 62 쪽(굴절 망원경), 71 쪽(관측하는 모습), 72 쪽(우주 배경 사진, 달과 로켓): 셔터스톡
- 56 쪽(A0형 별의 스펙트럼): https://astrojourney.wordpress.com/tag/obafgkm
- 57 쪽(가이아 위성 상상도), 70 쪽(초신성 1987A): 유럽우주기구(ESA)
- 62 쪽(알비레오): https://skyandtelescope.org/observing/will-the-real-albireo-please-stand-up
- 65 쪽(탐구 자료): G. Torres 외, 《Accurate masses and radii of normal stars: Modern results and applications》, Astronomy & Astrophysics, 2009.
- 66 쪽(질량 광도 관계 그래프), 69 쪽(폭발 변광성 광도 곡선): M. Zeilik 외, 유경로 외 역, 《천문학 및 천체물리학》4판, 센게이지러닝코리아(주), 2010.
- 67 쪽(두 번째 광도 곡선): 미국변광성관찰자협회(AAVSO)
- 68 쪽(미라 광도 곡선): 영국천문협회(BAA)
- 69 쪽(초신성 2008D): https://cerncourier.com/a/a-supernova-is-caught-in-the-act-of-exploding
- 70 쪽(Ia형 초신성 SN2002bo 그래프): S. Blondin 외, 《A one-dimensional Chandrasekhar-mass delayed-detonation model for the broad-lined Type Ia supernova 2002bo》, Royal astronomical society, 2015.
- 71 쪽(허블): 이미지코리아

자료 출처

III 은하와 우주

- 7 쪽(슬로운 전천 탐사 망원경), 100 쪽(슬로운 전천 탐사 망원경): https://skyserver.sdss.org/dr12/en/sdss/telescope/telescope.aspx
- 78 쪽(은하수와 전파 망원경), 98 쪽(은하 남극 부근의 은하 분포 지도): 유럽남반구천문대(ESO)
- 80 쪽(별의 표면 온도와 색지수), 84쪽 (세페이드 변광성 주기 광도 관계), 92 쪽(파장에 따른 성간 소광량 비교), 96 쪽(우리은하의 회전 속도 곡선), 97 쪽(우리은하와 외부 은하의 회전 속도 곡선): M. Zeilik 외, 유경로 외 역, 천문학 및 천체물리학》4판, 센게이지러닝코리아(주), 2010.
- 81 쪽(산개 성단, 구상 성단), 85 쪽(우리은하 위에서 본 모습), 90 쪽(솜브레로은하, HII 영역, 분자운), 92 쪽(반사 성운), 93 쪽(가시광선 영상, 적외선 영상), 94 쪽(21 cm 수소선 영상), 98 쪽(허블 딥 필드), 101 쪽(은하수, 안드로메다은하, 소마젤란은하, 대마젤란은하), 105 쪽(제임스 웹 우주 망원경과 연구원), 110 쪽(06번 (나)): 미국항공우주국(NASA)
- 81 쪽(히아데스성단 C-M도, M5 C-M도), 82 쪽(산개 성단의 전향점 비교): H. Karttunen 외, 강혜성 외 역, 《기본 천문학》6판, 시그마프레스, 2019.
- 82 쪽(주계열 맞추기): https://astro.unl.edu/naap/distance/cluster_fitting.html
- 83 쪽(탐구 자료): https://webda.physics.muni.cz/navigation.html
- 84 쪽(세페우스자리 델타별 광도 변화): http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Astro/cepheid.html
- 84 쪽(종족 I 세페이드 변광성의 주기 광도 관계): B. W. Carroll 외, 강영운 외 역, 《현대 천체물리학》2판, 청범출판사, 2009.
- 86 쪽(탐구 자료): https://physics.mcmaster.ca/~harris/mwgc.dat
- 91 쪽(성간 티끌 모형): http://www2.phy.ilstu.edu/~bkc/astronomy/ismnotes/ismglxya.htm
- 91 쪽(암흑 성운 BHR71): https://sites.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/young_stars.jpg
- 91 쪽(은하수), 92 쪽(태양): 게티이미지코리아
- 93 쪽(X선 영상): https://www.mpe.mpg.de/7461761/news20200619
- 95 쪽(나선팔 구조): https://cass.ucsd.edu/archive/physics/ph7/MW.html
- 96 쪽(우리은하의 질량 분포 비교): https://web.njit.edu/~gary/202/Lecture25.html
- 99 쪽(CfA 적색 편이 탐사 결과), 103 쪽(은하의 분포 자료), 104 쪽(시뮬레이션 은하 분포): J. Bennett 외, 김용기 외 역, 《우주의 본질》7판, 시그마프레스, 2015.
- 99 쪽(슬로운 전천 탐사와 2dF 적색 편이 탐사 결과 비교): V.J. Martnez 외, 《Reliability of the Detection of the Baryon Acoustic Peak》, The Astrophysical Journal, 2009.
- 102 쪽(우리은하가 속한 은하 집단): https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/Earth%27s_Location_in_the_Universe.jpg
- 105 쪽(유클리드 우주 망원경): 유럽우주기구(ESA)
- 106 쪽(영사기): 셔터스톡
- 106 쪽(영화 컨택트 장면): UPI 코리아
- 106 쪽(영화 마션 장면): 20 세기 폭스 코리아
- 106 쪽(영화 인터스텔라 장면): 워너브라더스 코리아
- 110 쪽(06번 (가)): F. Walter 외, 《THINGS: The HI near by galaxy survey》, The Astronomical Journal, 2008.

