

와자

정답친해



행성우주과학

우주 탐사와 행성계

1 우주 탐사

01 / 우주 탐사

완자샘 비법 특강

13쪽

Q1 탐사 대상이나 탐사의 목적에 관련된 의미나 상징 등을 담아 이름을 붙인다.

Q1 탐사선의 이름은 탐사 대상의 특징이나 탐사의 의미를 반영하거나, 관련된 신화 속 인물이나 과학자의 이름 등에서 따오기도 한다.

개념 확인 문제

14쪽

① 금성 ② 퍼서비어런스 ③ 주노 ④ 하야부사 ⑤ 핵 ⑥ 우주 망원경 ⑦ 나로 우주 센터 ⑧ 나로호 ⑨ 다누리호

1 (1) ㉠ (2) ㉡ (3) ㉢ (4) ㉣ (5) ㉤ (6) ㉥ (7) ㉦ (8) ㉧ 2 나, ㄹ
3 (1) × (2) ○ (3) × (4) × 4 ㉦ 나로 우주 센터, ㉢ 나로호, ㉤ 누리호

- 1 (1) 주노는 목성 주위를 공전하면서 자기장의 분포 및 내부 구조를 조사하였다.
(2) 퍼서비어런스는 화성 표면에서 토양 표본 채취 및 생명체 흔적을 탐사하였다.
(3) 비너스 익스프레스는 금성 주위를 공전하면서 대기와 표면을 관측하였다.
(4) 뉴호라이즌스는 명왕성을 근접 통과하였다.
(5) 하야부사 2호는 소행성 류구의 표면에서 토양 시료를 채취하여 지구로 전달하였다.
(6) 메신저는 수성 주위를 공전하면서 수성 표면을 촬영하였다.
(7) 큐리오시티는 화성 표면에서 물이 흐른 흔적을 발견하였다.
(8) 카시니-하위헌스는 토성 주위를 공전하면서 토성의 고리, 대기 등에 대한 자료를 수집하였다.

2 ㄱ. 주노는 목성의 극궤도를 공전하면서 목성의 대기와 자기장 등을 관측하는 탐사선이다.
나. 큐리오시티는 화성 표면에서 물이 흐른 흔적을 발견하였다.

ㄴ. 로제타는 혜성에서 생명체의 구성 성분인 물, 인, 유기물을 발견하였다. 소행성 표면에서 토양 시료를 채취하여 지구로 전달한 탐사선으로는 하야부사 2호, 오시리스-렉스 등이 있다.

ㄷ. 다누리호는 우리나라 최초의 달 궤도 탐사선으로, 달 궤도 진입에 성공하여 달 표면을 관측하는 데 성공하였다.

- 3 (1) 근접 통과 방법은 탐사선이 천체를 가까이 접근 및 통과하며 관측하는 방법이다. 탐사선이 천체 주변을 공전하면서 탐사하는 방법은 궤도선이다.
(2) 큐리오시티는 천체 표면을 돌아다니며 관측하는 탐사차이므로 화성의 표면에서 이동할 수 있다.
(3) 스타더스트는 혜성의 코마에서 나오는 먼지를 채취하여 지구로 전달하였다.
(4) 엑스선이나 자외선은 지구 대기에 흡수 또는 산란되므로 지상에서의 우주 탐사에 이용할 수 없으며, 지상에서는 주로 가시광선, 전파 등으로 제한된다.

4 2009년 전라남도 고흥에는 대한민국 최초 우주 센터인 나로 우주 센터(㉦)가 완공되었다. 2013년에는 이곳에서 러시아와의 국제 협력으로 개발한 우리나라 최초의 우주 발사체인 나로호(㉢)를 발사하는 데 성공하였고, 2022년에는 우리나라 자체 기술로 개발한 한국형 발사체인 누리호(㉤)를 발사하는 데 성공하였다.

대표 자료 분석 1

15쪽

1 (가) 화성 (나) 화성 (다) 목성 (라) 토성 2 (라) 엔셀라두스 (마) 타이탄 3 (바) 4 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) × (7) ○ (8) ×

1 (가) 큐리오시티와 (나) 퍼서비어런스는 화성 표면을 돌아다니며 관측한 탐사차이고, (다) 주노는 목성 주위를, (라) 카시니는 토성 주위를 공전하는 궤도선이다.

2 (라) 카시니는 위성 엔셀라두스의 표면에서 물 분자가 분출하는 현상을 발견하였고, 카시니에서 분리된 (마) 하위헌스는 위성 타이탄의 표면에 최초로 착륙하여 대기 정보와 사진을 전송하였다.

3 (바) 하야부사 2호는 소행성 류구의 표면에서 토양 시료를 채취하여 지구로 전달하였다. (사) 로제타는 혜성에서 물, 인, 유기물 등이 존재함을 확인했으나 토양 샘플을 지구로 가져오지는 않았고, (아) 다누리호는 우리나라 최초의 달 탐사선이다.

- 4 (1) (가) 큐리오시티와 (나) 퍼서비어런스는 모두 화성 표면을 돌아다니며 관측한 탐사차이다.
- (2) (가) 큐리오시티는 화성 표면에서 물이 흐른 흔적을 발견하였다.
- (3) (다) 주노는 목성의 극궤도를 공전하면서 극지방 모습을 최초로 촬영하였다.
- (4) 토성의 위성 엔셀라두스의 표면에서 물 분자가 뿜어져 나오는 모습이 발견되었다.
- (5) 탐사선 뉴호라이즌스는 명왕성을 탐사하였으며, 명왕성은 소행성이나 혜성보다는 크지만 행성보다는 작은 왜소 행성으로 분류되어 있다.
- (6) (바) 하야부사 2호는 소행성 표면에서 토양 시료를 채취하여 지구로 전달하였다. 지구로 근접하는 소행성의 궤도 변경 가능성을 확인한 탐사선은 소행성 디디모스를 탐사한 다트이다.
- (7) (사) 로제타의 탐사 로봇이 혜성 추류모프-게라시멘코(67P)의 표면에 최초로 착륙하였다.
- (8) (아) 다누리호는 우리나라에서 개발한 최초의 달 탐사선이다.

내신 만점 문제

16쪽~18쪽

- 01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 퍼서비어런스 05 ①
 06 ⑤ 07 해설 참조 08 ③ 09 ③ 10 ⑤
 11 ④ 12 해설 참조 13 ② 14 ② 15 ⑤
 16 ① 17 ㄱ-ㄷ-ㄴ-ㄹ 18 ④

- 01 ① 보이저 2호는 목성, 토성, 천왕성, 해왕성을 차례로 가까이 접근 및 통과하며 관측하는 근접 통과 방식을 수행하였다.
- ② 궤도선은 천체 주변을 공전하며 관측하는 탐사선이다.
- ③ 탐사차는 천체 표면을 돌아다니며 관측하는 탐사선이다.
- ⑤ 착륙선은 천체 표면에 직접 착륙하여 관측하는 탐사선이다.
- (바로알기) ④ 탐사차는 다양한 장비를 활용하여 토양 샘플을 채취할 수 있다. 화성 탐사선 퍼서비어런스는 화성 표면에서 토양 표본 채취 활동을 수행하고 있다.

- 02 주노는 목성, 카시니-하위헌스는 토성, 로제타는 혜성 추류모프-게라시멘코(67P), 하야부사 2호는 소행성 류구를 탐사한 탐사선이다.

- 03 ㄱ. 탐사선 주노는 목성의 극궤도를 공전하면서 극지방 모습을 최초로 촬영하였다.
- ㄴ. (가)를 촬영한 탐사선 주노는 목성의 위성 이오와 유로파 등을 근접 촬영하였다.

(바로알기) ㄷ. (가)는 탐사선 주노가 목성 극지방에서 촬영한 대기의 소용돌이이며, (나)는 탐사선 큐리오시티가 화성 표면에서 발견한 물이 흐른 흔적이다. 목성은 대부분 기체로 이루어져 있어 물이 흐르지 못하며, 물이 흐른 흔적은 (나)에서만 발견된다.

- 04 'Mars 2020'에 포함된 장비로는 탐사차 퍼서비어런스와 소형 헬리콥터 인제뉴어터가 있다.

- 05 ㄱ. 'Mars 2020'은 미국항공우주국(NASA)의 화성 탐사 프로젝트이다.

(바로알기) ㄴ. 퍼서비어런스(㉠) 이전에도 소저너, 큐리오시티 등의 탐사차가 탐사를 수행하였다.

ㄷ. 토양 시료는 퍼서비어런스에 의해 채취되어 캡슐에 보관되었으나 샘플을 가져오기 위한 샘플 반환선은 아직 발사하지 못했다.

- 06 ㄱ. 탐사선 카시니는 토성의 위성인 엔셀라두스의 표면을 관측하였다.

ㄴ, ㄷ. 엔셀라두스는 표면이 얼음으로 덮여 있고 얼음의 틈으로 물 분자가 뿜어져 나오는 것으로 보아 얼음 아래에 액체 상태의 바다가 존재할 것으로 추정된다.

- 07 (모범 답안) 소행성이나 혜성은 태양계 형성 초기 존재했던 원시 물질로 만들어졌을 것으로 추정하고 있으며, 태양계의 형성과 생명체의 기원을 연구하는 데 중요한 자료를 제공할 것으로 기대하고 있다.

채점 기준	배점
소행성이나 혜성이 태양계 형성 당시 만들어진 물질인 것을 옳게 서술한 경우	100 %
소행성이나 혜성이 태양계 형성과 관련된 물질이라고만 서술한 경우	50 %

- 08 ㄱ. 탐사선 뉴호라이즌스는 명왕성을 탐사하였으며, 명왕성은 소행성이나 혜성보다는 크지만 행성보다는 작은 왜소 행성으로 분류된다.

ㄴ. 뉴호라이즌스가 명왕성을 탐사하기 전까지 인류가 방문한 가장 멀리 있는 천체는 보이저 2호가 근접 통과한 해왕성으로, 명왕성은 태양으로부터의 평균 거리가 해왕성보다 멀다.

(바로알기) ㄷ. 뉴호라이즌스는 명왕성을 근접 통과하며 천체를 촬영하였다.

- 09 카시니에서 분리된 (가) 하위헌스는 토성의 위성 타이탄 표면에 최초로 착륙하였고, 소행성 디디모스의 탐사선 (나) 다트는 위성의 궤도를 바꾸는 데 성공하여 지구로 근접하는 소행성의 궤도 변경 가능성을 확인하였다.

10 나. 화성은 큐리오시티, 퍼서비어런스 등의 탐사차가 착륙하여 유기물의 존재를 확인하였다.

ㄷ. 탐사선 하야부사 2호는 소행성 류구의 토양 샘플을 채취하여 지구로 전달하였으며, 그 성분을 분석한 결과 각종 아미노산과 RNA 구성 물질 등의 유기물이 존재함을 확인하였다.

ㄹ. 탐사선 로제타는 혜성 추류모프-게라시멘코(67P)에서 생명체의 주요 구성 성분인 물, 인, 유기물이 존재함을 확인하였다.

바로알기 ㄱ. 금성 표면은 두꺼운 이산화 탄소 대기로 덮여 있고, 지표면의 온도와 기압이 매우 높아 금성 표면을 구성하는 물질에 대한 자세한 연구는 아직 수행하지 못했다.

11 ④ 스타더스트는 혜성의 코마에서 나오는 혜성 먼지와 우주 먼지를 채취하여 지구로 전달하였다.

바로알기 ① 루시는 트로이 소행성군을 탐사하여 소행성의 구성 물질과 크기 등을 조사하는 임무를 가지고 발사되었다.

② 지오토는 헬리혜성에 접근하여 혜성의 핵을 최초로 촬영하였다.

③ 메신저는 수성 주위를 공전하면서 수성 표면의 지도를 완성하였다.

⑤ 오시리스-렉스는 소행성 베누의 토양 샘플을 지구로 전달하였다.

12 우주 망원경은 인공위성처럼 지구 대기권 밖 우주 공간에서 천체를 관측한다.

모범 답안 대기의 방해를 받지 않고 다양한 파장에서 천체를 관측할 수 있다. 대기의 방해를 받지 않고 천체를 좀 더 선명하게 관측할 수 있다. 낮과 밤에 관계없이 관측할 수 있다. 날씨의 영향을 받지 않고 관측할 수 있다.

채점 기준	배점
두 가지를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

[13~14] ———— 푼김 문제 분석



13 일부 파장의 전자기파는 지구 대기에 흡수되거나 산란되므로, 지상에서 관측할 수 있는 전자기파는 가시광선, 전파 등으로 제한된다.

14 ㄷ. 자외선이나 엑스선은 지구의 대기로 인해 지상에 도달하지 못하므로, 이를 관측하려면 지구 대기권 밖에 우주 망원경을 설치해야 한다.

바로알기 ㄱ. 가시광선과 전파 영역은 지구 대기를 잘 통과하므로 지상에서는 가시광선을 이용한 광학 망원경, 전파를 이용한 전파 망원경이 주로 사용된다.

나. 전자기파의 대기 투과 정도는 파장에 따라 다르지만, 파장이 짧을수록 항상 잘 통과하는 것은 아니다. 가시광선과 일부 전파는 대기를 잘 통과하지만, 파장이 더 짧은 자외선과 엑스선 등은 대부분 대기에 흡수된다.

15 ① 전라남도 고흥군에 발사장인 ‘나로 우주 센터’가 2009년에 완공되었다.

② 1992년에 우리나라 최초의 인공위성인 우리별 1호를 발사하였다.

③ 우리나라의 달 탐사선인 다누리호는 2022년에 달 궤도 진입에 성공하였다.

④ 2022년에 우리나라 자체 기술로 개발한 한국형 발사체인 누리호를 발사하는 데 성공하였다.

바로알기 ⑤ 나로호와 누리호는 발사체이지만, 다누리호는 달 탐사선이다.

16 ㄱ. 누리호는 대한민국 최초 우주 센터인 나로 우주 센터에서 발사되었다.

바로알기 나. 달 궤도 진입에 성공한 탐사선은 다누리호이다.

ㄷ. 누리호는 우리나라 자체 기술로 개발한 첫 발사체이며, 이에 앞서 개발된 나로호는 러시아와의 국제 협력으로 개발되었다.

17 1992년에 우리나라 최초의 인공위성인 우리별 1호가 발사(ㄱ)되었고, 2009년에 대한민국 최초 우주 센터인 나로 우주 센터가 완공(ㄷ)되었다. 2013년에는 우리나라 최초의 우주 발사체인 나로호 발사에 성공(나)하였고, 2022년에는 우리나라 최초의 달 궤도 탐사선인 다누리호가 달 궤도 진입에 성공(ㄹ)하였다.

18 ㄱ. 다누리호는 우리나라에서 개발한 최초의 달 궤도 탐사선이다.

ㄷ. 다누리호는 달의 표면을 촬영해 아르테미스 탐사선이 착륙하기 적합한 지역을 탐색하는 데 도움을 주고 있다.

바로알기 나. 다누리호는 달 주위를 공전하는 달 궤도 탐사선이다.

실력 UP 문제

19쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ⑤ 04 ④

01 가, 나. 큐리오시티는 2012년에 화성에 착륙한 탐사차이고, 퍼서비어런스 2021년에 화성에 착륙한 탐사차이다.

다. (가)는 진흙 속 물이 증발하면서 수축에 의해 갈라진 구조이고, (나)는 암석들이 물에 의해 운반되면서 둥글고 매끄러운 표면을 갖게 된 모습이다. 따라서 (가)와 (나)는 모두 화성에 물이 존재했었다는 증거로 활용될 수 있다.

02 다. 하위헌스가 위성 타이탄을 탐사한 결과 액체 상태의 메테인 바다와 유기 화합물의 존재를 확인하였다.

바로알기 가, 나. 탐사선 카시니에서 분리된 하위헌스가 토성의 위성 타이탄 표면에 최초로 착륙하여 대기 정보와 사진을 전송하였다.

03 가. 탐사선 하야부사 2호는 소행성 류구를, 오시리스-렉스는 소행성 베누를 탐사하였다.

나, 다. (가)와 (나)의 탐사선은 모두 소행성 표면에서 토양 시료를 채취하여 지구로 전달하였고, 모두 소행성 표면에서 각종 아미노산, RNA 구성 물질 등 유기물이 존재함을 확인하였다.

04 품평 문제 분석

구분	다누리호(A)	나로호(B)	누리호(C)
임무	달 탐사선	발사체	발사체
발사 시기	2022년	2013년	2022년
발사 장소	미국	한국(나로 우주 센터)	한국(나로 우주 센터)
기술	자체 기술	러시아와 협력	자체 기술

나. 다누리호(A)는 2022년, 나로호(B)는 2013년, 누리호(C)는 2022년에 발사 성공하였다.

다. 누리호(C)는 우리나라 자체 기술로 개발한 한국형 발사체로, 1톤 이상의 실용급 위성체를 지구 궤도에 올리는 데 성공하였다.

바로알기 가. 우리나라 최초의 인공위성은 우리별 1호이다.

02 태양 활동과 우주 물체 감시

개념 확인 문제

22쪽

- ① 태양풍 ② 증가 ③ 지구 자기권 ④ 밴앨런대 ⑤ 엑스선 복사 ⑥ 고에너지 입자 ⑦ 지구 자기장 교란

- 1 (1) × (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ 2 ㉠ 흑점, ㉡ 플레어, ㉢ 전리층 3 ㉠ 우주 기상, ㉡ 지구 자기장 교란(G), ㉢ 전자기파, ㉣ 클 4 가, 나, 르

1 (1) 태양풍은 태양으로부터 우주 공간으로 나가는 전자, 양성자 등의 대전 입자의 흐름이다.

(2) 태양 활동이 활발해지면 태양 흑점 수가 증가한다.

(3) 지구 자기권은 대기권보다 훨씬 높은 고도까지 분포한다.

(4) 밴앨런대에 붙잡힌 태양풍 입자는 지구 자기장을 따라 남극과 북극 부근으로 나뉘어 이동한다.

(5) 강한 태양풍은 지구를 둘러싸고 있는 자기장과 상호작용하며 지구 자기권을 변형시킬 수 있다.

2 태양 활동이 활발해지면 태양 흑점 수가 증가하고 플레어가 발생하며, 무선 통신에 중요한 역할을 하는 전리층의 전자 밀도를 변화시켜 각종 통신 장애를 일으킨다.

3 전자기파는 빛의 속도로 이동하여 지구에 가장 먼저 도달하고, 수 시간에서 수일 후에는 고에너지 대전 입자가 도달한 후 뒤이어 지구 자기장의 교란이 나타난다. 우주 기상(RSG) 지수는 숫자가 클수록 피해가 크며, 우리나라를 비롯하여 우주 기상을 예보·경보하는 나라들은 모두 이 지수를 사용하고 있다.

4 가, 나, 르. 태양 활동이 활발해지면 지상에 전류를 발생시켜 전력망의 전송 체계가 훼손되며, 고에너지 입자의 유입이 증가하면서 인공위성이 고장 또는 훼손될 수 있다. 또한 전리층 교란이 발생하면서 위치 정보 시스템(GPS) 신호 이상이 생길 수 있다.

다. 태양 활동이 활발해지면 북극에는 평소보다 많은 대전 입자가 도달하므로, 북극 항로로 운항하던 항공기들은 북극을 피해 다른 지역으로 우회해야 한다.

개념 확인 문제

25쪽

- ① 우주 물체 ② 자연 ③ 인공 ④ 광학 ⑤ 레이더 ⑥ 추적 ⑦ 식별 ⑧ 소천체 ⑨ 우주 쓰레기 ⑩ 인공위성

- 1 (1) ㉠ ㉡ (2) ㉠ (3) ㉠ (4) ㉡ 2 ㉠ 중력, ㉡ 1.3 3 다, 르, 모 4 ㉠ 빨라, ㉡ 느리게, ㉢ 낮추고 5 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) ×

1 우주 물체 감시 과정은 감시 장비로 우주 물체의 존재를 확인하는 탐지 → 우주 물체의 이동 경로를 파악하는 추적 → 우주 물체의 종류, 크기, 형태 등을 파악하는 식별 → 확인된 우주 물체의 이름, 번호, 궤도 요소 등의 정보를 저장하는 목록화의 순으로 수행된다.

2 소행성, 혜성과 같은 소천체들은 대체로 고유 궤도를 공전하고 있지만, 지구 근처를 지나면 지구의 중력에 이끌려 지구와 충돌할 위험이 있다. 따라서 여러 국가에서는 근일점 거리가 1.3 AU보다 가까운 근지구 소행성을 찾고 이를 감시하는 기관을 운영하고 있다.

3 우주 쓰레기는 우주 공간에 떠다니는 인공 우주 물체이다.
 ㄱ. 소행성이나 혜성과 같은 자연 우주 물체는 우주 쓰레기로 분류하지 않는다.
 ㄴ. 임무 수행이 끝난 채 지구 주위를 돌고 있는 인공위성은 우주 쓰레기로 분류하지만, 임무 수행 중인 인공위성은 우주 쓰레기가 아니다.

4 우주 쓰레기는 크기가 작아도 속도가 매우 빨라 충돌 시 큰 피해를 줄 수 있다. 따라서 우주 쓰레기의 공전 속도를 감소시켜 고도를 낮춘 뒤, 대기와의 마찰로 소멸되도록 유도하는 제거 방법이 있다.

5 (1) 소행성, 혜성 등은 우주 공간에서 자연적으로 만들어진 자연 우주 물체이며, 인공 우주 물체는 인간이 만들어 우주 공간으로 쏘아 올린 물체로 인공위성, 우주 쓰레기 등이 있다.
 (2) 소행성은 대체로 고유 궤도를 공전하고 있지만, 지구 근처를 지나면 지구의 중력에 이끌려 지구와 충돌할 위험이 있다. 따라서 우리나라를 포함한 여러 국가에서는 근지구 소행성을 찾고 이를 감시하는 기관을 운영하고 있다.
 (3) 2022년 미국에서 쏘아올린 탐사선 닥트는 소행성 디디모스의 위성 디모르포스에 우주선을 충돌시켜 소행성의 궤도를 바꾸는데 성공하였다.
 (4) 지구 위협 천체는 근지구 천체 중 지구 최접근 거리가 0.05 AU 이내이고, 지름이 약 140 m보다 큰 천체를 말한다.
 (5) 우주 산업에 참여한 민간 기업들은 많은 소형 위성을 발사하고 있으므로 우주 쓰레기의 양은 점점 늘어날 것으로 예상된다.

대표자료분석 1

26쪽

1 플레이어 **2** ㉠ 전자기파, ㉡ 태양풍 **3** (1) 엑스선 복사 (2) 지구 자기장 교란 (3) 길게 **4** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ○

1 그림과 같이 흑점 부근에서 발생하는 강력한 폭발 현상을 플레어라고 한다.

2 우주 기상 지수로는 태양 활동이 활발해져 전자기파(㉠)가 대량으로 방출되는 엑스선 복사(R), 지구로 유입되는 대전 입자의 양이 증가하는 고에너지 입자(S), 태양풍(㉡)이 강해지면서 지구 자기장이 교란되는 지구 자기장 교란(G)이 있다.

3 (1), (2) 태양 활동이 활발해져 흑점 부근에서 폭발이 발생하면 전자기파가 대량으로 방출되는데, 전자기파는 빛의 속도로 이동하여 지구에 가장 먼저 도달한다. 수 시간에서 수일 후에는 고에너지 대전 입자가 도달한 후 뒤이어 지구 자기장의 교란이 나타난다.
 (3) 지구 자기장의 모양은 태양 방향은 태양풍에 밀려 납작하고, 태양 반대 방향은 길게 늘어난 모양이다.

4 (1) 태양풍은 전자나 양성자 등의 대전 입자의 흐름이다.
 (2) 태양 활동이 활발해지면 자기장이 태양 내부에서 상승하는 대전 입자의 흐름을 더욱 방해하므로, 주변보다 온도가 낮은 흑점이 더 많이 형성되어 흑점 수가 증가한다.
 (3) 태양 활동이 활발해지면 고에너지의 전자기파와 태양풍의 방출이 강해진다.
 (4) 태양풍을 구성하는 대전 입자들은 지구 자기력선을 따라 남극과 북극 부근으로 나뉘어 이동한다.
 (5) 태양풍이 심해질 경우 북극에는 평소보다 많은 대전 입자가 도달하므로, 북극 항로의 운항이 어려워진다.
 (6) 고에너지 입자의 유입이 증가하면 인공위성이 고장 또는 훼손되며, 우주 방사선 유입이 증가하여 비행 시 위험성이 증가할 것이다.
 (7) 태양풍 입자에 의해 지구 자기장이 교란되면 지상에 전류를 발생시켜 송전 시설의 장애를 가져올 수 있다.

나신만점문제

27쪽~29쪽

01 ③ **02** ① **03** ⑤ **04** (가)–㉠, (나)–㉡, (다)–㉠
05 ④ **06** 해설 참조 **07** ① **08** ②
09 해설 참조 **10** ④ **11** ⑤
12 (다)–(가)–(라)–(나) **13** ② **14** ④ **15** ②
16 ①

01 ㄱ. 태양에서는 평소 고에너지 전자기파나 태양풍이 방출된다.
 ㄴ. 맨델린대에 붙잡힌 태양풍 입자는 남극과 북극 부근으로 나뉘어 이동하고, 열권에서 대기 입자와 충돌하면서 오로라를 만들기도 한다.

바로알기 ㄴ. 밴앨런대는 지구 자기권의 가장 안쪽에 위치한 영역으로 지구 자기권의 전체 영역보다 분포 영역이 좁다.

02 태양 활동이 활발해지면 태양의 흑점 주변에서 발생하는 강력한 폭발 현상인 플레어가 발생한다.

② 태양 활동이 활발해지면 대전된 입자인 태양풍의 방출이 강해진다.

③ 태양풍이 지구를 둘러싸고 있는 자기장과 상호작용하며 지구 자기권을 변형시킬 수 있다.

④ 밴앨런대에 붙잡힌 태양풍 입자는 남극과 북극 부근으로 나뉘어 이동하고, 열권에서 대기 입자와 충돌하면서 오로라를 만들기도 한다. 태양 활동이 활발해지면 오로라가 강화된다.

⑤ 태양풍의 대전 입자는 인공위성과 같은 전자 장비에 이상 전류를 발생시켜 장애를 유발할 수 있다.

바로알기 ① 흑점은 태양 표면에서 주위보다 온도가 낮은 영역이다. 흑점의 온도가 낮은 까닭은 태양에서 형성된 강한 자기장이 태양 내부의 물질 흐름을 방해하기 때문인데, 태양 활동이 활발해지면 태양 내부의 자기장 세기가 강해져 태양 내부의 물질 흐름을 더욱 방해하므로 흑점 수가 증가한다.

03 ① 우주 공간의 물리적 상태를 우주 기상이라고 하며, 태양 활동 감시 시스템은 우주 기상을 감시한다.

② 우주 기상을 파악하기 위해 인공위성이나 지상의 관측 장비를 활용하고 있다.

③ 태양 활동 감시 시스템은 태양에서 방출되는 고에너지 전자기파와 태양풍 입자를 관측하여 태양 활동 변화를 감시한다.

④ 태양 활동 감시 시스템은 우주 기상 현상을 예측하는 데 활용되므로, 이를 바탕으로 항공기의 항로 변경을 결정하는 데 활용될 수 있다.

바로알기 ⑤ 전자기파는 빛의 속도로 이동하여 지구에 가장 먼저 도달하고, 수 시간에서 수일 후에는 고에너지 대전 입자가 도달한다.

[04~05] — 품점 문제 분석

- (가) R(엑스선 복사): 태양에서 방출되는 전자기파(엑스선)의 세기를 나타내는 지수 ➡ 48시간 전 강한 엑스선이 방출되었고, 점점 세기가 줄어들었다.
- (나) S(고에너지 입자): 지구로 유입되는 고에너지 입자의 양을 측정하여 그 세기를 나타내는 지수 ➡ 24시간 전 대전 입자의 세기가 강하게 감지되었으며 현재는 줄어들고 있는 추세이다.
- (다) G(지구 자기장 교란): 지구 자기장이 교란되는 정도를 나타내는 지수 ➡ 48시간 전부터 위험도가 점점 커지고 있다.

04 (가) R(Radio blackout)은 태양에서 방출되는 고에너지 전자기파의 세기를 나타내는 지수(㉠)이고, (나) S(Solar radiation storm)는 지구로 유입되는 고에너지 입자의 양을 측정하여 그 세기를 나타낸 지수(㉡)이며, (다) G(Geomagnetic storm)는 지구 자기장이 교란되는 정도를 나타내는 지수(㉢)이다.

05 태양 활동 감시 시스템에서는 태양 활동으로 인한 우주 환경 변화의 정도를 0등급에서 5등급으로 구분(국내 기준)하여 수치로 나타냈으며, 숫자가 클수록 피해가 크다.

ㄴ. 엑스선의 세기는 R 등급을 통해 알 수 있으며, 48시간 전부터 현재까지 숫자가 점점 작아지고 있으므로 지구에 감지되는 엑스선의 세기는 현재가 가장 약하다.

ㄷ. 지구 자기장이 교란되는 정도는 G 등급을 통해 알 수 있으며, 48시간 전부터 현재까지 숫자가 점점 커지고 있으므로 지구 자기장이 교란되는 정도는 점점 강해졌다.

바로알기 ㄱ. 고에너지 입자의 흐름은 S 등급을 통해 알 수 있으며, 48시간 전에는 S0이었으므로 안전한 수준이 유지된 것으로 판단할 수 있다.

06 **모범 답안** 500초, 엑스선은 전자기파의 일종이므로 빛의 속도로 이동하여 지구에 가장 먼저 도달한다.

$$\text{시간} = \frac{\text{거리}}{\text{속력}} = \frac{1.5 \times 10^{11} \text{ m}}{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}} = 500 \text{ s이다.}$$

채점 기준	배점
풀이 과정을 포함하여 시간을 옳게 서술한 경우	100 %
풀이 과정은 옳게 서술하였으나 시간을 잘못 구한 경우	60 %
시간만 옳게 구한 경우	30 %

07 ㄱ. 태양 흑점 폭발로 엑스선(R)이 가장 먼저 도착하면 이후 태양 입자 유입(S)과 지구 자기장 교란(G) 지수가 높게 나타날 수 있다.

바로알기 ㄴ. 태양 활동 감시 시스템에서는 태양 활동으로 인한 우주 환경 변화의 정도를 0등급에서 5등급으로 구분(국내 기준)하여 수치로 나타냈으며, 숫자가 클수록 피해가 크다.

ㄷ. 엑스선은 전자기파의 한 종류로 빛의 속도로 진행하여 지구에 도달하는데, 그 시간은 $\frac{1.5 \times 10^{11} \text{ m}}{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}} = 500 \text{ s}$ 이다.

08 ① 태양풍 입자에 의해 지구 자기장이 교란되면 지상에 전류를 발생시켜 전력망의 전력 전송 체계가 훼손될 수 있다.

③ 강한 엑스선은 전리층의 전자 밀도를 변화시키며, 이러한 밀도 변화는 위치 정보 시스템(GPS) 신호의 전달 속도와 시간에 영향을 줄 수 있다.

- ④ 우주 비행사의 방사선 노출을 피하기 위해 활동을 중단한다.
 ⑤ 인공위성 고장, 지상국과의 신호 전달 장애 등으로 정상적인 위성 서비스가 어려울 것이 예상되므로 위성과 관련한 서비스를 일시적으로 중단할 수 있다.

바로알기 ② 극지방은 태양풍에 포함된 고에너지 대전 입자가 모여드는 곳이므로, 태양 활동이 활발해질 경우 북극 항로를 피해 다른 항로로 운항한다.

09 11월 6일경에는 태양 활동이 활발해져 지구에 도달한 태양풍이 지구 자기장을 교란하여 지구 자기장의 급격한 변화가 나타났다.

모범 답안 태양의 활동성 증가로 급격한 자기장의 변화가 나타난다. 태양 활동이 활발한 시기에 태양에서는 플레어가 발생할 수 있고, 평소보다 많은 에너지 입자들이 방출되며 지구에서는 오로라 등이 발생할 수 있다.

채점 기준	배점
자기장 변화의 원인과 이 시기에 태양과 지구에 나타날 수 있는 현상을 한 가지씩 모두 옳게 서술한 경우	100 %
자기장 변화의 원인을 옳게 서술하고, 이 시기에 태양과 지구에서 나타날 수 있는 현상 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	70 %
자기장 변화의 원인만 옳게 서술한 경우	40 %

- 10** ① 우주 물체는 소천체, 우주 쓰레기 등과 같이 우주 공간을 떠돌아다니는 고체 물질이다.
 ② 소행성이나 혜성은 우주 공간에서 자연적으로 만들어진 천체로, 자연 우주 물체에 포함된다.
 ③ 임무가 끝난 채 지구 주위를 도는 인공위성은 우주 쓰레기에 해당하며, 인공 우주 물체에 포함된다.
 ⑤ 최근 민간 기업의 우주 개발 참여로 우주 쓰레기의 수가 증가하고 있다.

바로알기 ④ 우주 물체로 인한 위험에 대해서는 지수화하여 예보하고 있지 않다. 한편, 태양 활동 감시 시스템에서는 '우주 기상(RSG) 지수'를 활용하여 우주 기상을 예보하고 있다.

- 11** (가)는 레이더 관측, (나)는 광학 관측 방법이다.
 ㄱ. (가) 레이더 관측은 24시간 관측 가능하고, 지상에서 수행하는 (나) 광학 관측은 낮에는 관측 불가하다.
 ㄴ. (가) 레이더 관측은 우주 물체의 속도, 위치 등을 파악할 수 있다.
 ㄷ. (나) 광학 관측은 태양 빛을 반사하는 우주 물체를 광학 망원경으로 탐지한다.

12 우주 물체 감시 과정은 (다) 감시 장비로 우주 물체의 존재를 확인하는 탐지 → (가) 우주 물체의 이동 경로를 파악하는 추적 → (라) 우주 물체의 종류, 크기, 형태 등을 파악하는 식별 → (나) 확인된 우주 물체의 이름, 번호, 궤도 요소 등의 정보를 저장하는 목록화의 순으로 수행된다.

13 품목 문제 분석



- 근지구 소행성: 자신의 공전 궤도에서 태양과 가장 가까운 근일점 거리가 1.3 AU 이내인 소행성
- 최근 감시 기술이 발달하면서 발견되는 근지구 소행성의 수가 증가하고 있다.

ㄷ. 2010년에 발견된 근지구 소행성의 수는 약 1000개이며, 2020년에는 그 2배보다 많은 약 3000개가 발견되었다.

바로알기 ㄱ. 최근 근지구 소행성의 수가 증가하는 까닭은 관측 기술의 발달로 크기가 작은 소행성이 많이 발견되고 있기 때문이다.
 ㄴ. 그림에 제시된 소행성은 근일점 거리가 1.3 AU 이내인 소행성이다.

14 ㄴ. 탐사선 다트는 지구에서 발사한 인공 물체를 충돌시켜 소행성의 궤도가 변경될 수 있는지 확인하기 위해 발사한 것으로, 소천체의 지구 충돌 위험을 대비하는 데 기여할 수 있다.

ㄷ. 충돌 전후 디모르포스의 궤도 변화를 파악하기 위해서는 지상 관측, 우주 망원경 등 별도의 관측 장비가 필요하다.

바로알기 ㄱ. 탐사선 다트의 임무는 소행성 충돌 실험이다.

15 ㄴ. 흑점 수가 많아지는 시기에는 태양 활동이 활발해지므로 자기 폭풍이 더 증가할 것이다.

바로알기 ㄱ. 운용 중이던 인공위성은 우주 쓰레기가 아니며, 수명이 다한 인공위성 중 궤도에 남아 더 이상 기능하지 않는 것이 우주 쓰레기가 된다.

ㄷ. 크기가 작은 우주 물체는 현재의 우주 물체 감시 기술로 모두 파악할 수는 없으며, 충돌도 모두 예측할 수는 없다.

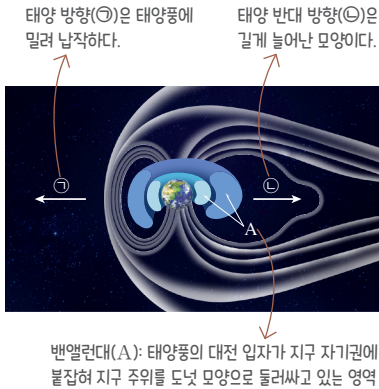
16 ㄱ. (가)는 우주 쓰레기에 레이저를 쏘아 궤도를 변경시키거나 속도를 떨어뜨려 대기권으로 떨어지게 만드는 방법이다. 우주 쓰레기의 고도가 낮아지면 대기와의 마찰이 증가하여 우주 쓰레기를 태워서 제거할 수 있다.

바로알기 ㄴ. 우주 쓰레기를 지구 대기권에서 태워 제거하기 위해서는 우주 쓰레기의 속도를 느리게 하여야 한다.

ㄷ. 지구의 중력으로 인해 지표면에 가까울수록 대기의 밀도는 높아진다. 우주 쓰레기의 고도가 낮아지면 대기의 밀도가 증가하므로 마찰이 증가한다.

01 ② 02 ① 03 ② 04 ③

01 품평 문제 분석



ㄴ. 지구 자기장의 모양은 지구에서 태양을 향하는 쪽은 태양풍에 밀려 납작하므로, 태양은 ☉ 방향에 위치한다.

바로알기 ㄱ. 지구 자기권은 지구 자기장의 영향이 미치는 영역으로, 대기권보다 높은 고도까지 분포한다.

ㄷ. A는 밴앨런대로, 태양풍의 대전 입자가 지구 자기권에 붙잡혀 있다.

02 ㄱ. (가)는 엑스선의 복사 강도를 나타낸 것으로, 엑스선은 자외선보다 파장이 짧은 영역이다.

바로알기 ㄴ. 제시된 기간 동안 (가)에서는 R1에 해당하는 신호 세기가 감지되었지만, (나)에서는 S0 수준에 머물고 있다.

ㄷ. (가)의 엑스선은 전자기파의 한 종류이므로 빛의 속도로 전달되고, (나)는 입자이므로 빛보다 느린 속도로 전달된다. 따라서 태양 흑점 폭발에 의한 변화는 (가)가 (나)보다 먼저 감지된다.

03 ㄷ. OWL-Net은 근지구 소행성, 인공위성, 우주 쓰레기 등 태양 빛을 반사할 수 있는 모든 우주 물체를 감시할 수 있다. 따라서 OWL-Net은 인공 우주 물체와 자연 우주 물체 모두 감시할 수 있다.

바로알기 ㄱ. OWL-Net은 지상에서 광학 관측을 수행하므로 낮에는 관측 불가하다.

ㄴ. 근지구 소행성은 자신의 공전 궤도에서 태양과 가장 가까운 근일점 거리가 1.3 AU 이내인 소행성이다.

04 품평 문제 분석

인공위성		기타 잔해물(파편)
운영 중	운영 종료	
8220개	3017개	16210개

- 운영 종료된 인공위성은 우주 쓰레기로 분류하며, 운영 중인 인공위성은 우주 쓰레기가 아니다. ➡ 우주 쓰레기: 운영 종료된 인공위성(3017개)+기타 잔해물(파편)(16210개)=19227개
- 지구 주위를 공전하고 있는 인공 우주 물체: 운영 중인 인공위성(8220개)+우주 쓰레기(19227개)=27447개

ㄷ. 우주 쓰레기는 19227개이며, 전체 우주 물체는 27447개(=8220+3017+16210)이므로 이 중 60 %는 약 16468개이다. 따라서 우주 쓰레기의 비중은 60 %를 넘는다.

바로알기 ㄱ. 우주 쓰레기는 운영 종료된 인공위성 3017개와 기타 잔해물(파편) 16210개를 합한 것이므로 19227개이다.

ㄴ. 인공위성궤도의 충돌은 수많은 파편을 만들어내므로 우주 쓰레기의 수를 증가시킨다.

중단원 핵심 정리

31쪽

- ① 퍼서비어런스 ② 주노 ③ 엔셀라두스 ④ 하야부사
⑤ 지오토 ⑥ 가시광선 ⑦ 나로 우주 센터 ⑧ 다누리호
⑨ 태양풍 ⑩ 플레어 ⑪ 우주 기상 ⑫ 전자기파 ⑬ 우주 물체
⑭ 추적 ⑮ 우주 쓰레기 ⑯ 속도

중단원 마무리 문제

32쪽~34쪽

- 01 ② 02 ① 03 ④ 04 ② 05 ④ 06 ④
07 ③ 08 ③ 09 ② 10 ④ 11 ①
12 해설 참조 13 해설 참조 14 해설 참조

01 ① 화성에는 큐리오시티, 퍼서비어런스 등의 탐사차가 착륙하였다.

③ 토성의 위성 타이탄에는 탐사선 하위헌스가 최초로 착륙하였다.

④ 소행성 류구에는 탐사선 하야부사 2호가 착륙하였다.

⑤ 혜성 추류모프-게라시멘코(67P) 표면에는 탐사선 로제타로부터 분리된 로봇이 착륙하였다.

바로알기 ② 목성은 대부분 기체로 이루어져 있으므로 탐사선이 착륙할 수 없다.

02 ㄱ. 소행성이나 혜성은 태양계 초기의 물질을 그대로 유지한 것으로 추정되므로 태양계 형성에 대한 연구 대상으로 활용된다.

[바로알기] ㄴ. 태양계 탐사에서 가장 활발한 탐사가 진행된 행성은 화성이다. 수성은 탐사선이 수성 근처로 다가갈수록 태양의 중력에 의해 우주선 자체의 속도가 빨라져서 위치와 궤도를 제어하기 어려우므로 탐사를 시도하기에 상대적으로 어려운 행성이다.
ㄷ. 'Mars 2020 프로젝트'에 활용된 탐사차는 퍼서비어런스이다.

03 ④ 주노는 목성의 극궤도를 공전하면서 극지방 모습을 최초로 촬영하고, 목성의 대기, 내부 구조 등을 연구하였으며 위성 이오와 유로파를 관측하였다.

[바로알기] ① 카시니는 토성 주위를 최초로 공전하며 토성의 고리와 대기를 탐사하고, 위성 엔셀라두스의 표면에서 물 분자가 분출하는 현상을 발견하였다.
② 뉴호라이즌스는 명왕성을 근접 통과하며 관측을 수행하였다.
③ 메신저는 수성 표면의 지도를 완성하였다.
⑤ 닥트는 소행성 디디모스의 위성 디모르포스에 우주선을 충돌시켜 궤도를 바꾸는 데 성공하였다.

04 ㄴ. 혜성 추류모프-게라시멘코(67P)의 표면에는 탐사선 로제타로부터 분리된 탐사 로봇이 착륙하였다.

[바로알기] ㄱ. (가) 명왕성은 탐사선 뉴호라이즌스가 촬영하였으며, 로제타는 혜성 (나) 추류모프-게라시멘코(67P)를 탐사하였다.
ㄷ. (가)는 왜소 행성, (나)는 혜성으로 분류된다.

05 ㄴ, ㄷ. 천체는 다양한 파장에서 전자기파를 방출하는데, 지상에서 관측할 수 있는 파장은 지구 대기의 영향을 덜 받는 가시광선이나 전파 영역으로 제한된다. 우주 망원경은 대기의 영향을 받지 않으므로 지상보다 다양한 파장의 전자기파를 활용할 수 있고, 날씨의 영향을 받지 않아 긴 시간 동안 안정적으로 관측할 수 있다.
[바로알기] ㄱ. 우주 망원경은 최초 발사 후 추가적인 정비가 어렵고 상대적으로 비용이 많이 들며, 우주 쓰레기 문제가 심각해진다는 단점이 있다.

06 ① (가) 다누리호는 우리나라 최초의 달 탐사선으로, 2022년에 달 궤도 진입에 성공하였다.

② (나) 우리별 1호는 우리나라 최초의 인공위성으로, 1992년에 우리별 1호를 발사하였다.
③ (다) 누리호는 우리나라 자체 기술로 개발한 한국형 발사체로, 1톤 이상의 실용급 위성체를 지구 궤도에 올리는 데 성공하였다.
⑤ (나) 우리별 1호를 제작해 궤도에 올린 것은 1992년, (다) 누리호 발사에 성공한 것은 2022년이다.

[바로알기] ④ (가) 다누리호는 미국, (나) 우리별 1호는 남아메리카의 프랑스령 기아나 우주 센터에서 발사되었다. 나로 우주 센터에서 발사한 발사체로는 나로호와 (다) 누리호가 있다.

07 ㄱ. 밴앨런대(A)는 태양풍의 대전 입자가 지구 자기권에 붙잡혀 모여 있는 곳이다.

ㄴ. 지구 자기장이 교란되면 기존의 지구 자기장에 맞춰 설계된 송전 시설 내부에서 유도 전류가 발생하여 대규모 정전과 같은 재해가 발생할 수 있다.

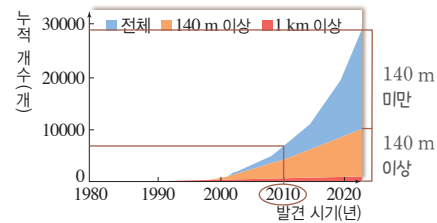
[바로알기] ㄷ. 플레어는 태양 표면의 흑점 폭발로 인해 강력한 에너지가 방출되는 현상이다.

08 ㄱ. 지구 자기장의 교란은 전자 장비 내부의 도체에 유도 전류를 발생시켜 장애를 유발할 수 있다.

ㄷ. 밴앨런대에 붙잡힌 태양풍 입자는 열권에서 대기 입자와 충돌하면서 오로라를 만들기도 하는데, 태양 활동이 활발해질 때는 오로라가 평소보다 강해질 것이다.

[바로알기] ㄴ. 태양 활동이 활발해질 때 지구의 극지방으로 모이는 것은 태양풍의 대전 입자이다.

09 — 꼼꼼 문제 분석



- 2023년까지 발견된 근지구 소행성의 누적 개수는 약 28000개이다.
- 지름 140 m보다 작은 소행성 영역의 비중이 점점 높아지고 있다.
- ➡ 최근 감시 기술이 발달하면서 발견되는 근지구 소행성의 수가 증가하고 있다.

ㄴ. 근지구 소행성의 누적 발견 개수는 2010년이 약 7000개, 2023년이 약 28000개이므로 2023년이 2010년보다 3배 이상 많다.

[바로알기] ㄱ. 그림을 통해 2023년까지 근지구 소행성은 약 28000개가 발견되었음을 알 수 있다.

ㄷ. 지름 140 m 미만인 소행성의 영역은 전체에서 지름 140 m 이상인 소행성의 영역인 주황색과 빨간색 영역의 합을 뺀 것이다. 2000년에는 지름 140 m 미만인 소행성 영역의 비중이 낮지만, 대략 2015년 이후부터는 점점 높아지고 있다. 이는 최근 감시 기술이 발달하면서 발견되는 근지구 소행성의 수가 증가하고 있기 때문이다.

10 ㄴ. 등록된 인공 우주 물체 수의 평균 증가율은 기울기가 큰 ㉠ 기간이 ㉡ 기간보다 크다.

ㄷ. 최근 민간 기업들이 우주 개발에 참여하면서 인공 우주 물체와 추락하는 우주 쓰레기의 수가 증가하고 있다.

[바로알기] ㄱ. 등록된 인공 우주 물체의 누적 개수는 40000개가 넘었지만, 그중 절반가량은 추락하여 2023년 기준 궤도에 남은 인공 우주 물체의 수는 27000개 정도이다.

11 ㄱ. 우주 쓰레기는 지구 주위를 공전하지만, 활용되지 않는 인공 우주 물체이다.

[바로알기] ㄴ. 밴앨런대는 태양풍에서 기원한 대전 입자들이 모여 있는 곳으로, 인공 우주 물체가 투입되기에는 적절하지 않다. 밴앨런대는 지구 대기권보다 높은 고도에 분포하는데, 대부분의 인공 우주 물체는 이보다 낮은 고도에서 지구 주위를 공전하고 있다.

ㄷ. 우주 쓰레기는 그물이나 기타 방법으로 포집하여 대기권에 진입시켜 태우거나 지구상의 안전한 곳으로 떨어뜨려 처리해야 한다. 인공위성을 스스로 폭파시키면 작은 파편으로 분해되어 오히려 우주 쓰레기를 더 많이 만들어내는 결과를 초래할 수 있다.

12 **모범 답안** • 공통점: 우주 공간에 인공위성을 진입시킬 수 있는 발사체이다. 나로 우주 센터에서 발사하였다.

• 차이점: 나로호는 외국과 협력하여 제작하였지만, 누리호는 우리나라 자체 기술로 개발하였다.

채점 기준	배점
공통점과 차이점을 각각 한 가지씩 모두 옳게 서술한 경우	100 %
공통점과 차이점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

13 태양풍 입자는 지구의 자기장에 붙잡히면서 대부분 지표면까지 도달하지 못하고, 일부는 극지방으로 이동한다.

모범 답안 태양풍의 대전 입자가 지구 자기장에 붙잡히면서 지표면까지 도달하지 못하므로, 지구 생명체를 보호하는 역할을 한다.

채점 기준	배점
대전 입자가 지표면에 도달하지 못한다는 내용을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
지구 생명체를 보호한다고만 서술한 경우	40 %

14 근지구 천체는 태양 주위를 공전하는 소천체 중 태양과 가장 가깝게 접근한 근일점 거리가 1.3 AU 이내인 천체를 말한다. 최근 감시 기술이 발달하면서 발견되는 근지구 천체의 수가 증가하고 있다.

모범 답안 (1) 태양 주위를 공전하는 소천체 중 근일점 거리가 1.3 AU보다 가까운 천체이다.

(2) 대부분의 소행성은 혜성에 비해 지구에 더 가까운 영역에 분포하기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) 근지구 천체의 정의를 근일점 거리와 관련지어 옳게 서술한 경우	50 %
(2) 소행성이 혜성에 비해 지구에 더 가까운 영역에 분포함을 옳게 서술한 경우	50 %

중단원 고난도 문제

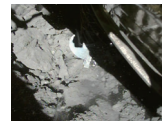
35쪽

01 ①, ③ 02 ③ 03 ③ 04 ⑤

01 품평 문제 분석



(가) 퍼서비어런스



(나) 하야부사 2호



(다) 오시리스-렉스

- (가): 화성 표면의 토양 샘플을 얻기 위해 표면을 뚫은 후의 모습
- (나): 소행성 류구의 토양 샘플을 얻기 위해 표면에 달기 직전의 모습
- (다): 소행성 베누의 토양 샘플을 얻기 위해 표면에 닿은 순간의 모습

선택지 분석

- ① (가)는 행성, (나)와 (다)는 소행성을 탐사하였다.
- ② (나)는 천체 표면의 시료를 지구로 전달한 유일한 탐사선이다. 유일한 탐사선은 아니다
- ③ (가)~(다)는 모두 천체 표면의 시료를 채취하였다.
- ④ (가)~(다)는 모두 천체 표면을 이동하며 탐사차의 기능을 수행하였다. (가)
- ⑤ (가)~(다)는 모두 지구 생명체를 구성하는 물질이 태양계 형성 초기에도 존재하고 있었음을 암시하는 성과를 얻어냈다.

전략적 풀이 ① 탐사선의 이름과 대상, 탐사 방법을 연결 짓는다.

① (가) 퍼서비어런스는 행성인 화성, (나) 하야부사 2호는 소행성 류구, (다) 오시리스-렉스는 소행성 베누를 탐사하였다.

② 천체 표면의 토양 샘플을 지구로 전달한 탐사선의 특징과 탐사 성과를 파악한다.

②, ③ (가)~(다) 모두 천체 표면의 시료를 채취하였으며, 천체 표면의 시료를 지구로 전달한 탐사선은 (나)와 (다)이다. (나) 하야부사 2호는 소행성 류구, (다) 오시리스-렉스는 소행성 베누의 토양 샘플을 지구로 전달하였고, 이 샘플에서는 RNA 구성 물질, 아미노산 등의 유기물이 발견되었다.

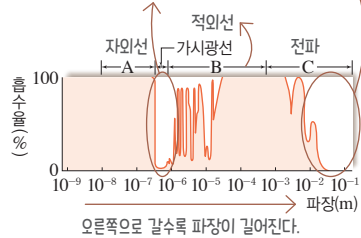
④ (가) 퍼서비어런스는 화성 표면을 돌아다니며 탐사차의 기능을 수행하였고, (나) 하야부사 2호와 (다) 오시리스-렉스는 소행성 표면에 잠시 접촉하여 토양 샘플을 획득하였다.

③ 지구 생명체를 구성하는 물질의 기원을 파악한다.

⑤ 소행성과 혜성은 태양계 형성 초기의 원시 물질을 그대로 유지한 것으로 추정하고 있으므로, 태양계의 형성과 진화 및 생명체의 기원을 연구하는 데 이용할 수 있었다. (가) 퍼서비어런스도 유기물의 존재를 발견하였지만, 태양계 형성 초기에 있었던 물질 인지는 불분명하다.

02 - 꼼꼼 문제 분석

가시광선과 전파 영역은 대기에서 거의 흡수되지 않는다.
 → 지상에서 망원경으로 관측 가능하다.



선택지 분석

- ㉠ A 영역은 B 영역보다 파장이 짧다.
- ㉡ A 영역은 지상의 망원경으로 관측할 수 없다.
- ㉢ C 영역은 우주 기상(RSG) 지수의 R 등급을 판단하는 데 주로 활용된다. **엑스선**

전략적 풀이 ① 가로축과 세로축이 나타내는 물리량을 파악한다.

ㄱ. 가로축은 파장이고, 세로축은 대기의 흡수율이다. 가로축은 오른쪽으로 갈수록 숫자가 커지므로 A 영역은 B 영역보다 파장이 짧다.

② 파장별 흡수율을 이용하여 지상 관측 가능 여부를 파악한다.

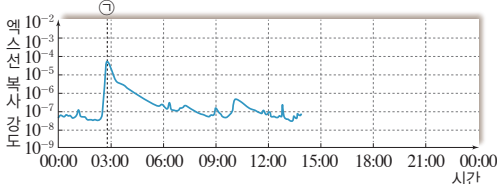
ㄴ. A는 지구 대기에서 거의 대부분 흡수되므로 지상의 망원경으로는 A 영역을 관측하기 어렵고, 우주 망원경을 사용해야 한다.

③ 제시된 자료와 우주 기상(RSG) 지수의 관련성을 분석한다.

ㄷ. 우주 기상(RSG) 지수의 R 등급인 태양 흑점 폭발을 판단하는 데 주로 활용하는 전자기파는 엑스선이다.

03 - 꼼꼼 문제 분석

태양 활동이 활발해져 흑점이 폭발하면 엑스선과 같은 짧은 파장의 전자기파가 대량으로 방출된다.



선택지 분석

- ㉠ 이 자료는 지상의 관측 장비로 감지할 수 있다. **없다**
- ㉡ ㉠ 시기에는 태양 입자 유입이 급격히 증가하였다.
- ㉢ 통신 시스템에 문제가 발생할 가능성이 있다.

전략적 풀이 ① 우주 기상 지수의 특징을 파악한다.

ㄱ. 엑스선은 지구 대기를 통과하지 못하므로 인공위성을 이용해 관측해야 한다.

② 제시된 자료와 우주 기상(RSG) 지수의 관련성을 분석한다.

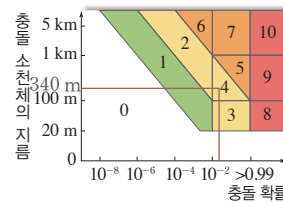
ㄴ. 엑스선 복사의 세기와 관련된 우주 기상 지수는 '태양 흑점 폭발'이다.

③ 태양 활동 감시 시스템의 활동 분야에 대해 파악한다.

ㄷ. 태양 활동이 활발해지면 엑스선 등 전자기파의 방출이 증가하여 전리층이 교란되고, 이로 인해 통신 시스템에 문제가 발생할 가능성이 있다.

04 - 꼼꼼 문제 분석

근지구 천체가 지구와 충돌할 확률이 높을수록, 해당 천체의 지름이 클수록 충돌 위험도가 높다.



지름	340 m
충돌 확률	2.7 % = 0.027
특징	지구 최접근 거리가 0.05 AU 이내이다.

선택지 분석

- ㉠ 충돌 확률이 높고 충돌 소천체의 지름이 클수록 토리노 척도는 커지는 경향이 있다.
- ㉡ 소행성 비상의 토리노 척도는 4로 추정된다.
- ㉢ 소행성 비상은 지구 위협 천체로 분류된다.

전략적 풀이 ① 가로축과 세로축이 나타내는 물리량을 파악한다.

ㄱ. 토리노 척도는 지구와의 충돌 확률뿐만 아니라 충돌 소천체의 지름도 함께 고려하여 결정된다. 따라서 충돌 확률이 높고 충돌 소천체의 지름이 클수록 토리노 척도는 커지는 경향이 있다.

② 예시 자료를 적용하여 토리노 척도를 파악한다.

ㄴ. 표에 제시된 충돌 확률 2.7 %를 이용해 가로축에서 0.027에 해당하는 지점을 찾고, 지름 340 m를 이용해 세로축에서 해당하는 지점을 찾으므로 토리노 척도는 4로 추정된다.

③ 지구 위협 천체 여부를 판단한다.

ㄷ. 지구 위협 천체는 근지구 천체 중 지구 최접근 거리가 0.05 AU 이내이고, 지름이 약 140 m보다 큰 천체이므로, 소행성 비상은 지구 위협 천체로 분류된다.

2 태양계 천체와 외계 행성계 탐사

01 / 태양계 천체의 운동

개념확인문제

42쪽

① 태양의 중력 ② 타원 ③ 이심률 ④ 수성 ⑤ 면적 속도 일정 법칙 ⑥ 빠르고 ⑦ 느리다 ⑧ $P^2 = a^3$

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 ㉠ 타원 궤도, ㉡ 초점, ㉢ 이심률
3 (1) A: 근일점, B: 원일점, C: 공전 궤도 긴반지름, D: 공전 궤도 짧은반지름 (2) 10 AU 4 ㉠ $E < 0$, ㉡ 타원, ㉢ $E = 0$, ㉣ $e = 1$, ㉤ $e > 1$ 5 (1) 같다 (2) a 6 (1) 3 AU (2) $3\sqrt{3}$ 년

- 1 (1) 태양과 태양 중력의 영향권 안에 있는 천체 및 천체를 포함하는 공간을 태양계라고 한다.
(2) 중력은 질량을 가진 모든 물체 사이에 작용하는 상호 간의 인력으로, 만유인력이라고도 한다.
(3) 태양은 태양계 천체 중에서 가장 중력이 크기 때문에 태양의 중력이 태양계 천체들의 운동에 지배적으로 작용한다. 따라서 태양계 천체들(행성, 소행성, 왜소 행성, 혜성 등)은 대부분 태양의 중력 영향으로 태양을 중심으로 회전 운동을 하고, 천체의 운동에서 규칙성이 나타난다.

- 2 케플러 제1법칙(타원 궤도 법칙)은 행성이 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도를 돌고 있다는 것이다. 수성을 제외한 대부분의 태양계 행성들은 이심률이 거의 0에 가까운 타원 궤도를 돌고 있다.

- 3 (1) A 지점은 공전 궤도상에서 행성이 태양으로부터 가장 가까운 지점이므로 근일점이고, B 지점은 공전 궤도상에서 행성이 태양으로부터 가장 먼 지점이므로 원일점이다. C는 타원 궤도에서 근일점과 원일점 사이의 거리의 절반(타원 궤도의 중심에서 원일점까지의 거리)이므로 공전 궤도 긴반지름이다. D는 타원 궤도의 중심에서 가장 짧은 거리이므로 공전 궤도 짧은반지름이다.
(2) 타원의 이심률(e)은 $e = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$ (a : 공전 궤도 긴반지름, c : 타원 중심에서 초점까지의 거리, b : 공전 궤도 짧은반지름)이다. $0.6 = \frac{\sqrt{a^2 - 8^2}}{a}$ 이므로 $a = 10$ AU이다.

- 4 천체의 총에너지(E) = 천체의 운동 에너지 + 태양 중력에 의한 위치 에너지이다. 원 궤도, 타원 궤도인 천체는 위치 에너지의 크기가 운동 에너지의 크기에 비해 크기 때문에 천체의 총에너지

가 0보다 작아 천체는 태양에 구속되어 태양 주위를 공전한다. (㉠) 포물선 궤도인 천체는 운동 에너지의 크기가 위치 에너지의 크기와 같기 때문에 천체의 총에너지가 0이므로 천체는 태양에 구속되지 않고 한 번 태양에 다가온 후 계속 멀어진다. (㉡) 천체의 공전 궤도 이심률이 0이면 원 궤도이고, 0보다 크고 1보다 작으면 타원 궤도이며(㉢), 1이면 포물선 궤도이고(㉣), 1보다 크면 쌍곡선 궤도이다. (㉤)

- 5 (1) 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 의하면 행성과 태양을 이은 선이 동일한 시간 동안 쓸고 지나간 면적은 같으므로($S_1 = S_2$) 행성이 a에서 b로 이동하는 데 걸린 시간과 c에서 d로 이동하는 데 걸린 시간이 같다.
(2) 행성은 태양에 가까울수록 빠르게 공전한다. 따라서 행성의 공전 속도는 근일점인 a 지점에서 가장 빠르다.

- 6 (1) 근일점 거리와 원일점 거리 합의 절반이 공전 궤도 긴반지름이다. 따라서 이 소행성의 공전 궤도 긴반지름은 $(2.8 + 3.2) \div 2 = 3$ AU이다.
(2) 케플러 제3법칙(조화 법칙)에 따라 공전 주기의 단위가 '년', 공전 궤도 긴반지름의 단위가 'AU'이면 $P^2 = a^3$ (P : 공전 주기, a : 공전 궤도 긴반지름)이 성립하므로 이 소행성의 공전 주기는 $3\sqrt{3}$ 년이다.

대표자료분석 1

43쪽

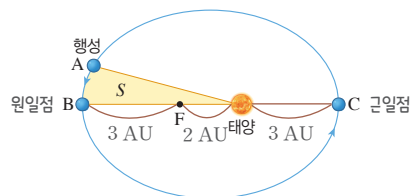
- 1 (1) 타원 (2) ㉠ B, ㉡ C (3) 작아진다 2 8년, 4 AU 3 0.25
4 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ×

꼼꼼 문제 분석

6개월 동안 행성과 태양을 이은 선이 쓸고 지나간 면적이 전체 공전 궤도 면적의 $\frac{1}{16}$ 이다.

⇒ 1년 동안 행성과 태양을 이은 선이 쓸고 지나간 면적은 전체 공전 궤도 면적의 $\frac{1}{8}$ 이다. ⇒ 행성의 공전 주기: 8년

⇒ $P^2 = a^3$ 이므로 행성의 공전 궤도 긴반지름은 4 AU이다.



1 (1) 이 행성의 공전 궤도에는 초점이 2개(초점 F, 태양)가 있으므로 이 행성의 공전 궤도는 타원 궤도이다.

(2) 원일점은 공전 궤도상에서 행성이 태양으로부터 가장 먼 지점이고, 근일점은 공전 궤도상에서 행성이 태양으로부터 가장 가까운 지점이다. 따라서 원일점은 B이고, 근일점은 C이다.

(3) F와 태양은 타원의 두 초점이다. 행성의 공전 궤도 긴반지름이 현재와 같은 상태에서 초점 F와 태양 사이의 거리가 가까워지면 타원 중심에서 초점까지 거리(c)가 작아져 공전 궤도 이심률($e = \frac{c}{a}$ (a : 긴반지름))이 작아진다.

2 케플러 제2법칙에 의하면, 6개월 동안 행성과 태양을 이은 선이 쓸고 지나간 면적이 전체 공전 궤도 면적의 $\frac{1}{16}$ 이므로 1년 동안에는 행성이 전체 공전 궤도 면적의 $\frac{1}{8}$ 을 쓸고 지나가기 때문에 행성의 공전 주기는 8년이다. 케플러 제3법칙에 의하면 공전 주기(P)의 단위가 '년'이고 공전 궤도 긴반지름(a)의 단위가 'AU'이면 $P^2 = a^3$ 이다. 따라서 이 행성의 공전 주기가 8년이므로 행성의 공전 궤도 긴반지름은 4 AU이다.

3 공전 궤도 긴반지름은 4 AU이고, 태양에서 초점 F까지의 거리가 2 AU이므로 타원 중심에서 초점까지 거리는 1 AU이다. 타원의 이심률은 $e = \frac{c}{a}$ (a : 긴반지름, c : 타원 중심에서 초점까지 거리)이므로 $e = \frac{1 \text{ AU}}{4 \text{ AU}} = 0.25$ 이다.

4 (1) 행성이 태양 주위를 공전하는 것은 태양계 내에서 태양의 중력이 가장 크게 작용하기 때문에 나타난다.

(2) 행성의 공전 궤도 긴반지름이 4 AU이므로 원일점(B)에서 근일점(C)까지의 거리는 $4 \text{ AU} \times 2 = 8 \text{ AU}$ 이다.

(3) 행성과 태양을 이은 선이 1년 동안 쓸고 지나간 면적을 행성의 공전 궤도가 이루는 면적을 알면 행성의 공전 주기를 알 수 있다. 이때 케플러 제3법칙을 적용하면 공전 궤도 긴반지름을 구할 수 있다.

(4) 태양에서 초점 F까지의 거리가 2 AU이므로 타원 중심에서 초점까지 거리는 1 AU이다. 행성의 공전 궤도 긴반지름이 4 AU이므로 B에서 태양까지 거리는 5 AU이고, 태양에서 C까지 거리는 3 AU이다. 따라서 근일점 거리와 원일점 거리의 비는 $3 \text{ AU} : 5 \text{ AU} = 3 : 5$ 이다.

(5) 케플러 제2법칙에 의해 각운동량이 보존($mv_1r_1 = mv_2r_2$)되기 때문에 근일점과 원일점에서의 행성의 공전 속도의 비는 근일점 거리와 원일점 거리의 비에 반비례한다. 따라서 근일점에서는 원일점에서보다 행성의 공전 속도가 $\frac{5}{3}$ 배 빠르다.

(6) 공전 주기가 8년이므로 행성이 B에서 C로 이동하는 데 걸리는 시간은 절반인 4년이다.

(7) 이 행성은 태양에 구속되어 태양 주위를 타원 궤도로 돌고 있으므로 행성의 운동 에너지보다 태양 중력에 의한 위치 에너지가 더 크다.

내신만점문제

44쪽~46쪽

- | | | | | |
|----------|------|------|------|----------|
| 01 ③ | 02 ④ | 03 ② | 04 ① | 05 해설 참조 |
| 06 ① | 07 ⑤ | 08 ④ | 09 ⑤ | 10 ② |
| 12 해설 참조 | 13 ③ | | | |

01 태양계는 태양과 태양 중력의 영향권 안에 있는 천체 및 천체를 포함하는 공간이다.

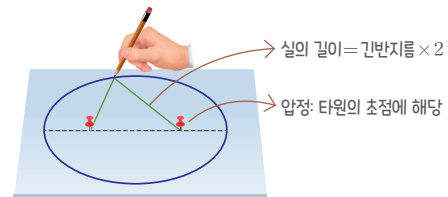
①, ② 태양계를 구성하는 천체에는 태양, 행성, 위성, 왜소 행성, 소행성, 혜성 등이 있다. 태양계에서 태양이 차지하는 질량은 전체 질량의 약 99.85 %이다.

④ 태양계에서 태양이 차지하는 질량이 대부분이므로 태양에 의한 중력이 가장 크다. 따라서 태양계를 구성하는 대부분의 천체들은 태양의 중력으로 인해 태양 주위를 공전한다.

⑤ 중력은 $F = G \frac{Mm}{r^2}$ (M : 태양의 질량)이다. 따라서 천체의 질량(m)이 같을 때 태양에서 멀어질수록 거리(r)가 증가하여 태양과의 중력은 작아진다.

[바로알기] ③ 중력은 질량이 있는 두 천체 사이에 작용하는 상호간의 인력이다. 태양계 내에서의 중력은 태양에 의한 것이 가장 크지만, 중력이 태양에 의해서만 나타나는 것은 아니다.

02 품평 문제 분석



두 압정 사이의 간격이 0이면 원이 되고, 두 압정 사이의 간격이 멀어질수록 납작한 타원 모양이 된다.

나. ㉠ 실의 길이는 근일점에서 원일점까지의 거리에 해당하므로 행성의 공전 궤도 긴반지름의 2배이다. 따라서 ㉠의 절반은 행성의 공전 궤도 긴반지름에 해당한다.

다. (가)와 (나)에서 실의 길이는 같으나 두 압정 사이의 간격은 (나)가 (가)보다 길다. 초점과 초점 사이의 거리가 멀수록 납작한 형태의 타원이 되므로 (가)보다 (나)에서 그려진 도형이 더 납작한 타원이다.

바로알기 ㄱ. 압정은 타원의 초점에 해당한다. 따라서 압정 2개의 위치가 서로 다르고, 이 압정에 걸은 실의 길이를 일정하게 유지하여 잡아당긴 채 연필로 그려진 도형(㉔)은 타원이다.

03 케플러 법칙은 태양 주위를 돌고 있는 행성들의 운동을 기술한 법칙으로 타원 궤도 법칙, 면적 속도 일정 법칙, 조화 법칙으로 구성된다.

① 케플러 제1법칙(타원 궤도 법칙)에 따라 태양계의 모든 행성은 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도를 돈다.

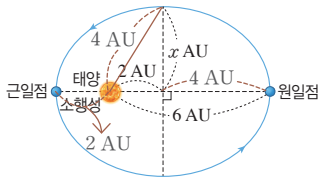
③ 행성의 운동 에너지 크기보다 태양 중력에 의한 위치 에너지 크기가 크면 행성은 태양에 구속되어 원 궤도나 타원 궤도로 돌게 된다.

④ 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 따라 행성과 태양을 이은 선이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적이 같기 때문에 행성은 태양에 가까울수록 빠르게 공전하고 태양에서 멀어질수록 느리게 공전한다.

⑤ 케플러 제3법칙(조화 법칙)에 따라 행성의 공전 궤도 긴반지름의 세제곱을 행성의 공전 주기의 제곱으로 나눈 값은 일정하므로 행성의 공전 주기는 공전 궤도 긴반지름이 클수록 길다.

바로알기 ② 행성과 태양을 이은 선이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 모든 행성에 대해서가 아니라 하나의 행성에 대해서만 일정하다.

04 — 곱셈 문제 분석



- 타원 중심에서 초점(태양)까지 거리: 2 AU
- ➔ 공전 궤도 긴반지름 = 태양에서 원일점까지 거리 - 타원 중심에서 초점까지 거리 = 6 AU - 2 AU = 4 AU
- 초점에서 타원 중심에서 가장 가까운 지점까지 거리 = 공전 궤도 긴반지름 = 4 AU
- 피타고라스 정리에 의해 (타원 중심에서 초점까지 거리)² + x² = 4² 이므로 $x = \sqrt{4^2 - 2^2} = 2\sqrt{3}$ AU이다.

ㄱ. 원일점에서 태양까지 거리는 6 AU이고, 타원 중심에서 태양(초점)까지 거리는 2 AU이므로 소행성의 공전 궤도 긴반지름은 6 AU - 2 AU = 4 AU이다.

ㄴ. 소행성의 타원 궤도의 중심에서 태양(초점)까지 거리는 2 AU이고, 초점에서 타원 중심에서 가장 가까운 지점까지 거리는 4 AU이므로 피타고라스 정리에 의해 $x = \sqrt{4^2 - 2^2} = 2\sqrt{3}$ AU이다.

바로알기 ㄴ. 이 소행성의 공전 궤도 긴반지름이 4 AU이므로 근일점에서 소행성과 태양 사이의 거리는 4 AU - 2 AU = 2 AU이다.

ㄷ. 타원 중심에서 초점까지 거리는 2 AU이므로 두 초점 사이 거리는 2 AU × 2 = 4 AU이다.

05 **모범 답안** 0.5, 공전 궤도 긴반지름은 4 AU이고, 타원 중심에서 초점까지 거리는 2 AU이므로 소행성의 공전 궤도 이심률은 $e = \frac{c}{a} = \frac{2 \text{ AU}}{4 \text{ AU}} = 0.5$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정을 포함하여 소행성의 공전 궤도 이심률을 옳게 구한 경우	100 %
풀이 과정 없이 소행성의 공전 궤도 이심률만 옳게 구한 경우	50 %

06 ㄱ. 지구와 태양 사이의 거리가 가까울 때 지구에서 태양은 크게 관측된다. 태양이 가장 작게 관측되는 D의 모습은 지구와 태양 사이의 거리가 가장 먼 원일점에 위치할 때이다. 따라서 태양이 크게 관찰되는 B가 A일 때보다 태양과 지구 사이의 거리가 더 가까이 있을 때의 모습이다.

바로알기 ㄴ. 북반구는 원일점 부근에서 여름이고, 근일점 부근에서 겨울이다. 따라서 북반구가 여름일 때 촬영한 것은 D이다.

ㄷ. 지구의 공전 속도는 태양에 가까울수록 빠르다. 따라서 A ~ D 중 지구의 공전 속도가 가장 빠를 때 태양의 모습은 태양이 가장 크게 보이는 B이다.

07 — 곱셈 문제 분석

천체	공전 궤도 이심률	총에너지(E)
A 원 또는 타원 궤도	㉠	0보다 작다.
B 포물선 궤도	1	0
C 타원 궤도	0.3	㉡ 0보다 작다.
D 쌍곡선 궤도	1.5	㉢ 0보다 크다.

① 천체의 총에너지는 천체의 운동 에너지와 태양 중력에 의한 위치 에너지의 합이다. 천체 A는 총에너지가 0보다 작으므로 천체의 궤도는 원 궤도이거나 타원 궤도이다. 공전 궤도 이심률이 0이면 원 궤도이고, 0보다 크고 1보다 작으면 타원 궤도이다. 따라서 ㉠은 0이거나 0보다 크고 1보다 작다.

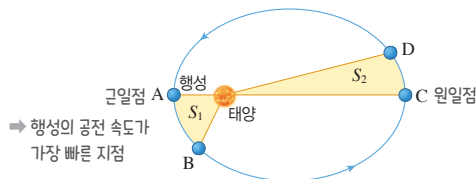
② 천체 B는 공전 궤도 이심률이 1이므로 공전 궤도가 포물선 궤도이다.

③ 천체 C의 공전 궤도 이심률은 0보다 크고 1보다 작으므로 천체 C의 공전 궤도는 타원 궤도이고, 총에너지는 0보다 작다. ㉡ 천체 D의 공전 궤도 이심률은 1보다 크므로 천체 D의 공전 궤도는 쌍곡선 궤도이고, 총에너지는 0보다 크다. ㉢ 따라서 ㉡은 ㉢보다 작다.

④ 천체의 총에너지는 천체의 운동 에너지와 태양 중력에 의한 위치 에너지의 합이다. 태양 중력에 의한 위치 에너지는 (-) 값, 운동 에너지는 (+) 값이므로 천체 D의 총에너지가 0보다 크기 때문에 운동 에너지의 크기가 태양 중력에 의한 위치 에너지의 크기보다 크다는 것을 알 수 있다.

[바로알기] ⑤ 천체의 궤도가 원 궤도이거나 타원 궤도이면 천체는 태양 주위를 계속 공전하지만, 포물선 궤도이거나 쌍곡선 궤도이면 천체는 태양에 한 번 다가온 다음 영원히 멀어지게 되어 계속해서 태양 주위를 공전하지 못한다. 따라서 태양 주위를 계속 공전하는 천체는 A, C이다.

08 품평 문제 분석



행성과 태양을 이은 선이 쓸고 지나간 면적의 비는 이동 시간의 비와 비례한다.

⇒ $S_2 = 2S_1$ 이므로 행성이 C에서 D 지점으로 이동하는 데 걸린 시간은 A에서 B 지점으로 이동하는 데 걸린 시간의 2배이다.

ㄴ. 행성의 공전 속도는 행성이 태양과 가까울수록 빠르므로 A 지점(근일점)에서 가장 빠르다.

ㄷ. 면적 속도 일정 법칙에 따라 S_1 의 넓이가 전체 공전 궤도 면적의 $\frac{1}{16}$ 이면 행성이 A에서 B 지점으로 이동하는 데 걸리는 시간은 공전 주기의 $\frac{1}{16}$ 이다. 따라서 행성의 공전 주기가 8년이므로 행성이 A에서 B 지점으로 이동하는 데 걸리는 시간은 $8년 \times \frac{1}{16} = 0.5년 = 6개월$ 이다.

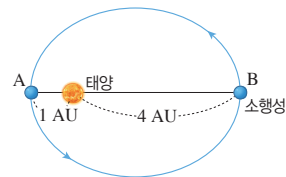
[바로알기] ㄱ. 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 따르면 행성과 태양을 이은 선이 같은 시간 동안 쓸고 지나간 면적은 같으므로 행성과 태양을 이은 선이 쓸고 지나간 면적의 비는 행성의 이동 시간의 비와 비례한다. 따라서 S_2 는 S_1 의 2배이므로 행성이 C에서 D 지점으로 이동하는 데 걸린 시간은 A에서 B 지점으로 이동하는 데 걸린 시간의 2배이다.

09 ㄱ. 행성이 현재의 위치로 돌아오는 데 걸리는 시간은 행성의 공전 주기이다. 행성의 공전 궤도 긴반지름은 원일점 거리와 근일점 거리 합의 절반이므로 행성 A와 B의 공전 궤도 긴반지름은 2 AU로 같다. 케플러 제3법칙에 따르면 행성의 공전 주기의 제곱은 행성의 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례하므로 행성의 공전 궤도 긴반지름이 같으면 행성의 공전 주기도 같다.

ㄴ. 행성 A는 근일점 거리와 원일점 거리가 다르므로 타원 궤도이다. 행성 B는 공전 궤도 중심에 태양이 위치하므로 공전 궤도가 초점이 1개인 원 궤도이다. 따라서 공전 궤도 이심률은 타원 궤도인 A가 원 궤도인 B보다 크다.

ㄷ. 행성 A와 B는 공전 궤도 긴반지름이 같으므로 공전 주기가 같고, 행성과 태양을 이은 선이 같은 시간 동안 쓸고 지나간 면적은 전체 공전 궤도 면적이 큰 B에서 A에서보다 넓다. 또한 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 따라 하루 동안 행성과 태양을 이은 선이 쓸고 지나간 면적은 각각의 행성에서 일정하므로 현재의 위치에서 내일까지 행성과 태양을 이은 선이 쓸고 지나간 면적은 A가 B보다 작다.

10 품평 문제 분석



케플러 제2법칙에 의하면 각운동량보존 법칙이 성립하므로

$mr_A v_A = mr_B v_B$ 이다. (m : 소행성의 질량)

⇒ 태양에서 소행성까지 거리 비 $r_A : r_B = 1 \text{ AU} : 4 \text{ AU} = 1 : 4$

⇒ 소행성의 공전 속도 비 $v_A : v_B = 4 : 1$

ㄷ. 면적 속도 일정 법칙은 물리적으로 각운동량보존 법칙이 성립한다. 따라서 공전 궤도상의 모든 지점에서 이 소행성의 각운동량은 일정하게 나타난다.

[바로알기] ㄱ. 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 의하면 각운동량이 보존된다. 각운동량은 회전 운동을 하는 물체의 운동량으로, 회전하는 물체의 회전 속도와 회전 반경에 비례한다. 따라서 A, B 지점에서 태양까지 거리의 비는 $1 \text{ AU} : 4 \text{ AU} = 1 : 4$ 인데, $mr_A v_A = mr_B v_B$ 가 성립하므로 소행성의 공전 속도의 비는 $4 : 1$ 이다.

ㄴ. 이 소행성과 태양 사이의 평균 거리는 $\frac{1+4}{2} = 2.5 \text{ AU}$ 이고, 지구와 태양 사이의 평균 거리는 1 AU이다.

11 ㄱ. 이 소행성은 타원 궤도를 돌고 있다. 따라서 타원의 한 초점에 태양이 위치한다.

ㄴ. 이 소행성은 1년 동안 전체 공전 궤도 면적의 $\frac{1}{27}$ 을 쓸고 지나가므로 소행성의 공전 주기는 27년이다.

ㄷ. 케플러 제3법칙에서 공전 주기(P)의 단위를 '년', 공전 궤도 긴반지름(a)의 단위를 'AU'로 하면 $P^2 = a^3$ 이므로 공전 궤도 긴반지름은 $a = 9 \text{ AU}$ 이다.

12 (1) 소행성 A와 B가 1년 동안 각각 끌고 지나간 면적이 전체 공전 궤도 면적의 $\frac{1}{8}, \frac{1}{64}$ 이므로 공전 주기는 소행성 A가 8년이고, 소행성 B가 64년이다.

(2) 소행성은 태양을 중심으로 공전하므로 케플러 제3법칙에 따라 $P^2 = a^3$ 이 성립하므로 소행성의 공전 궤도 긴반지름은 A가 4 AU이고, B가 16 AU이다.

모범 답안 (1) A: 8년, B: 64년

(2) A: 4 AU, B: 16 AU

(3) 소행성 A와 B는 모두 태양을 중심으로 공전하고, 태양계에서 태양의 질량은 다른 천체의 질량에 비해 매우 크기 때문에 공전 궤도 긴반지름의 세제곱을 공전 주기의 제곱으로 나눈 값이 일정하게 나타난다.

채점 기준	배점
(1) 소행성 A와 B의 공전 주기를 모두 옳게 구한 경우	30 %
소행성 A와 B의 공전 주기 중 한 가지만 옳게 구한 경우	15 %
(2) 소행성 A와 B의 공전 궤도 긴반지름을 모두 옳게 구한 경우	30 %
소행성 A와 B의 공전 궤도 긴반지름 중 한 가지만 옳게 구한 경우	15 %
(3) 소행성 A와 B는 모두 태양을 중심으로 공전하고, 태양의 질량이 다른 천체들에 비해 매우 크기 때문이라고 옳게 서술한 경우	40 %
태양의 질량이 매우 크다고만 옳게 서술한 경우	20 %

13 ① 소행성 A와 B는 모두 공전 궤도 긴반지름(a)이 4 AU이다. 케플러 제3법칙에 따라 $P^2 = a^3$ 이 성립하므로 $P^2 = 4^3$ 에서 P (공전 주기)는 8년이다.

② 공전 궤도 긴반지름이 4 AU로 같으므로 소행성 A와 B의 공전 주기는 같다.

④ 소행성 A보다 B의 공전 궤도가 더 납작하므로 공전 궤도 이심률은 B가 A보다 더 크다.

⑤ 소행성 A는 근일점에 위치하고 공전 궤도 이심률이 상대적으로 작은 반면에, 소행성 B는 원일점에 위치하고 공전 궤도 이심률이 상대적으로 크다. 따라서 소행성 B가 A보다 공전 속도가 느리므로 이날부터 다음 날까지 소행성이 태양에 대해 회전한 각도는 A가 B보다 크다.

바로알기 ③ 소행성 A와 B의 공전 주기가 같으므로 공전 주기의 절반인 4년 후에는 A는 원일점에, B는 근일점에 위치한다. 소행성 A와 B는 공전 주기가 같으므로 공전 궤도상에서 겹쳐지는 곳에 존재할 수 없기 때문에 현재로부터 8년 안에 충돌하지 않는다.

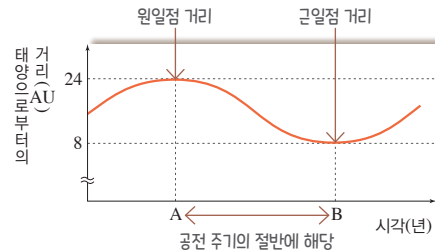
01 ㄱ. 혜성 A, B, C는 모두 태양 주위를 공전하고 있고, 근일점 거리와 원일점 거리가 다르므로 타원 궤도를 돈다.

ㄷ. 혜성 C의 공전 주기는 125년이고, 케플러 제3법칙(조화 법칙)에 따라 공전 주기(P)의 단위가 '년', 공전 궤도 긴반지름(a)의 단위가 'AU'이면 $P^2 = a^3$ 이므로 공전 궤도 긴반지름이 25 AU이다. 근일점 거리와 원일점 거리 합의 절반이 혜성의 공전 궤도 긴반지름이므로 $\frac{0.5\text{AU} + \text{㉠}}{2} = 25 \text{ AU}$ 에서 ㉠은 49.5 AU이다.