부록

- 116 쪽(화천조경철천문대): 게티이미지코리아
- 120 쪽(히아데스성단 자료): https://webda.physics.muni.cz/navigation.html
- 120 쪽(노트북): 셔터스톡

※ 집필진의 직접 집필인 경우 출처를 밝히지 않았음.
※ 출처 표시를 안 한 사진 및 삽화는 저작자 및 발행사에서 저작권을 가지고 있는 경우임.

URL 목록

- 11 쪽(화성 탐사 프로젝트 상황): https://science.nasa.gov/mission/mars-2020-perseverance/
- 19 쪽(항공 운항 경로에 따른 일별 우주 방사선 피폭량): https://kream.kasi.re.kr/dose_calculator.php
- 31 쪽(태양계 천체의 모습과 3차원 공간 분포): https://eyes.nasa.gov/apps/asteroids/#/home
- 39 쪽(우주전파예보관): https://www.career.go.kr/cnet/front/base/job/jobViewGb3.do?SEQ=3_B_B005_10016
- 53 쪽(다양한 파장 영역으로 관측한 태양 영상): https://sdo.gsfc.nasa.gov/data/dailymov.php
- 71 쪽(천체물리학자): https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2018/08/smd_apd_kr_tagged.pdf
- 105 쪽(항공우주공학자): https://www.career.go.kr/cnet/front/base/job/jobView.do?SEQ=151

연구 위원

김연귀(서울 혜원여자고등학교)* **문무현**(서울 장충고등학교)

* 대표 연구 위원

집필 위원

김연귀(서울 혜원여자고등학교)* **문무현**(서울 장충고등학교) **박창용**(서울 이화여자고등학교)
박재용(서울 서울교육대학교) **장유순**(충남 공주대학교) **최윤옥**(인천 부평여자고등학교)

* 대표 집필 위원

심의 기관

전북특별자치도교육청

심의 위원

개발 책임 하남규
편집 오진경 박윤경 정지현 심희연 주현하
디자인 책임 손현지
디자인 김기욱 장병진 원유희 땡큐마더
삽화 김일주 이진호 디자인앤 모먼트시리즈
사진 촬영 필름피아

교육부장관의 위임을 받아 전북특별자치도교육감이 2024년 0월 00일 인정 승인을 하였음.

고등학교 **행성우주과학**

초판 발행 2025. 3. 1. **정가** 원
지은이 김연귀 외 5인
발행인 ㈜미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)
인쇄인 ㈜미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)

이 교과서의 본문 용지는 우수 재활용 제품 인증을 받은 재활용 종이를 사용하였습니다.

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있으신 분은 교육부와 한국교과서연구재단이 운영하는 '교과서민원바로처리센터 (전화 1566-8572, www.textbook114.com 또는 www.교과서114.com)'에 문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상금은 문화체육관광부 장관이 정하는 기준에 의거 사단법인 한국문학예술저작권협회(전화 02-2608-2800, www.kolaa.kr)에서 저작재산권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의 ㈜미래엔 과학팀 전화 1800-8890 전송 02-541-8150
개별 구입 문의 mall.mirae-n.com(미래엔 도서몰) 전화 1800-8890