바로알기 ㄴ. 공전 궤도 이심률은 $e = \frac{c}{a} = \frac{2c}{2a}$

= $\frac{\text{원일점 거리} - \text{근일점 거리}}{\text{원일점 거리} + \text{근일점 거리}}$ (a : 공전 궤도 긴반지름, c : 타원 중심에서 초점까지 거리)이므로 A~C 중 혜성 C가 가장 크다.

02 품평 문제 분석



행성의 공전 궤도 긴반지름: $\frac{24+8}{2} = 16 \text{ AU} \Rightarrow$ 외행성

ㄱ. 태양으로부터 행성까지 거리가 가장 큰 A일 때 행성은 원일점에 위치하고, 가장 작은 B일 때 행성은 근일점에 위치한다. 따라서 이 행성의 공전 궤도 긴반지름은 원일점 거리와 근일점 거리 합의 절반이므로 $\frac{24+8}{2} = 16 \text{ AU}$ 이다. 지구의 공전 궤도 긴반지름은 1 AU이므로 이 행성은 지구보다 더 멀리 떨어진 곳에서 태양 주위를 공전하는 외행성에 해당한다.

바로알기 ㄴ. A와 B일 때 각각 행성은 원일점과 근일점에 위치하므로 A에서 B까지의 시간은 공전 주기의 절반에 해당한다. 케플러 제3법칙(조화 법칙)에 따라 공전 주기(P)의 단위가 '년', 공전 궤도 긴반지름(a)의 단위가 'AU'이면 $P^2 = a^3$ 이므로 행성의 공전 궤도 긴반지름이 16 AU이기 때문에 공전 주기는 64년이다. 따라서 B-A는 행성의 공전 주기의 절반인 32년이다.

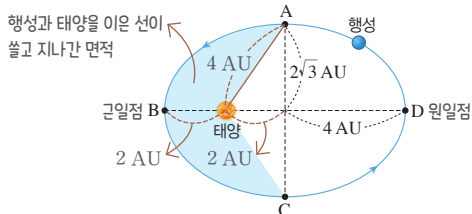
ㄷ. 태양으로부터의 거리가 A일 때 24 AU이고, B일 때 8 AU이다. 따라서 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 따라 각운동량이 보존되기 때문에 원일점과 근일점에서의 각운동량은 일정하므로 $mr_{\text{원}}v_{\text{원}} = mr_{\text{근}}v_{\text{근}}$ 이다. 따라서 원일점과 근일점에서 태양과 행성 사이의 거리 비가 $24 \text{ AU} : 8 \text{ AU} = 3 : 1$ 이므로 행성의 공전 속도 비는 $1 : 3$ 이다.

실력 UP 문제

47쪽

01 ③ 02 ① 03 ④ 04 ⑤

03 - 꼼꼼 문제 분석



• 근일점 거리: 2 AU • 원일점 거리: 6 AU

나. A 지점에서 행성과 태양 사이 거리는 공전 궤도 긴반지름과 같은 4 AU이다. 타원 중심에서 태양까지 거리는 피타고라스 정리에 의해 $4^2 = (2\sqrt{3})^2 + (\text{타원 중심에서 태양까지 거리})^2$ 이므로 2 AU이며, B 지점에서 행성과 태양 사이 거리(근일점 거리)는 4 AU - 2 AU = 2 AU이다. 행성과 태양 간에 작용하는 중력은 행성과 태양 사이 거리의 제곱에 반비례하므로 행성에 작용하는 태양의 중력은 A 지점에 있을 때가 B 지점에 있을 때의 $\frac{1}{4}$ 이다.

다. 근일점 거리와 원일점 거리 비는 $2 \text{ AU} : (2 \text{ AU} + 4 \text{ AU}) = 1 : 3$ 이고, 케플러 제2법칙에 따라 각운동량이 보존되기 때문에 $mr_{\text{근}}v_{\text{근}} = mr_{\text{원}}v_{\text{원}}$ (m : 행성의 질량)이다. 따라서 근일점과 원일점에서 행성의 공전 속도 비는 $3 : 1$ 이다.

바로알기 7. 행성의 공전 궤도 긴반지름(a)이 4 AU이므로 공전 주기(P)는 8년이다. ($P^2 = a^3$) A 지점에서 C 지점으로 이동할 때 행성과 태양을 이은 선이 쓸고 지나간 면적은 행성의 전체 공전 궤도 면적의 절반보다 작고, A 지점에서 C 지점으로 이동할 때의 시간은 공전 주기의 절반보다 짧으므로 4년보다 짧다.

04 ㄱ. 천체 A는 반지름이 5 AU인 원 궤도를 돌고 있으므로 ㉠ 지점에서 천체 B의 타원 궤도 중심까지 거리는 5 AU+5 AU = 10 AU이다. 따라서 천체 B의 공전 궤도 긴반지름은 10 AU이므로 x 는 5+10=15 AU이다.

나. 케플러 제3법칙에 따라 공전 주기(P)의 단위가 ‘년’, 공전 궤도 긴반지름(a)의 단위가 ‘AU’이면 공전 주기와 공전 궤도 긴반지름의 관계는 $P = \sqrt{a^3}$ 이다. 천체 A의 공전 궤도 긴반지름은 5 AU이고, 천체 B의 공전 궤도 긴반지름은 10 AU이다. 따라서 공전 주기는 $\sqrt{5^3} : \sqrt{10^3} = 1 : 2\sqrt{2}$ 이므로 B가 A의 2배보다 길다.

다. 천체 A가 ㉠에 처음 도달했을 때의 시간은 공전 주기의 절반이다. 케플러 제2법칙에 따라 천체 B-태양-㉡이 이루는 면적은 천체 공전 궤도 면적의 $\frac{1}{4}$ 보다 크므로 B가 ㉢까지 도달하

러면 공전 주기의 $\frac{1}{4}$ 보다 긴 시간이 걸린다. $\frac{\sqrt{5^3}}{2} < \frac{\sqrt{10^3}}{4}$ 이므
 로 천체 A가 ㉠에 처음 도달했을 때 B는 ㉡에 도달하지 못했다.

02 / 행성과 소천체의 특징

개념 확인문제

53쪽

- ① 구형 ② 중력 ③ 왜소 행성 ④ 불규칙 ⑤ 코마 ⑥ 유성체
⑦ 소행성 ⑧ 태양계

1 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) × 2 ㉠ 소행성, ㉡ 불규칙, ㉢ 소행성대 3 (1) A: 이온 꼬리(플라스마 꼬리), B: 먼지 꼬리 (2) c (3) c 4 가, 다, 르 5 ㉠ 중력, ㉡ 밀도, ㉢ 운석

1 (1) 행성은 공전 궤도의 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 가져야 한다. 즉, 자신의 공전 궤도상에 다른 천체들이 자신의 중력에 의해 행성과 충돌하여 사라지거나 행성의 공전 궤도 밖으로 밀려나가 공전 궤도 주변에 유사한 크기의 천체가 없어야 한다.

(2) 명왕성은 자신의 공전 궤도에서 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 미치지 못하기 때문에 행성으로 분류되지 않고 왜소 행성으로 분류된다. 명왕성은 자체 중력으로 구형을 유지할 만큼 질량이 큰 왜소 행성이다.

(3) 대부분의 왜소 행성은 카이퍼 띠에 위치하지만, 세레스는 소행성대(화성과 목성의 공전 궤도 사이)에 위치한다.

(4) 혜성의 핵은 혜성의 중심부로, 주로 물, 암모니아 등이 얼어서 생성된 얼음과 암석, 먼지로 구성된다.

(5) 베스타는 소행성 중 크기가 가장 큰 천체로, 큰 질량으로 인해 내부가 분화 과정을 거쳤기 때문에 태양계 원시 물질로 이루어져 있지 않다.

2 행성, 왜소 행성과 달리 대체로 질량이 작아 구형을 유지하지 못해 모양이 불규칙하기 때문에 관측되는 밝기가 불규칙하게 변하는 천체는 소행성이다. 소행성은 태양계가 형성될 때 행성이 되지 못하고 남은 물질이나 천체들의 충돌로 생성된 잔해로 추정된다. 소행성은 대부분 화성과 목성의 공전 궤도 사이(소행성대)에 위치한다.

3 (1) 혜성의 꼬리는 혜성의 코마를 구성하는 기체와 먼지가 태양풍과 태양의 복사압에 의해 태양의 반대 방향으로 물질이 흘러 나가며 형성하는 부분이다. 상대적으로 푸른색을 나타내는 A는 이온 꼬리(플라스마 꼬리)이고, 흰색이나 노란색을 나타내는 B는 먼지 꼬리이다.

(2), (3) 태양에 가까울수록(c 지점) 행성의 공전 속도는 빨라지고, 태양풍과 태양의 복사압에 의해 태양의 반대 방향으로 꼬리가 길어진다.

4 분화가 일어났을 것으로 추정되는 천체는 행성, 왜소 행성, 크기와 질량이 큰 소행성과 위성 등이다. 대부분의 소행성, 혜성 핵, 일부 운석, 크기와 질량이 작은 위성은 분화가 일어나지 않아 태양계 원시 물질이 그대로 남아 있다.

5 천체의 분화는 천체를 이루는 물질들이 중력에 의해 밀도가 큰 물질은 중심부로 이동하고, 밀도가 작은 물질은 바깥쪽으로 이동하여 천체의 내부가 여러 층으로 분리되는 현상이다.

대표 자료 분석 1

54쪽

1 (가) 왜소 행성 (나) 소행성 (다) 철질 운석 2 (가) 3 갖지 못한다 4 (가), (다) 5 (나) 6 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○ (7) ×

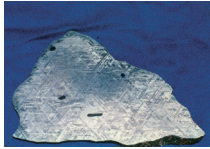
꼼꼼 문제 분석



(가) 왜소 행성
⇒ 구형



(나) 소행성
⇒ 불규칙한 모양



(다) 철질 운석
⇒ 분화된 천체의 운석

1 (가)는 행성처럼 구형이지만 공전 궤도상의 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 행사하지 못하는 왜소 행성이다. (나)는 크기와 질량이 작아 구형을 이루지 못한 불규칙한 모양의 소행성이다. (다)는 운석으로, 유성체가 대기와의 마찰로 타고 남은 잔해가 지표면으로 떨어진 것이다. 철질 운석은 화성 활동을 겪은 분화된 천체의 운석이다.

2 (가)~(다) 중 크기가 가장 큰 것은 (가) 왜소 행성이다.

3 (가) 왜소 행성은 공전 궤도상의 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 갖지 못하기 때문에 공전 궤도 주변에 유사한 크기의 천체나 지배적인 중력을 행사하는 천체가 존재할 수 있다.

4 (가) 왜소 행성은 천체가 형성되는 과정에서 크기가 크게 성장하여 충분한 내부 에너지로 화성 활동을 겪었다. (다) 철질 운석은 주로 철-니켈 금속 광물로 이루어진 운석으로, 화성 활동의 결과물이다. (나) 소행성은 천체가 형성되는 과정에서 크기가 크게 성장하지 못해 화성 활동을 겪지 않았다.

5 태양계 초기 환경을 연구하려면 분화 과정을 겪지 않아 태양계 원시 물질이 보존된 (나) 소행성의 운석이 필요하다.

6 (1) (가) 왜소 행성은 (나) 소행성보다 질량과 크기가 크다. (2) 세레스를 제외한 (가) 왜소 행성은 해양성 바깥 영역인 카이퍼 띠에 위치하기 때문에 해양성보다 공전 궤도 긴반지름이 크다. (3) (나) 소행성은 주로 태양으로부터 2 AU~4 AU 거리 사이(소행성대)에 분포한다. (4) 현재까지 발견된 왜소 행성의 개수는 5개이고, 소행성의 개수는 약 120만 개 이상이다. (5) 중생대 말의 생물 대멸종은 소행성과의 충돌 때문이라고 보는 시각이 일반적이다. 따라서 소행성 충돌은 생물권의 대멸종을 일으킬 수 있다. (6) (가)는 구형이기 때문에 밝기 변화가 규칙적이고, (나)는 모양이 불규칙하기 때문에 관측되는 밝기도 불규칙하게 변한다. (7) 분화 운석은 화성 활동을 경험한 운석으로, 석질 운석과 철질 및 석철질 운석이 이에 속한다. 미분화 운석은 화성 활동을 경험하지 않은 운석으로, 석질 운석의 일부가 이에 속한다.

대표 자료 분석 2

55쪽

1 ㉠ 타원, ㉡ 크다 2 C 3 복사압 4 d 5 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) × (7) ○

꼼꼼 문제 분석

근일점(C): 혜성의 공전 속도가 가장 빠르고, 혜성의 꼬리가 가장 길다.



(가)



(나)

1 (가)에서 이 혜성의 공전 궤도는 이심률이 큰 타원 궤도이고, 태양계의 모든 행성들은 이심률이 작은 타원 궤도를 그리면서 공전한다.

2 태양 주위를 공전하는 천체는 케플러 제2법칙에 따라 태양에 가까울수록 공전 속도가 빠르다. 따라서 혜성의 공전 속도가 가장 빠른 위치는 근일점에 있을 때인 C이다.

3 흰색이나 노란색을 띠는 ㉠은 먼지 꼬리이고, 푸른색을 띠는 ㉡은 이온 꼬리(플라스마 꼬리)이다. 이온 꼬리는 혜성의 핵에서 방출된 이온화된 입자들이 태양풍에 의해 밀려나며 태양의 반대 방향으로 뻗는 부분이고, 먼지 꼬리는 혜성의 먼지 입자들이 태양의 복사압에 의해 뻗어 생성되는 부분이다.

4 이온 꼬리(☾)는 태양풍에 의해 형성되어 태양의 반대 방향으로 나타나므로 혜성이 C에 위치할 때 d 방향으로 형성된다.

- 5 (1) 혜성이 태양에서 멀리 있을 때는 온도가 낮아 표면의 얼음이 승화하지 않으므로 코마가 나타나지 않는다. 하지만 태양에 가까워지면 태양 복사 에너지에 의해 얼음이 기체로 승화하고, 이때 얼음에 갇혀 있던 먼지가 gas와 함께 방출되면서 기체와 먼지로 이루어진 코마가 형성된다.
- (2) 혜성의 공전 궤도 긴반지름을 알면 케플러 제3법칙으로부터 공전 궤도 긴반지름의 세제곱은 공전 주기의 제곱에 비례한다는 것을 이용하여 혜성의 공전 주기를 구할 수 있다.
- (3) 혜성의 핵은 주로 물, 암모니아, 메테인, 이산화 탄소 등이 얼어서 생성된 얼음과 암석, 먼지로 구성되어 있다. 따라서 혜성은 생성 이후 내부가 분화되지 않은 천체이므로 태양계 원시 물질 연구에 활용이 가능하고, 많은 양의 물을 포함하고 있으므로 지구의 물의 기원에 대한 연구에 활용이 가능하다.
- (4) 헬리오텡스와 같은 일부 혜성은 행성과 달리 시계 방향으로 공전하기도 한다.
- (5) 혜성의 핵에서 가장 많은 양을 차지하는 성분은 물이 고체화된 얼음이다.
- (6) 혜성의 기원은 대부분 카이퍼 띠나 오르트 구름에 위치한다.
- (7) 일부 혜성은 태양의 중력을 벗어나기 때문에 포물선 궤도, 쌍곡선 궤도로 운동한다.

나신 만점 문제

56쪽~58쪽

- 01 ① 02 해설 참조 03 ③ 04 ② 05 ③
06 ⑤ 07 ④ 08 해설 참조 09 ②
10 해설 참조 11 해설 참조 12 ① 13 ③
14 ④

01 2006년 국제천문연맹(IAU)에서 채택한 행성의 정의는 다음과 같다. 태양계의 행성은 태양 주위를 공전해야 하고, 자체 중력으로 구형의 형태를 유지할 만큼 질량이 커야 하며, 공전 궤도상의 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 가져야 한다.

바로알기 ① 위성은 행성, 왜소 행성, 소행성 등 태양계 천체의 주위를 공전하는 천체이다. 따라서 행성은 다른 천체의 위성이 아니어야 한다.

02 **모범 답안** 공전 궤도상의 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 가져야 한다.

채점 기준	배점
공전 궤도상의 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 가져야 한다고 옳게 서술한 경우	100 %
공전 궤도상의 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 가져야 한다고 서술하였으나, 일부 잘못된 내용이 포함된 경우	50 %

03 ① 소천체는 왜소 행성, 소행성, 혜성, 유성체로, 태양 주위를 공전하는 행성보다 작은 천체들이다.

② 왜소 행성은 소천체 중 크기가 가장 크다. 현재까지 발견된 왜소 행성은 수성보다 크기가 작다.

④ 혜성은 핵, 코마, 꼬리로 구성되어 있다. 혜성이 태양에 접근하면 얼어 있던 물질이 증발하며 코마를 형성하고, 태양의 반대 방향으로 꼬리가 발달한다.

⑤ 왜소 행성은 질량이 크기 때문에 구형을 유지할 수 있다. 소행성은 대부분 질량이 작아 구형을 이루지 못한다.

바로알기 ③ 유성체가 지구의 중력에 이끌려 대기권 안으로 들어와 대기와의 마찰로 빛을 내는 것을 유성이라 하고, 유성체가 대기를 통과하는 동안 타다 남은 잔해가 지표면으로 떨어진 것을 운석이라고 한다.

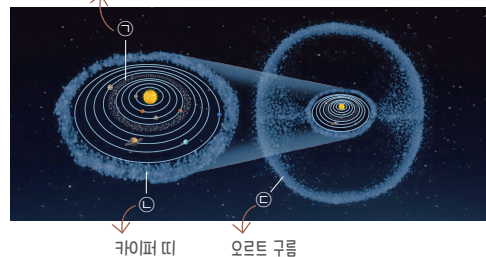
04 나. 왜소 행성 중 세레스는 소행성대에 위치하고, 세레스를 제외한 왜소 행성들은 대부분 카이퍼 띠에 위치한다. 따라서 공전 궤도 긴반지름이 가장 작은 것은 (가) 세레스이다. 세레스는 소행성대에 위치하므로 공전 궤도 긴반지름이 2.0 AU보다 크다.

바로알기 가. (가) 세레스, (나) 명왕성, (다) 에리스는 모두 왜소 행성이다.

ㄷ. 왜소 행성은 모두 화성보다 질량과 크기가 작다.

05 품문 문제 분석

소행성대: 대부분의 소행성이 위치한 곳 ⇒ 화성과 목성의 공전 궤도 사이



가. ㉠은 소행성대, ㉡은 카이퍼 띠, ㉢은 오르트 구름이다. 케플러 제3법칙에 따라 태양에 가까이 있는 천체일수록 공전 주기가 짧다. 따라서 ㉡보다 ㉠에 위치한 천체들의 평균적인 공전 주기가 짧다.

나. 명왕성을 포함한 대부분의 왜소 행성은 카이퍼 띠(㉡)에 위치한다.

바로알기 ㄷ. 현재까지 발견된 왜소 행성은 총 5개로 세레스는 소행성대(⑦)에 위치하고, 세레스를 제외한 나머지는 카이퍼 띠(⑨)에 위치한다. 오르트 구름(⑩)은 주로 주기가 긴 혜성의 근원지이다.

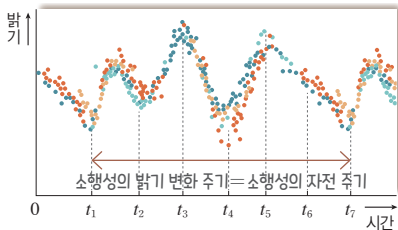
06 ㄱ. 소행성이 가장 많이 분포하고 있는 곳은 B이다.
 ㄴ. A와 C에 위치한 소행성은 목성의 공전 궤도상에 분포하기 때문에 목성과 유사한 공전 주기를 갖는다.
 ㄷ. 소행성대에 분포한 소행성들은 대부분 태양계가 형성될 때 행성이 되지 못하고 남은 물질이나 천체의 충돌로 인해 부서진 잔해들로 구성된다.

07 **꼼꼼 문제 분석**

소행성	A 베누	B 베스타	C 이다
모습			
특징	지구와의 충돌 가능성이 있는 대표적인 소행성이다. 태양과의 거리가 가장 가까울 때 1 AU 이내에 들어오기도 한다.	소행성 중에서 가장 질량이 크다. 큰 질량으로 인해 내부 분화가 이루어져 층상 구조를 형성하였다.	C 주위를 돌고 있는 천체가 발견되었다. C의 위성

ㄱ. 소행성이 지구와 충돌하기 위해서는 지구의 공전 궤도(1 AU)로 들어와야 하므로 근일점에서 A와 태양과의 거리는 1.0 AU보다 작아야 한다.
 ㄷ. C 주위를 돌고 있는 천체는 C의 위성이다. 따라서 소행성도 위성을 가질 수 있다고 추론할 수 있다.
바로알기 ㄴ. B는 소행성 중 가장 질량이 크다. 천체의 질량이 크면 천체를 이루는 물질들이 용융된 후 중력과 밀도 차이에 따른 분화가 이루어져 층상구조를 형성하므로 B는 태양계 원시 물질이 대부분 사라졌다.

08 **꼼꼼 문제 분석**



소행성은 구형이 아니고, 모양이 불규칙하다.
 ➡ 지구를 바라보는 면적이 다르다.
 ➡ 반사되는 빛의 양이 달라진다.
 ➡ 관측되는 밝기가 불규칙하게 변화한다.

(1) 모양이 구형인 천체는 관측되는 밝기가 규칙적이지만, 모양이 불규칙한 천체는 관측되는 밝기가 불규칙하게 변화한다.
 (2) 천체의 관측되는 밝기 변화가 일정한 주기($t_7 - t_1$)로 나타난다면 이 주기는 천체의 자전 주기에 해당한다.

모범 답안 (1) 소행성은 모양이 불규칙하므로 자전하면서 반사되는 면적이 상대적으로 불규칙하게 변화하기 때문이다.

(2) $t_7 - t_1$

채점 기준	배점
(1)과 (2)를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(1)과 (2) 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

09 ㄴ. A는 먼지 꼬리, B는 이온 꼬리(플라스마 꼬리)이다. 이온 꼬리는 태양풍의 영향으로, 먼지 꼬리는 태양의 복사압의 영향으로 형성된다.

바로알기 ㄱ. 대부분의 혜성은 이심률이 큰 타원 궤도로 운동한다. 태양계의 행성은 이심률이 작은 타원 궤도로 공전한다.
 ㄷ. C는 코마로, 핵을 구성하는 물질이 승화해서 만들어진 것이다.

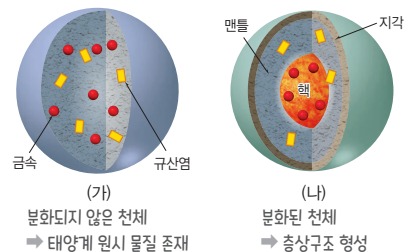
10 **모범 답안** 혜성을 구성하는 먼지와 얼음이 승화하여 생긴 기체가 태양의 복사압과 태양풍에 의해 태양의 반대 방향으로 흘러 나가기 때문이다.

채점 기준	배점
혜성을 구성하는 먼지와 얼음이 태양의 복사압과 태양풍에 의해 태양의 반대 방향으로 물질이 흘러 나가기 때문이라고 옳게 서술한 경우	100 %
혜성을 구성하는 물질이 태양의 영향으로 태양의 반대 방향으로 흘러 나가기 때문이라고만 옳게 서술한 경우	60 %

11 **모범 답안** 운석, 유성체가 지구의 중력에 이끌려 대기를 통과할 때 대기와의 마찰로 인해 암석의 표면이 녹거나 타버렸기 때문이다.

채점 기준	배점
소천체의 종류를 옳게 쓰고, 소천체의 표면 특징이 나타나는 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
소천체의 표면 특징이 나타나는 까닭만 옳게 서술한 경우	60 %
소천체의 종류만 옳게 쓴 경우	40 %

12 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. (가)는 금속과 규산염이 층을 이루지 않으므로 분화되지 않은 천체이다. (나)는 규산염이 바깥쪽으로, 금속이 중심부인 핵에 위치하여 층상구조를 이루므로 분화된 천체이다.

[바로알기] ㄴ. 분화가 이루어지려면 큰 질량에 의한 중력과 내부가 완전히 녹을 정도의 열에너지가 필요하다. 따라서 분화가 이루어진 (나)의 평균 질량이 (가)보다 더 크다.

ㄷ. 분화되지 않은 천체들은 태양계 원시 물질을 열변성 없이 보존하고 있다. 따라서 태양계 형성 초기 연구에는 (가)가 유용하다.

13 ㄱ. 사진의 스케일로부터 (가)가 (나)에 비해 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 또한 (가)는 거대한 협곡이 나타나므로 (나)에 비해 훨씬 커다란 천체임을 알 수 있다. 따라서 (가)는 행성, (나)는 소행성이다.

ㄴ. (가)에서는 삼각주, 협곡이 존재한다. 삼각주와 협곡은 물에 의한 퇴적, 침식 작용으로 생성되므로 (가)는 과거에 물이 존재하였을 것이다.

[바로알기] ㄷ. 지질 활동은 천체 내부의 열로 인한 판 구조 활동이 있거나 마그마로 인한 화산 활동, 물에 의한 침식이나 퇴적 등을 의미한다. 따라서 과거에 지질 활동이 활발했던 천체는 (가)이다.

14 ㄴ. 경통이 동에서 서로 회전하면서 목성이 망원경의 시야에 계속 남아 있게 하기 위해서는(㉔) 극축이 북극성 부근을 정확히 가르켜 지구의 자전축과 극축이 가리키는 방향이 서로 나란하도록 해야 한다.

ㄷ. 목성 주위를 도는 작은 천체(㉕)는 목성의 위성이다.

[바로알기] ㄱ. 이날 목성의 위치는 충이므로 자정에 남쪽 하늘(㉖)에서 관측된다.

실력UP문제

59쪽

01 ④ 02 ④ 03 ① 04 ①

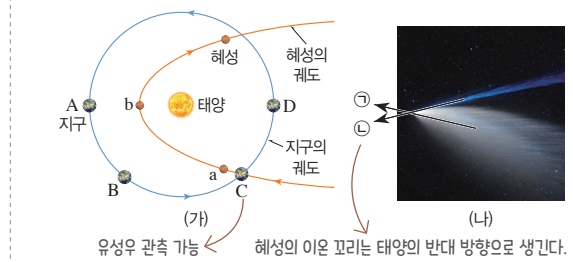
01 (가)는 구형이 아닌 불규칙한 모양이므로 소행성이고, (나)는 모양이 구형이므로 왜소 행성이다.

ㄴ. 정역학 평형을 만족하는 천체는 내부에서 밀어 내는 힘과 끌어당기는 힘(중력)이 평형을 이루기 때문에 구형에 가까운 모양을 갖는다. 따라서 (나)는 정역학 평형을 만족한다.

ㄷ. (나)는 왜소 행성인 명왕성으로, 소행성대에 위치한 소행성(가)보다 태양으로부터 멀리 떨어져 있으므로 표면 온도가 더 낮다.

[바로알기] ㄱ. (가) 소행성은 모양이 불규칙하기 때문에 자전하며 비춰지는 면적이 달라져 관측되는 밝기가 상대적으로 크게 바뀐다. 따라서 하루 동안의 천체의 관측되는 밝기가 덜 변화하는 것은 (나)이다.

02 품고 문제 분석



ㄱ. (가)에서 행성의 공전 방향은 지구와 반대이다. 따라서 지구의 공전 방향이 반시계 방향이므로 시계 방향으로 공전하는 행성도 있다는 것을 알 수 있다.

ㄴ. 행성의 꼬리는 행성을 구성하는 먼지와 얼음이 승화하여 생긴 기체가 태양풍과 태양의 복사압에 의해 밀려나며 만들어지는 것이다. 행성은 a에서 b로 이동하면서 태양에 가까워져 태양풍의 세기와 태양의 복사압이 증가하므로 꼬리가 점차 길어진다.

ㄷ. 행성의 이온 꼬리는 태양풍에 의해 태양의 반대 방향으로 형성되므로 태양의 방향은 이온 꼬리의 반대 방향인 ㉔이다.

[바로알기] ㄹ. 행성이 지나간 자리에는 행성의 잔해들이 남아 있기 때문에 지구가 들어가면 유성우가 나타날 가능성이 크므로 유성우가 나타날 수 있는 지구의 위치는 C이다.

03 ㄱ. 소천체 ㉕은 태양으로부터 2.1 AU~3.5 AU 사이에 많은 수가 있으므로 소행성임을 알 수 있다.

[바로알기] ㄴ. 그림에서 공전 궤도 긴반지름에 따라 ㉕의 개수가 다르고, 특정 거리에는 ㉕이 분포하지 않는다. 따라서 소행성(㉕)은 태양으로부터의 거리에 관계 없이 골고루 분포해 있지 않다.

ㄷ. 소행성은 자체 중력으로 구형을 유지할 수 있을 만큼 질량이 크지 않기 때문에 대체로 불규칙한 모양이다.

04 화성 활동을 경험했는지의 여부에 따라 미분화 운석과 분화 운석으로 구분한다. (나)는 화성 활동을 경험하지 않은 콘드롤(좁쌀 형태의 작은 구슬 모양)을 포함하고 있으므로 미분화 운석이다.

ㄱ. 분화된 천체의 운석을 연구하면 행성 내부와 진화 과정을 알 수 있고, 분화되지 않은 천체의 운석을 연구하면 태양계 형성 초기 환경과 나이를 알 수 있다. 따라서 (가)와 (나)는 태양계 연구에 활용될 수 있다.

[바로알기] ㄴ. (가) 철질 운석은 화성 활동을 경험한 분화된 천체의 운석이므로 분화 운석에 속한다.

ㄷ. (나)는 미분화 운석으로, 태양계 형성 초기에 생성되었다. 따라서 (나)는 지구에 최초의 생명체가 탄생한 시기보다 먼저 형성되었다.

03 / 외계 행성계 탐사

개념 확인 문제

64쪽

① 외계 행성 ② 짧아 ③ 밝기 ④ 미세 중력 렌즈 현상 ⑤ 직접 촬영하는 방법(직접 촬영법) ⑥ 식 현상을 이용

1 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × 2 ㉠ 공통 질량 중심, ㉡ 청색 이동(청색 편이), ㉢ 적색 이동(적색 편이), ㉣ 질량 3 (1) 중심별의 밝기 (2) T_3 4 ㉡ 5 직접 촬영하는 방법(직접 촬영법)

1 (1) 외계 행성은 태양이 아닌 다른 별 주위를 공전하고 있는 행성이다.

(2) 중심별이 외계 행성을 갖고 있는 경우에는 중심별과 외계 행성이 공통 질량 중심 주위를 공전하면 중심별의 시선 속도 변화가 발생하여 별빛의 도플러 효과가 나타나고, 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 주기적인 파장 변화가 나타난다.

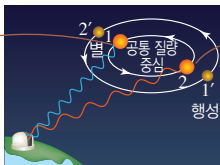
(3) 외계 행성에 의한 식 현상이 일어날 때, 외계 행성이 중심별을 가리는 면적은 외계 행성의 반지름의 제곱에 비례하므로 외계 행성의 반지름이 클수록 중심별의 밝기 변화량이 커진다.

(4) 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법은 배경 천체의 밝기가 가까이 있는 별과 외계 행성의 중력에 의해 더 밝아지는 현상을 관측하는 것이다. 따라서 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법으로는 외계 행성의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 나란하지 않아도 외계 행성을 발견할 수 있다.

(5) 지구에서 중심별까지의 거리가 멀면 직접 촬영하여 외계 행성을 관측하기 어렵다.

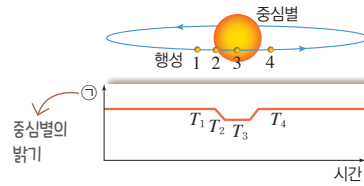
2 중심별과 외계 행성은 공통 질량 중심을 중심으로 동일한 공전 주기로 공전한다. 이때 중심별이 관측자의 시선 방향으로 가까워질 때는 별빛의 파장이 짧아지므로 중심별의 스펙트럼에서 흡수선이 파란색 쪽으로 이동하는 청색 이동(청색 편이)이 나타나고, 중심별이 관측자의 시선 방향으로부터 멀어질 때는 별빛의 파장이 길어지므로 중심별의 스펙트럼에서 흡수선이 붉은색 쪽으로 이동하는 적색 이동(적색 편이)이 나타난다. 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 탐사 방법에서는 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 편이량으로부터 외계 행성의 질량을 추정할 수 있다.

중심별이 관측자에게 가까워질 때: 별빛의 파장이 짧아진다.
⇒ 스펙트럼에서 흡수선이 파란색 쪽으로 이동한다.(청색 이동)



중심별이 관측자로부터 멀어질 때: 별빛의 파장이 길어진다.
⇒ 스펙트럼에서 흡수선이 붉은색 쪽으로 이동한다.(적색 이동)

3 품점 문제 분석



- T_1, T_4 : 행성이 중심별을 가리지 않을 때 ⇒ 중심별의 밝기가 변하지 않는다.
- T_2 : 행성의 일부가 중심별의 일부를 가릴 때 ⇒ 가리는 행성이 중심별보다 어두우므로 중심별의 밝기가 감소한다.
- T_3 : 행성 전체가 중심별의 일부를 가릴 때 ⇒ 중심별의 밝기가 가장 어둡다.

(1) 중심별 주위를 공전하는 외계 행성이 중심별 앞쪽을 통과할 때는 식 현상이 일어나 중심별의 밝기가 감소한다. 따라서 ㉠은 시간에 따라 변화하는 값이므로 중심별의 밝기에 해당한다.

(2) 행성 전체가 중심별을 가릴 때는 중심별의 밝기가 가장 많이 감소하므로 T_3 이다.

4 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 외계 행성계 탐사 방법에서는 배경 천체와 별이 관측자의 시선 방향에 나란할 때, 별이 배경 천체의 앞쪽을 지나가면 별의 중력으로 배경 천체는 원래보다 더 밝게 관측되므로 ㉠은 별의 중력으로 나타나는 밝기 변화이다. 별 주위에 외계 행성이 존재하면 외계 행성의 중력에 의해 ㉡과 같이 배경 천체의 추가적인 밝기 증가가 나타난다.

5 그림은 중심별 주위에 외계 행성이 존재하는 모습을 촬영한 것이므로, 이 외계 행성계 탐사 방법은 직접 촬영하는 방법(직접 촬영법)이다.

개념 확인 문제

67쪽

① 외계 생명체 ② 액체 ③ 광도 ④ 생명 가능 지대 ⑤ 질량 ⑥ 자기장

1 생명 가능 지대 2 (1) 광도 (2) 클수록 (3) 고체 (4) 광도 3 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ 4 (1) 지구 (2) 중심별이 태양 일 때보다 생명 가능 지대까지의 거리가 멀다. 5 (1) 크고, 짧다 (2) A (3) B

1 중심별 주위에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 거리의 영역을 생명 가능 지대라고 한다.

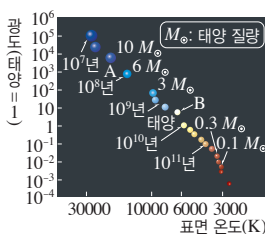
2 (1) 생명 가능 지대의 위치와 폭은 중심별의 광도와 관계가 있다.

- (2) 중심별로부터 행성에 전달되는 에너지는 중심별의 광도에 비례하고, 중심별로부터 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 중심별의 광도가 클수록 생명 가능 지대는 중심별로부터 멀어지며, 생명 가능 지대의 폭은 넓어진다.
- (3) 행성은 중심별에서 가까운 곳에 위치할수록 표면 온도가 높다. 따라서 중심별과 행성 사이의 거리가 너무 멀면 행성의 표면 온도가 낮아 대부분 물이 얼음 상태로 존재한다.
- (4) 별은 진화 과정에서 광도가 변하기 때문에 생명 가능 지대의 범위도 함께 변한다.

- 3** (1) 외계 생명체가 존재하기 위해서는 액체 상태의 물이 필요하다. 물은 비열이 커서 많은 양의 열을 오래 보존할 수 있고, 좋은 용매이므로 생명체의 탄생과 진화에 필요한 다양한 물질을 제공할 수 있다.
- (2) 중심별의 수명이 충분히 길어야 생명체가 탄생하고 진화하는데 충분한 시간을 제공해 줄 수 있다.
- (3) 행성이 생명 가능 지대에 있더라도 중심별의 질량이 적당해야 별의 수명이 충분히 길어 생명 가능 지대에 오래 머물러 있을 수 있기 때문에 생명체가 존재할 가능성이 크다.
- (4), (5) 행성의 질량이 적절하게 커서 행성에 적절한 두께의 대기와 자기장이 있어야 생명체가 존재할 수 있다. 행성의 질량이 작으면 행성의 중력이 작아 대기가 유지되기 어렵기 때문에 온실효과가 강화되지 못하고, 자기장이 없으면 고에너지 입자가 대기를 구성하는 분자들과 충돌하여 이들을 우주 밖으로 보낼 수 있다.

- 4** (1) 현재 태양계에서 생명 가능 지대에 위치한 행성은 지구뿐이다. 중심별과 행성 사이의 거리가 너무 가까우면 행성의 표면 온도가 높아 물이 모두 증발하고, 거리가 너무 멀면 행성의 표면 온도가 낮아 고체 상태의 얼음이 된다.
- (2) 중심별이 주계열성인 경우, 별의 질량이 클수록 광도가 커진다. 중심별의 광도가 크면 생명 가능 지대까지의 거리가 멀어지고, 생명 가능 지대의 폭이 넓어진다. 따라서 태양 질량의 1.5배인 주계열성의 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리는 중심별이 태양일 때 생명 가능 지대까지의 거리보다 멀다.

5 품점 문제 분석



- 질량: $A > B$
- 표면 온도: $A > B$
- 광도: $A > B$
- ⇒ 중심별에서 생명 가능 지대까지 거리: $A > B$
- ⇒ 생명 가능 지대의 폭: $A > B$

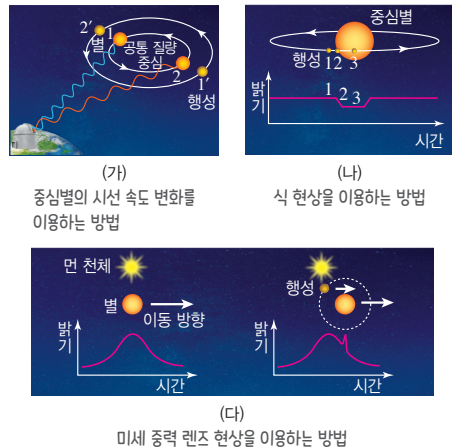
- (1) 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크고, 수명이 짧다.
- (2) 별의 질량은 A가 B보다 더 크므로 광도도 A가 B보다 더 크다. 따라서 중심별의 광도가 클수록 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리가 멀어지므로 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리가 더 먼 것은 A이다.
- (3) A와 B의 행성이 각각 생명 가능 지대의 바깥쪽 경계에 존재한다면, 주계열 단계에 더 오래 머무르는 별에 있는 행성이 생명 가능 지대에 더 오래 머무르게 되므로 B의 행성이 A의 행성보다 생명 가능 지대에 더 오래 머무르게 된다.

대표 자료 분석 1

68쪽

- 1 (가) — □, (나) — △, (다) — ○ 2 ㉠ 반지름, ㉡ 공전 주기
- 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ○

품점 문제 분석



- (가): 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 파장 변화를 관측하여 도플러 효과가 나타나는 것을 통해 외계 행성의 존재를 찾는다.
- (나): 외계 행성이 중심별 앞을 지나면서 중심별의 일부를 가리는 현상(식 현상)이 나타나 중심별의 밝기가 주기적으로 감소하는 것을 통해 외계 행성의 존재를 찾는다.
- (다): 먼 천체(배경 천체)의 밝기가 가까운 별과 외계 행성의 중력으로 인해 원래보다 더 밝게 관측되는 것을 통해 외계 행성의 존재를 찾는다.

- 1** (가)는 외계 행성과 중심별이 공통 질량 중심을 중심으로 공전하면서 중심별의 시선 속도 변화가 발생하여 별빛의 도플러 효과가 나타나므로 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 것이다. (나)는 식 현상으로 인한 중심별의 밝기 변화를 이용하는 것이다. (다)는 가까이 있는 별과 외계 행성에 의한 미세 중력 렌즈 현상으로 인한 먼 천체(배경 천체)의 밝기 변화를 이용하는 것이다.

2 시간에 따라 중심별의 밝기가 변하는 것은 식 현상을 이용하는 탐사 방법에 해당한다. A는 행성에 의한 식 현상이 최대로 발생했을 때 중심별의 밝기 변화량이다. 따라서 A는 행성의 반지름(R)이 클수록 단면적(πR^2)이 커서 행성이 중심별을 많이 가리므로 중심별의 밝기 변화량이 크다. 식 현상은 행성이 중심별 주위를 공전하면서 나타나므로 중심별의 밝기가 변하는 주기($T_2 - T_1$)는 행성의 공전 주기, 중심별의 공전 주기와 같다.

- 3 (1) (가)는 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전하면서 중심별의 시선 속도 변화가 발생하여 별빛의 도플러 효과가 나타나고, 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 주기적인 파장 변화가 나타나는 것을 통해 외계 행성의 존재를 확인할 수 있다.
- (2) (가)에서 외계 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심과 중심별 사이의 거리는 멀어진다. 외계 행성과 중심별의 공전 주기가 같으므로 중심별은 같은 시간 동안 더 큰 궤도를 돌아야 하기 때문에 공전 속도가 빨라진다. 공통 질량 중심에 대한 중심별의 공전 속도가 빨라지면 시선 속도의 최댓값이 커지므로 도플러 효과도 커져서 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 파장 변화량이 커진다.
- (3) (가)에서 행성의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 수직인 경우에는 도플러 효과가 나타나지 않기 때문에 외계 행성의 존재를 확인하기 어렵다. (나)는 행성의 공전 궤도면이 식 현상을 일으킬 정도로 관측자의 시선 방향과 나란해야만 외계 행성의 존재를 확인할 수 있다.
- (4) 현재까지 가장 많은 개수의 외계 행성을 탐사한 방법은 (나)이다.
- (5), (6) (다)는 먼 천체(배경 천체)에서 오는 빛이 별, 행성과 같은 천체의 중력에 의해 휘어져 밝기가 변하는 현상을 이용하여 외계 행성을 찾는 탐사 방법이다.
- (7) (다)는 질량이 작거나 지구 정도 크기의 외계 행성을 발견하는 데 상대적으로 유리하다. (가)는 행성의 질량이 클수록 도플러 효과가 크게 나타나기 때문에 외계 행성을 발견하기 쉽고, (나)는 외계 행성의 반지름이 클수록 중심별의 밝기 변화가 크기 때문에 행성을 발견하기 쉽다.

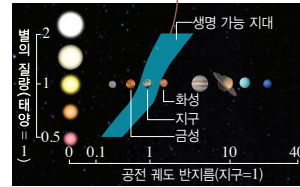
대표자료분석 2

69쪽

- 1 ㉠ 액체, ㉡ 크다, ㉢ 멀어진다 2 지구 3 화성 4 ㉠ 크기, ㉡ 멀어야 5 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

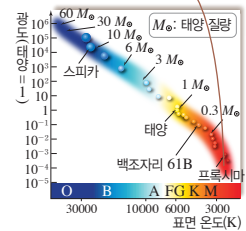
꼼꼼 문제 분석

물이 액체 상태로 존재할 수 있는 영역



(가)

광도가 작아 중심별로부터 생명 가능 지대까지 거리가 가깝다.



(나)

- (가): 중심별이 주계열성이면 별의 질량이 클수록 생명 가능 지대는 중심별로부터 거리가 멀어지고, 생명 가능 지대의 폭은 넓어진다.
- (나): 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높고, 광도가 크며, 수명이 짧다.

1 생명 가능 지대에서는 물이 액체 상태이다. 중심별의 광도가 클수록 생명 가능 지대까지 거리가 멀어지고, 생명 가능 지대의 폭도 넓어진다. 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크다.

2 태양계 행성에서는 생명 가능 지대에 위치한 지구에서만 액체 상태의 물이 존재한다.

3 주계열성인 태양의 광도가 현재보다 증가하게 되면, 생명 가능 지대는 현재보다 태양으로부터 멀어지게 되므로 생명 가능 지대에 화성이 포함될 가능성이 크다.

4 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크고, 별의 광도가 클수록 중심별로부터 생명 가능 지대까지 거리가 멀어진다. 또 중심별에 가까운 곳에 위치하는 행성일수록 표면 온도가 높고, 행성에 액체 상태의 물이 존재하기 위해서는 행성의 표면 온도가 적절해야 한다. 따라서 중심별인 스피카는 광도가 매우 크므로 외계 행성이 생명 가능 지대에 속하기 위해서는 스피카로부터 거리가 멀어야 한다.

5 (1) 주계열성인 중심별의 질량이 작을수록 광도가 작으므로 생명 가능 지대의 폭이 좁아진다.

(2) 태양의 광도는 주계열 단계에서 시간이 지날수록 증가한다. 따라서 태양이 진화 과정을 거치는 동안 생명 가능 지대의 위치와 폭도 변한다.

(3) 주계열성은 질량이 클수록 별의 수명이 짧다. 따라서 주계열성인 중심별의 질량이 클수록 수명이 짧기 때문에 생명체가 탄생하여 진화할 시간이 부족하여 외계 행성에 외계 생명체가 존재할 확률이 작다.

(4) 주계열성인 중심별의 질량이 작으면 광도가 작아 생명 가능 지대까지 거리가 가까워지므로 외계 생명체가 존재할 수 있는 외계 행성의 공전 궤도 반지름이 작아진다.

(5) 프록시마는 태양보다 광도가 작기 때문에 중심별로부터 생명 가능 지대까지 거리가 1 AU보다 가깝다. 프록시마를 중심별로 하는 외계 행성이 외계 생명체가 존재할 수 있는 적당한 온도를 가지려면 생명 가능 지대에 위치해야 하므로 프록시마로부터 외계 행성이 1 AU보다 가까이 있어야 한다.

내신 만점 문제

70쪽~72쪽

01 ② 02 ④ 03 해설 참조 04 ② 05 ⑤
06 ④ 07 ③ 08 해설 참조 09 ② 10 ①
11 ③ 12 ③ 13 ⑤ 14 ⑤ 15 해설 참조

01 ① 외계 행성은 중심별에 비해 작고 매우 어두워 직접적으로 발견하기 어렵기 때문에 주로 간접적인 방법을 이용하여 탐사한다.

③ 식 현상을 이용하는 탐사 방법은 외계 행성이 중심별 앞을 지날 때 일시적으로 중심별의 밝기가 감소하는 것을 이용하는 것으로, 시간에 따른 중심별의 밝기 변화를 측정하여 외계 행성의 존재를 알아낼 수 있다.

④ 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 탐사 방법은 중력에 의해 천체의 빛이 휘는 현상을 활용한 것이다. 즉, 배경 천체의 빛이 가까이 위치한 별과 별 주위를 공전하는 외계 행성의 중력에 의해 원래보다 더 밝게 보이는 것을 이용한 것이다.

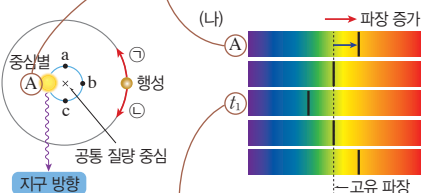
⑤ 행성은 표면 온도가 낮기 때문에 최대 복사 에너지 파장(λ_{max})이 길다. 따라서 외계 행성을 직접 촬영하는 방법은 가시광선보다 적외선 영역에서 유리하다.

바로알기 ② 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 파장 변화를 활용하는 탐사 방법은 외계 행성의 질량을 추론할 수 있게 한다.

02 — 푼점 문제 분석

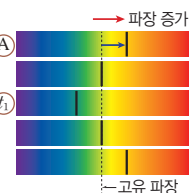
흡수선의 파장이 고유 파장보다 길므로 적색 이동(적색 편이)이 나타난다. $\Rightarrow$ 중심별은 관측자로부터 멀어진다. $\Rightarrow$ 중심별은 시계 방향으로 공전한다. $\Rightarrow$ 외계 행성의 공전 방향: $\odot$ 방향

(가)



흡수선의 파장이 고유 파장보다 짧으므로 청색 이동(청색 편이)이 나타난다. $\Rightarrow$ 중심별은 관측자에게 가까워진다. $\Rightarrow$ 중심별의 위치: b

(나)



나, 외계 행성의 질량이 작을수록 중심별과 공통 질량 중심 사이의 거리가 가까워지며, 중심별의 공전 속도가 감소하므로 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 파장 변화량이 작아진다.

ㄷ, t_1 일 때, 중심별의 스펙트럼에서 청색 이동(청색 편이)이 나타나고 흡수선의 파장 변화량의 크기는 A일 때와 같다. 그러므로 t_1 일 때는 A와 반대 방향에 위치한 b에 중심별이 위치한다.

바로알기 ㄱ, 중심별이 A에 있을 때 중심별의 스펙트럼에서 적색 이동(적색 편이)이 나타나므로 중심별은 지구로부터 멀어지는 방향으로 이동한다. 따라서 중심별이 시계 방향으로 공전하므로 외계 행성도 시계 방향($\odot$ 방향)으로 공전한다.

03 **모범 답안** 행성의 질량이 클수록 중심별의 움직임이 커서(시선 속도 변화가 커서) 도플러 효과가 크게 나타나기 때문에 탐사에 유리하다.

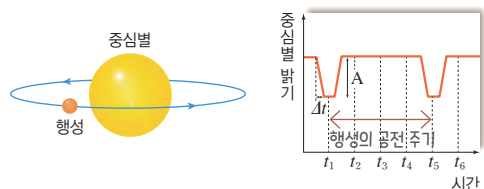
채점 기준	배점
중심별의 움직임이 커서 도플러 효과가 크게 나타나기 때문이라고 올바르게 서술한 경우	100 %
도플러 효과가 크게 나타나기 때문이라고만 옮겨 서술한 경우	60 %

04 나, 지구와 중심별 사이의 거리가 가장 가까울 때는 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 파장이 청색 이동에서 적색 이동으로 바뀌는 시점이므로 이에 해당하는 것은 T_2 이다. 따라서 T_2 일 때가 T_5 일 때보다 지구와 중심별 사이의 거리가 가깝다.

바로알기 ㄱ, T_1 일 때와 T_5 일 때 시선 속도의 크기와 변화 형태가 동일하므로 $T_5 - T_1$ 은 중심별과 외계 행성의 공전 주기이다.

ㄷ, 외계 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향에 수직인 경우에는 관측자에게 중심별이 다가오거나 멀어지지 않으므로 도플러 효과가 관측되지 않기 때문에 A는 0이 된다.

05 — 푼점 문제 분석



(가)

(나)

- t_1, t_5 : 행성에 의해 중심별이 가려지는 식 현상이 나타난다.
- $\Rightarrow$ 중심별의 시선 속도가 0이다.
- $\Rightarrow$ 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 파장 변화가 없다.
- t_4 : 행성에 의해 중심별이 가려지기 전에 일어나기 전이다.
- $\Rightarrow$ 중심별이 관측자로부터 멀어지고 있다.
- $\Rightarrow$ 중심별의 스펙트럼에서 적색 이동이 나타난다.

⑤ t_5 일 때는 식 현상이 일어나 중심별의 밝기가 최소인 시점이므로 중심별, 행성, 지구(관측자)가 나란하여 중심별의 시선 속도가 0이고, 중심별의 스펙트럼에서는 흡수선의 파장 변화가 없으며, 이때 지구와 중심별 사이의 거리가 가장 멀다. 한편, t_4 일 때는 식 현상이 일어나기 전이므로 중심별은 지구로부터 멀어지기 때문에 중심별의 스펙트럼에서는 흡수선의 파장이 길어져 붉은색 쪽으로 이동하는 적색 이동이 나타난다. 따라서 t_4 일 때가 t_5 일 때보다 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 파장이 더 길다.

[바로알기] ① A는 행성에 의해 중심별이 가려지면서 나타나는 식 현상으로 인한 중심별의 밝기 감소량이다. 외계 행성의 반지름이 2배가 되면 중심별이 가려지는 면적은 4배가 되므로 A 값도 4배가 된다.

② 외계 행성의 반지름이 클수록 행성의 일부가 중심별을 가리기 시작하여 행성 전체가 중심별을 가릴 때까지의 시간(Δt)이 길어진다.

③ 중심별의 밝기가 변하는 주기는 행성의 공전 주기와 같다. 따라서 행성의 공전 주기는 $(t_5 - t_1)$ 이다.

④ 관측자의 시선 방향과 외계 행성의 공전 궤도면이 수직이면 외계 행성이 중심별을 가리는 식 현상이 일어나지 않아 중심별의 밝기 변화가 나타나지 않을 것이다. 관측자의 시선 방향과 외계 행성의 공전 궤도면이 거의 나란해야만 식 현상이 일어나 중심별의 밝기가 일시적으로 감소한다.

06 ㄴ. (가)는 중심별의 밝기 변화를, (나)는 중심별의 스펙트럼에서 나타나는 흡수선의 파장 변화를 관측해야 한다.

ㄷ. (가)에서는 외계 행성의 반지름을, (나)에서는 외계 행성의 질량을 추론할 수 있다. 따라서 (가)와 (나)를 통해 외계 행성의 밀도($= \frac{\text{질량}}{\text{부피}}$)를 추론할 수 있다.

[바로알기] ㄱ. (가)는 식 현상을 이용하여 중심별의 밝기가 일시적으로 감소하는 것을 통해 외계 행성의 존재를 확인하는 방법이므로 (가)를 활용하면 외계 행성의 반지름을 알 수 있다. (나)는 외계 행성의 질량이 클수록 중심별의 움직임이 커서 도플러 효과가 크게 나타나기 때문에 외계 행성을 발견하기 쉽다. 따라서 외계 행성의 질량에 대해 알 수 있는 탐사 방법은 (나)이다.

07 ㄱ. 미세 중력 렌즈 현상에 의해서 나타나는 별의 밝기 변화 A는 가까이 있는 별 ㉠의 중력에 의해 원래보다 더 밝게 보이는 별 ㉡의 밝기 변화에 해당한다.

ㄷ. B는 외계 행성의 중력에 의해 나타나는 별 ㉡의 밝기 변화이다. 따라서 B가 나타나면 외계 행성의 존재 유무를 알 수 있다.

[바로알기] ㄴ. A가 최대일 때는 별 ㉠, 별 ㉡, 관측자가 나란하게 위치할 때이다.

08 모범 답안 (1) 미세 중력 렌즈 현상

(2) 특징은 외계 행성의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 나란하지 않아도 외계 행성을 발견할 수 있고, 질량이 작은 외계 행성을 탐사할 때 유리하며, 공전 궤도 긴반지름이 큰 외계 행성을 탐사할 때 유리하다. 한계점은 외계 행성계가 먼 천체 앞을 여러 번 지나가지 않으므로 주기적인 관측이 불가능하고, 항상 하늘을 관측해야 한다.

채점 기준	배점
(1)과 (2)를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(2)에서 특징과 한계점을 모두 옳게 서술한 경우	70 %
(2)에서 특징과 한계점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	35 %
(1)만 옳게 쓴 경우	30 %

09 ㄷ. 직접 촬영하는 방법은 분광 관측을 통해 행성 대기의 성분을 알아낼 수 있다.

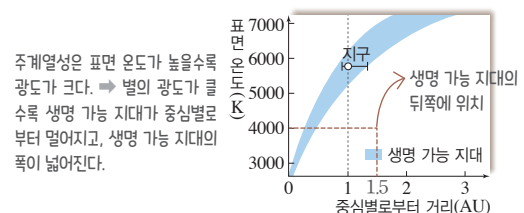
[바로알기] ㄱ, ㄴ. 직접 촬영하는 탐사 방법은 외계 행성의 존재를 알 수 있는 직접적인 방법에 해당한다. 이 탐사 방법은 중심별을 가리고 외계 행성을 관측한다. 이때 외계 행성이 중심별과의 거리가 가까우면 외계 행성이 가림판 안에 위치하므로 중심별로부터 외계 행성이 가까울수록 발견하는 데 유리한 것이 아니다.

10 ㄱ. 중심별의 시선 속도 변화를 이용한 탐사로 질량이 크거나 중심별과 가까이 있는 외계 행성들이 많이 발견되었다. 중심별에 작용하는 외계 행성의 중력이 클수록 중심별의 시선 속도 변화가 크게 나타나기 때문이다.

[바로알기] ㄴ. 현재까지 발견한 외계 행성의 대부분은 식 현상을 이용하여 발견한 것이다.

ㄷ. 직접 촬영하여 발견한 외계 행성은 대체로 공전 궤도 긴반지름이 10 AU 이상이다.

11 품평 문제 분석



ㄱ. 그림에서 지구는 생명 가능 지대에 위치한다.

ㄴ. 생명 가능 지대는 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 거리의 영역이다. 그리고 주계열성인 중심별의 표면 온도가 높을수록 생명 가능 지대의 폭이 넓어진다. 따라서 중심별의 표면 온도가 높을수록 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 거리의 폭이 넓어진다.

바로알기 ㄷ. 주계열성인 중심별의 표면 온도가 4000 K이고, 공전 궤도 반지름이 1.5 AU인 외계 행성은 생명 가능 지대의 뒤쪽에 위치한다. 따라서 단위 면적당 단위 시간당 중심별로부터 받는 에너지량은 생명 가능 지대에 위치한 지구보다 적다.

12 ㄱ. 중심별로부터 생명 가능 지대가 멀리 있을수록 중심별의 광도가 큰 것이다. 중심별의 광도가 클수록 생명 가능 지대의 폭은 넓으므로 멀리 있는 l_2 가 l_1 보다 폭이 더 크다.

ㄷ. 별은 주계열성 → 적색 거성 단계로 진화하는데, 이때 광도는 밝아진다. 외계 행성 P는 영년 주계열성일 때도 생명 가능 지대에 있고, 적색 거성일 때도 생명 가능 지대에 위치하므로 주계열 기간 내내 생명 가능 지대에 분포한다.

바로알기 ㄴ. 영년 주계열성일 때 생명 가능 지대의 폭은 l_1 이고, 적색 거성일 때 생명 가능 지대의 폭은 l_2 이다. 따라서 l_2 가 l_1 보다 더 먼 거리에 존재한다는 것은 적색 거성일 때 광도가 더 크다는 것을 의미하므로 광도는 영년 주계열성일 때보다 적색 거성일 때 더 크기 때문에 영년 주계열성일 때보다 적색 거성일 때 중심별로부터 단위 시간당 받는 에너지량이 더 많다.

13 ① 중심별의 진화 속도가 빠르면 생명체가 탄생하여 진화하는 데 시간이 충분하지 않으므로 중심별의 진화 속도가 적절해야 한다.

② 행성에 자기장이 존재하여 우주선이나 고에너지 대전 입자로부터 생명체를 보호할 수 있어야 한다.

③ 생명체가 존재하기 위해서는 행성에 액체 상태의 물이 필수적으로 존재해야 한다.

④ 행성에 적절한 두께의 대기는 온실 효과를 일으켜 밤낮의 온도 차를 줄이므로 필요하다.

바로알기 ⑤ 행성의 공전 주기와 자전 주기가 같으면 행성의 낮과 밤이 항상 고정되므로 행성에 생명체가 존재하고 진화하기에 적절하지 않다.

14 품평 문제 분석

주계열성	표면 온도 (K)	생명 가능 지대 (AU)	외계 행성의 공전 궤도 반지름(AU)
A	10000	4.2~(㉠)	5
B	()	0.3~0.5	0.4
C	6000	0.9~1.2	(㉡)

중심별로부터 생명 가능 지대까지 거리: $A > C > B$

⇒ 생명 가능 지대의 폭: $A > C > B$

⇒ 주계열성의 표면 온도: $A > C > B$

⇒ 생명 가능 지대에 위치한 외계 행성의 공전 궤도 반지름: $A > C > B$

ㄱ. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도가 크고, 생명 가능 지대의 폭은 중심별의 광도가 클수록 넓어진다. 따라서 A의 생명 가능 지대의 폭은 C에서의 0.3 AU($=1.2-0.9$)보다 커야 하므로 ㉠은 $4.2+0.3=4.5$ 보다 크다.

ㄴ. C에서 생명 가능 지대에 있는 외계 행성은 공전 궤도 반지름이 0.9 AU~1.2 AU 사이이다. 그런데 B 주위를 공전하는 외계 행성의 공전 궤도 반지름은 0.4 AU이므로 중심별 주위를 공전하는 외계 행성 중 공전 궤도 반지름이 가장 작다.

ㄷ. ㉡이 1.2라면 C 주위를 공전하는 외계 행성은 생명 가능 지대의 가장 바깥쪽 경계에 위치한다. B 주위를 공전하는 외계 행성은 공전 궤도 반지름이 0.4 AU이므로 생명 가능 지대의 중간쯤에 위치한다. 따라서 표면 온도는 B 주위를 공전하는 외계 행성이 C 주위를 공전하는 외계 행성보다 더 높다.

15 **모범 답안** (1) 별의 광도가 백조자리 61B보다 스피카가 크므로 백조자리 61B보다 스피카의 생명 가능 지대의 폭이 넓다.

(2) 태양, 주계열성은 질량이 작을수록 수명이 길므로 태양은 스피카보다 수명이 길다. 생명체가 탄생하고 진화하는 데는 오랜 시간이 필요하므로 태양이 스피카보다 더 유리하다.

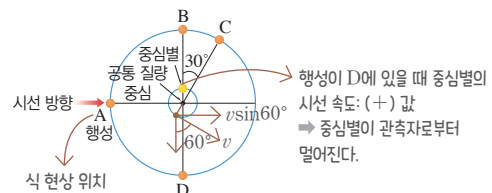
채점 기준	배점
(1) 생명 가능 지대의 폭을 옳게 비교하고, 그 까닭을 광도와 관련하여 옳게 서술한 경우	50 %
생명 가능 지대의 폭만 옳게 비교한 경우	20 %
(2) 태양이라고 옳게 쓰고, 그 까닭을 별의 수명과 관련하여 옳게 서술한 경우	50 %
태양이라고만 옳게 쓴 경우	20 %

실력UP문제

73쪽

01 ① 02 ③ 03 ⑤ 04 ②

01 품평 문제 분석

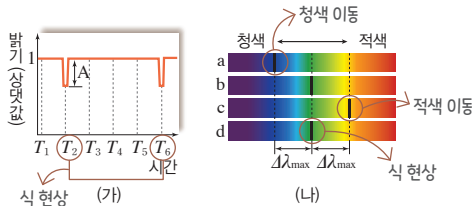


ㄱ. 외계 행성이 D에 있을 때 중심별의 시선 속도가 (+) 값이므로 중심별은 D와 반대 방향의 위치에서 관측자의 시선 방향에 대해 멀어진다. 따라서 중심별은 시계 방향으로 공전한다.

바로알기 ㄴ. 중심별의 밝기는 외계 행성이 중심별을 가리는 식 현상이 나타나는 A일 때가 가장 어렵게 보인다.

ㄷ. 외계 행성이 C에 있을 때 중심별은 행성과의 공통 질량 중심에 대해 반대 방향에 위치하므로 관측자의 시선 방향과 이루는 각도는 60° 이고, 중심별은 관측자에게 가까워지므로 시선 속도 성분은 $-v_0 \times \sin 60^\circ = -30 \times 10^3 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$ m/s이다. $\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ 이므로 $\lambda_0 = 500$ nm, $v = -30 \times 10^3 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$ m/s, $c = 3 \times 10^8$ m/s를 대입하면 $\Delta\lambda = -0.0433$ nm이고, $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$ 이므로 $\lambda = 499.9567$ nm이다.

02 품점 문제 분석



- 중심별의 밝기 감소량(A): 중심별을 가리는 외계 행성의 반지름이 클수록 크다.
- a: 청색 이동 $\Rightarrow$ 중심별이 관측자에게 가까워진다.
- b: 흡수선의 파장 변화가 없다. $\Rightarrow$ 중심별의 시선 속도: 0
- c: 적색 이동 $\Rightarrow$ 중심별이 관측자로부터 멀어진다.
- d: 흡수선의 파장 변화가 없다. $\Rightarrow$ 중심별의 시선 속도: 0

ㄱ. 식 현상이 나타날 때 중심별은 관측자로부터 가장 멀리 있게 되므로 적색 이동에서 청색 이동으로 변화하는 시선 속도가 0인 지점이 된다. a~d 중 이에 해당하는 것은 d이고, T_2 와 T_6 일 때이다. 그러므로 T_5 일 때는 d 바로 전인 c에 해당한다.

ㄷ. 외계 행성의 질량이 커지면 중심별과 행성의 만유인력(중력)이 증가하여 중심별의 공전 속도가 증가하기 때문에 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 파장 변화량($\Delta\lambda_{\max}$)도 증가한다.

[바로알기] ㄴ. 중심별의 반지름이 작을수록, 외계 행성의 반지름이 클수록 중심별의 밝기 감소 비율인 A가 증가한다.

03 ㄱ. (가)에서 외계 행성 a의 공전 주기는 $T_6 - T_2$ 이고, (나)에서 외계 행성 b의 공전 주기는 $T_5 - T_2$ 이다. 따라서 외계 행성의 공전 주기는 a가 b보다 길다.

ㄴ. T_2 일 때 두 중심별의 밝기가 가장 작으므로 식 현상이 나타났다. 식 현상이 나타날 때는 관측자의 시선 방향-외계 행성-중심별이 나란하게 배열하고, 중심별의 이동 방향은 관측자의 시선 방향에 대해 수직이므로 중심별의 시선 속도는 0이다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 중심별의 크기가 같고, 중심별의 밝기 감소량은 행성의 반지름의 제곱에 비례한다. 중심별의 밝기 감소 비율이 (가)에서는 0.01, (나)에서는 0.04이므로 외계 행성 a와 b의 반지름 비는 1 : 2이다.

04 ㄴ. 중심별로부터 단위 면적당 단위 시간당 받는 에너지량은 생명 가능 지대의 안쪽 경계에 위치한 c가 가운데에 위치한 b보다 많다.

[바로알기] ㄱ. 주계열성은 질량이 클수록 반지름이 크고, 표면 온도가 높으며, 별의 광도가 크다. A와 B 중 광도가 더 큰 것은 생명 가능 지대가 더 멀리 위치하는 B이다. 따라서 B의 반지름이 A의 반지름보다 크다.

ㄷ. 행성이 생명 가능 지대에 오래 머물기 위해서는 중심별이 주계열 단계에 오래 머물러야 하고, 중심별의 광도는 주계열 기간에 걸쳐 서서히 증가하므로 생명 가능 지대의 안쪽 경계보다는 바깥쪽 경계에 있어야 한다. 따라서 이를 만족시키는 외계 행성은 b이다.

중단원 핵심정리

74쪽

- | | | | | |
|-------|---------|-------|-------|-------|
| ① 중력 | ② 초점 | ③ 이심률 | ④ 근일점 | ⑤ 원일점 |
| ⑥ 길 | ⑦ 카이퍼 띠 | ⑧ 소행성 | ⑨ 코마 | ⑩ 운석 |
| ⑪ 소행성 | ⑫ 식 현상 | ⑬ 중력 | ⑭ 액체 | ⑮ 클 |
| ⑯ 수명 | ⑰ 온실 효과 | | | |

중단원 마무리 문제

75쪽~78쪽

- | | | | | | |
|----------|------|----------|----------|------|------|
| 01 ④ | 02 ③ | 03 ③ | 04 ③ | 05 ⑤ | 06 ④ |
| 07 ② | 08 ① | 09 ④ | 10 ① | 11 ④ | 12 ③ |
| 13 ③ | 14 ⑤ | 15 해설 참조 | 16 해설 참조 | | |
| 17 해설 참조 | | | | | |

01 ① 태양은 태양계 전체 질량의 약 99.85 %를 차지한다.
② 태양계의 모든 행성은 태양의 중력에 묶여 반시계 방향으로 공전한다.

③ 왜소 행성은 공전 궤도상의 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 가지지 못해 공전 궤도상에 유사한 크기의 천체나 지배적인 중력을 행사하는 천체가 존재할 수 있다.

⑤ 소행성은 주로 화성과 목성의 공전 궤도 사이(소행성대)에 분포하며, 대부분 모양이 불규칙하다.

[바로알기] ④ 행성의 위성은 태양의 중력에 영향을 받지만, 주로 행성의 중력에 의해 공전 궤도가 안정적으로 유지된다.

02 ㄱ. 그림에서 한 칸은 1 AU에 해당한다. 공전 궤도 긴반지름은 근일점에서 원일점까지 거리의 절반이다. 행성 A와 B는 근일점에서 원일점까지 거리가 모두 8 AU이므로, 공전 궤도 긴반지름은 4 AU이다.

ㄴ. 공전 궤도 이심률은 $e = \frac{c}{a}$ (c : 타원 중심에서 초점까지 거리, a : 공전 궤도 긴반지름)이다. 태양은 초점에 있으므로 행성 A는 타원 중심에서 초점까지 거리인 c 가 2 AU이고, a 는 4 AU이므로 $e = \frac{2 \text{ AU}}{4 \text{ AU}} = 0.5$ 이다.

바로알기 ㄷ. 행성 A와 B는 공전 궤도 긴반지름이 같다. 케플러 제3법칙에 따라 공전 궤도 긴반지름(a)의 단위가 'AU', 공전 주기(P)의 단위가 '년'이면 $\frac{a^3}{P^2} = 1$ 이다. 따라서 행성 A와 B의 공전 주기는 8년으로 동일하다.

03 ㄱ. 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 방법에서 외계 행성의 질량이 클수록 중심별의 시선 속도 변화량도 크다. 따라서 (가)로부터 외계 행성의 질량에 대한 정보를 알 수 있다.

ㄷ. (가)와 (나)는 관측자의 시선 방향과 외계 행성의 공전 궤도면이 수직이면 관측할 수 없다. 반면에, 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 방법은 관측자의 시선 방향과 외계 행성의 공전 궤도면이 나란하지 않아도 외계 행성의 존재 유무를 알 수 있다.

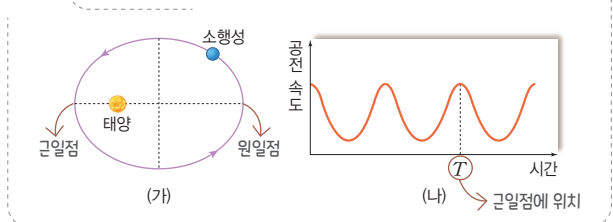
바로알기 ㄴ. 식 현상을 이용하는 방법은 중심별의 밝기 변화를 활용한다.

04 ㄱ. 외계 행성의 공전 속도가 클수록 빠르게 회전하여 외계 행성이 중심별을 가리는 식 현상이 자주 일어난다. 따라서 외계 행성의 공전 속도가 클수록 중심별의 밝기 변화 주기는 짧아진다.

ㄴ. 외계 행성의 반지름이 클수록 식 현상 때 중심별을 가리는 면적이 증가하므로 중심별의 밝기가 크게 감소한다. 따라서 외계 행성의 반지름이 클수록 중심별의 밝기 변화 폭은 증가한다.

바로알기 ㄷ. 중심별의 밝기가 가장 빠르게 감소하는 경우는 외계 행성이 중심별을 가리기 시작하여 완전히 가리기 직전까지이고, 이때 중심별의 스펙트럼에서 흡수선 파장의 편이량이 가장 작다.

05 품목 문제 분석



ㄱ. 케플러 제2법칙에 따르면 행성과 태양을 이은 선이 동일한 시간 동안 쓸고 지나간 면적은 같다. 따라서 소행성의 공전 주기가 5년이므로 소행성과 태양을 이은 선이 1년 동안 쓸고 지나간 면적은 소행성 궤도 면적의 $\frac{1}{5}$ 이다.

ㄴ. T 일 때는 소행성의 공전 속도가 가장 크므로 이 소행성이 근일점에 위치할 때이다. 만유인력(중력)은 태양과 소행성의 거리가 가까울수록 크므로 T 일 때 가장 크다.

ㄷ. 케플러 제3법칙에 따르면 소행성의 공전 궤도 긴반지름(a)의 단위가 'AU', 공전 주기(P)의 단위가 '년'이면 $\frac{a^3}{P^2} = 1$ 이다. 따라서 소행성의 공전 주기가 5년이므로 공전 궤도 긴반지름은 $\sqrt[3]{25}$ AU이다. 만일 소행성의 공전 궤도 긴반지름이 3 AU이라면 공전 주기가 $\sqrt{27}$ 년이므로 공전 궤도 긴반지름은 3 AU보다 작다.

06 ㄴ. 천체의 총에너지는 쌍곡선 궤도인 C가 가장 크다.

ㄷ. A와 B는 태양 주위를 각각 원 궤도와 타원 궤도로 공전한다. C는 쌍곡선 궤도이므로 한 번 태양에 다가온 후 계속 멀어진다.

바로알기 ㄱ. 천체 A~C의 공전 궤도 이심률을 보면, A는 0이고, B는 0과 1 사이이며, C는 1보다 크다. 따라서 A는 공전 궤도가 원 궤도이고, B는 타원 궤도이며, C는 쌍곡선 궤도이다.

07 (가)는 모양이 불규칙하므로 소행성이고, (나)는 모양이 구형이므로 왜소 행성이다.

ㄷ. 반지름은 왜소 행성인 (나)가 소행성인 (가)보다 크다.

바로알기 ㄱ. 행성, 왜소 행성, 질량이 큰 소행성과 위성 등의 천체는 질량이 크기 때문에 천체 생성 초기에 내부 온도가 상승하여 천체를 이루는 물질들이 액체 상태(마그마 바다 상태)로 변화하여 밀도 차이로 분화가 나타났다. 하지만 질량이 작은 대부분의 소행성, 혜성 핵, 질량이 작은 위성 등과 같은 천체는 질량이 작기 때문에 이러한 분화가 나타나기 어렵다. 따라서 (가)는 분화가 나타나지 않았고, (나)는 분화가 나타났다.

ㄴ. 천체의 모양이 불규칙하면 천체의 자전에 의해 관측되는 밝기 변화가 크게 나타난다. 따라서 (가)가 (나)보다 천체의 자전으로 인해 관측되는 천체의 밝기 변화가 상대적으로 크다.

08 ㄱ. (가)는 찌그러진 타원체의 소행성이고, (나)는 꼬리가 있으므로 혜성이다. 소행성은 주로 화성과 목성의 공전 궤도 사이에 분포하지만, 혜성은 카이퍼 띠나 오르트 구름에서 기원하는 경우가 많다. 따라서 천체들의 평균적인 공전 주기는 혜성이 소행성에 비해 더 길다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 A는 이온 꼬리(플라스마 꼬리), B는 먼지 꼬리이다. A와 B의 밝기는 태양과의 거리에 따라 달라지게 된다. ㄷ. 태양풍에 의해 형성되는 것은 이온 꼬리이므로 태양에서 방출된 물질과의 상호작용으로 형성되는 것은 A이다. B는 태양의 복사압에 의해 형성되므로 태양에서 방출된 물질과의 상호작용으로 형성되는 것은 아니다.

09 ① (가)는 금속 물질과 규산염 물질이 섞여 있으므로 천체가 분화되지 않았을 때이다. (나)는 지각, 맨틀, 핵으로 층상구조를 이루고 있으므로 천체가 분화되었을 때이다.

② 한 천체의 중심부의 밀도는 분화된 이후가 그 전보다 더 크므로 (가)보다 (나)일 때가 더 크다.

③ 태양계 형성 초기의 상태를 연구하기 위해서는 천체가 분화되지 않았을 때인 (가)일 때가 더 유리하다.

⑤ 현재 지구는 지각, 맨틀, 외핵, 내핵으로 층상구조를 이룬다. 따라서 현재 지구는 내부 구조가 (가)보다 (나)에 가깝다.

[바로알기] ④ 천체 표면에서의 중력은 천체의 질량, 반지름과 관련이 있다. (가)와 (나)의 반지름과 질량은 동일하므로 천체 표면에서의 중력은 같다.

10 ㄱ. (가)는 행성에 속하는 화성이고, (나)는 왜소 행성인 명왕성이며, (다)는 소행성인 베스타이다. 행성은 왜소 행성과 달리 공전 궤도 내에서 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 갖는다. 공전 궤도 내에서 다른 천체에 대해 중력적으로 지배적인 영향을 가지지 못하는 천체를 왜소 행성이라고 정의한다.

[바로알기] ㄴ. 그림에서 천체의 질량은 행성 > 왜소 행성 > 소행성이다. 왜소 행성은 질량이 작을 것 같지만 대부분 구형을 유지하므로 상당한 질량을 갖는다. 반면에, 소행성 중 구형을 유지하지 못하는 것들은 질량이 작은 천체들이다.

ㄷ. 천체가 대기를 갖기 위해서는 중력의 크기가 커야 한다. (가)~(다) 중 중력이 가장 큰 것은 질량이 가장 큰 (가)이므로 대기의 양도 (가)가 가장 많다.

11 ㄴ. 미분화된 운석은 태양계 원시 물질이 보존되어 있으므로 태양계 초기 환경의 연구에 활용되기 좋다.

ㄷ. 운석은 유성체가 지구의 대기권 안으로 들어와 대기와의 마찰로 인해 타거나 녹은 잔해이다. 따라서 이 운석의 표면은 대기와의 마찰로 인해 녹은 적이 있다.

[바로알기] ㄱ. 석질 운석을 구성하는 주요 물질은 산소와 규소이다.

12 ㄱ. 중심별에 대한 외계 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심과 중심별 사이의 거리가 멀어지고, 중심별의 공전 속도가 증가하게 되어 별빛의 파장 변화량이 커진다.

ㄷ. 중심별은 공통 질량 중심을 중심으로 공전하면서 관측자로부터 멀어졌다가 가까워지면서 중심별의 시선 속도가 변한다. 따라서 중심별의 시선 속도 변화의 주기와 행성의 공전 주기는 같다.

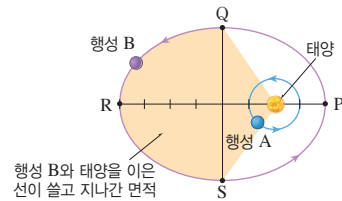
[바로알기] ㄴ. 중심별의 시선 속도가 (+) 값인 구간은 중심별이 관측자로부터 멀어지는 구간이다. 외계 행성과 중심별의 공전 궤

도가 원 궤도이므로 시선 속도의 최댓값은 별이 관측자로부터 멀어지는 구간의 가운데이다. 따라서 별빛은 고유 파장에 대한 파장의 변화량이 증가하다가 감소한다.

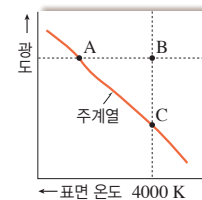
13 ㄱ. 행성의 공전 궤도 긴반지름은 행성 A가 1 AU이고, B가 4 AU이다. 케플러 제3법칙에 따라 공전 궤도 긴반지름(a)의 단위가 'AU', 공전 주기(P)의 단위가 '년'이면 $\frac{a^3}{P^2}=1$ 이므로, 공전 주기는 A가 1년, B가 8년이다.

ㄷ. 행성 B가 근일점일 때 태양과의 거리는 2 AU이고, 원일점일 때 태양과의 거리는 6 AU이며, 각운동량보존 법칙에 따라 $r_{\text{근}} \times v_{\text{근}} = r_{\text{원}} \times v_{\text{원}}$ 이다. 따라서 근일점일 때의 공전 속도 크기는 원일점일 때보다 3배 크다.

[바로알기] ㄴ. 행성 A가 태양을 4번 공전하는 데 걸리는 시간은 4년이다. 행성 B가 Q에서 S로 공전할 때, 행성 B와 태양을 이은 선이 끌고 지나간 면적은 행성 B의 공전 궤도 면적의 절반이 넘으므로 Q → S로 이동하는 시간은 4년보다 길다.



14 품평 문제 분석



- 중심별의 광도: $A=B>C$
- ➔ 생명 가능 지대까지 거리: $A=B>C$
- ➔ 생명 가능 지대의 폭: $A=B>C$
- 중심별의 질량: $A>C$
- ➔ 중심별의 수명: $A<C$
- ➔ 생명 가능 지대에 머무르는 시간: $A<C$

ㄱ. 별 A와 B는 광도가 같으므로 중심별로부터 생명 가능 지대까지 거리는 같고, 생명 가능 지대의 폭도 같다.

ㄴ. 생명 가능 지대의 바깥쪽 경계에 위치한 외계 행성이 생명 가능 지대에 머무르는 시간은 중심별의 수명이 길수록 길다. 중심별의 수명은 표면 온도가 낮은 C가 A보다 더 길다. 따라서 생명 가능 지대의 바깥쪽 경계에 위치한 외계 행성이 생명 가능 지대에 머무르는 시간은 중심별이 A일 때보다 중심별이 C일 때가 더 길다.

ㄷ. B의 표면 온도는 4000 K이고, 주계열에서 벗어나 있으므로 적색 거성이다. 적색 거성의 광도는 태양보다 크다. 따라서 중심별인 A로부터 생명 가능 지대의 안쪽 경계까지의 거리는 1 AU보다 크다.

15 **모범 답안** $\sqrt[3]{100}$ AU. A에서 B까지 이동하는 데 걸린 시간이 1년이므로, A에서 C까지 이동하는 데 걸린 시간은 2년이다. C에서 D까지 이동하는 데 걸린 시간이 4년이므로 C에서 A까지 이동하는 데 걸린 시간은 8년이다. 따라서 소행성의 공전 주기는 10년이고, $\frac{a^3}{P^2} = 1$ 이므로 $a = \sqrt[3]{100}$ AU이다.

채점 기준	배점
공전 궤도 긴반지름을 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
공전 궤도 긴반지름을 옳게 구하지는 못했지만 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	60 %
공전 궤도 긴반지름만 옳게 구한 경우	40 %

16 **모범 답안** 행성은 자신의 공전 궤도에서 중력적으로 지배적인 역할을 해야 한다. 하지만 명왕성은 자신의 공전 궤도에서 중력적으로 지배적인 역할을 하지 못하므로 행성이 아닌 왜소 행성으로 지위가 변경되었다.

채점 기준	배점
행성의 정의 중 공전 궤도 내에서 지배적인 역할(중력)과 관련한 부분을 서술하고, 명왕성이 이 정의에 해당하지 않는다고 옳게 서술한 경우	100 %
행성의 정의 중 공전 궤도 내에서 지배적인 역할과 관련한 부분을 서술하였으나, 명왕성이 행성의 정의 중 어느 부분을 만족하지 못하였는지를 옳게 서술하지 못한 경우	50 %

17 **모범 답안** (1) t_3

(2) 외계 행성의 반지름이 2배가 되면 중심별이 외계 행성에 의해 가려지는 면적은 4배가 된다. 따라서 a 는 현재의 4배가 된다.

(3) t_1 은 외계 행성이 중심별을 가리기 시작하여 중심별 앞을 통과하며 빠져나갈 때까지 걸리는 시간이므로, 외계 행성의 공전 속도가 증가하면 감소한다. t_2 는 외계 행성 전체가 중심별을 가리는 시간이므로, 외계 행성의 공전 속도가 증가하면 감소한다. t_3 은 외계 행성의 공전 주기이므로, 외계 행성의 공전 속도가 증가하면 감소한다.

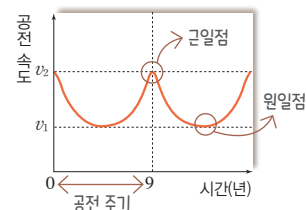
채점 기준	배점
(1)~(3)을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(3)을 옳게 서술한 경우	50 %
(2)를 옳게 서술한 경우	30 %
(1)을 옳게 쓴 경우	20 %

중단원 고난도 문제

79쪽

01 ③ 02 ② 03 ⑤ 04 ④

01 품평 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 이 소행성의 공전 주기는 9년이다. **화성의 공전 궤도 밖에 있다**
 ㉡ 이 소행성은 지구와 화성의 공전 궤도 사이를 공전한다.
 ㉢ $v_2 : v_1$ 이 3 : 1이면 이 소행성의 공전 궤도 이심률은 0.5이다.

전략적 풀이 ① 그래프에서 소행성의 공전 주기를 파악한다.

㉠. 그림에서 소행성의 공전 속도가 가장 클 때로부터 소행성의 공전 주기가 9년임을 알 수 있다.

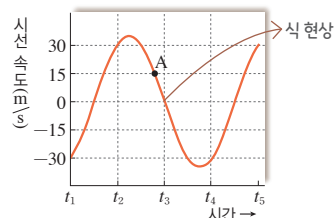
② 케플러 제3법칙을 이용하여 소행성의 공전 주기를 통해 공전 궤도 긴반지름을 계산한다.

㉢. 소행성의 공전 주기가 9년이므로 $\frac{a^3}{P^2} = 1$ 로부터 공전 궤도 긴반지름은 $a = \sqrt[3]{81}$ AU이다. 따라서 a 가 4 AU보다 크므로 소행성은 화성의 공전 궤도보다 멀리 있다.

③ 근일점과 원일점에서 소행성의 공전 속도 비로부터 태양과 소행성의 거리 비를 구하고, 이를 공전 궤도 이심률과 연관시켜 계산한다.

㉢. $v_2 : v_1$ 이 3 : 1이면 근일점과 원일점에서 소행성의 공전 속도 비가 3 : 1이다. $mr_{\text{근}}v_{\text{근}} = mr_{\text{원}}v_{\text{원}}$ (m : 소행성의 질량)이므로 근일점과 원일점에서 태양과 소행성의 거리 비는 1 : 3이다. 타원에서 이심률은 $e = \frac{c}{a}$ 이고, 근일점에서 태양과 소행성의 거리는 $a - c = a - ae = a(1 - e)$ 이다. 마찬가지로 원일점에서 태양과 소행성의 거리는 $a + c = a + ae = a(1 + e)$ 이다. 따라서 $a(1 - e) : a(1 + e) = 1 : 3$ 이므로 $e = 0.5$ 이다.

02 품평 문제 분석



선택지 분석

- ☒ ㄱ. 식 현상은 $t_1 \sim t_2$ 사이에서 나타났다. t_3
- ☐ ㄴ. $t_2 \sim t_3$ 일 때 중심별은 관측자로부터 계속 멀어졌다.
- ☒ ㄷ. 고유 파장의 최대 변화량은 $4 \times 10^{-5} \times \sqrt{2}$ nm이다.

전략적 풀이 ① 식 현상은 시선 속도가 (+)에서 (-)로 바뀌는 시점에 발생한다는 사실로부터 식 현상의 발생 시점을 판단한다.

ㄱ. 식 현상이 나타날 때 중심별이 관측자로부터 가장 멀리 있고, 이때는 시선 속도가 (+)에서 (-)로 바뀌므로 t_3 일 때 식 현상이 나타난다.

② 시선 속도로부터 위치 관계를 파악한다.

ㄴ. $t_2 \sim t_3$ 일 때는 시선 속도가 계속해서 (+) 값을 갖는다. 따라서 이 기간 동안 중심별은 관측자로부터 멀어졌다.

③ 시선 속도의 주기로부터 일정 시간 이동한 각도를 파악한다.

ㄷ. 이 중심별의 공전 주기는 $t_4 - t_1$ 이다. 일정한 시간 간격이므로 이 기간은 $t_1 \sim t_2$, $t_2 \sim t_3$, $t_3 \sim t_4$ 로 3등분할 수 있다. 즉 $t_1 \sim t_2$, $t_2 \sim t_3$, $t_3 \sim t_4$ 로 이동할 때 공통 질량 중심에 대해 각각 $\frac{360^\circ}{3}$ 인 120° 만큼을 회전한 것이다. 그러므로 t_3 일 때의 시선 속도는 0이고 관측자로부터 가장 멀리 있으므로 이때를 기준으로 t_4 는 120° 회전한 것이다. t_4 일 때의 시선 속도는 최대 시선 속도에 $\cos 30^\circ (= \frac{\sqrt{3}}{2})$ 를 곱한 값이고 시선 속도 값이 30 m/s

이므로 최대 시선 속도는 $\frac{30 \text{ m/s}}{\cos 30^\circ} = 20\sqrt{3} \text{ m/s}$ 이다. 따라서 도플러 효과 공식 $\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ 로부터 고유 파장(600 nm)의 최대 변화량은 $4 \times 10^{-5} \times \sqrt{3}$ nm임을 알 수 있다.

03 - 꼼꼼 문제 분석

콘드롤은 성운 내 먼지가 순간적인 가열로 녹았다가 빠르게 식으며 구형으로 굳은 물체를 말한다. 이 콘드롤이 모여서 하나의 미행성체를 이룬다.



선택지 분석

- ☐ ㄱ. A는 콘드롤이다.
- ☐ ㄴ. A는 지구보다 먼저 형성된 것이다.
- ☒ ㄷ. 미분화된 석질 운석을 연구하면 태양계 초기의 환경을 알아낼 수 있다.

전략적 풀이 ① 제시된 글로부터 콘드롤에 대한 특징을 파악한다.

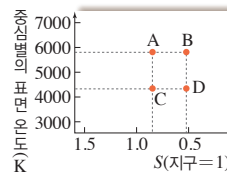
ㄱ. 미분화된 석질 운석에는 콘드롤이 포함되어 있고, 콘드롤은 식어 구형을 이룬다. 따라서 이 석질 운석에 포함된 A는 콘드롤이다.

② 통합 과학 시간에 학습한 성운으로부터 태양계 형성의 진화 순서에 대해 생각해 보고, 생성 순서를 판단한다.

ㄴ. 콘드롤은 태양계 성운이 식으며 만들어진 물질이고, 이들이 모여 미행성체를 이루었으므로 지구보다 형성 시기가 먼저이다.

ㄷ. 미분화된 석질 운석은 콘드롤을 포함하고 있으므로 이들을 연구하면 태양계 초기 환경을 알아낼 수 있다.

04 - 꼼꼼 문제 분석



A와 B의 중심별이 C와 D의 중심별에 비해 표면 온도가 높다.

➡ 중심별의 광도가 크다.

➡ 생명 가능 지대까지 거리가 멀고, 폭이 넓다.

S: 중심별로부터 단위 시간당 단위 면적에서 받는 복사 에너지

선택지 분석

- ☒ ㄱ. 생명 가능 지대에 머무르는 시간은 A가 B보다 길다. **짧다**
- ☐ ㄴ. A~B 사이의 폭은 C~D 사이의 폭보다 크다.
- ☒ ㄷ. D의 온실 효과는 지구보다 크다.

전략적 풀이 ① 별은 영년 주계열 단계에서 시간이 지날수록 광도가 증가함을 이해한다.

ㄱ. 중심별이 영년 주계열성이므로 표면 온도가 높을수록 빠르게 진화한다. 생명 가능 지대에 머무르는 시간은 중심별로부터 멀리 있는 B가 A보다 길다.

② 생명 가능 지대의 폭은 중심별의 광도가 클수록 넓다는 것을 이해한다.

ㄴ. 생명 가능 지대의 폭은 중심별의 광도가 클수록 크다. 이때 생명 가능 지대의 안쪽 경계에서 받게 되는 에너지의 양은 모든 별에 대해 동일하므로 중심별의 광도가 클수록 동일한 에너지를 갖는 범위가 증가하는 것이다. 따라서 A~B 사이의 폭과 C~D 사이의 폭 중 A~B 사이의 폭이 더 크다.

③ 중심별로부터 단위 시간당 단위 면적에서 받는 복사 에너지(S)를 지구와 비교하여 생명 가능 지대에 위치한 행성에서의 온실 효과를 판단한다.

ㄷ. D는 S가 지구의 약 0.5이지만 평균 기온이 지구와 동일하므로 온실 효과가 지구보다 더 클 것이다.

태양과 별의 관측

1 태양과 별의 관측

01 / 태양 관측

개념확인문제

85쪽

- ① 광구 ② 쌀알 무늬 ③ 대류 ④ 흑점 ⑤ 증가 ⑥ 11년
 ⑦ 서 ⑧ 동 ⑨ 기체 ⑩ 채층 ⑪ 코로나 ⑫ 홍염 ⑬ 플레어
- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) × 2 ㉠ 낮아, ㉡ 강함,
 ㉢ 많아진다 3 나, 다 4 (1) ㉠ (2) ㉠ (3) ㉢ (4) ㉡

- 1 (1) 흑점 극대기나 흑점 극소기는 약 11년을 주기로 반복되므로, 흑점 수는 약 11년을 주기로 증감한다.
 (2) 쌀알 무늬는 광구 아래에서 일어나는 대류 현상 때문에 나타난다. 밝은 부분은 고온의 기체가 상승하는 곳이고, 어두운 부분은 냉각된 기체가 하강하는 곳이다.
 (3) 태양의 자전 주기는 고위도로 갈수록 길어진다. 즉, 자전 속도는 저위도가 고위도보다 빠르다.
 (4) 채층의 온도는 약 4500 K ~ 수만 K이며, 코로나의 온도는 백만 K 이상이다. 따라서 온도는 코로나가 채층보다 높다.
 (5) 태양의 대기는 광구 전체가 가려져 어두워지는 개기일식이 일어날 때 잘 관측된다.
 (6) 광구의 온도는 약 5800 K으로 주로 가시광선 영역에서 복사 에너지를 방출한다. 엑스선 영역의 복사 에너지는 주로 고온의 코로나 영역이나 플레어가 발생한 지역에서 방출된다.

2 흑점은 태양의 광구에서 어둡게 보이는 부분으로 주변보다 온도가 낮아(㉠) 어둡게 보인다. 흑점이 온도가 낮은 까닭은 강한(㉡) 자기장이 형성되어 대류가 억제되기 때문으로 알려져 있다. 또한 태양 활동이 활발해지면 대전 입자의 움직임이 활발해져 자기장이 강해지므로 흑점 수는 많아진다(㉢).

3 ㄱ. 태양의 자전 속도는 고위도가 저위도보다 느리다. 따라서 한 바퀴 자전하는 데 걸리는 시간인 자전 주기는 고위도가 저위도보다 길다.
 ㄴ. 지구의 관측자 입장에서 흑점의 이동 방향은 동쪽에서 서쪽이다. 지구의 북반구에서는 태양이 남쪽 하늘을 지나므로 흑점은 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하는 것처럼 보인다.

ㄷ. 태양은 위도에 따라 자전 속도가 다르게 나타난다. 이러한 현상을 차등 자전이라고 한다. 위도별 자전 속도가 다르게 나타나는 현상은 태양의 표면이 기체로 이루어져 있다는 증거가 될 수 있다.

- 4 (1) 홍염은 고온의 가스가 채층을 뚫고 고리 또는 기둥 모양으로 솟아오르는 현상이다.
 (2) 플레어는 흑점 주변에서 축적된 에너지가 폭발하는 현상이다.
 (3) 채층은 광구 바로 위를 둘러싸고 있는 붉은색의 얇은 하층 대기이다.
 (4) 코로나는 채층 위로 분포하는 태양의 가장 바깥쪽 대기층으로, 온도가 백만 K 이상으로 매우 높다.

대표 자료 분석 1

86쪽

- 1 $C > B > A$ 2 36일 3 (1) 짧다 (2) 빠르다 (3) 11년
 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ×

1 흑점의 이동 속도는 태양의 적도 부근에서 가장 빠르고, 고위도로 갈수록 점점 느려진다.

2 3일 동안 흑점의 회전각은 30° 이므로, 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$360^\circ : 30^\circ = \text{흑점의 자전 주기} : 3\text{일},$$

$$\text{흑점의 자전 주기} = \frac{360^\circ \times 3\text{일}}{30^\circ} = 12 \times 3\text{일} = 36\text{일이다.}$$

3 (1), (2) 태양의 자전 주기는 적도 부근에서 약 25일, 극 부근에서 약 36일로 나타나며, 저위도 지역이 고위도 지역보다 짧다. 따라서 태양의 자전 속도는 저위도 지역이 고위도 지역보다 빠르다.

(3) 태양의 흑점은 약 11년을 주기로 그 수가 증감한다.

4 (1) 태양의 흑점은 주로 위도 40° 보다 작은 저위도에서 나타난다.

(2) 태양의 표면인 광구에서는 위도에 따라 자전 주기가 달라지는데, 이를 차등 자전이라고 한다.

- (3) 태양의 표면이 고체라면 위도에 관계없이 흑점의 이동 속도가 같게 나타날 것이다. 태양의 표면이 차등 자전하는 것으로 보아 태양의 표면은 고체 상태가 아니라는 것을 알 수 있다.
- (4) 지구 관측자 입장에서 흑점의 이동 방향은 동쪽에서 서쪽이다.
- (5), (6) 태양의 자전 방향은 태양을 기준으로 서쪽에서 동쪽이며, 이는 지구의 자전 방향 및 공전 방향과 같다.
- (7) 흑점의 위치가 시간이 지남에 따라 변하는 주된 원인은 태양이 스스로 자전하기 때문이다.

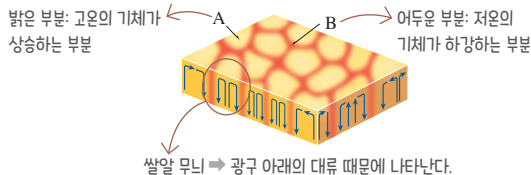
나신 만점 문제

87쪽~89쪽

01 ④	02 ③	03 ③	04 ②	05 ④	06 ③
07 해설 참조	08 ①	09 ④	10 ②	11 ③	
12 C, B, A	13 ③	14 해설 참조	15 ③		

- 01** ① 광구는 우리 눈에 보이는 태양의 밝고 둥근 표면이다.
- ② 태양은 고온의 환경으로, 기체로 이루어져 있다.
- ③ 태양의 표면 온도는 약 5800 K이며, 이러한 온도에서는 주로 가시광선 영역에서 강한 전자기파를 방출한다.
- ⑤ 태양의 광구에서는 쌀알을 뿌려 놓은 것 같은 모습의 쌀알 무늬와 주변보다 온도가 낮아 어둡게 보이는 흑점이 관측된다.
- [바로알기]** ④ 태양 광구의 온도는 약 5800 K이다.

02 품평 문제 분석



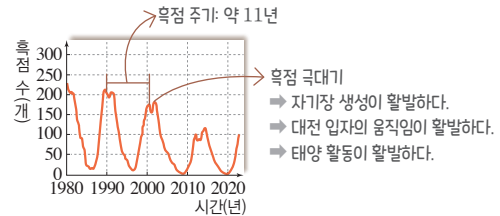
- ㄱ. 그림은 쌀알 무늬이다. 쌀알 무늬는 광구 아래에서 일어나는 대류 현상 때문에 나타나는 것으로, 밝고 어두운 무늬가 반복된다.
- ㄴ. 쌀알 무늬의 밝은 부분(A)은 고온의 기체가 상승하는 곳이고, 어두운 부분(B)은 상승한 기체가 식어서 하강하는 곳이다.
- [바로알기]** ㄷ. B는 상대적으로 저온의 기체가 하강하는 부분으로 밝은 부분(A)을 둘러싸는 모습으로 나타난다. B는 쌀알 무늬 중 상대적으로 어두운 부분에 해당하지만 흑점만큼 온도가 낮은 것은 아니다.

- 03** ㄱ. 흑점은 주변보다 온도가 2000 K 정도 낮아 상대적으로 어둡게 보이는 부분이다.

ㄴ. 흑점 부근에는 강한 자기장이 형성되어 있는 것이 관측된다. 자기장은 태양 내부에서 고온의 물질이 광구로 전달되는 것을 방해하여 흑점 영역의 온도를 크게 낮춘다.

[바로알기] ㄷ. 일반적으로 흑점의 크기가 클수록 흑점 부근에 존재하는 자기장의 분포가 더 오래 지속되어 흑점의 수명이 길다.

04 품평 문제 분석



ㄷ. 흑점 수가 많을수록 태양 활동이 활발하다. 흑점 수는 2000년이 2020년보다 많았으므로 태양 활동은 2000년에 더 활발했을 것이다.

[바로알기] ㄱ. 흑점 수는 약 11년을 주기로 증감하며, 이를 흑점 주기라고 한다.

ㄴ. 2000년 부근은 한 주기에서 흑점 수가 최대이므로 흑점 극대기이다.

- 05** ㄱ. 망원경으로 태양의 표면을 관측하면 흑점을 확인할 수 있다.

ㄷ. 파인더는 소형 망원경으로, 천체로부터 오는 빛을 모을 수 있다. 파인더로 태양을 직접 관측하면 증폭된 태양 빛을 관측하게 되어 매우 위험하므로, 파인더를 제거하거나 파인더의 덮개를 덮고 관측해야 한다.

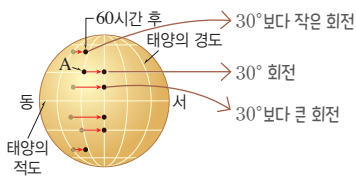
[바로알기] ㄴ. 태양 필터는 대물렌즈에 설치하는 장비로, 태양 빛의 세기를 줄여주는 역할을 한다. 대물렌즈는 천체로부터 오는 빛을 모아 집안부에 상을 맺히게 하는 역할을 하는데, 태양 필터 없이 망원경으로 태양을 관측하면 집안부에는 매우 강한 세기의 태양 빛이 집중되므로 눈에 매우 위험하다.

- 06** ㄱ. 지구 관측자의 입장에서 흑점의 이동 방향은 모두 동쪽에서 서쪽이므로, 흑점 A와 B는 모두 서쪽으로 이동한다.

ㄷ. 흑점이 이동하는 까닭은 태양이 서쪽에서 동쪽으로 자전하기 때문이다.

[바로알기] ㄴ. 태양의 자전 속도는 저위도가 고위도보다 더 빠르게 나타나며, 고위도로 갈수록 자전 속도가 느려진다. A는 B보다 고위도에 있으므로 흑점의 이동 속도는 A가 B보다 느리다.

[07~08] **꼼꼼 문제 분석**



저위도의 흑점은 고위도의 흑점보다 더 빠른 각속도로 이동한다.

→ 자전 각속도: 저위도 > 고위도

→ 자전 주기: 저위도 < 고위도

07 **모범 답안** 60시간 동안 흑점의 회전각은 30° 이므로, $360^\circ : 30^\circ =$ 태양의 자전 주기: 60시간, 태양의 자전 주기는 $\frac{360^\circ \times 60\text{시간}}{30^\circ} = 720\text{시간} = 30\text{일}$ 이다.

채점 기준	배점
자전 주기를 풀이 과정과 함께 올바르게 세운 경우	100 %
자전 주기 구하는 비례식만 올바르게 세운 경우	50 %

08 ㄱ. 태양의 자전 주기가 위도에 따라 다르게 나타나는데, 이를 차등 자전이라고 한다.

바로알기 ㄴ. 태양의 표면이 고체로 이루어져 있다면 태양의 모든 위도에서 회전각이 같아야 한다. 위도에 따라 태양의 자전 주기가 다르게 관측되는 것을 통해 태양의 표면이 고체가 아니라는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 흑점이 적도 부근에 가까울수록 같은 기간 동안 흑점의 회전각이 크다. 따라서 태양의 위도별 자전 속도는 저위도에서 고위도로 갈수록 감소한다.

09 ㄴ. 흑점 수가 많아지기 시작할 때는 흑점이 중위도 부근에서 나타나고, 흑점 주기가 진행됨에 따라 흑점이 발생하는 위치는 점차 저위도로 이동한다.

ㄷ. 흑점이 발생하는 위도는 태양의 적도에 대해 대체로 대칭성을 보이며, 여러 흑점 주기를 연속하여 나타내면 나비 날개와 같은 모양으로 나타난다.

바로알기 ㄱ. 흑점은 주로 태양 표면의 위도 40° 이하의 저위도 지역에서 발생한다.

10 ①, ④ (가)는 태양의 광구를 둘러싸고 있는 하층 대기인 채층이고, (나)는 채층 밖 상층 대기인 코로나이다.

③ 태양의 대기 밀도는 상층부로 갈수록 점점 작아진다. 따라서 태양의 하층 대기인 (가) 채층은 상층 대기인 (나) 코로나보다 밀도가 크다.

⑤ 태양의 대기는 태양-달-지구의 순으로 일직선상에 위치하여 달이 태양의 광구를 완전히 가리는 개기일식 때 관측할 수 있다. 태양의 대기는 광구의 강한 빛 때문에 평상시에는 거의 보이지 않는다.

바로알기 ② 채층의 온도는 수만 K까지 나타나고, 코로나의 온도는 수백만 K까지 나타난다. 따라서 (가) 채층은 (나) 코로나보다 온도가 낮다.

11 ㄷ. A는 채층에서 코로나 속으로 수십만 km 높이까지 솟아오르는 고리 또는 기둥 모양의 대기 현상인 홍염이다.

바로알기 ㄱ. A는 홍염이다. 스피큘은 채층 위로 수만 km 상공까지 치솟는 불꽃과 같은 가스의 흐름으로 홍염보다 크기가 작다. ㄴ. 관측 파장인 $304 \text{ \AA}$ 은 30.4 nm 로 자외선 영역에 해당한다. 적외선은 파장이 700 nm 이상이다.

12 A는 흑점, B는 쌀알 무늬, C는 코로나이다. A(흑점)는 광구보다 온도가 2000 K 정도 낮아 어둡게 보이고, B(쌀알 무늬)의 온도는 광구의 온도인 약 5800 K 이다. C(코로나)는 온도가 백만 K 이상이다. 따라서 온도를 높은 것부터 순서대로 나열하면 C, B, A이다.

13 그림은 태양 표면에서 나타나는 강력한 폭발 현상인 플레어이다.

① 흑점 부근에서는 강한 자기장이 형성되어 물질과 에너지가 표면으로 전달되지 못하고 축적되어 있는데, 흑점 부근의 자기장이 교란되면 축적된 에너지가 짧은 시간 동안 한꺼번에 방출되는 플레어가 발생할 수 있다.

② 플레어가 발생하면 코로나에 있던 고에너지 대전 입자가 쏟아져 나올 수 있는데, 이를 코로나 물질 분출이라고 한다.

④ 플레어가 발생하여 강한 태양풍이 지구로 전달되면 지구 자기장이 급격하게 교란될 수 있다.

⑤ 태양으로부터 방출된 양성자나 전자는 지구 자기장을 따라 이동하다가 극지방으로 유입되며, 이 과정에서 지구 대기 중의 입자와 충돌하여 빛을 내는 오로라가 발생한다. 플레어가 발생하여 태양에서 방출되는 대전 입자들이 많아지면 평소보다 강한 오로라가 나타날 수 있다.

바로알기 ③ 플레어는 고에너지 폭발 현상이므로 엑스선이나 자외선을 강하게 방출한다. 따라서 가시광선 영역보다 파장이 짧은 엑스선이나 자외선 영역에서 잘 관측된다.

14 흑점 극대기는 태양 활동이 활발한 시기이다. 이 시기에는 태양을 구성하는 대전 입자의 움직임이 활발해져 자기장 형성이 강화되므로 흑점 수가 증가한다.

모범 답안 • 태양에서 나타나는 현상: 흑점 수가 증가한다. 고에너지의 엑스선이나 대전 입자가 강하게 방출된다.

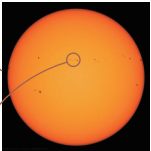
• 지구에서 나타나는 현상: 델리저 현상이 나타난다. 극 지역에서는 평소보다 강한 오로라가 나타난다. 등

채점 기준	배점
흑점 극대기에 태양과 지구에서 나타나는 현상을 각각 한 가지씩 모두 옳게 서술한 경우	100 %
흑점 극대기에 태양과 지구에서 나타나는 현상 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

15 품평 문제 분석

가시광선 영역

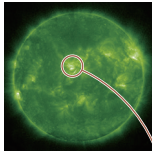
- 파장이 비교적 길다.
- 낮은 온도 영역 ⇒ 광구 관측



(가) 가시광선 영역

엑스선 영역

- 파장이 비교적 짧다.
- 높은 온도 영역 ⇒ 대기 관측



(나) 엑스선 영역

흑점 부근의 관측

- 가시광선 영역: 어둡게 보인다. ⇒ 온도가 낮다.
- 엑스선 영역: 밝게 보인다. ⇒ 축적된 고에너지의 영향으로 대기가 가열되어 방출되는 엑스선이 많다.

ㄷ. 고에너지 전자기파가 방출되는 플레어는 가시광선보다 파장이 짧은 (나)에서 잘 관측된다.

바로알기 ㄱ. (가) 가시광선은 (나) 엑스선보다 파장이 길다.

ㄴ. 흑점은 (가) 가시광선 영역에서는 어렵게 관측되지만, 엑스선 영역인 (나)에서는 밝게 관측된다.

실력 UP 문제

89쪽

01 해설 참조

02 해설 참조

03 ①

01 **모범 답안** $\cos 30^\circ = \frac{R'}{R}$ 이므로 $\frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{34}{R}$ 이다.

따라서 $R = \frac{2 \times 34}{\sqrt{3}} = \frac{68}{1.7} = 40 \text{ mm}$ 이다.

채점 기준	배점
R을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
식 $\cos 30^\circ = \frac{R'}{R}$ 만 옳게 세운 경우	50 %

02 **모범 답안** • α 구하기: $\sin \alpha = \frac{x}{R'} = \frac{17}{34} = \frac{1}{2}$ 이므로 $\alpha = 30^\circ$

• 자전 주기 구하기: '360° : 태양의 회전각($\alpha + \beta$) = 태양의 자전 주기 : 관측 기간' 이므로, '360° : 30° + 60° = 자전 주기 : 7일', 자전 주기 = $\frac{360^\circ}{30^\circ + 60^\circ}$

× 7일 = 28일이다.

채점 기준	배점
자전 주기를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
α 만 옳게 구한 경우	50 %

03 ㄱ. (가)에서는 광구와 흑점이 관측되므로 (가)는 617.3 nm의 전자기파로 관측한 영상이고, (나)는 30.4 nm의 전자기파로 관측한 영상이다. 광구의 온도는 약 5800 K으로 주로 가시광선 영역의 전자기파를 방출하므로, (가)는 617.3 nm의 전자기파로 관측하였다.

바로알기 ㄴ. 태양의 자전 방향은 지구 관측자 입장에서 동쪽에서 서쪽이며, 태양의 자전 속도는 저위도 지역이 고위도 지역보다 빠르다. 제시된 방위표를 고려하면 A와 B는 모두 오른쪽(서쪽)으로 이동하지만 A는 B보다 고위도에 위치하므로 더 느리게 이동한다. 따라서 흑점 A와 B는 서로 멀어질 것이다.

ㄷ. (나)는 태양에서 방출되는 짧은 파장(30.4 nm)의 고에너지 전자기파를 관측한 것이다. D 영역은 C 영역보다 밝게 보이므로 태양 활동이 활발한 것으로 해석할 수 있다.

02 별의 거리

완자샘 비법 특강

92쪽

Q1 -7.5등급

Q2 1 pc

Q1 별 A보다 1000배 밝은 별의 등급을 $m_\star$ 라고 하면 별 A의 등급은 0.0등급이므로, $m_1 - m_2 = 2.5 \log \frac{l_2}{l_1}$ 에서 $m_\star - 0.0 = 2.5 \log \frac{l_A}{l_\star}$, $m_\star = 2.5 \log \frac{1}{1000} = -7.5$ 등급이다.

Q2 별 D의 겉보기 등급(m)은 0이고, 절대 등급(M)은 5이므로 거리지수 식을 이용하여 별까지의 거리(r)를 구하면 $m - M = 5 \log r - 5$ 에서 $0 - 5 = 5 \log r - 5$, $\log r = 0$, $r = 1 \text{ pc}$ 이다.

- ① 반비례 ② 2.5 ③ $2.5 \log \frac{l_2}{l_1}$ ④ 제곱 ⑤ 겉보기
⑥ 절대

1 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\circ$ (4) $\times$ 2 ㉠ 겉보기, ㉡ 절대, ㉢ 10, ㉣ 클
3 (1) A: 10 pc, B: 4 pc, C: 100 pc (2) A: 0, B: -2, C: 5
(3) B 4 (1) C (2) B (3) D (4) D (5) A (6) D (7) 거리지수: 5,
B까지의 거리: 100 pc (8) 0.01" 5 1000 pc

- 1 (1) 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례하므로 연주 시차가 클수록 별까지의 거리가 가깝다.
(2) 연주 시차를 이용한 거리 측정 방법은 수천 pc 이내의 비교적 가까운 별의 거리를 구할 때 사용할 수 있다. 이보다 먼 별은 연주 시차가 너무 작아 측정하기 어렵다.
(3) 별의 밝기를 나타내는 등급의 숫자가 클수록 별의 밝기는 어둡다.
(4) 별의 밝기(I)는 거리(r)의 제곱에 반비례한다. $\Rightarrow I \propto \frac{1}{r^2}$

2 거리지수는 겉보기(㉠) 등급에서 절대(㉡) 등급을 뺀 값($m-M$)이다. 별의 거리지수가 0보다 크면($m-M > 0$) 10 pc보다 먼 거리에 있고, 0이면($m-M=0$) 10(㉢) pc의 거리에 있으며, 0보다 작으면 10 pc보다 가까이에 있다. 따라서 거리지수가 클(㉣)수록 별까지의 거리가 멀다.

3 — 곱셈 문제 분석

별	A	B	C
연주 시차(")	0.1	0.25	0.01
거리(pc)	$\frac{1}{0.1}=10$	$\frac{1}{0.25}=4$	$\frac{1}{0.01}=100$
거리지수 (겉보기 등급 - 절대 등급)	0	0보다 작다.	0보다 크다.

- (1) 별까지의 거리를 r (pc), 연주 시차를 p (")라고 하면,
 $r = \frac{1}{p(")}$ 이 성립한다. $\Rightarrow r_A = \frac{1}{0.1"} = 10 \text{ pc}$, $r_B = \frac{1}{0.25"} = 4 \text{ pc}$, $r_C = \frac{1}{0.01"} = 100 \text{ pc}$ 이다.
(2) A~C의 거리지수는 $m-M=5 \log r - 5$ (r : 별까지의 거리)에서 $(m-M)_A = 5 \log 10 - 5 = 0$, $(m-M)_B = 5 \log 4 - 5 = 5 \log 2^2 - 5 = -2$, $(m-M)_C = 5 \log 100 - 5 = 5$ 이다.
(3) 겉보기 등급(m)이 절대 등급(M)보다 작은 별은 거리지수($m-M$)가 0보다 작다($m-M < 0$). 거리지수가 0보다 작은 별은 B이므로, 겉보기 등급이 절대 등급보다 작은 별은 B이다.

4 — 곱셈 문제 분석

B: 절대 등급이 가장 작다.
 $\Rightarrow$ 실제로 가장 밝은 별

C: 겉보기 등급이 가장 작다.
 $\Rightarrow$ 가장 밝게 보이는 별

별	A	B	C	D
겉보기 등급	6	2	①	3
절대 등급	-2	② -3	-2	3
거리지수 (겉보기 등급 - 절대 등급)	8	5	3	0
거리	10 pc보다 멀다.			10 pc

- (1) 우리 눈에 가장 밝게 보이는 별은 겉보기 등급이 가장 작은 C이다.
(2) 실제로 가장 밝은 별은 절대 등급이 가장 작은 B이다.
(3) 밝기가 $\frac{1}{100}$ 로 감소하면 등급은 5등급 커진다. A의 절대 등급은 -2등급이므로 A보다 5등급 큰 별은 절대 등급이 3등급인 별 D이다.
(4) 거리가 10 pc인 별은 겉보기 등급과 절대 등급이 같으며, 겉보기 등급과 절대 등급이 같은 별은 D이다.
(5) 가장 멀리 있는 별은 거리지수(겉보기 등급 - 절대 등급)가 가장 큰 A이다. 거리지수는 $A > B > C > D$ 이므로, 지구로부터의 거리는 $A > B > C > D$ 이다.
(6) 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례하므로, 연주 시차가 가장 큰 별은 거리가 가장 가까운 별인 D이다.
(7) 거리지수는 (겉보기 등급 - 절대 등급)이다. B의 겉보기 등급은 2등급, 절대 등급은 -3등급이므로, 거리지수는 $2 - (-3) = 5$ 이다. 거리지수 식 $m-M=5 \log r - 5$ (m : 겉보기 등급, M : 절대 등급, r : 별까지의 거리)를 이용하여 별까지의 거리를 구하면 $5=5 \log r - 5$, $r=100 \text{ pc}$ 이다.
(8) 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례한다. B까지의 거리는 100 pc이므로, 연주 시차는 $\frac{1}{100 \text{ pc}} = 0.01"$ 이다.

5 A의 겉보기 등급(m)은 10등급이고, H-R도에서 알아낸 절대 등급(M)은 0등급이므로, 거리지수 식을 이용하여 별까지의 거리를 구하면 $m-M=5 \log r - 5$ (r : 별까지의 거리)에서 $10-0=5 \log r - 5$, $\log r=3$, $r=1000 \text{ pc}$ 이다.

다른 풀이 A의 겉보기 등급이 절대 등급보다 10등급 크므로, A는 10 pc에 있을 때보다 밝기가 $\frac{1}{100^2} = \frac{1}{10000}$ 로 감소한 것이다. 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로($I \propto \frac{1}{r^2}$), 밝기가 $\frac{1}{10000}$ 로 감소하면 거리는 100배 멀어져야 한다. 따라서 A까지의 거리는 $10 \text{ pc} \times 100 = 1000 \text{ pc}$ 이다.

대표자료분석 1

94쪽

- 1 A, B, C, E, D 2 거리: 100 pc, 연주 시차: 0.01" 3 (1) 약 2.5
(2) 10 (3) 10000 (4) 100 (5) 10 (6) 1000 4 (1) ○ (2) × (3) ×
(4) ○ (5) × (6) ○ (7) × (8) × (9) ×

잠금 문제 분석

별	A	B	C	D	E
겉보기 등급	0.0	1.0	2.5	3.0	5.0
절대 등급	3.0	1.0	-2.5	-7.0	-2.0
거리지수 (겉보기 등급 - 절대 등급)	-3.0	0.0	5.0	10.0	7.0
거리	10 pc보다 가깝다.	10 pc	10 pc보다 멀다.		

1 거리지수(겉보기 등급-절대 등급)가 작을수록 가까이에 있는 별이다. 거리지수는 A가 -3.0, B가 0.0, C가 5.0, D가 10.0, E가 7.0이므로, 지구로부터 가까운 것부터 순서대로 나열하면 A, B, C, E, D이다.

2 • 거리: $m - M = 5 \log r - 5$ 에서 $2.5 - (-2.5) = 5 \log r - 5$, $\log r = 2$, $r = 100$ pc

• 연주 시차: $r(\text{pc}) = \frac{1}{p(")}$ 에서 $p(") = \frac{1}{r(\text{pc})} = \frac{1}{100 \text{ pc}} = 0.01"$

3 (1) A는 B보다 겉보기 등급이 1등급 작으므로, B보다 우리 눈에 약 2.5배 밝게 보인다.

(2) 포그슨 공식을 이용하면 $m_C - m_A = 2.5 \log \frac{l_A}{l_C}$ 에서 $2.5 - 0.0 = 2.5 \log \frac{l_A}{l_C}$, $\log \frac{l_A}{l_C} = 1$, $\frac{l_A}{l_C} = 10$ 이다. 따라서 A는 C보다 우리 눈에 10배 밝게 보인다.

다른 풀이 A는 C보다 겉보기 등급이 2.5등급 작으므로, C보다 우리 눈에 10배 밝게 보인다.

(3) D는 A보다 절대 등급이 10등급 작다. 5등급 차는 100배의 밝기 차에 해당하므로, 10등급 차는 $100^2 = 10000$ 배의 밝기 차에 해당한다. 따라서 실제 밝기는 D가 A보다 10000배 밝다.

다른 풀이 포그슨 공식을 이용하면 $M_A - M_D = 2.5 \log \frac{L_D}{L_A}$ 에서 $3.0 - (-7.0) = 2.5 \log \frac{L_D}{L_A}$, $\log \frac{L_D}{L_A} = 4$, $\frac{L_D}{L_A} = 10000$ 이다. 따라서 실제 밝기는 D가 A보다 10000배 밝다.

(4) E는 A보다 절대 등급이 5등급 작으므로, 실제 밝기는 E가 A보다 100배 밝다.

다른 풀이 포그슨 공식을 이용하면 $M_A - M_E = 2.5 \log \frac{L_E}{L_A}$ 에서

$3.0 - (-2.0) = 2.5 \log \frac{L_E}{L_A}$, $\log \frac{L_E}{L_A} = 2$, $\frac{L_E}{L_A} = 100$ 이다. 따라서 실제 밝기는 E는 A보다 100배 밝다.

(5) B는 겉보기 등급과 절대 등급이 1.0으로 같으므로 10 pc의 거리에 있다.

(6) $m - M = 5 \log r - 5$ (m : 겉보기 등급, M : 절대 등급, r : 별까지의 거리)에서 $m = 3.0$, $M = -7.0$ 이므로 $3.0 - (-7.0) = 5 \log r - 5$, $\log r = 3$, $r = 1000$ pc이다.

다른 풀이 D는 겉보기 등급이 절대 등급보다 10등급 크므로, 10 pc에 있을 때보다 밝기가 $\frac{1}{100^2} = \frac{1}{10000}$ 로 감소한 것이다. 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로($l \propto \frac{1}{r^2}$), 밝기가 $\frac{1}{10000}$ 로 감소하면 거리는 100배 멀어져야 한다. 따라서 D까지의 거리는 $10 \text{ pc} \times 100 = 1000 \text{ pc}$ 이다.

4 (1) 우리 눈에 가장 밝게 보이는 별은 겉보기 등급이 가장 작은 A이다.

(2) 실제 밝기가 가장 밝은 별은 절대 등급이 가장 작은 D이다.

(3) 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례한다. 별까지의 거리는 거리지수가 가장 작은 A가 가장 가까우므로, A의 연주 시차가 가장 크다.

(4) A는 거리지수가 0보다 작으므로 10 pc보다 가까이 있는 별이다. 연주 시차는 거리에 반비례하므로, A의 연주 시차는 0.1"보다 크다.

(5) C까지의 거리는 100 pc이므로 연주 시차는 $\frac{1}{100 \text{ pc}} = 0.01"$ 이다. 따라서 C의 연주 시차는 0.1"보다 작다.

(6) D까지의 거리는 1000 pc이므로 연주 시차는 $\frac{1}{1000 \text{ pc}} = 0.001"$ 이다.

(7) 거리지수가 커지면 거리가 증가하는 것은 맞지만 거리지수와 거리는 log(로그) 관계이므로 비례 관계는 아니다.

(8) 거리지수는 겉보기 등급에서 절대 등급을 뺀 값이다.

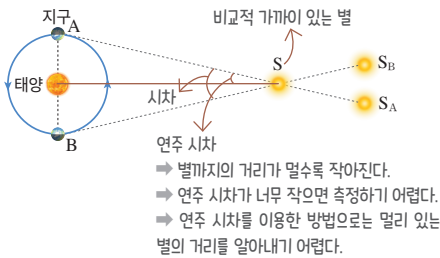
(9) A는 거리지수가 $0.0 - 3.0 = -3.0$ 으로 0보다 작다. 따라서 A까지의 거리는 10 pc보다 가깝다.

내신 만점 문제

95쪽~97쪽

- | | | | | |
|------|------|----------|------|------|
| 01 ① | 02 ② | 03 해설 참조 | 04 ② | 05 ② |
| 06 ⑤ | 07 ③ | 08 ③ | 09 ④ | 10 ⑤ |
| 12 ⑤ | 13 ③ | 14 해설 참조 | | 11 ③ |

01 품평 문제 분석



- ② 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례하므로, 별 S보다 멀리 있는 별은 연주 시차가 더 작다.
- ③ 화성은 지구보다 공전 궤도 반지름이 크다. 따라서 별 S를 화성에서 관측하면 연주 시차는 더 크게 관측될 것이다.
- ④ 지구가 공전함에 따라 별 S는 6개월 간격으로 배경 별에 대한 위치가 다르게 보인다.
- ⑤ 멀리 있는 별일수록 연주 시차가 작아서 측정하기 어려우므로, 거리가 먼 별은 연주 시차를 이용한 방법으로는 거리를 알아내기 어렵다.

바로알기 ① 시차는 $\angle ASB$ 이다. 연주 시차는 시차의 절반이므로 $\frac{1}{2}\angle ASB$ 이다.

02 ㄴ. B의 연주 시차는 $0.1''$ 이므로 B까지의 거리는 $\frac{1}{0.1''} = 10$ pc이다.

바로알기 ㄱ. A는 B보다 가까운 거리에 있으므로 연주 시차는 B보다 크다. 따라서 A의 연주 시차는 $0.5''$ 이고, B의 연주 시차는 $0.1''$ 이다.

ㄷ. A까지의 거리는 $\frac{1}{0.5''} = 2$ pc, B까지의 거리는 $\frac{1}{0.1''} = 10$ pc이므로 두 별 사이의 거리는 8 pc이다.

03 **모범 답안** 별 A의 연주 시차는 $\frac{0.06'' + 0.04''}{2} = \frac{0.1''}{2} = 0.05''$ 이므로, 별 A까지의 거리는 $\frac{1}{0.05''} = 20$ pc이다.

채점 기준	배점
별 A까지의 거리를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
연주 시차를 구하는 식만 옳게 세운 경우	50 %

04 A와 B의 절대 등급이 같으므로 실제 밝기가 같고, A가 B보다 겉보기 등급이 5등급 작으므로 B보다 100배 밝게 관측된다. A와 B의 절대 등급이 같으나 겉보기 밝기가 차이가 나는 까닭은 별까지의 거리가 다르기 때문이다. 별의 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로, B가 A보다 10배 먼 거리에 있다.

05 품평 문제 분석

별	A	B	C	D	E
절대 등급	-1.0	1.0	1.0	6.0	4.0
겉보기 등급	0.0	3.0	1.0	3.0	5.0
거리지수	1.0	2.0	0.0	-3.0	1.0

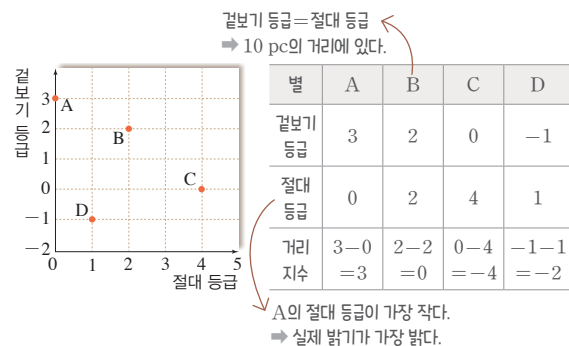
- 실제 밝기: $A > B = C > E > D$ (절대 등급이 작은 것부터)
- 겉보기 밝기: $A > C > B = D > E$ (겉보기 등급이 작은 것부터)
- 별까지의 거리: $B > A = E > C > D$ (거리지수가 큰 것부터)

가장 멀리 있는 별은 거리지수(겉보기 등급 - 절대 등급)가 가장 큰 별이다. 거리지수는 $B > A = E > C > D$ 이므로, 가장 멀리 있는 별은 B이다. 실제로 가장 밝은 별은 절대 등급이 가장 작은 별이므로 A이다.

06 어느 별의 겉보기 등급(m)이 3.5등급, 절대 등급(M)이 -11.5 등급이므로 거리지수 식 $m - M = 5 \log r - 5$ (r : 별까지의 거리)에서 $3.5 - (-11.5) = 5 \log r - 5$, $\log r = 4$, $r = 10^4 = 10000$ pc이다.

다른 풀이 별의 겉보기 등급이 절대 등급보다 15등급 크다. 5등급 차는 100배의 밝기 차에 해당하므로, 15등급 차는 $100^3 = 1000000$ 배의 밝기 차에 해당한다. 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로, 밝기가 $\frac{1}{1000000}$ 로 감소하려면 거리는 1000배 증가해야 한다. 따라서 별까지의 거리는 $10 \text{ pc} \times 1000 = 10000$ pc이다.

07 품평 문제 분석



ㄱ. 실제로 가장 밝은 별은 절대 등급이 가장 작은 A이다.

ㄷ. 지구에서 가장 가까운 별은 거리지수(겉보기 등급 - 절대 등급)가 가장 작은 C이다.

바로알기 ㄴ. B는 겉보기 등급과 절대 등급이 같으므로 10 pc의 거리에 있는 별이다. 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례하므로 $\frac{1}{10 \text{ pc}} = 0.1''$ 이다.

08 거리를 pc 단위로 나타내면 다음과 같다.

① 32.6광년 $\approx$ 10 pc

② $\frac{1}{0.1''}=10$ pc

③ 거리지수 식을 이용하면 $5=5\log r-5$, $\log r=2$, $r=100$ pc

④ 1 pc

⑤ 거리지수($m-M$)가 (-) 값이므로 10 pc보다 가까이에 있다.

$\therefore$ 지구에서 가장 먼 별은 거리지수가 5인 별(③)이다.

09 **꼼꼼 문제 분석**

별	A	B	C	D
겉보기 등급	-2.0	2.0	0.0	-1.0
절대 등급	-2.0	-3.0	2.0	-1.0
거리지수	0.0	5.0	-2.0	0.0
거리	10 pc	10 pc보다 먼 별	10 pc보다 가까운 별	10 pc

ㄴ. 거리지수 식을 이용하여 B까지의 거리(r)를 구하면 $m-M=5\log r-5$ 에서 $2.0-(-3.0)=5\log r-5$, $\log r=2$, $r=10^2=100$ pc

다른 풀이 B는 겉보기 등급이 절대 등급보다 5등급 크므로 겉보기 밝기는 절대 밝기의 $\frac{1}{100}$ 로 감소한다. 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로, 별 B는 절대 밝기의 기준인 10 pc보다 10배 먼 거리인 100 pc의 거리에 있다.

ㄹ. A와 D는 거리지수가 0이므로 모두 10 pc의 거리에 있다.

바로알기 ㄱ. 가장 가까운 거리에 있는 별은 거리지수가 가장 작은 별인 C이다.

ㄷ. 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례한다. 연주 시차가 가장 작은 별은 거리가 가장 먼 별로, 거리가 가장 먼 별은 거리지수가 가장 큰 B이다.

10 ① A는 10 pc보다 가까이에 있으므로 거리지수는 0보다 작다.

② A는 절대 등급이 가장 작아 실제로 가장 밝은데, 거리도 가장 가까우므로 가장 밝게 보인다.

③ C의 겉보기 등급을 m 이라고 하고, 거리지수 식을 적용하면 $m-6=5\log 100-5$, $m=11$ 등급이다.

다른 풀이 별의 밝기는 거리의 제곱에 반비례한다. C는 10 pc의 거리를 가정했을 때의 등급이 6등급이므로, 10배 먼 100 pc의 거리에 있을 때의 밝기는 $\frac{1}{10^2}=\frac{1}{100}$ 로 감소한다. 밝기가

$\frac{1}{100}$ 로 감소하면 등급은 5등급 커지므로, C의 겉보기 등급은 $6+5=11$ 등급이다.

④ 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례하므로, 연주 시차가 가장 큰 별은 거리가 가장 가까운 별인 A이다.

바로알기 ⑤ B의 거리지수는 $(m-M)_B=5\log 10-5=0$ 이고, C의 거리지수는 $(m-M)_C=5\log 100-5=5$ 이므로, B와 C의 거리지수는 5만큼 차이가 난다.

11 **꼼꼼 문제 분석**

별	A	B	C
연주 시차(")	0.1	0.01	0.2
겉보기 등급	0	5	2
거리(pc)	$\frac{1}{0.1}=10$	$\frac{1}{0.01}=100$	$\frac{1}{0.2}=5$

거리 10 pc
 $\Rightarrow$ 겉보기 등급=절대 등급
 $\Rightarrow$ 절대 등급=0등급

ㄱ. A까지의 거리는 $\frac{1}{0.1''}=10$ pc이므로, 절대 등급은 겉보기 등급과 같은 0등급이다. B까지의 거리는 $\frac{1}{0.01''}=100$ pc이므로, 절대 등급(M)은 $m-M=5\log r-5$ 에서 $5-M=5\log 100-5$, $M=0$ 등급이다. 따라서 A와 B는 절대 등급이 0등급으로 서로 같다.

다른 풀이 B는 A보다 10배 먼 거리에 있으므로 밝기는 A의 $\frac{1}{100}$ 로 감소한다. B의 겉보기 등급이 A보다 5등급 크므로, 두 별의 겉보기 등급 차이는 거리 차이에 의해서만 발생한 것이다. 따라서 두 별의 절대 등급은 서로 같다.

ㄴ. A는 C보다 겉보기 등급이 작으므로 우리 눈에 더 밝게 보인다.

바로알기 ㄷ. A까지의 거리는 $\frac{1}{0.1''}=10$ pc $\approx$ 32.6광년이다.

1 pc은 약 3.26광년이다.

12 ① 실제로 가장 밝은 별은 절대 등급이 가장 작은 카펠라이다.

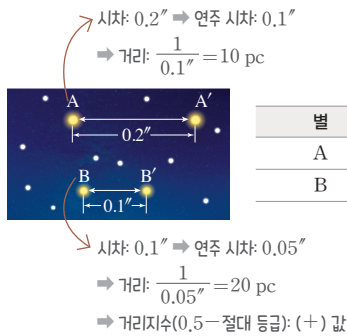
② 표에서 아래로 갈수록 별들의 거리가 가까운데, 연주 시차는 점점 커지는 것을 확인할 수 있다. 별까지의 거리와 연주 시차는 반비례하므로 거리가 가까울수록 연주 시차가 크다.

③ 우리 눈에 가장 밝게 보이는 별은 겉보기 등급이 가장 작은 시리우스이다.

④ 실제 밝기는 절대 등급으로 비교할 수 있다. 시리우스는 알타이르보다 절대 등급이 1등급 작으므로 실제로는 약 2.5배 밝다.

바로알기 ⑤ 거리지수(겉보기 등급-절대 등급)가 클수록 별까지의 거리가 멀다.

13 품평 문제 분석



별	겉보기 등급
A	-1.5
B	0.5

ㄱ. 연주 시차는 별을 6개월 간격으로 관측했을 때 나타나는 시차의 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 A의 연주 시차는 $\frac{0.2''}{2} = 0.1''$ 이다.

ㄷ. B의 연주 시차는 $\frac{0.1''}{2} = 0.05''$ 이다. 거리는 연주 시차에 반비례하므로 B까지의 거리는 $\frac{1}{0.05''} = 20 \text{ pc}$ 이다. B는 10 pc보다 멀리 있으므로 거리지수(0.5-절대 등급)는 (+) 값이다. 따라서 절대 등급은 겉보기 등급인 0.5등급보다 작다.

다른 풀이 B는 10 pc보다 멀리 있으므로 절대 밝기(10 pc 거리에 있다고 가정했을 때의 밝기)는 겉보기 밝기보다 밝아야 한다. 따라서 별 B의 절대 등급은 겉보기 등급인 0.5등급보다 작다.

바로알기 ㄴ. 별까지의 거리는 연주 시차에 반비례한다. A는 B보다 연주 시차가 2배 크므로, A까지의 거리는 B의 절반이다.

14 모범 답안 외부 은하까지의 거리를 r 이라고 하면, $m - M = 5 \log r - 5$ (m : 겉보기 등급, M : 절대 등급)에서 $20.5 - (-19.5) = 5 \log r - 5$ 이므로 $\log r = 9$, $r = 10^9 \text{ pc}$ 이다. 따라서 초신성이 포함된 외부 은하까지의 거리는 10^9 pc 이다.

채점 기준	배점
외부 은하까지의 거리를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
거리지수 식만 옳게 쓴 경우	50 %

실력UP문제

97쪽

01 ② 02 ③

01 ㄴ. A는 20 pc의 거리에서 겉보기 등급이 2등급이므로 10 pc의 거리에 있다고 가정하면 현재보다 더 밝게 보인다. 따라서 절대 등급은 2등급보다 작다.

바로알기 ㄱ. A가 천구상에서 움직이는 궤적은 지구의 공전 궤도면에 수직인 방향에 있어 원형 궤적으로 나타나고(㉠), B가 천구상에서 움직이는 궤적은 지구의 공전 궤도면 방향에 있으므로 천구상에서 직선 궤적으로 나타난다(㉡).

ㄷ. 별의 연주 시차는 거리에 반비례한다. A는 B보다 2배 먼 거리에 있으므로, A의 연주 시차는 B의 $\frac{1}{2}$ 이다.

02 ㄷ. C까지의 거리는 1000 pc이므로 거리지수 식 $m - M = 5 \log r - 5$ 에서 $m - M = 5 \log 1000 - 5 = 10$ 이다.

바로알기 ㄱ. 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례한다. 별까지의 거리는 B가 가장 가까우므로 B의 연주 시차가 가장 크다.

ㄴ. 절대 등급이 가장 작은 별은 실제 밝기가 가장 밝은 별이다. C는 겉보기 등급이 가장 작아 우리 눈에 가장 밝게 보이는데, 거리도 가장 멀리 있으므로 실제 밝기가 가장 밝아 절대 등급이 가장 작은 별이다.

다른 풀이 거리지수 식 $m - M = 5 \log r - 5$ 를 이용하여 절대 등급을 구하면, A의 절대 등급(M_A)은 $4 - M_A = 5 \log 100 - 5$ 에서 $M_A = -1$ 등급, B의 절대 등급(M_B)은 $2 - M_B = 5 \log 10 - 5$ 에서 $M_B = 2$ 등급, C의 절대 등급(M_C)은 $0 - M_C = 5 \log 1000 - 5$ 에서 $M_C = -10$ 등급이다. 따라서 절대 등급이 가장 작은 별은 C이다.

03 별의 공간 운동

개념 확인문제

100쪽

- ① 공간 운동 ② 접선 ③ 고유 운동 ④ 4.74 ⑤ 시선 ⑥ 적색
⑦ 청색

1 (1) ㉠ (2) ㉡ (3) ㉢ (4) ㉣ (5) ㉤ 2 (1) $\times$ (2) $\times$

3 (1) $0.1''/\text{년}$ (2) 47.4 km/s 4 12500 km/s 5 ㉢ 물리적,
㉤ 공간 운동, ㉣ 고유 운동

1 (1) r 은 관측자로부터 별까지의 거리이다.

(2) μ 는 별이 1년 동안 이동한 각거리이므로 고유 운동이다.

(3) v_r 은 시선 방향으로 멀어지거나 가까워지는 속도를 의미하므로 시선 속도이다.

(4) v_t 는 시선 방향에 대해 수직인 접선 방향의 속도이므로 접선 속도이다.

(5) v 는 공간 속도로, v_r (시선 속도)과 v_t (접선 속도)를 이용하여 표현할 수 있다.

2 (1) 별의 공간 속도는 접선 속도와 시선 속도의 벡터 합으로 구하므로 공간 속도의 크기는 $\sqrt{(\text{접선 속도})^2 + (\text{시선 속도})^2}$ 이다.
 (2) $v_t = 4.74\mu r$ 에서 접선 속도인 v_t 가 일정하면 거리(r)가 가까울수록 고유 운동(μ)은 크게 나타난다.

3 (1) 고유 운동은 별이 천구상에서 1년 동안 이동한 각거리이므로, $\mu = \frac{2''}{20\text{년}} = 0.1''/\text{년}$ 이다.
 (2) 접선 속도는 $v_t(\text{km/s}) = 4.74\mu r$ 에서 $4.74 \times 0.1''/\text{년} \times 100 \text{ pc} = 47.4 \text{ km/s}$ 이다.

4 별빛 스펙트럼 흡수선의 고유 파장이 480 nm, 관측 파장이 500 nm, 빛의 속도가 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 이므로, 별의 시선 속도는 $v_r = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \times c$ 에서 $\frac{500 \text{ nm} - 480 \text{ nm}}{480 \text{ nm}} \times (3 \times 10^5 \text{ km/s}) = 12500 \text{ km/s}$ 이다.

5 별자리는 물리적(㉠)으로 연관성이 없는 별들이 시선 방향의 범위가 비슷하여 밤하늘에서 특정한 모양으로 보이는 것이다. 각 별은 서로 다른 방향과 속도로 공간 운동(㉡)을 하며, 이로 인해 천구상에서 별의 위치가 변한다. 이러한 천구상에서의 위치 변화를 고유 운동(㉢)이라고 한다.

대표자료분석 1

101쪽

1 10'' **2** A: 474 km/s, B: 0

3 A: 663.6 km/s, B: 474 km/s **4** (1) 작게 (2) 크게 (3) 크게

(4) 45° **5** (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

1 A가 1년 동안 이동한 각거리는 2''이므로, 5년 동안 천구상에서 이동하는 각거리는 10''이다.

2 별까지의 거리는 연주 시차에 반비례하므로, A와 B까지의 거리는 $\frac{1}{0.02''} = 50 \text{ pc}$ 이다.

• A의 접선 속도: $(v_t)_A = 4.74\mu r = 4.74 \times 2''/\text{년} \times 50 \text{ pc} = 474 \text{ km/s}$

• B의 접선 속도: $(v_t)_B = 4.74\mu r = 4.74 \times 0 \times 50 \text{ pc} = 0$

3 • A의 공간 속도: $v_A = \sqrt{v_t^2 + v_r^2} = \sqrt{474^2 + 474^2} = 474\sqrt{2} = 663.6 \text{ km/s}$

• B의 공간 속도: $v_B = \sqrt{v_t^2 + v_r^2} = \sqrt{0^2 + 474^2} = 474 \text{ km/s}$

4 (1) 접선 속도(v_t)가 같은 경우, $v_t = 4.74\mu r$ 에서 별까지의 거리(r)가 멀수록 고유 운동(μ)이 작게 나타난다.

(2) 고유 운동(μ)이 같은 경우, $v_t = 4.74\mu r$ 에서 별까지의 거리(r)가 멀수록 접선 속도(v_t)가 크게 나타난다.

(3) 별까지의 거리(r)가 같은 경우, $v_t = 4.74\mu r$ 에서 고유 운동(μ)이 클수록 접선 속도(v_t)가 크게 나타난다.

(4) $\tan\theta = \frac{v_t}{v_r} = \frac{474 \text{ km/s}}{474 \text{ km/s}} = 1$ 이므로 $\theta = 45^\circ$ 이다.

5 (1) A는 관측자로부터 시선 방향으로 멀어지므로 스펙트럼에 적색 이동이 나타난다.

(2) B는 시선 방향으로만 움직이므로 고유 운동이 나타나지 않는다. 따라서 B는 천구상에서는 위치가 변하지 않는다.

(3) 공간 속도는 $\sqrt{(\text{접선 속도})^2 + (\text{시선 속도})^2}$ 이다.

(4) 접선 속도(v_t)는 $v_t(\text{km/s}) = 4.74\mu r$ 이므로 별까지의 거리(r)에 비례한다.

(5) 별의 시선 방향의 운동은 천구상에 나타나지 않으므로 별빛의 도플러 효과로 나타나는 스펙트럼 흡수선의 이동을 분석하여 구할 수 있다.

(6) 고유 운동으로 인해 천구상에서 별의 위치가 달라지면 별자리의 모양이 달라진다.

내신만점문제

102쪽~103쪽

01 ③

02 해설 참조

03 ③

04 ①

05 ⑤

06 ④

01 별의 공간 속도는 $v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2}$ 이므로, 공간 속도를 계산하기 위해서는 접선 속도(v_t)와 시선 속도(v_r)를 알아야 한다.

ㄱ, ㄴ. 접선 속도는 $v_t(\text{km/s}) = 4.74\mu r$ 로 구할 수 있으며, 이때 μ 는 고유 운동(ㄱ), r 은 별까지의 거리(ㄴ)이다.

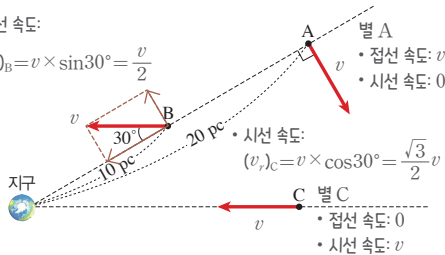
ㄷ. 시선 속도는 $v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c$ 로 구할 수 있으며, 이때 $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ 는 도플러 효과에 의한 별빛 스펙트럼선의 이동량(ㄷ)이다.

02 품고 문제 분석

A~C의 공간 속도의 크기를 v 라고 하면, v 를 접선 속도와 시선 속도로 나누어 나타낼 수 있다.

별 B
• 접선 속도:

$$(v_t)_B = v \times \sin 30^\circ = \frac{v}{2}$$



(1) A는 운동 방향이 시선 방향에 수직이므로 시선 속도가 0이다. C는 운동 방향이 시선 방향과 같으므로 공간 속도 전체가 시선 속도로 나타나 시선 속도의 크기가 가장 크다. B는 공간 속도의 일부만 시선 속도로 나타나므로 시선 속도의 크기는 A보다 크고, C보다 작다.

(2) A는 공간 속도 전체가 모두 접선 속도로 나타나므로 접선 속도가 가장 크다. C는 운동 방향이 시선 방향과 같으므로 접선 속도가 0이다. B는 공간 속도의 일부만 접선 속도로 나타나므로 접선 속도는 C보다 크고 A보다 작다.

모범 답안 (1) $C > B > A$

(2) $A > B > C$

(3) A와 B의 공간 속도를 v 라고 하면 A의 접선 속도는 $(v_t)_A = v$ 이고, B의 접선 속도는 $(v_t)_B = \frac{v}{2}$ 이다. 고유 운동은 $v_t = 4.74 \mu r$ 에서 $\mu = \frac{v_t}{4.74 r}$ 이

므로, $\mu_A = \frac{v}{4.74 \times 20}$, $\mu_B = \frac{\frac{v}{2}}{4.74 \times 10} = \frac{v}{4.74 \times 20}$ 이다. 따라서 A와 B의 고유 운동은 같다.

03 ㄱ. A의 고유 운동은 $\frac{10''}{5\text{년}} = 2''/\text{년}$ 이므로, 접선 속도는 $v_t = 4.74 \mu r = 4.74 \times 2''/\text{년} \times 50 \text{ pc} = 474 \text{ km/s}$ 이다.

ㄴ. $v_r = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \times c$ (v_r : 시선 속도, $\Delta \lambda$: 파장 변화량, λ_0 : 고유 파장)를 이용하면 $450 \text{ km/s} = \frac{\lambda - 600 \text{ nm}}{600 \text{ nm}} \times (3 \times 10^5 \text{ km/s})$, $\lambda = 600.9 \text{ nm}$ 이다.

[바로알기] ㄷ. 공간 속도는 $\sqrt{(\text{접선 속도})^2 + (\text{시선 속도})^2}$ 으로 구할 수 있으므로, A의 공간 속도의 크기는 $\sqrt{474^2 + 450^2} \text{ km/s}$ 이다.

04 ㄱ. A의 흡수선은 비교 스펙트럼의 흡수선과 비교했을 때 파장이 긴 붉은색 쪽으로 치우쳐 나타나고 있다.

[바로알기] ㄴ. B의 흡수선에서는 파장이 짧아지는 청색 이동이 나타난다. 청색 이동은 별이 지구에 가까워질 때 나타난다.

ㄷ. 시선 속도는 $v_r = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \times c$ 이므로 동일한 고유 파장(λ_0)에서 시선 속도의 크기는 $\Delta \lambda$ 의 절댓값에 비례한다. 파장 변화량은 B가 A보다 크므로 시선 속도의 크기도 B가 A보다 크다.

05 ㄱ. 이 별의 고유 운동은 $\frac{40''}{10\text{년}} = 4''/\text{년}$ 이다. 따라서 접선 속도는 $v_t = 4.74 \mu r$ 에서 $4.74 \times 4''/\text{년} \times 25 \text{ pc} = 474 \text{ km/s}$ 이다. ㄴ. 스펙트럼에서 파장이 짧은 쪽으로 이동하는 청색 이동이 나타나므로 시선 방향에서 지구에 가까워지고 있다.

ㄷ. 시선 속도는 $v_r = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \times c = \frac{499.21 \text{ nm} - 500 \text{ nm}}{500 \text{ nm}} \times (3 \times 10^5 \text{ km/s}) = -474 \text{ km/s}$ 이고 접선 속도는 474 km/s 이므로, 공간 속도의 크기는 $v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2} = \sqrt{474^2 + (-474)^2} = 474\sqrt{2} \text{ km/s}$ 이다.

06 ④ 밤하늘의 별들은 천구상에서의 위치가 변함없이 항상 같은 자리에 있는 것처럼 보이지만 실제로는 그 위치가 조금씩 변하는데, 이를 고유 운동이라고 한다. 카시오페이아자리를 이루는 각각의 별들도 고유 운동으로 인해 위치가 조금씩 변하기 때문에 오랜 시간이 지나면 카시오페이아자리의 모습은 현재와 달라진다.

실력UP 문제

103쪽

01 ② **02** 해설 참조

01 ㄴ. $v_t = 4.74 \mu r$ 에서 접선 속도(v_t)는 고유 운동(μ)과 지구로부터의 거리(r)에 비례한다. A의 접선 속도는 C보다 4배 빠르는데, 고유 운동은 A가 C보다 2배 크므로 별까지의 거리는 A가 C보다 2배 멀어야 한다.

[바로알기] ㄱ. 공간 속도 $v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2}$ 로부터 시선 속도는 $v_r = \sqrt{v^2 - v_t^2}$ 이다. A의 시선 속도는 $(v_r)_A = \sqrt{25^2 - 20^2} = \sqrt{625 - 400} = \sqrt{225} = 15 \text{ km/s}$, B의 시선 속도는 $(v_r)_B = \sqrt{30^2 - 24^2} = \sqrt{900 - 576} = \sqrt{324} = 18 \text{ km/s}$ 이다. 따라서 시선 속도의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄷ. A는 고유 운동이 $0.2''/\text{년}$ 이므로 10000년 동안에는 천구상에서 $0.2 \times 10000 = 2000''$ 이동한다. $1^\circ = 3600''$ 이므로 A는 $\frac{2000''}{3600''/^\circ} \approx 0.56^\circ$ 이동한다.

02 **모범 답안** (1) 시선 속도는 $v_r = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \times c$ 이므로 $\frac{480.2 \text{ nm} - 480 \text{ nm}}{480 \text{ nm}} \times (3 \times 10^5 \text{ km/s}) = 125 \text{ km/s}$ 이다.

- (2) 거리지수 식을 이용하여 거리(r)를 구하면, $m-M=5\log r-5$ 에서 $2.5-(-2.5)=5\log r-5$, $r=100$ pc이다. 접선 속도는 $v_t=4.74\mu r$ 이므로 $v_t=4.74\times 0.5''/\text{년}\times 100\text{ pc}=237\text{ km/s}$ 이다.
- (3) a 는 시선 속도(또는 접선 속도)이고, b 는 접선 속도(또는 시선 속도)이므로, $a=125$, $b=237$ (또는 $a=237$, $b=125$)이다. 따라서 $a+b=362$ 이다.

채점 기준	배점
(1) 시선 속도를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	35 %
시선 속도 구하는 식만 옳게 쓴 경우	10 %
(2) 접선 속도를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	35 %
접선 속도 구하는 식만 옳게 쓴 경우	10 %
(3) $a+b$ 를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	30 %
공간 속도 구하는 식만 옳게 쓴 경우	10 %

중단원 핵심정리

104쪽

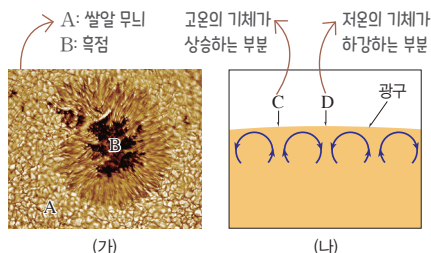
- ① 자기장 ② 차등 자전 ③ 채층 ④ 플레어 ⑤ 반비례
⑥ 멀다 ⑦ 수직 ⑧ 고유 운동

중단원 마무리 문제

105쪽~108쪽

- 01 ① 02 ① 03 ② 04 ② 05 ④ 06 ⑤
07 ② 08 ④ 09 ⑤ 10 ③ 11 ② 12 ②
13 ② 14 ③ 15 해설 참조 16 해설 참조
17 해설 참조

01 품평 문제 분석



- ㄱ. A는 쌀알 무늬, B는 흑점이다. 흑점(B)은 주변보다 온도가 2000 K 정도 낮아 어둡게 보이는 부분이다.
- ㄴ. 흑점(B)은 강한 자기장으로 인해 태양 내부의 고온의 물질과 에너지가 표면으로 충분히 전달되지 않아 나타나는 현상이다.
- 바로알기** ㄷ. C는 고온의 기체가 상승하는 부분이고, D는 저온의 기체가 하강하는 부분이다. 따라서 C는 D보다 밝게 보인다.

ㄹ. (나)는 광구 아래에서 대류가 일어나는 모습이다. 대류가 일어나면 광구에서는 밝은 부분과 어두운 부분이 반복되며 쌀알 무늬(A)가 나타난다.

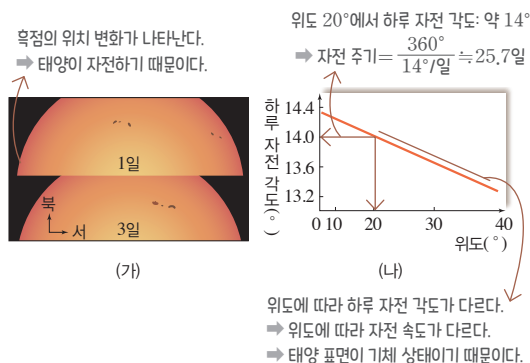
02 A는 홍염이고, B는 코로나이다.

- ① 홍염(A)의 온도는 10000 K 정도이고, 코로나(B)의 온도는 백만 K 이상이다. 따라서 홍염(A)은 코로나(B)보다 온도가 낮다.
- 바로알기** ② 코로나(B)는 홍염(A)에 비해 온도가 매우 높지만 대기가 희박하여 밀도가 매우 작다.
- ③ 흑점 수가 많아지는 시기는 태양 활동이 활발한 시기이다. 태양 활동이 활발할수록 코로나가 더 크게 발달하므로, 흑점 수가 많을 때 코로나(B)는 크고 밝게 나타난다.
- ④ 코로나(B)와 같은 태양의 대기는 광구가 모두 가려지는 개기 일식이 일어날 때 잘 관측된다. 개기일식이 일어날 때 태양-달-지구 순으로 천체들이 일직선상에 배열된다.
- ⑤ 태양 활동이 활발한 시기에는 코로나(B)의 크기가 커지고, 지구로 날아오는 고에너지 전자기파나 대전 입자의 양이 증가하므로 지구에서는 자기 폭풍이 일어날 가능성이 크다.

03 ㄷ. 흑점이 나타나는 위치는 한 주기가 시작할 때 주로 위도 40° 부근에서 나타나고, 시간이 흐를수록 저위도 쪽에서 발생한다.

- 바로알기** ㄱ. 그림에서 23주기의 길이는 약 12년 정도로 관측되었다. 흑점 수가 증감하는 주기는 평균적으로 약 11년이다.
- ㄴ. 플레어는 태양 활동이 활발할 때 흑점 부근에 축적된 에너지가 방출되어 발생하며, 흑점 수가 많아지면 플레어도 자주 발생한다. 흑점 수는 2014년이 2008년보다 많았으므로, 플레어는 2014년에 더 자주 발생하였을 것이다.

04 품평 문제 분석



ㄷ. 태양은 차등 자전을 하므로 위도에 따라 하루 자전 각도가 다르게 나타난다. 차등 자전은 태양 표면이 고체가 아닌 기체이기 때문에 나타난다.

바로알기 ㄱ. $\frac{360^\circ}{30\text{일}} = 12^\circ/\text{일}$ 이므로 자전 주기가 약 30일이기

위해서는 하루 동안 약 12° 를 자전해야 한다. (나)에서 태양의 위도 20° 에서 하루 동안의 자전 각도는 약 14° 이므로 자전 주기는 30일보다 짧다.

ㄴ. 흑점의 위치가 동쪽에서 서쪽으로 변하는 주된 원인은 태양이 서쪽에서 동쪽으로 자전하기 때문이다.

05 ㄴ. 지구에서 관측되는 흑점의 이동 방향이 동쪽에서 서쪽인 것으로 보아, 태양의 자전 방향은 서쪽에서 동쪽이다. 이는 지구의 공전 방향과 같다.

ㄷ. 위도 20° 인 지역에서 흑점의 하루 회전각은 14.0° 이므로 자전 주기는 $\frac{360^\circ}{14.0^\circ} \approx 25.7\text{일}$ 이다. 따라서 위도 20° 인 지역의 자전 주기는 24일보다 길다.

바로알기 ㄱ. 1일 동안 자전한 각도(경도 변화량)는 흑점 A가 흑점 B보다 크다. 따라서 흑점 A가 위치한 저위도 영역은 흑점 B가 위치한 고위도 영역보다 자전 속도가 빠르고 자전 주기는 짧다.

06 (가)는 광구와 흑점이 관측되므로 가시광선으로 촬영한 것이고, (나)는 태양 대기의 활동이 관측되므로 자외선으로 촬영한 것이다.

ㄱ. (가)의 관측 파장은 가시광선이고, (나)의 관측 파장은 자외선이므로, 관측 파장은 (가)가 (나)보다 길다.

ㄴ. (나)에서 밝은 영역은 짧은 파장의 고에너지가 많이 방출되는 곳이다. 흑점 부근에서는 축적된 에너지가 방출되므로, 흑점 부근이 밝게 나타난다.

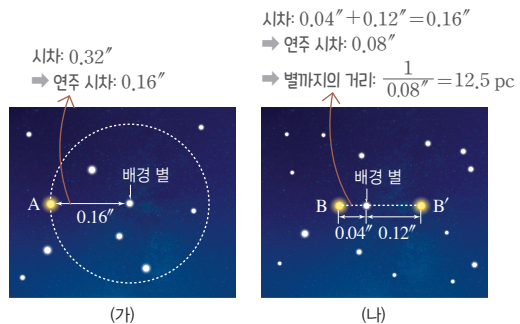
ㄷ. 홍염은 온도가 수만 K인 기체의 활동이므로 가시광선보다는 자외선 영역에서 잘 관측된다.

07 ㄷ. C는 연주 시차가 $0.1''$ 보다 작으므로 10 pc보다 멀리 있다. $\left(\frac{1}{0.01''} = 100 \text{ pc}\right)$ 따라서 C는 10 pc 거리에 있다고 가정했을 때보다 어둡게 관측되므로 겉보기 등급이 절대 등급보다 크다.

바로알기 ㄱ. 연주 시차는 시차의 절반이다. 따라서 A의 연주 시차는 $\frac{0.1''}{2} = 0.05''$, B의 연주 시차는 $\frac{0.05''}{2} = 0.025''$, C의 연주 시차는 $\frac{0.02''}{2} = 0.01''$ 이다.

ㄴ. 겉보기 등급과 절대 등급이 같은 별은 10 pc의 거리에 있으며, 연주 시차는 $0.1''$ 이다. A는 연주 시차가 $0.1''$ 보다 작은 $0.05''$ 이므로 10 pc보다 먼 거리에 있다. A는 10 pc의 거리에 있다고 가정했을 때보다 어둡게 관측되므로 겉보기 등급이 절대 등급보다 크다.

08 품평 문제 분석



ㄴ. B의 연주 시차는 $\frac{0.04'' + 0.12''}{2} = 0.08''$ 이므로, B까지의 거리는 $\frac{1}{0.08''} = 12.5 \text{ pc}$ 이다.

ㄷ. 별까지의 거리는 연주 시차에 반비례한다. 연주 시차는 A가 $0.16''$, B가 $0.08''$ 이므로 B가 A의 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 별까지의 거리는 B가 A의 2배이다.

다른 풀이 A까지의 거리는 $\frac{1}{0.16''} = 6.25 \text{ pc}$ 이고, B까지의 거리는 $\frac{1}{0.08''} = 12.5 \text{ pc}$ 이므로, 별까지의 거리는 B가 A의 2배이다.

바로알기 ㄱ. 연주 시차는 시차의 절반이다. A의 시차는 $0.32''$ 이므로, 연주 시차는 $0.16''$ 이다.

09 품평 문제 분석

겉보기 등급: (나) > (가) = (다)
 $\Rightarrow$ 우리 눈에 보이는 밝기: (나) < (가) = (다)

별	겉보기 등급	절대 등급	거리지수
(가)	-1.0	1.0	-2.0
(나)	1.0	0.0	1.0
(다)	-1.0	-1.0	0.0

(다)가 (나)보다 1등급 작다.
 $\Rightarrow$ 실제 밝기는 (다)가 (나)보다 약 2.5배 밝다.

거리지수: (나) > (다) > (가)
 $\Rightarrow$ 별까지의 거리: (나) > (다) > (가)

- ① 거리지수는 '겉보기 등급 - 절대 등급'이다. 거리지수는 (가)가 -2.0, (나)가 1.0, (다)가 0.0이므로 (가)가 가장 작다.
- ② 우리 눈에 가장 어둡게 보이는 별은 겉보기 등급이 가장 큰 (나)이다.
- ③ 거리지수가 클수록 지구로부터의 거리가 멀다. (나)는 (가)보다 거리지수가 크므로 지구로부터의 거리는 (나)가 (가)보다 멀다.
- ④ 실제 밝기는 절대 등급으로 판단하며, 1등급 차이는 밝기로 약 2.5배 차이가 난다. 절대 등급은 (다)가 (나)보다 1등급 작으므로 실제 밝기는 (다)가 (나)보다 약 2.5배 밝다.

바로알기 ⑤ (다)는 겉보기 등급과 절대 등급이 같으므로 거리는 10 pc이다. $\frac{1}{p}=10$ pc이므로, 연주 시차(p)는 $0.1''$ 이다.

10 ㄴ. B까지의 거리는 $\frac{1}{0.001''}=1000$ pc이다. 거리지수 식을 이용하여 B의 절대 등급(M_B)을 구하면, $4-M_B=5\log 1000-5$ 에서 $M_B=-6$ 등급이다. 절대 등급은 A가 1등급, B가 -6 등급으로 B가 A보다 7등급 더 작다. 따라서 실제 밝기는 B가 A보다 100배보다 더 밝다.

ㄷ. A까지의 거리는 $\frac{1}{0.01''}=100$ pc이고, B까지의 거리는 $\frac{1}{0.001''}=1000$ pc이다. 따라서 별까지의 거리는 B가 A보다 10배 멀다.

바로알기 ㄱ. A까지의 거리는 $\frac{1}{0.01''}=100$ pc이다. 거리지수 식을 이용하여 A의 겉보기 등급(m_A)을 구하면 $m_A-1=5\log 100-5$ 에서 $m_A=6$ 등급이다. 겉보기 등급이 A가 B보다 크므로 맨눈으로 볼 때 A는 B보다 어둡게 보인다.

ㄹ. A의 거리지수는 $(m-M)_A=5\log 100-5=5$, B의 거리지수는 $(m-M)_B=5\log 1000-5=10$ 이다. 따라서 거리지수는 B가 A보다 2배 크다.

다른 풀이 거리지수(겉보기 등급-절대 등급)를 구하면 A의 거리지수는 $6-1=5$, B의 거리지수는 $4-(-6)=10$ 이다.

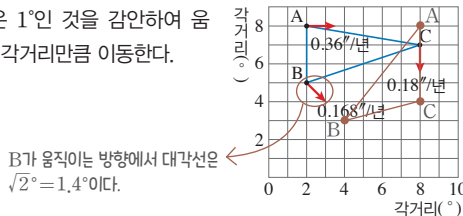
11 ㄴ. 거리지수(겉보기 등급-절대 등급)가 작을수록 별까지의 거리가 가깝다. 거리지수는 센타우루스는 $-0.29-4.1=-4.39$, 시리우스는 $-1.5-1.3=-2.8$, 프로키온은 $0.37-2.6=-2.23$, 스피카는 $0.96-(-3.6)=4.56$ 이므로, 지구로부터 가장 가까운 별은 센타우루스이다.

바로알기 ㄱ. 시리우스는 거리지수(겉보기 등급-절대 등급)가 $-1.5-1.3=-2.8$ 로 0보다 작으므로 10 pc보다 가까이에 있다.

ㄷ. 10년 후 천구상에서 위치 변화가 가장 큰 별은 고유 운동이 가장 큰 센타우루스이다.

12 품평 문제 분석

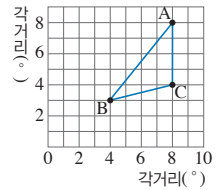
1칸은 $1''$ 인 것을 감안하여 움직인 각거리만큼 이동한다.



고유 운동은 별이 천구상에서 1년 동안 이동한 각거리이며, $1''=3600''$ 이므로 별 A~C가 60000년 동안 이동한 각거리는 A는 $\frac{0.36''/\text{년} \times 60000\text{년}}{3600''/^{\circ}}=6^{\circ}$, B는 $\frac{0.168''/\text{년} \times 60000\text{년}}{3600''/^{\circ}}=2.8^{\circ}$,

C는 $\frac{0.18''/\text{년} \times 60000\text{년}}{3600''/^{\circ}}=3^{\circ}$ 이다.

고유 운동 방향으로 각거리만큼 이동했을 때의 위치를 표시하면 오른쪽 그림과 같다.

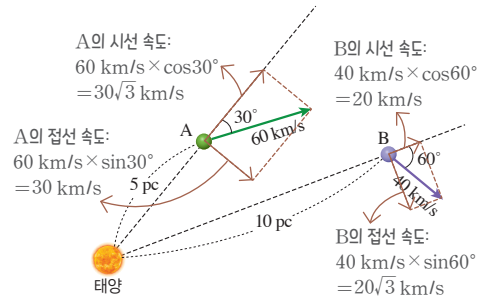


13 ㄴ. 접선 속도는 $v_t=4.74\mu r$ 이므로 별까지의 거리(r)와 고유 운동(μ)에 비례한다. 별까지의 거리가 같을 때, 고유 운동이 클수록 접선 속도가 크다. 따라서 고유 운동이 가장 큰 별은 접선 속도가 가장 큰 B이다.

바로알기 ㄱ. A~C의 공간 속도가 모두 같지만 B는 공간 속도가 모두 접선 속도에 해당하므로, 접선 속도가 가장 크다.

ㄷ. C의 시선 속도는 지구에 가까워지는 방향으로 나타남으로 (-) 값으로 나타나고, 스펙트럼에서는 청색 이동이 나타난다.

14 품평 문제 분석



ㄷ. 접선 속도 식을 이용하여 고유 운동을 비교하면, $\frac{(v_t)_A}{(v_t)_B}=\frac{30}{20\sqrt{3}}=\frac{\sqrt{3}}{2}=\frac{4.74\mu_A r_A}{4.74\mu_B r_B}=\frac{4.74\mu_A \times 5}{4.74\mu_B \times 10}$, $\frac{\mu_A}{\mu_B}=\sqrt{3}>1$ 이다. 따라서 고유 운동은 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄱ. A의 시선 속도는 시선 방향의 속도이므로, $60 \text{ km/s} \times \cos 30^{\circ}=60 \text{ km/s} \times \frac{\sqrt{3}}{2}=30\sqrt{3} \text{ km/s}$ 이다.

ㄴ. A의 접선 속도는 $(v_t)_A=60 \text{ km/s} \times \sin 30^{\circ}=60 \text{ km/s} \times \frac{1}{2}=30 \text{ km/s}$ 이고, B의 접선 속도는 $(v_t)_B=40 \text{ km/s} \times \sin 60^{\circ}=40 \text{ km/s} \times \frac{\sqrt{3}}{2}=20\sqrt{3} \text{ km/s}=34 \text{ km/s}$ 이다. 따라서 접선 속도는 A가 B보다 작다.

15 **모범 답안** '360° : 3일 동안의 회전각 = 태양의 자전 주기 : 3일'이므로 '360° : 43.2° = 태양의 자전 주기 : 3일'이다. 따라서 태양의 자전 주기는 $\frac{360^\circ}{43.2^\circ} \times 3\text{일} = 25\text{일}$ 이다.

채점 기준	배점
자전 주기를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
회전각과 시간의 비례식만 옳게 쓴 경우	50 %

16 **모범 답안** • r_A : $2.5 - 0.0 = 5 \log r_A - 5$ 에서 $\log r_A = \frac{3}{2}$, $r_A = 10\sqrt{10}$

• r_B : $0.0 - 2.5 = 5 \log r_B - 5$ 에서 $\log r_B = \frac{1}{2}$, $r_B = \sqrt{10}$

• r_C : $0.0 - 5.0 = 5 \log r_C - 5$ 에서 $-5.0 = 5 \log r_C - 5$, $r_C = 1$

따라서 $\frac{r_A}{r_B} + r_C = 10 + 1 = 11$ 이다.

채점 기준	배점
$\frac{r_A}{r_B} + r_C$ 를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
거리지수 식만 옳게 쓴 경우	40 %

17 **모범 답안** (1) 고유 운동(μ)은 별이 천구상에서 1년 동안 움직인 각 거리이므로 $\mu = \frac{5''}{15\text{년}} = \frac{1}{3}''/\text{년}$ 이다.

(2) 별까지의 거리(r)를 거리지수 식을 이용하여 구하면, $m - M = 5 \log r - 5$, $0.3 - (-4.7) = 5 \log r - 5$, $r = 100 \text{ pc}$ 이다. 고유 운동 $\frac{1}{3}''/\text{년}$ 과 거리 100 pc를 접선 속도 식에 대입하여 접선 속도(v_t)를 구하면, $v_t = 4.74 \mu r = 4.74 \times \frac{1}{3}''/\text{년} \times 100 \text{ pc} = 158 \text{ km/s}$ 이다.

채점 기준	배점
(1) 고유 운동을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	50 %
고유 운동 정의만 옳게 서술한 경우	20 %
(2) 접선 속도를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	50 %
접선 속도 구하는 식만 옳게 쓴 경우	10 %

중단원 고난도 문제

109쪽

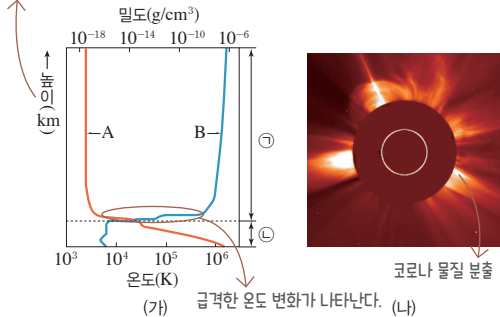
01 ③ 02 ⑤ 03 ③ 04 ④

01 품평 문제 분석

태양에서 코로나로 높이가 높아질수록 온도는 대체로 높아지고, 밀도는 작아진다.

⇒ A: 밀도, B: 온도

⇒ ㉠: 코로나(상층 대기), ㉡: 채층(하층 대기)



(가) 급격한 온도 변화가 나타난다. (나)

선택지 분석

㉠ (가)에서 A는 밀도, B는 온도이다.

✗ ㉠과 ㉡의 경계면에는 흑점이 분포한다. ㉡보다 아래에는

㉢ (나)와 같은 현상이 나타나면 ㉠에 있던 대전 입자가 짧은 시간 동안 대량으로 방출된다.

전략적 풀이 ① 높이에 따른 대기의 온도 분포를 이해한다.

ㄱ. 태양 대기에서 높이 올라갈수록 값이 감소하는 A는 밀도이고, 대체로 증가하는 B는 온도이다. 광구 바로 바깥쪽 대기층인 채층은 온도가 4500 K ~ 수만 K 정도이고, 가장 바깥쪽 대기층인 코로나는 온도가 백만 K 이상이다.

② 높이에 따른 물리량 변화와 연관지어 각 영역의 명칭을 파악한다.

ㄴ. 흑점은 광구에서 나타난다. 흑점은 광구보다 온도가 2000 K 정도 낮은 영역인데 반해 ㉠과 ㉡의 경계에서는 급격한 온도 변화가 나타나고 있는 태양의 대기 영역이다. ㉠은 상층 대기인 코로나이고, ㉡은 하층 대기인 채층이다.

③ 태양에서 나타나는 현상을 태양의 구조와 관련지어 이해한다.

ㄷ. (나)는 코로나 물질 분출이 일어나는 모습이다. 태양 활동이 활발하여 플레어와 같은 폭발 현상이 발생하면 코로나에 갇혀 있던 고에너지 대전 입자가 짧은 시간 동안 대량으로 방출될 수 있다.

02 품평 문제 분석

10 pc에서 5등급으로 보인다.

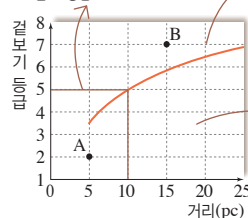
⇒ 절대 등급 $M: 5$

→ 실선 위 영역: 거리가 같을 때 절대 등급이 M 인 별보다 어둡게 보인다.

⇒ 절대 등급이 5등급보다 크다.

→ 실선 아래 영역: 거리가 같을 때 절대 등급이 M 인 별보다 밝게 보인다.

⇒ 절대 등급이 5등급보다 작다.



선택지 분석

- ㉠ M은 5이다.
- ㉡ 연주 시차는 A가 B보다 크다.
- ㉢ 절대 등급은 A가 B보다 작다.

전략적 풀이 ① 절대 등급의 정의를 이해한다.

ㄱ. 절대 등급은 별이 10 pc의 거리에 있다고 가정했을 때의 밝기를 등급으로 나타낸 것이다. 거리가 10 pc일 때의 겉보기 등급이 5등급이므로, 절대 등급 M은 5이다.

② 연주 시차와 거리와의 관계를 파악한다.

ㄴ. 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례한다. 그림에서 A까지의 거리는 5 pc, B까지의 거리는 15 pc이므로 별까지의 거리는 B가 A보다 멀다. 따라서 연주 시차는 A가 B보다 크다.

③ 그림의 실선을 기준으로 위쪽과 아래쪽 영역에 해당하는 별의 특징을 추론한다.

ㄷ. A는 5 pc의 거리에서 겉보기 등급이 2등급으로 절대 등급이 M(5등급)인 별보다 밝게 관측되므로, A의 절대 등급은 5등급보다 작다. B는 15 pc의 거리에서 겉보기 등급이 7등급으로 절대 등급이 M(5등급)인 별보다 어둡게 관측되므로, B의 절대 등급은 5등급보다 크다. 따라서 절대 등급은 A가 B보다 작다.

03 — 꼼꼼 문제 분석

별	A	B
연주 시차(")	0.01	0.1
거리지수	x	y
절대 등급	-5.0	-2.5
거리	$\frac{1}{0.01''} = 100 \text{ pc}$	$\frac{1}{0.1''} = 10 \text{ pc}$

A의 절대 등급: -5.0등급
= 10 pc에서의 겉보기 등급
⇒ A의 거리는 100 pc(10 pc의 10배)
⇒ A의 겉보기 등급: 0등급

B의 절대 등급: -2.5등급
= 10 pc에서의 겉보기 등급
⇒ B의 거리는 10 pc
⇒ B의 겉보기 등급: -2.5등급

선택지 분석

- ㉠ x 는 y 보다 크다.
- ㉡ 겉보기 등급은 A가 B보다 작다. **크다**
- ㉢ 실제 밝기는 A가 B보다 10배 밝다.

전략적 풀이 ① 연주 시차를 이용하여 별까지의 거리를 비교한다.

ㄱ. 별까지의 거리는 연주 시차에 반비례한다. 연주 시차는 B가 A의 10배이므로, 거리는 A가 B보다 10배 멀다. 별까지의 거리가 멀수록 거리지수가 크므로, 거리지수는 x 가 y 보다 크다.

다른 풀이 연주 시차를 이용하여 별까지의 거리를 구하면 A까지의 거리는 $\frac{1}{0.01''} = 100 \text{ pc}$, B까지의 거리는 $\frac{1}{0.1''} = 10 \text{ pc}$ 이다.

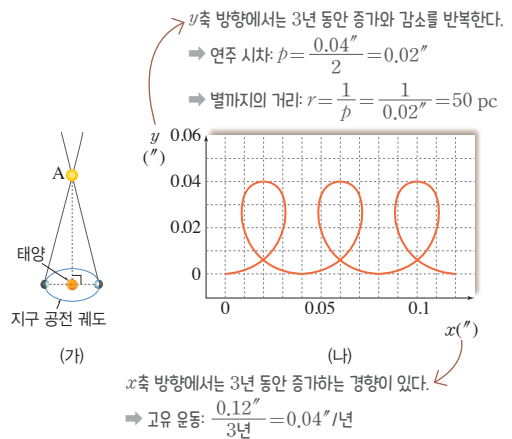
② 겉보기 등급, 절대 등급, 거리 사이의 관계를 이해한다.

ㄴ. A까지의 거리는 100 pc이고, 거리지수 식을 이용하여 A의 겉보기 등급(m_A)을 구하면, $m_A - (-5.0) = 5 \log 100 - 5$, $m_A = 0$ 등급이다. B는 10 pc 거리에 있으므로, 겉보기 등급은 절대 등급과 같은 -2.5등급이다. 따라서 겉보기 등급은 A가 B보다 크다.

③ 별의 등급과 밝기 사이의 관계를 이해한다.

ㄷ. 두 별의 실제 밝기는 절대 등급을 비교하여 알 수 있다.
 $M_B - M_A = 2.5 \log \frac{L_A}{L_B}$, $(-2.5) - (-5.0) = 2.5 \log \frac{L_A}{L_B}$,
 $L_A = 10 L_B$ 이다. 따라서 실제 밝기는 A가 B보다 10배 밝다.

04 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ x 축에서는 연주 시차, y 축에서는 고유 운동을 알 수 있다.
- ㉡ A까지의 거리는 50 pc이다. **x 축에서는 고유 운동, y 축에서는 연주 시차**
- ㉢ A의 접선 속도는 10 km/s보다 작다.

전략적 풀이 ① 고유 운동과 연주 시차의 특징을 이해한다.

ㄱ. x 축 방향에서는 3년 동안 증가하고 있으므로 고유 운동을 알 수 있다. y 축 방향에서는 1년을 주기로 증감을 반복하므로 연주 시차를 알 수 있다.

② 연주 시차를 이용하여 별까지의 거리를 구한다.

ㄴ. (나)의 y 축에서 A의 시차는 $0.04''$ 이므로, 연주 시차는 $0.02''$ 이다. 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례하므로, A까지의 거리는 $\frac{1}{0.02''} = 50 \text{ pc}$ 이다.

③ 별까지의 거리와 고유 운동을 이용하여 별의 접선 속도를 구한다.

ㄷ. A의 접선 속도(v_t)는 $v_t = 4.74 \mu\text{r}$ 에서 $4.74 \times \frac{0.12''}{3 \text{년}} \times 50 \text{ pc} = 9.48 \text{ km/s}$ 이므로, 10 km/s보다 작다.

2 별의 질량과 변광성

01 / 별의 질량

개념 확인 문제

115쪽

① 쌍성계 ② 분광 쌍성 ③ 케플러 제3 ④ 질량 광도

1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × 2 (1) (가) ⊖ (나) ⊖ (다) ⊖ (라) ⊖
 (2) A 3 ㉠ 도플러, ㉡ 변화량 4 (1) 8배 (2) A: 6배, B: 2배
 5 (1) 10배 (2) $10^{\frac{1}{4}}$ 배

- 1 (1) 쌍성계는 두 별이 서로의 중력으로 묶여 공통 질량 중심 주위를 일정한 주기로 공전하는 시스템이다.
 (2) 안시 쌍성과 분광 쌍성은 관측 방법에 따라 분류한 것이다. 따라서 하나의 쌍성계가 관측 기술이나 조건에 따라 안시 쌍성이면서 동시에 분광 쌍성일 수 있다.
 (3) 별빛의 스펙트럼을 분석하여 흡수선 파장의 주기적인 변화로 쌍성임을 알아낼 수 있는 것은 분광 쌍성이다.
 (4) 식쌍성은 공통 질량 중심 주위를 공전하는 두 별의 공전 궤도면이 시선 방향과 거의 나란하여 두 별이 서로를 가리는 식 현상이 관측되는 쌍성이다.

2 (1) • (가), (다): 쌍성의 운동 방향이 시선 방향에 수직이므로 파장의 변화가 없다. 따라서 스펙트럼에 파장 변화가 나타나지 않는 ⊖에 해당한다.

• (나): A는 시선 방향으로 다가오므로 청색 이동이 나타나고, B는 시선 방향에서 멀어지므로 적색 이동이 나타난다. 따라서 ㉡에 해당한다.

• (라): A는 시선 방향에서 멀어지므로 적색 이동이 나타나고, B는 시선 방향으로 다가오므로 청색 이동이 나타난다. 따라서 ㉠에 해당한다.

(2) 두 별 사이에는 $m_A a_A = m_B a_B$ 가 성립한다. 따라서 질량이 큰 별이 공통 질량 중심에 더 가까우므로 질량은 A가 B보다 크다.

3 분광 쌍성은 스펙트럼에 나타난 흡수선을 분석하여 그 존재를 확인할 수 있는 쌍성이다. 두 별이 공전하면서 관측자에게 다가오거나 멀어질 때 파장이 짧아지거나 길어지는 도플러 효과가 나타나며, 이때 스펙트럼의 흡수선은 주기적으로 청색 이동과 적색 이동을 반복한다. 이러한 흡수선 파장의 변화량을 분석하면, 별의 질량과 공전 궤도 반지름 등 물리적 특성을 구할 수 있다.

4 (1) 두 별의 질량이 각각 m_A, m_B , 공통 질량 중심으로부터 별까지의 거리가 각각 a_A, a_B ($a_A + a_B = a$)일 때, $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$ 이 성립한다. 두 별의 공전 주기가 8년, 두 별 사이의 거리가 8 AU이므로 두 별의 질량의 합은 $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$ 에서 $\frac{a^3}{P^2} = 8$ 이므로 $8 M_\odot$ 이다. 따라서 A와 B의 질량의 합은 태양 질량의 8배이다.

(2) A와 B는 쌍성이므로 $m_A a_A = m_B a_B$ 가 성립한다. $a_A : a_B$ 는 1 : 3이므로, $m_A : m_B$ 는 3 : 1이다. A와 B의 질량의 합은 태양 질량의 8배이므로, A의 질량은 태양의 6배, B의 질량은 태양의 2배이다.

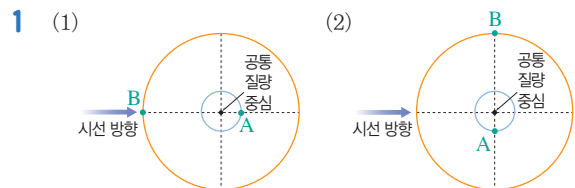
5 (1) 별의 연주 시차가 $0.01''$ 이므로 별까지의 거리는 $\frac{1}{0.01''} = 100 \text{ pc}$ 이다. 겉보기 등급(m)은 7.3등급이므로 $m - M = 5 \log r - 5$ 로부터 절대 등급(M)은 2.3등급이다. 포그슨 공식 $M_\odot - M = 2.5 \log \frac{L}{L_\odot}$ 에서 $4.8 - 2.3 = 2.5 \log \frac{L}{L_\odot}$, $\frac{L}{L_\odot} = 10$ 이다. 따라서 이 별의 광도는 태양의 10배이다.

(2) 이 별은 광도 계급이 V이므로 주계열성이다. 별의 광도는 태양의 10배이고, 주계열성의 질량 광도 관계는 $\frac{L}{L_\odot} = \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^4$ 이므로, $M = 10^{\frac{1}{4}} M_\odot$ 이다. 따라서 이 별의 질량은 태양 질량의 $10^{\frac{1}{4}}$ 배이다.

대표 자료 분석 1

116쪽

1 해설 참조 2 $\Delta\lambda: 0.04 \text{ nm}$, $\Delta\lambda': 0.12 \text{ nm}$ 3 ㉠: 6×10^6 ,
 ㉡: $\frac{(8 \times 10^{10})^3}{(6 \times 10^6)^2}$ 4 (1) ○ (2) × (3) ×



t_1 일 때 파장 변화가 없으므로 두 별 모두 시선 방향에 대해 수직으로 움직인다. t_4 일 때는 파장 변화량의 크기가 최대이므로 두 별 모두 시선 방향에 나란하게 움직인다. A와 B는 시계 반대 방향으로 공전하고, t_1 을 지나면서 A는 시선 속도가 (-) 값이 되므로 시선 방향으로 다가오고, B는 시선 속도가 (+) 값이 되므로 시선 방향에서 멀어진다. t_4 일 때는 공전 주기의 $\frac{3}{4}$ 만큼 지나 t_1 의 위치에서 시계 반대 방향으로 270° 만큼 공전한 위치에 있다.

2 시선 속도 관계식 $v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c$ 에서 $\Delta\lambda = \frac{v}{c} \times \lambda_0$ 이므로

$$\Delta\lambda = \frac{20 \text{ km/s}}{300000 \text{ km/s}} \times 600 \text{ nm} = 0.04 \text{ nm이고,}$$

$$\Delta\lambda' = \frac{60 \text{ km/s}}{300000 \text{ km/s}} \times 600 \text{ nm} = 0.12 \text{ nm이다.}$$

3 A와 B 사이의 거리가 8×10^{10} m일 때 공전 주기는 $t_1 \sim t_5$ 이므로 6×10^6 초(㉠)이다. 케플러 제3법칙 $\frac{a^3}{P^2} = \frac{G(m_A + m_B)}{4\pi^2}$ 로부터 두 별의 질량의 합은 $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} \frac{4\pi^2}{G}$ 이므로, $\frac{(8 \times 10^{10})^3}{(6 \times 10^6)^2} \frac{4\pi^2}{G}$ 으로 쓸 수 있다. 또한 질량 합을 A와 B의 질량비로 나누면 각각의 별의 질량을 구할 수 있다.

4 (1) $v_A = \frac{2\pi a_A}{P}$, $v_B = \frac{2\pi a_B}{P}$ 이므로, 공전 궤도 반지름은 공전 속도에 비례한다. 공전 속도는 시선 속도의 최댓값이므로 $v_A : v_B = 1 : 3$ 이고, 공전 궤도 반지름의 비는 $1 : 3$ 이다.
(2) $m_A a_A = m_B a_B$ 이고, 공전 속도는 공전 궤도 반지름(a)에 비례하므로 $m_A v_A = m_B v_B$ 가 성립한다. A와 B의 공전 속도의 비는 $1 : 3$ 이므로 질량비는 $3 : 1$ 이다.
(3) 두 별의 질량의 합을 구하기 위해 사용되는 법칙은 케플러 제3법칙이다.

내신 만점문제

117쪽~119쪽

- | | | | | | |
|----------|------|----------|------|------|------|
| 01 ⑤ | 02 ① | 03 ③ | 04 ③ | 05 ③ | 06 ② |
| 07 해설 참조 | 08 ③ | 09 해설 참조 | | | |
| 10 해설 참조 | 11 ④ | 12 해설 참조 | | | |

01 ① 안시 쌍성 중에서도 두 별이 서로를 가려 밝기가 주기적으로 변하면 식쌍성에 해당할 수 있다.
② 쌍성계를 이루는 두 별은 서로의 중력에 의해 공통 질량 중심 주위를 공전하므로, 쌍성계에서 시스템이 유지되는 가장 주요한 원인은 중력이다.
③ 식쌍성은 두 별이 서로를 가리는 식 현상이 나타나야 하므로 두 별의 공전 궤도면이 시선 방향과 나란할 때 관측될 수 있다.
④ 안시 쌍성은 망원경으로 두 별을 개별적으로 구분하여 관측할 수 있는 쌍성이다.

(바로알기) ⑤ 쌍성계를 구성하는 별빛 밝기의 주기적인 변화가 나타나는 것은 식쌍성에 해당한다.

02 ㄱ. 두 별 모두 망원경으로 관측되었으므로 안시 쌍성이다.

(바로알기) ㄴ. 시리우스 A가 시리우스 B에 비해 훨씬 밝게 보인다. 따라서 시리우스 A는 주성, 시리우스 B는 동반성이다.
ㄷ. 시리우스 A와 시리우스 B는 쌍성이므로 공통 질량 중심 주위를 같은 주기로 공전한다.

03 ① 분광 관측으로 얻은 흡수선의 파장 변화로부터 별의 시선 속도를 구할 수 있으며, 이를 이용하여 쌍성의 질량비와 질량을 구할 수 있다.

②, ④ 케플러 제3법칙으로부터 $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$ 이 성립하므로, 두 별 사이의 거리와 공전 주기로 쌍성을 이루는 두 별의 질량의 합을 구할 수 있다.

⑤ 쌍성의 질량은 공전 주기와 두 별 사이의 거리로 질량의 합을 구한 뒤, 질량비를 이용하여 구할 수 있다. 반면 질량 광도 관계는 통계적으로 얻은 관계이므로, 일반적으로 쌍성의 공전 운동을 이용하여 질량을 구하는 것이 더 정확하다.

(바로알기) ③ 질량 광도 관계는 주계열성에서 성립한다. 광도 계급이 III인 별은 거성으로 주계열 단계를 벗어났다. 따라서 질량 광도 관계로부터 질량을 알 수 있는 적절한 천체가 아니다.

04 ㄱ. 스펙트럼의 흡수선이 2개가 나타나고 합쳐졌다가 다시 갈라짐을 반복하고 있다. 따라서 이 천체는 분광 쌍성이다.

ㄴ. t_1 과 t_3 에서 흡수선 A의 파장 변화량의 크기는 같지만 t_1 에서는 청색 이동이, t_3 에서는 적색 이동이 나타나므로 기준 파장으로부터 방향이 반대이다. 따라서 별의 이동 방향은 서로 반대이다.

(바로알기) ㄷ. 흡수선의 최대 파장 변화량이 나타나는 t_1 과 t_3 에서 파장 변화량의 크기는 B가 A보다 크다. 즉, 시선 속도의 크기는 흡수선 B를 만드는 별이 더 크고, 두 별의 공전 주기가 같으므로 공전 궤도 반지름도 흡수선 B를 만드는 별이 더 크다. $m_A a_A = m_B a_B$ 로부터 쌍성계에서 공전 궤도 반지름과 질량은 반비례하므로, 질량은 흡수선 B를 만드는 별이 더 작다.

05 ㄱ. A와 B의 연주 시차는 $0.1''$ 이고, 별까지의 거리는 연주 시차에 반비례하므로, 이 쌍성계까지의 거리는 $\frac{1}{0.1''} = 10 \text{ pc}$ 이다.

ㄷ. 쌍성계에서 쌍성을 이루는 두 별의 공전 주기는 같다. 이때 B가 A보다 공전 궤도 반지름이 3배 크므로 공전 속도도 B가 A의 3배이다.

바로알기 ㄴ. 지구로부터 1 pc의 거리에 있는 두 별이 1" 떨어진 것으로 보일 때 두 별 사이의 실제 거리는 1 AU이다. 따라서 10 pc의 거리에 있는 경우 1" 떨어진 두 별의 거리는 10 AU에 해당한다. 따라서 공통 질량 중심으로부터 B 사이의 각거리 3"는 실제 거리 30 AU에 해당한다.

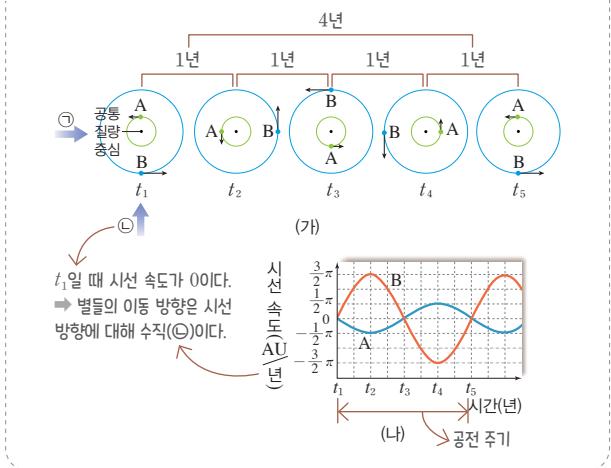
06 ㄴ. 그림은 A와 B의 파장 변화량의 크기가 최대일 때의 모습이다. 따라서 두 별을 잇는 직선은 시선 방향과 수직(90°)이며, 관측자에게 두 별 사이의 각거리가 가장 크게 보이는 위치이다. 이때 A와 B의 공전 궤도 반지름의 비는 4 AU : 12 AU = 1 : 3 이므로, $m_A a_A = m_B a_B$ 로부터 질량은 A가 B의 3배이다.

바로알기 ㄱ. 쌍성의 공전 주기는 같으므로, A와 B의 공전 주기는 같다.
 ㄷ. 공통 질량 중심으로부터 별까지의 거리비가 1 : 3이고, 공전 주기는 같으므로 $v = \frac{2\pi a}{P}$ 로부터 공전 속도는 B가 A의 3배이다.

07 **모범 답안** 쌍성계에서 식 현상의 간격이 8년이므로 공전 주기는 16년이다. 또한 A와 B 사이의 거리는 4 AU + 12 AU = 16 AU이다. 태양 질량을 $M_\odot$, 주기의 단위를 '년', 거리의 단위를 'AU'라고 하면 $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$ 이다. $\frac{a^3}{P^2} = 16$ 이므로 두 별의 질량의 합은 태양 질량의 16배이다.

채점 기준	배점
두 별의 질량의 합을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
질량의 합을 구하는 식만 옳게 쓴 경우	50 %

[08~10] ——— 풀림 문제 분석



08 ㄱ. t_1 일 때 두 별의 시선 속도는 0이므로 관측자의 시선 방향에 대해 별이 이동하는 방향은 수직이다. 따라서 관측자의 시선 방향은 ㉠이다.

ㄴ. (나)의 t_1 과 t_5 에서 시선 속도가 같으므로 $t_1 \sim t_5$ 동안 한 바퀴 공전한다. $t_1 \sim t_2$ 가 1년이므로, 공전 주기는 4년이다.

바로알기 ㄷ. 쌍성계의 시선 속도를 이용하는 방법은 별의 진화 단계와 관계없이 구할 수 있으므로, 두 별 모두 주계열성이 아니어도 상관없다. 두 별의 질량의 합은 $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$ 으로 구할 수 있고, 질량비는 $m_A a_A = m_B a_B$ 로 구할 수 있다.

09 **모범 답안** $v = \frac{2\pi a}{P}$, $a = \frac{vP}{2\pi}$ 이므로 공통 질량 중심으로부터 별까지의 거리는 $a_A = \frac{vP}{2\pi} = \frac{\pi}{2}$ AU/년 $\times \frac{4\text{년}}{2\pi} = 1$ AU, $a_B = \frac{vP}{2\pi} = \frac{3\pi}{2}$ AU/년 $\times \frac{4\text{년}}{2\pi} = 3$ AU이다. 따라서 A와 B 사이의 거리(a)는 1 AU + 3 AU = 4 AU이다.

채점 기준	배점
A와 B 사이의 거리를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
공통 질량 중심과 별까지의 거리를 구하는 식만 옳게 유도한 경우	50 %

10 **모범 답안** $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$ 에서 $\frac{a^3}{P^2} = 4$ 이므로 $m_A + m_B = 4 M_\odot$ 이다. 따라서 두 별의 질량의 합은 태양 질량의 4배이다. 이때 $m_A a_A = m_B a_B$ 이므로 A와 B의 질량비는 3 : 1이다. 따라서 A의 질량은 태양 질량의 3배이고, B의 질량은 태양 질량과 같다.

채점 기준	배점
A와 B의 질량은 태양이 몇 배인지 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
A와 B의 질량의 합은 구하였으나, 질량을 구하지 못한 경우	50 %

11 ㄱ. 태양은 주계열성이므로, A와 B 중 주계열성은 하나이다. A와 B는 절대 등급이 태양보다 5등급 작으므로, 광도는 100배 크다. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도가 크므로 주계열성은 태양보다 표면 온도가 높고, 광도도 큰 A이다.

ㄴ. A는 절대 등급이 태양보다 5등급 작으므로 광도는 태양의 100배이다. (나)에서 광도가 태양의 100배인 경우 질량은 태양 질량의 10배보다 작다.

바로알기 ㄷ. B는 표면 온도가 태양보다 낮지만 광도가 100배나 크므로 적색 거성이다. B가 주계열성이었을 때의 광도는 지금보다 작았을 것이다. 반면, A는 주계열성이면서 광도가 태양의 100배이다. 따라서 B는 주계열성일 때의 광도가 A보다 더 작았으므로, 질량도 A보다 작다.

12 **모범 답안** (1) B, A의 절대 등급(M_A)은 $2.8 - M_A = 5 \log 100 - 5$ 에서 $M_A = -2.2$ 등급이고, B의 절대 등급(M_B)은 $3.8 - M_B = 5 \log 800 - 5$ 에서 $M_B = -5.7$ 등급이다. B는 A보다 절대 등급이 작으므로, 실제로 더 밝다.

(2) A, B는 표면 온도가 6000 K, 절대 등급은 -5.7등급으로 태양과 표면 온도는 비슷하지만 태양보다 광도가 매우 크므로 주계열성이 아니다. A는 표면 온도가 15000 K, 절대 등급이 -2.2등급으로 태양보다 표면 온도가 높고 광도도 크므로 주계열성이다.

(3) A의 절대 등급은 -2.2등급이므로 태양보다 7등급 작다. 1등급 차는 2.5배의 밝기 비이므로 2등급 차는 $2.5^2 = 6.25$ 배이다. 따라서 7등급의 광도 차는 $100 \times 6.25 = 625$ 배이다. $\frac{L_A}{L_\odot} = \left(\frac{M_A}{M_\odot}\right)^4$ 이므로 $625 = \left(\frac{M_A}{M_\odot}\right)^4$ 이다. $625 = 5^4$ 이므로, A의 질량은 태양의 5배이다.

채점 기준	배점
(1) B를 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	30 %
B를 골랐으나 까닭을 서술하지 못한 경우	10 %
A를 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	35 %
A를 고르고, 주계열성의 광도와 표면 온도의 관계만 옳게 서술한 경우	20 %
(2) A의 질량을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	35 %
A와 태양의 광도비만 옳게 구한 경우	20 %

실력 UP 문제

119쪽

01 ㄴ, ㄷ 02 ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 ㄴ. 쌍성계까지의 거리가 100 pc이므로 공통 질량 중심으로부터 각거리 1"는 100 AU에 해당한다. 따라서 공통 질량 중심으로부터 각거리 0.15", 0.05"는 각각 실제 거리 15 AU, 5 AU에 해당한다. $m_A a_A = m_B a_B$ 이고, 공전 궤도 반지름의 비는 3 : 1이므로, 질량비는 $m_A : m_B = 1 : 3$ 이다. $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$

에서 $\frac{a^3}{P^2} = \frac{20^3}{(10\sqrt{10})^2} = 8$ 이므로, $m_A + m_B = 8 M_\odot$ 이고, A의 질량은 $2 M_\odot$, B의 질량은 $6 M_\odot$ 이다. 따라서 B의 질량은 태양의 6배이다.

ㄷ. 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높다. A와 B 모두 주계열성이고, 질량이 태양보다 크므로 ㉠은 6000보다 크다.

바로알기 ㄱ. 별까지의 거리는 연주 시차에 반비례한다. 연주 시차는 0.01"이므로, 쌍성계까지의 거리는 $\frac{1}{0.01''} = 100$ pc이다.

02 ㄱ. 쌍성계를 구성하는 별이 주계열성인지 확인하려면 분광 관측으로 얻은 흡수선을 분석하여 별의 분광형과 광도 계급을 알아내야 한다.

ㄴ. 추세선의 수식에서 기울기가 α 이므로, α 는 3.8이다.

ㄷ. 별의 질량이 태양의 0.43배보다 작은 경우 α 는 약 2.3이다.

따라서 질량이 태양의 $\frac{1}{10}$ 인 별들을 관측하여 실험을 진행하면 α 는 현재의 실험 결과에서보다 작을 것이다.

02 / 변광성

개념 확인 문제

122쪽

① 변광성 ② 식변광성 ③ 주극소 ④ 부극소 ⑤ 맥동 변광성
⑥ 폭발 변광성 ⑦ Ia형

1 (1) × (2) × (3) × (4) × 2 (1) ㉠ (2) A (3) 크기가 같다.
3 (1) (가), (나) (2) (나) (3) (가) 4 ㉠ 거리, ㉡ 어둡게, ㉢ 가속 팽창

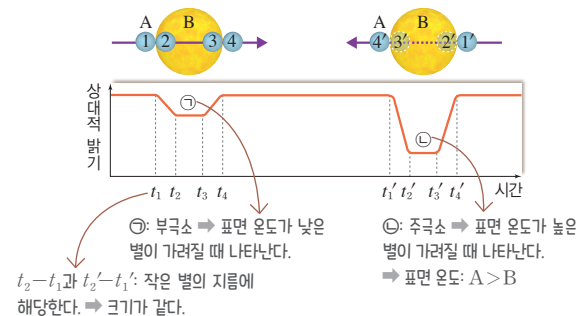
1 (1) 별의 광도가 변하여 나타나는 변광성은 맥동 변광성과 폭발 변광성이다.

(2) 주극소는 표면 온도가 높은 별이 표면 온도가 낮은 별에 의해 가려질 때 나타난다.

(3) 세페이드 변광성은 표면 온도가 가장 높아진 직후, 별이 팽창하는 과정에서 가장 밝게 관측된다.

(4) Ia형 초신성은 백색왜성으로 물질이 유입되어 질량이 질량 한계를 넘으면서 폭발하여 나타난다.

2 - 품고 문제 분석



(1) 주극소는 표면 온도가 높은 별이 가려져 밝기 변화가 큰 시기를 의미한다. 따라서 이에 해당하는 것은 ㉠이다.

(2) 주극소일 때 가려지는 별이 표면 온도가 높은 별이다. 주극소는 ㉠이므로 이때 가려지는 A가 표면 온도가 높다.

(3) $t_2 - t_1$ 과 $t_2' - t_1'$ 은 모두 작은 별인 A의 지름에 해당하는 구간이므로 크기가 같다.

3 (1) 맥동 변광성은 밝기가 주기적으로 변한다. (가)와 (나) 모두 주기적인 밝기 변화가 나타나므로 맥동 변광성에 해당한다.

(2) 변광 주기는 (가)는 약 12일, (나)는 10개월 이상이므로 (나)가 더 길다.

(3) (가)는 변광 주기가 100일 이내이므로, 세페이드 변광성이고, (나)는 장주기 변광성으로 변광 주기가 100일 이상이다.

4 Ia형 초신성은 폭발 시 최대 밝기일 때의 절대 등급이 거의 일정하므로 먼 은하까지의 거리(㉠)를 측정하는 데 이용된다. 관측 결과, 먼 은하의 Ia형 초신성은 등속 팽창 우주에서 예상한 것보다 더 어둡게(㉡) 관측되었으며, 이는 초신성이 예상보다 더 먼 곳에 있음을 의미한다. 이를 통해 현재 우주가 가속 팽창(㉢)하고 있음을 알 수 있다.

대표 자료 분석 1

123쪽

1 (가), (나), (다) 2 (나), (다), (라) 3 (1) (라) (2) 초신성 잔해, 별의 진화 과정에서 생성된 원소를 성간 물질로 돌려주는 역할을 한다. 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ×

(가)는 밝기가 크고 작게 감소하는 것이 반복되므로 식변광성이다. (나)는 밝기가 주기적으로 변화하고, 주기는 100일 이내이므로 세페이드 변광성이다. (다)는 밝기가 주기적으로 변화하고, 주기는 100일 이상이므로 장주기 변광성이다. (라)는 밝기가 급격히 밝아졌다가 서서히 어두워지므로 초신성이다.

1 그림에서 주기성을 띠면서 밝기가 변화하는 별은 광도 곡선이 주기적으로 변화하는 (가), (나), (다)이다.

2 별의 광도가 변화하여 밝기 변화가 나타나는 것은 맥동 변광성과 폭발 변광성이므로, (나), (다), (라)이다.

3 (1) 이 변광성은 초신성이므로 광도 곡선에 해당하는 것은 (라)이다.
(2) 그림은 초신성 잔해이다. 초신성 폭발 후 만들어진 초신성 잔해는 우주 공간으로 퍼져 나가며 별의 진화 과정에서 생성된 원소를 성간 물질로 돌려주는 역할을 한다.

4 (1) 쌍성의 공전 궤도면이 시선 방향과 나란한 경우 식 현상이 나타나 (가)와 같이 밝기 변화가 나타난다.
(2) 부극소는 표면 온도가 낮은 별이 가려지는 경우 나타난다.
(3) (나)와 (다)는 맥동 변광성이다. 맥동 변광성은 별이 팽창과 수축을 반복하면서 광도가 변한다.
(4) (라) 초신성은 폭발 시 막대한 에너지를 방출하므로 (가) 식변광성보다 최대 광도가 크다.
(5) 외부 은하에서는 초신성인 (라) 뿐만 아니라 세페이드 변광성인 (나)도 발견될 수 있다. 허블은 외부 은하인 안드로메다 은하에서 세페이드 변광성을 발견하여 안드로메다 은하까지의 거리를 측정하였다.

(6) 초신성은 별의 폭발에 의해 밝기가 급격히 증가한 뒤 서서히 감소하며, 동일한 별에서 주기적으로 반복되지 않는다. 따라서 광도 곡선에 주기성이 나타나지 않는다.

내신만점문제

124쪽~125쪽

01 ④ 02 ③ 03 해설 참조 04 ① 05 ⑤
06 ④ 07 ③

01 ① 관측되는 밝기가 일정하지 않고 시간에 따라 변하는 별을 변광성이라고 한다.

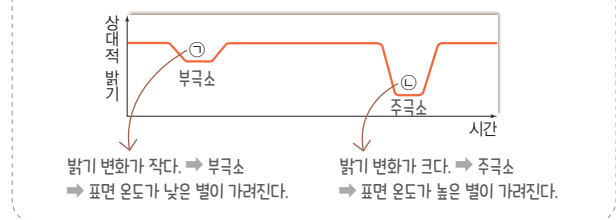
② 식변광성은 쌍성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 거의 일치하여 식 현상이 일어날 때 나타난다.

③ 식변광성에서 주극소는 쌍성계에 속한 두 별 중 표면 온도가 높은 별이 가려질 때 나타나고, 부극소는 표면 온도가 낮은 별이 가려질 때 나타난다.

⑤ 맥동 변광성은 거성 단계의 별 내부가 불안정해져 팽창과 수축을 반복하므로 밝기가 주기적으로 변한다.

[바로알기] ④ 식변광성은 두 별이 서로 공전하면서 다른 별을 가리는 식 현상에 의해 관측자에게 도달하는 밝기가 변한다. 천체가 방출하는 에너지가 변해서 밝기가 변하는 변광성은 맥동 변광성이나 폭발 변광성이다.

[02~03] — 품평 문제 분석



02 ㄱ. 밝기가 최대로 감소하는 ㉠은 주극소, ㉡은 부극소이다.
ㄴ. 주극소(㉠)는 표면 온도가 높은 별이 가려질 때 나타난다.

[바로알기] ㄷ. 주극소와 부극소가 나타날 때 가려지는 부분은 모두 반지름이 작은 별의 단면적이므로, 가려지는 면적은 같다.

03 **[모범 답안]** 별의 광도는 반지름의 제곱(R^2)과 표면 온도의 네제곱(T^4)에 비례한다($L \propto R^2 \cdot T^4$). 이때 주극소와 부극소에서 가려지는 면적이 같으므로 밝기 감소 비는 표면 온도의 네제곱 비와 같다. 따라서 $16 : 1 = T_{\text{높}}^4 : T_{\text{낮}}^4$ 이므로 표면 온도 비는 $T_{\text{높}} : T_{\text{낮}} = 2 : 1$ 이다. 표면 온도가 낮은 별은 표면 온도가 5000 K이므로, 표면 온도가 높은 별의 표면 온도는 10000 K이다.

채점 기준	배점
표면 온도를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
밝기 감소 비가 표면 온도의 네제곱 비와 같다는 것만 옳게 서술한 경우	50 %

04 ㄱ. A의 광도 곡선을 보면 일정한 주기로 밝기가 변화하므로, A는 맥동 변광성이다.

[바로알기] ㄴ. 변광 주기는 31.4일이다. RR형 변광성의 주기는 보통 1일 이하이므로, A는 세페이드 변광성이다.

ㄷ. 별의 진화 단계 중 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 단계는 주계열 단계이다. A는 거성 단계에서 나타나는 세페이드 변광성이므로 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

05 ㄱ. 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크다. 주계열 단계의 질량은 B가 A보다 크므로, 광도도 B가 A보다 크다.

ㄴ. A~C는 모두 맥동 변광성이므로, 팽창과 수축을 반복하며 밝기가 변한다.

ㄷ. 표에서 절대 등급 변화량의 범위가 가장 큰 것은 C이다. C는 변광 주기가 가장 길므로 장주기 변광성이다.

06 ㄱ. (가)는 최대 밝기 부근에서 높은 밝기를 (나)에 비해 오래 유지하므로, (가)는 초신성의 광도 곡선, (나)는 신성의 광도 곡선이다.

ㄷ. 초신성은 신성에 비해 최대 밝기에서의 절대 등급이 5등급 이상 작다. 따라서 거리지수(겉보기 등급-절대 등급)는 (가)가 (나)보다 크다. 거리지수가 클수록 거리가 멀므로, (가)까지의 거리가 (나)까지의 거리보다 멀다.

[바로알기] ㄴ. 별 내부가 불안정하여 별의 광도가 주기적으로 변화하는 것은 맥동 변광성이다.

07 ㄱ. 초신성의 관측 결과는 가속 팽창 우주 모형에 가장 부합한다. 따라서 현재 우주는 팽창 속도가 증가하고 있음을 알 수 있다.

ㄴ. 가속 팽창 우주 모형을 알아내는 데 사용되는 초신성은 Ia형 초신성이다. Ia형 초신성은 폭발 후 초신성 잔해를 형성한다.

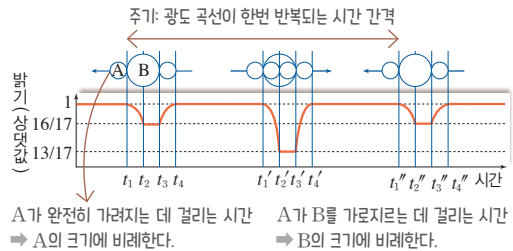
[바로알기] ㄷ. Ia형 초신성은 백색왜성이 동반성으로부터 물질을 공급받아 형성된다.

01 ㄱ. (가)에서 4월 17일에 A의 밝기가 매우 밝게 관측되며, 이후 서서히 어두워진다. 또한 A는 최대 광도가 거의 일정한 천체이므로 폭발 변광성인 Ia형 초신성이다.

ㄴ. A는 초신성으로, 갑자기 매우 밝아졌다가 서서히 어두워지는 비주기적인 광도 변화가 나타난다. 따라서 A의 광도 곡선은 (다)이다.

ㄷ. Ia형 초신성은 최대 밝기에서의 절대 등급이 거의 일정하므로 관측한 겉보기 등급으로부터 거리를 구할 수 있다. 이를 이용하여 먼 은하까지의 거리를 측정하였고, 우주가 가속 팽창하고 있음을 알아내는 데 활용되었다.

02 품평 문제 분석



ㄴ. $t_2' - t_1'$ 은 A의 지름에 비례하고, $t_3 - t_1$ 은 B의 지름에 비례한다. B의 반지름이 A의 2배이므로 지름도 A의 2배이다. 따라서 $t_3 - t_1$ 은 $t_2' - t_1'$ 의 2배이다.

[바로알기] ㄱ. 식 현상이 나타날 때 가려지는 면적이 같으므로 밝기 감소량은 별의 표면 온도의 네제곱에 비례한다($L \propto R^2 \cdot T^4$).

그림에서 부극소일 때는 밝기가 $\frac{1}{17}$ 만큼 감소하고, 주극소일 때는 $\frac{4}{17}$ 만큼 감소하므로 표면 온도의 비는 $1 : \sqrt{2}$ 이다. 또한 B가 가려질 때 주극소가 나타나는 것으로 보아 표면 온도는 B가 A보다 높다. 따라서 표면 온도는 B가 A의 $\sqrt{2}$ 배이다.

ㄷ. 공전 속도가 빨라질수록 한 바퀴 공전하는 데 걸리는 시간이 짧아지므로, $t_3'' - t_1''$ 은 감소할 것이다.

중단원 핵심정리

126쪽

- ① 분광 쌍성 ② 적색 이동 ③ 케플러 제3 ④ 질량 광도
- ⑤ 식 현상 ⑥ 주극소 ⑦ 부극소 ⑧ 맥동 변광성 ⑨ 폭발 변광성

실력 UP 문제

125쪽

01 ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 ㄴ

- 01 ④ 02 ③ 03 ⑤ 04 ③ 05 ③ 06 ③
07 ① 08 ③ 09 해설 참조 10 해설 참조

01 ① 식쌍성은 한 별이 다른 별을 가리는 식 현상이 주기적으로 반복되므로, 주기적인 밝기 변화가 관측된다.

② 분광 쌍성은 공전에 따라 시선 속도가 변하면서 스펙트럼 흡수선에 도플러 효과가 나타나므로, 이를 이용하여 쌍성임을 확인할 수 있다.

③ 분광 쌍성과 안시 쌍성은 관측 방법에 따른 분류이다. 관측 기술이 발달하면 과거에 두 별을 분리하여 관측할 수 없었던 쌍성을 직접 분리하여 관측할 수 있으므로, 분광 쌍성으로 알려진 별이 안시 쌍성으로 관측되기도 한다.

⑤ 쌍성계를 이루는 두 별은 서로의 중력에 묶여 공통 질량 중심 주위를 각자의 궤도를 따라 공전한다.

[바로알기] ④ 식쌍성은 두 별의 공전 궤도가 시선 방향에 대해 거의 나란한 경우에 관측되므로 도플러 효과가 나타날 수 있다. 따라서 스펙트럼 흡수선의 파장 변화가 나타날 수 있다.

02 ㄱ. t_2 일 때 A는 시선 방향으로 다가오므로 흡수선의 청색 이동이 나타나고, B는 시선 방향으로부터 멀어지므로 흡수선의 적색 이동이 나타난다. 이에 해당하는 스펙트럼은 ㉠이다.

ㄴ. 흡수선의 기준 파장이 600 nm이므로 ㉠일 때 파장 변화량의 크기는 A는 3 nm이고, B는 9 nm이다. 따라서 공전 속도는 B가 A의 3배이다. 공통 질량 중심 주위를 공전할 때 $m_A a_A = m_B a_B$ 가 성립하고, 공전 속도는 B가 A의 3배이므로, 질량은 A가 B의 3배이다.

[바로알기] ㄷ. 시선 방향과 공전 궤도면의 기울기가 현재보다 커지면 시선 방향의 속도 성분은 감소하므로, 흡수선의 최대 파장 변화량($\Delta\lambda$)은 현재보다 감소한다.

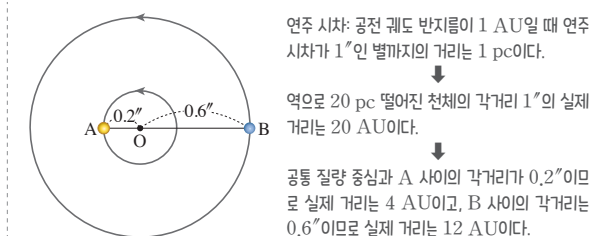
03 ①, ② 케플러 제3법칙을 쌍성계에 적용하면 두 별의 질량 합은 $m_1 + m_2 = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$ (단, 두 별 사이의 거리 a 의 단위는 'AU', 공전 주기 P 의 단위는 '년'이다.)이므로, 공전 주기와 공전 궤도 긴반지름을 알면 두 별의 질량 합을 태양 질량의 배수형태로 구할 수 있다.

③ 쌍성계에서 두 별은 $m_1 a_1 = m_2 a_2$ 가 성립한다. 따라서 공통 질량 중심으로부터 두 별까지의 거리비를 알면 두 별의 질량비를 구할 수 있다.

④ 질량 광도 관계는 주로 쌍성을 관측하여 알아낸 주계열성의 질량과 광도 자료를 바탕으로 한 통계적인 관계이다.

[바로알기] ⑤ 질량 광도 관계는 주계열성에만 적용할 수 있다. 초거성과 같은 별은 질량에 비해 광도가 매우 크므로 일반적인 질량 광도 관계를 이용할 수 없다.

04 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. A와 B의 연주 시차(p)가 0.05"이므로, 별까지의 거리는

$$r = \frac{1}{p} = \frac{1}{0.05} = 20 \text{ pc이다.}$$

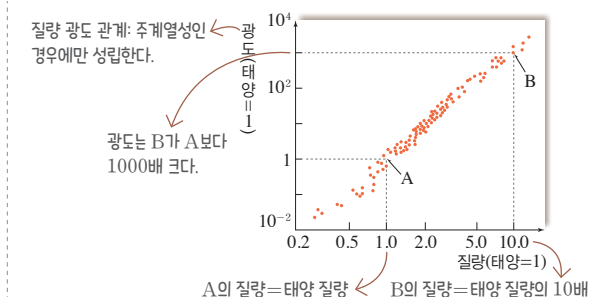
ㄴ. 쌍성계를 이루는 두 별의 공전 주기는 같다. 이때 B가 A보다 공전 궤도 반지름이 3배 큰 원 궤도를 공전하므로 공전 속도는 B가 A의 3배이다.

[바로알기] ㄷ. 연주 시차의 정의에 따르면, 거리가 1 pc인 쌍성계에서 공통 질량 중심 O와 1" 떨어져 공전하는 별까지의 거리는 1 AU이다. 따라서 20 pc 떨어져 있는 A가 O로부터 0.2" 떨어져 있을 때의 실제 거리는 4 AU이다. 또한 B가 O로부터 0.6" 떨어져 있을 때의 실제 거리는 12 AU이다. $m_1 + m_2 = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$

을 적용하면, 두 별 사이의 거리는 16 AU이고, 공전 주기는 64년이므로 A와 B의 질량의 합은 $\frac{16^3}{64^2} M_\odot = M_\odot$ 이다. $m_A a_A = m_B a_B$ 에서 B는 O와의 거리가 A의 3배이므로, 질량은 A의 $\frac{1}{3}$

이다. 따라서 B의 질량은 $\frac{1}{1+3} M_\odot = \frac{1}{4} M_\odot$ 이다.

05 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 그림에서 A의 질량은 태양 질량과 같고, B의 질량은 태양 질량의 10배이므로, 질량은 B가 A의 10배이다.

ㄴ. B의 광도는 A의 1000배이다. 절대 등급 1등급의 차는 광도로 약 2.5배 차이므로 7등급의 차는 광도로 $2.5^7 \approx 625$ 배의 차이가 난다. 따라서 (A의 절대 등급-B의 절대 등급)은 7보다 크다.

[바로알기] ㄷ. 질량 광도 관계는 주계열성일 때만 성립한다. 따라서 적색 거성 등이 홀로 존재하는 경우 질량 광도 관계로부터 별의 질량을 추론할 수는 없다.

06 (가)는 밝기가 크게 감소하는 주극소와 적게 감소하는 부극소가 주기적으로 나타나므로 식변광성이고, (나)는 주극소와 부극소 없이 주기적인 밝기 변화가 나타나므로 맥동 변광성이다.

ㄱ. 별 자체의 광도 변화에 의해 밝기가 변하는 변광성은 맥동 변광성과 폭발 변광성이다. (가)는 식변광성, (나)는 맥동 변광성의 광도 곡선이므로, 별 자체의 광도 변화에 의한 광도 곡선은 (나)이다.

ㄷ. 광도는 $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 이므로, 가려지는 면적이 같을 때 밝기 감소 비는 표면 온도의 네제곱 비와 같다. 따라서 식변광성에서 주극소와 부극소의 밝기 감소량을 비교하여 두 별의 표면 온도 비를 추정할 수 있다.

[바로알기] ㄴ. 시선 방향과 쌍성의 공전 궤도면이 나란할 때 식 현상이 나타나 (가)를 관측할 수 있다. 시선 방향과 쌍성의 공전 궤도면이 수직이면 식 현상이 나타나지 않는다.

07 ㄱ. 광도 곡선에서 밝기의 증가와 감소가 주기적으로 나타나지만, 식변광성처럼 주기적인 주극소와 부극소가 나타나지 않는다. 한편, 초신성이나 신성처럼 밝기 변화가 크게 나타나지 않으므로 맥동 변광성이다.

[바로알기] ㄴ. 광도 곡선에서 변광 주기는 1일 미만이다. 세페이드 변광성의 변광 주기는 수일~100일 정도이므로, 이 변광성은 세페이드 변광성이 아니다.

ㄷ. 맥동 변광성은 거성 단계에서 나타난다. 별은 주계열 단계에서 정역학 평형 상태이므로 이 변광성은 정역학 평형 상태가 아니다.

08 ㄱ. 이 변광성은 밝기가 일정한 주기 없이 2016년에 최대로 밝아지고 계속 어두워지므로 폭발 변광성이다.

ㄷ. 그림에서 최대 등급은 약 13등급이고, 최소 등급은 약 5등급이므로 등급 차는 약 8등급이다. 등급 차가 5등급일 때 밝기는 100배 차에 해당하므로 최대 겉보기 밝기는 최소 겉보기 밝기의 100배보다 크다.

[바로알기] ㄴ. 이 변광성은 4000 pc의 거리에 있고, 최대 밝기일 때의 겉보기 등급(m)이 약 5등급이므로, 거리지수 식 $m-M=5\log r-5$ (r : 별까지의 거리)를 이용하여 절대 등급(M)을 구하면 약 -8등급이다. 초신성은 최대 밝기일 때의 절대 등급이 약 -15등급보다 작으므로 초신성이 아닌 신성에 해당한다.

09 **[모범 답안]** (1) A와 B의 공전 주기는 $8\text{년} \times 2 = 16\text{년}$ 이고, A의 공전 속도는 $\frac{1}{4}\pi$ AU/년, B의 공전 속도는 $\frac{3}{4}\pi$ AU/년이다. $\frac{2\pi a}{P} = v$,

$a = \frac{Pv}{2\pi}$ 에서 공전 궤도 반지름(a)을 구하면, $a_A = \frac{16}{2\pi} \times \frac{1}{4}\pi = 2$ AU이고,

$a_B = \frac{16}{2\pi} \times \frac{3}{4}\pi = 6$ AU이다.

(2) A와 B 사이의 거리는 $2 \text{ AU} + 6 \text{ AU} = 8 \text{ AU}$, 공전 주기는 16년이므로, $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$ 에서 $\frac{a^3}{P^2} = \frac{8^3}{16^2} = 2$ 이다. 따라서 A와 B의 질량의 합은 태양 질량의 2배이다.

(3) $m_A + m_B = 2 M_\odot$ 이다. 이때 $m_A a_A = m_B a_B$ 이고, $a_A : a_B = 1 : 3$ 이므로,

$m_A : m_B = 3 : 1$ 이다. 따라서 A의 질량은 $m_A = 2 \times \frac{3}{1+3} = \frac{3}{2} M_\odot$

이므로 태양 질량의 $\frac{3}{2}$ 배이고, B의 질량은 $m_B = 2 \times \frac{1}{1+3} = \frac{1}{2} M_\odot$ 이

므로 태양 질량의 $\frac{1}{2}$ 이다.

채점 기준		배점
(1)	A와 B의 공전 궤도 반지름을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	35 %
	공전 속도, 공전 주기, 공전 궤도 반지름 사이의 관계식만 옳게 쓴 경우	10 %
	공전 주기, 공전 속도만 옳게 언급한 경우	10 %
(2)	질량의 합을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	35 %
	질량의 합 구하는 식만 옳게 쓴 경우	10 %
(3)	A와 B의 질량을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	30 %
	$m_A a_A = m_B a_B$ 만 옳게 쓴 경우	10 %

10 (1) A까지의 거리는 $\frac{1}{0.001''} = 1000 \text{ pc}$ 이고, B까지의 거리는

$\frac{1}{0.01''} = 100 \text{ pc}$ 이다.

[모범 답안] (1) A: 1000 pc, B: 100 pc

(2) B, $m-M=5\log r-5$ (r : 별까지의 거리)를 이용하면 절대 등급은 A는 -5.2등급, B는 -2.7등급이다. H-R도에서 A의 표면 온도(9300 K)에 해당하는 주계열성의 절대 등급은 -5.2등급보다 크므로, A는 주계열성이라 보기 어렵다. B는 표면 온도가 20600 K이고 절대 등급이 -2.7등급으로 주계열에 위치한다. 따라서 주계열성은 B이다.

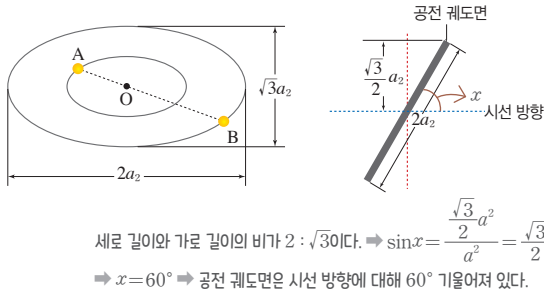
(3) B의 절대 등급($M_{V,B}$)은 -2.7등급이므로 이를 포그슨 공식($M_{V,\odot} - M_{V,B} = 2.5\log \frac{L_B}{L_\odot}$)에 적용하면 $M_{V,\odot} - M_{V,B} = 7.5$ 이므로 $\frac{L_B}{L_\odot} = 1000$ 이다. 질량 광도 관계에서 $\frac{L_B}{L_\odot} = \left(\frac{M_B}{M_\odot}\right)^4$ 이므로 $\left(\frac{M_B}{M_\odot}\right)^4 = 1000$, $M_B = 10^{\frac{3}{4}} M_\odot$ 이다. 따라서 B의 질량은 태양 질량의 $10^{\frac{3}{4}}$ 배이다.

채점 기준		배점
(1)	A와 B까지의 거리를 옳게 구한 경우	30 %
(2)	주계열성을 B로 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	30 %
	주계열성을 B로 골랐으나, 그 까닭을 서술하지 못한 경우	15 %
(3)	B의 질량을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	40 %
	포그슨 공식만 언급한 경우	10 %

01 ④ 02 ③

01 품평 문제 분석

관측되는 원 궤도의 세로 길이와 가로 길이의 비가 1 : 10이다.
 ⇒ 궤도가 시선 방향과 나란하지 않고 기울어져 있다.



선택지 분석

- ✗ 두 별의 공전 궤도면과 시선 방향이 이루는 각도는 30° 이다. 60°
- 두 별의 질량의 합은 태양 질량의 10배이다.
- A의 공전 주기가 10년보다 길다면, 두 별의 질량의 합은 현재보다 작을 것이다.

전략적 풀이 ① 관측되는 원 궤도의 세로 길이와 가로 길이로부터 시선 방향에 대해 기울어진 각도를 파악한다.

ㄱ. 원 궤도가 타원 궤도로 관측되고, 가로 길이와 세로 길이의 비가 1 : 1이 아니므로 공전 궤도면은 시선 방향에 대해 기울어져 있음을 알 수 있다. 가로 길이와 세로 길이의 비가 $2 : \sqrt{3}$ 이므로, 이를 시선 방향과 공전 궤도면이 이루는 직각삼각형에 적용

하면 $\sin x = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}a_2}{2a_2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ 이 성립한다. $x = 60^\circ$ 이므로, 공전 궤도면은 시선 방향에 대해 60° 기울어져 있다.

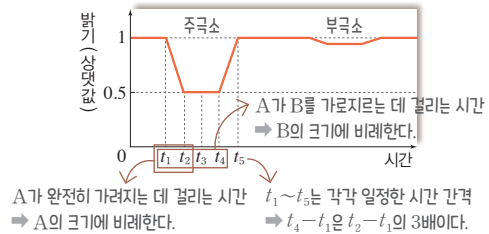
② 공전 궤도면이 기울어진 각도로부터 시선 속도 크기의 비를 구하고, 이를 이용하여 두 별의 질량의 합을 구한다.

ㄴ. 공전 궤도면이 60° 기울어져 있으므로 관측된 시선 속도는 $\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$ 에서 실제 공전 속도의 $\frac{1}{2}$ 이다. 즉, 실제 공전 속도는 $v_A = \frac{1}{2}\pi \text{ AU/년}$, $v_B = \frac{3}{2}\pi \text{ AU/년}$ 이다. 공전 주기가 10년이므로, $a = \frac{vP}{2\pi}$ 에서 공전 궤도 반지름(a)을 구하면 $a_A = 2.5 \text{ AU}$, $a_B = 7.5 \text{ AU}$ 이다. 따라서 A와 B 사이의 거리는 $2.5 + 7.5 = 10 \text{ AU}$ 이다. $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$ 에 따라 $\frac{a^3}{P^2} = \frac{10^3}{10^2} = 10$ 이므로, 두 별의 질량의 합은 태양 질량의 10배이다.

③ 케플러 제3법칙을 이용하여 질량의 합을 구한다.

ㄷ. 두 별의 질량의 합은 $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_\odot$ 이므로, 공전 궤도의 크기가 일정하다면 공전 주기(P)가 증가할수록 질량의 합은 감소한다. 따라서 A의 공전 주기가 10년보다 길다면 두 별의 질량 합은 현재보다 작을 것이다.

02 품평 문제 분석



선택지 분석

- 별의 지름은 B가 A의 3배이다.
- ✗ 광도는 B가 A보다 크다. 와 같다
- A와 B의 표면 온도의 비는 $\sqrt{3} : 1$ 이다.

전략적 풀이 ① 밝기가 감소하는 시간으로부터 지름의 비를 구한다.

ㄱ. $t_1 - t_2$ 동안 A는 가려지기 시작한 상태에서 완전히 가려질 때까지 이동하므로, $t_2 - t_1$ 은 A의 지름에 비례한다. 또한 $t_1 - t_4$ 동안 A는 B의 한쪽 경계에서 반대쪽 경계까지 이동하므로, $t_4 - t_1$ 은 B의 지름에 비례한다. $t_1 - t_4$ 사이의 시간 간격이 일정하므로 $t_4 - t_1 = 3(t_2 - t_1)$ 이다. 따라서 별의 지름은 B가 A의 3배이다.

② 주극소는 표면 온도가 높은 별이 가려질 때, 부극소는 표면 온도가 낮은 별이 가려질 때라는 것을 고려하고, 광도 곡선에서 주극소에서 감소한 밝기 비를 파악한다.

ㄴ. 주극소는 표면 온도가 높은 별이 가려질 때 나타난다. B의 표면 온도가 A보다 높다면, B가 A에 의해 가려질 때가 주극소이다. 이때 B의 반지름은 A의 3배이므로, B의 면적은 A의 $3^2 = 9$ 배이다. 따라서 A가 B를 가릴 때는 B의 전체 면적의 $\frac{1}{9}$ 만 가려지므로 전체 밝기가 절반까지 감소할 수 없다. 따라서 주극소는 A가 가려질 때 나타난다. 이때 A가 완전히 가려졌을 때 밝기가 절반으로 감소하므로 A와 B의 광도는 서로 같다.

③ 별의 광도는 표면 온도의 4제곱에 비례한다는 것을 고려한다.

ㄷ. 별의 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 4제곱에 비례한다 ($L \propto R^2 \cdot T^4$). 따라서 $\frac{L_A}{L_B} = 1 = \frac{R_A^2}{R_B^2} \cdot \frac{T_A^4}{T_B^4}$ 이다. $\frac{R_A^2}{R_B^2} = \frac{1}{9}$ 이므로 A와 B의 표면 온도의 비는 $T_A : T_B = \sqrt{3} : 1$ 이다.

1 우리은하

01 / 성단의 나이와 거리

개념확인문제

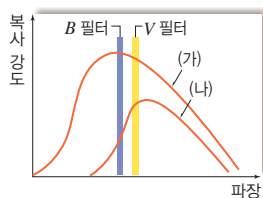
135쪽

- 1 구상 2 산개 3 색지수 4 작다 5 색지수 6 많을
7 주계열

1 ㉠ 많다, ㉡ 적다, ㉢ 붉은색, ㉣ 파란색, ㉤ 나선팔 2 (1) 가
(2) (가) > (나) (3) (가) < (나) 3 (1) 산 (2) 구 4 NGC 2362,
M67 5 ㉠ 6, ㉡ 5, ㉢ 100

1 구상 성단은 주로 나이가 많고 붉은색을 띠는 별로 이루어져 있고, 산개 성단은 주로 나이가 적고 파란색을 띠는 별들로 이루어져 있다. 구상 성단은 우리은하의 은하핵과 헤일로에, 산개 성단은 우리은하의 나선팔에 주로 분포한다.

2 품평 문제 분석



- 별 (가)가 (나)보다 최대 복사 에너지 파장이 짧다. $\Rightarrow$ 별 (가)의 표면 온도가 (나)보다 높다.
- 별 (가)는 B 필터를 사용했을 때 V 필터를 사용했을 때보다 밝게 관측된다.
- 별 (나)는 V 필터를 사용했을 때 B 필터를 사용했을 때보다 밝게 관측된다.
- 별 (가)와 (나)의 색지수($B-V$)는 온도가 높은 별인 (가)가 (나)보다 작다.

(1) 별의 표면 온도가 높을수록 B 필터를 사용하여 관측했을 때 밝게 관측된다.
(2), (3) 별 (가)의 최대 에너지 파장이 별 (나)의 최대 에너지 파장보다 짧으므로 별 (가)의 표면 온도가 (나)보다 높고, 색지수($B-V$)는 표면 온도가 높은 별인 (가)가 (나)보다 작다.

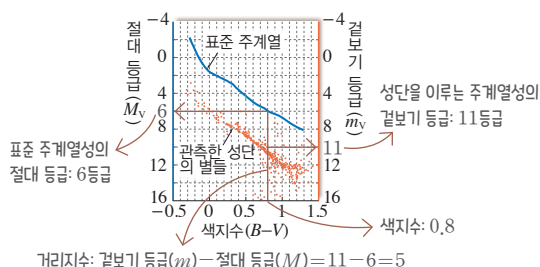
3 (1) 산개 성단을 구성하는 별들은 주계열성의 비율이 높으며 표면 온도가 높고 광도가 큰 별이 많다.

(2) 구상 성단을 이루는 별들은 주로 표면 온도가 낮은 별들이 주계열 단계에 존재하며, 질량이 큰 별들은 대부분 주계열 단계를 벗어나 거성 단계나 초거성 단계에 분포한다.

4 성단의 색등급도에서 전향점의 위치가 오른쪽 아래에 있을수록 나이가 많은 성단이므로 나이가 가장 적은 성단은 NGC

2362이고, 나이가 가장 많은 성단은 M67이다.

5 품평 문제 분석



거리지수 공식 $m - M = 5 \log r - 5$ 에서

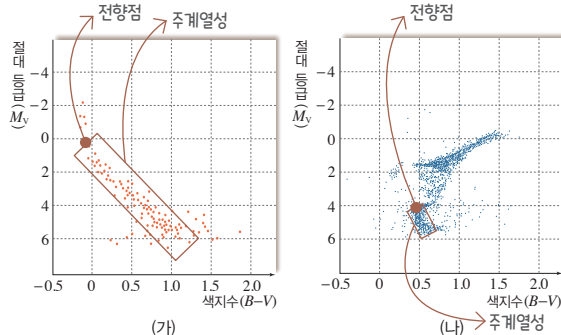
$5 = 5 \log r - 5$, $r = 10^2 = 100$ 이므로 성단까지의 거리는 100 pc이다.

대표 자료 분석 1

136쪽

- 1 (1) (나) (2) (나) (3) (가) 2 (가) 산개 성단 (나) 구상 성단
3 (1) $\times$ (2) $\circ$ (3) $\circ$ (4) $\circ$ (5) $\times$ (6) $\circ$ (7) $\circ$

품평 문제 분석



1 (1) 전향점은 성단의 색등급도에서 별이 진화하여 주계열을 벗어나는 지점이다. (가)보다 (나) 성단의 전향점이 아래에 위치한다.

(2) 성단의 나이가 많을수록 전향점이 오른쪽 아래에 위치하므로 (가)보다 (나) 성단의 나이가 많다.

(3) (가) 성단을 이루는 별들은 대부분 주계열성이지만, (나) 성단을 이루는 별들은 어둡고 표면 온도가 낮은 별을 제외한 대부분의 별이 주계열 단계를 벗어난 곳에 분포한다. 따라서 주계열성의 비율은 (가) 성단이 (나) 성단보다 높다.

2 산개 성단은 구상 성단보다 젊은 별들로 이루어져 있으므로 (가)는 산개 성단, (나)는 구상 성단이다.

3 (1) (가) 성단을 이루는 별들은 대부분 색등급도에서 색지수가 작고 광도가 큰 곳에서 대각선 오른쪽 아래로 분포하므로 주계열 단계에 있다.

(2) (나) 성단은 대부분의 별이 주계열 단계를 벗어나 거성 단계나 맥동 변광성 단계에 분포한다.

(3) 질량이 큰 별일수록 진화 속도가 빨라 주계열 단계를 빨리 벗어나 거성이나 초거성으로 진화한다.

(4) 왼쪽 위에 있는 주계열성일수록 질량이 크며, 전향점은 (가) 성단이 (나) 성단보다 왼쪽 위에 있다. 따라서 전향점에 있는 별의 질량은 (가)가 (나)보다 크다.

(5) 성단의 색등급도(C-M도)에서 별이 진화하여 주계열을 벗어나는 지점인 전향점이 (가)에서는 절대 등급 약 0등급, (나)에서는 약 4등급에서 나타난다.

(6) (가)의 주계열성은 절대 등급이 약 0~6등급 사이이고, (나)의 주계열성은 절대 등급이 약 4~6등급 사이이다. 따라서 주계열성의 평균 광도는 (가)가 (나)보다 크다.

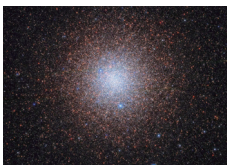
(7) (나)는 (가)보다 색지수가 큰 별들이 많으므로 성단의 평균 색지수는 (나)가 (가)보다 크다.

내신 만점 문제

137쪽~139쪽

- 01 ③ 02 ① 03 ㉠ 색지수, ㉡ 표면 온도, ㉢ 낮 04 ㉡
05 ③ 06 ② 07 ② 08 해설 참조 09 ㉡
10 ④ 11 해설 참조

01 품평 문제 분석



(가)

나이가 많은 저온의 붉은색 별이 많고, 별들이 공 모양으로 뿔뿔하게 모여 있다. ⇒ 구상 성단



(나)

나이가 적은 고온의 파란색 별이 많고, 별들이 비교적 엉성하게 모여 있다. ⇒ 산개 성단

㉠. (가) 구상 성단은 수만 개~수백만 개, (나) 산개 성단은 수백 개~수천 개의 별들로 구성된다.

㉡. (가) 구상 성단은 나이가 많은 별로 구성된 성단으로, 주로 은하핵이나 헤일로에 분포한다. (나) 산개 성단은 나이가 적은 별로 구성된 성단으로, 주로 은하의 나선팔에 분포한다.

바로알기 ㉢. (가) 구상 성단은 (나) 산개 성단보다 구성 별의 나이가 많으므로 주계열성의 비율은 (가)가 (나)에 비해 낮고, 거성의 비율은 (가)가 (나)에 비해 높다.

02 우리은하를 위에서 본 모습은 중심부에 막대 구조가 있는 나선 은하이며, 옆에서 본 모습은 중심부가 부푼 원반 모양이다.

㉠. (가)는 수만~수백만 개의 별이 공 모양으로 모여 있는 구상 성단이다.

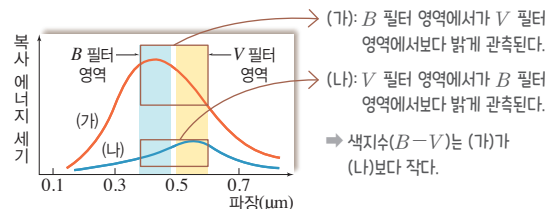
바로알기 ㉢. 구상 성단인 (가)는 주로 나이가 많은 별들로 이루어져 있으며, 우리은하의 은하핵(A)과 헤일로(C)에 주로 분포한다.

㉣. 우리은하의 나선팔에는 성간 물질이 많으며, 이러한 성간 물질에서 새로운 별이 계속해서 만들어지므로 젊은 별의 비율은 A~C 중 은하 원반인 C에서 가장 높다.

03 서로 다른 파장 영역에서 관측한 별의 등급을 비교하여 별의 색을 양적으로 나타내는 것은 색지수이다. 색지수는 별의 표면 온도를 나타내는 척도가 되며, 주로 B 등급과 V 등급의 차이인 $(B-V)$ 를 사용한다. 별의 표면 온도가 높을수록 색지수 $(B-V)$ 는 작아지고, 별의 표면 온도가 낮을수록 색지수 $(B-V)$ 는 커진다.

04 품평 문제 분석

최대 에너지를 방출하는 파장: (가) < (나) ⇒ 표면 온도: (가) > (나)



㉣. (나)는 V 필터로 관측했을 때의 복사 에너지 세기가 B 필터로 관측했을 때보다 강하므로 V 필터로 관측했을 때 밝게 나타난다.

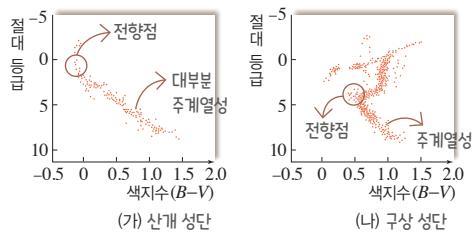
바로알기 ㉠. 별이 최대 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례한다. 최대 에너지를 방출하는 파장이 (가)가 (나)보다 짧으므로 표면 온도는 (가)가 (나)보다 높다.

㉢. 색지수 $(B-V)$ 는 별의 표면 온도가 높을수록 작다. 따라서 표면 온도가 더 높은 (가)가 (나)보다 색지수가 작다.

05 ㄱ. 별의 표면 온도가 높을수록 색지수($B-V$)는 작아지고, 별의 표면 온도가 낮을수록 색지수($B-V$)는 커진다.
 ㄴ. 표면 온도가 5000 K인 별은 색지수($B-V$)가 0.8이므로 B 등급이 V 등급보다 크다.

[바로알기] ㄷ. 별의 표면 온도가 높을수록 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧아 파란색을 띠고, 표면 온도가 낮을수록 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 길어 붉은색을 띤다. X는 Y보다 색지수가 작아 표면 온도가 높으므로 파란색을 띤다.

06 품평 문제 분석

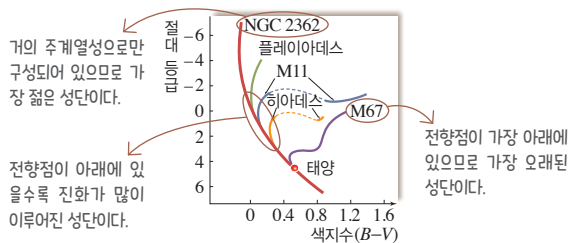


(가)는 산개 성단, (나)는 구상 성단의 색등급도이다.
 ㄴ. (가)의 별들은 대부분 주계열성으로 구성되어 있으며, (나)의 별들 중 주계열성의 비율이 적고, 주계열성에서 진화한 거성이 색등급도의 오른쪽 위로 많이 분포하고 있다. 따라서 성단 내에서 주계열성의 비율은 (가)가 (나)보다 높다.

[바로알기] ㄱ. (가)를 구성하고 있는 주계열성은 질량이 클수록 수소 핵융합 반응이 빠르게 일어나 진화 속도가 빠르다.

ㄷ. 전향점이 (가)보다 (나)에서 더 아래에 있고, 거성의 비율이 (가)보다 (나)에서 높으므로 성단의 나이는 (나)가 (가)보다 많다.

07 품평 문제 분석



ㄴ. 전향점은 성단의 색등급도에서 주계열을 떠난 위치이다. 따라서 전향점이 가장 아래에 위치한 성단은 M67이다.

[바로알기] ㄱ. 거의 주계열성으로만 구성되어 있는 성단은 NGC 2362이다.

ㄷ. 히아데스성단의 전향점이 플레이아데스성단의 전향점보다 아래에 있으므로 진화가 더 많이 이루어졌다.

08 전향점은 성단의 주계열성 중에서 주계열 단계를 벗어나기 시작하는 지점을 말한다.

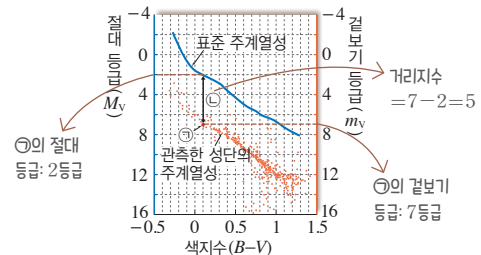
[모범 답안] 색등급도에서 전향점이 오른쪽 아래에 위치할수록 성단의 나이가 많으므로, 성단의 나이는 $A < B < C$ 이다.

채점 기준	배점
전향점 위치와 관련지어 성단의 나이를 옳게 서술한 경우	100 %
전향점 위치를 서술하였으나 성단의 나이를 옳게 서술하지 못한 경우	50 %
성단의 나이만 옳게 서술한 경우	20 %

09 ㄷ. 색지수가 같은 주계열성은 광도, 즉 절대 등급이 같다. 색지수가 같은 주계열성의 겉보기 등급은 (가)가 (나)보다 크므로 성단까지의 거리는 (가)가 (나)보다 멀다.

[바로알기] ㄱ. (가)는 구상 성단, (나)는 산개 성단의 C-M도이다.
 ㄴ. 주계열성의 비율은 (가)가 (나)보다 낮다.

10 품평 문제 분석



① 별 ㉠은 색등급도에서 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 분포하는 별들에 포함되므로 주계열성이다.

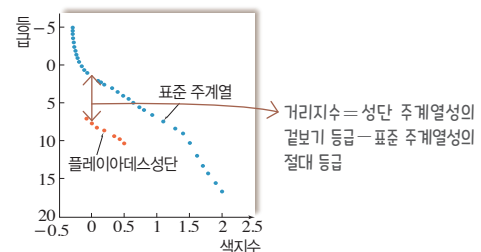
② ㉠ 별의 절대 등급은 색지수가 같은 표준 주계열성의 절대 등급과 같으므로 2등급이다.

③ 이 성단의 거리지수는 ㉠에 해당하고, (겉보기 등급 - 절대 등급)이므로 5(=7-2)이다.

⑤ 거리지수인 ㉠이 클수록 성단까지의 거리가 멀다.

[바로알기] ④ 주어진 색등급도에서 표준 주계열성보다 성단이 아래에 분포하므로 거리지수가 (+)가 된다. 따라서 이 성단은 지구로부터 10 pc보다 먼 거리에 있다.

11 품평 문제 분석



(1) 주계열 맞추기를 통해 성단까지의 거리를 구하기 위해서는 성단 내 특정 주계열성과 동일한 색지수를 갖는 표준 주계열성의 절대 등급을 읽고, 성단에서 선택한 별의 겉보기 등급을 읽어서 겉보기 등급과 절대 등급의 차이인 거리지수를 구해야 한다.

(2) 주계열 맞추기의 기본 가정은 성단 내의 별들이 모두 같은 거리에 있으므로 성단의 겉보기 등급은 정확히 절대 등급에 비례한다는 것이며, 표준 주계열성의 C-M도를 그대로 따른다고 가정한다.

모범 답안 (1) 플레이아데스성단 내 주계열성의 겉보기 등급, 동일 색지수에 해당하는 표준 주계열성의 절대 등급

(2) $m - M = 5 \log r - 5$ 에서 $m = 7.5$, $M = 1.5$ 이므로 $7.5 - 1.5 = 5 \log r - 5$, $6 = 5 \log r - 5$ 이다. 따라서 성단까지의 거리(r)는 $r = 10^{\frac{11}{5}} = 10^{\frac{1}{5} + \frac{10}{5}} = 10^{\frac{1}{5}} \times 10^2 = 1.6 \times 100 = 160$ pc이다.

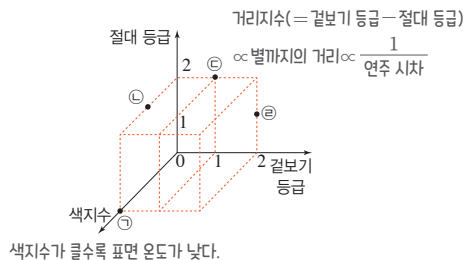
채점 기준	배점
(1) 읽어야 하는 물리량을 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 성단까지의 거리를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	70 %
성단까지의 거리만 옳게 구한 경우	30 %

실력UP문제

139쪽

01 ① 02 ③

01 품공 문제 분석

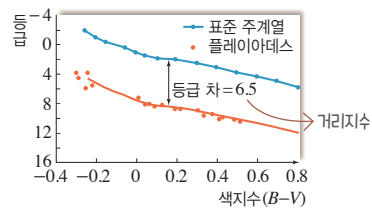


ㄱ. 별은 표면 온도가 높을수록 파랗게 보이고, 표면 온도가 낮을수록 붉게 보인다. ㉠은 ㉡보다 색지수가 커서 표면 온도가 낮으므로 더 붉게 관측된다.

바로알기 ㄴ. ㉠과 ㉡은 절대 등급은 같지만 겉보기 등급은 ㉡이 더 크다. 하나의 성단을 이루는 별들은 하나의 거대한 성운에서 거의 동시에 생성되어 지구로부터의 거리가 거의 같으므로 겉보기 등급의 차이가 곧 절대 등급의 차이를 나타낸다. 따라서 ㉠과 ㉡은 동일한 성단 내의 별일 가능성이 작다.

ㄷ. 별까지의 거리는 거리지수 (= 겉보기 등급 - 절대 등급)가 더 큰 ㉡이 ㉠보다 멀다. 연주 시차는 별까지의 거리에 반비례하므로 ㉡이 ㉠보다 크다.

02 품공 문제 분석



외부 은하의 성단은 거리가 멀어 별 각각의 겉보기 등급을 측정하기 어렵기 때문에 주계열 맞추기 방법은 주로 우리은하 내에 있는 성단의 거리 측정에 이용된다.

ㄱ. 성단 내 별들은 같은 성운에서 거의 동시에 태어났으므로 화학 조성, 나이, 거리가 거의 같다.

ㄴ. 성단 내 별의 겉보기 등급과 색지수가 같은 표준 주계열성의 절대 등급을 비교하면 성단의 거리지수를 알 수 있다. 그림에서 등급 차이가 6.5이고, 성단 내 별의 겉보기 등급이 표준 주계열성의 절대 등급보다 크므로 거리지수는 +6.5이다.

바로알기 ㄷ. 주계열 맞추기로 성단의 거리를 구하려면, 먼저 성단을 구성하는 별들의 겉보기 등급을 측정해야 하는데 외부 은하의 성단은 거리가 멀어 별 각각의 겉보기 등급을 측정하기 어렵기 때문에 주계열 맞추기 방법은 우리은하 내에 있는 성단의 거리 측정에 주로 이용된다.

02 우리은하의 구조와 규모

완자샘 비법 특강

143쪽

Q1 10 pc Q2 100 pc Q3 1000 pc Q4 375 Mpc

Q1 연주 시차는 6개월 간격으로 관측한 시차의 $\frac{1}{2}$ 이므로 $0.1''$ 이다. 거리는 연주 시차에 반비례하므로 별의 거리는 $\frac{1}{0.1''} = 10$ pc이다.

Q2 거리지수($m - M$)가 5이므로 $m - M = 5 \log r - 5$ 에서 $5 = 5 \log r - 5$, $10 = 5 \log r$, $r = 10^2$ pc이므로 성단까지의 거리는 100 pc이다.

Q3 변광 주기가 3일인 세페이드 변광성의 절대 등급은 주기 광도 관계 그래프에서 -4등급이다. 평균 겉보기 등급이 6등급이므로 거리지수 식에 대입하면 $m-M=5\log r-5$ 에서 $6-(-4)=5\log r-5$, $15=5\log r$, $r=10^3$ 이므로 변광성까지의 거리는 1000 pc이다.

Q4 후퇴 속도가 3×10^4 km/s이고, 허블 상수가 80 km/s/Mpc일 때, 허블-르메트르 법칙 $v=H \cdot r$ 에서 $r = \frac{v}{H} = \frac{3 \times 10^4 \text{ km/s}}{80 \text{ km/s/Mpc}} = 375 \text{ Mpc}$ 이므로 은하까지의 거리는 375 Mpc이다.

개념 확인 문제

144쪽

① 세페이드 변광성 ② 크다 ③ 절대 등급 ④ 구상 ⑤ 막대 나선 ⑥ 30 ⑦ 8.5 ⑧ 헤일로

1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 ㉠ 구상 성단, ㉡ 구상 성단, ㉢ 궁수자리 방향 3 (1) ㉡ (2) ㉢ (3) ㉠ 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ×

- 1 (1) 세페이드 변광성은 변광 주기가 1일~100일 정도인 맥동 변광성으로, 종족 I형과 종족 II형 모두 변광 주기가 길수록 광도가 커지는 주기 광도 관계가 성립한다.
 (2) 세페이드 변광성의 변광 주기가 동일한 경우 종족 I형이 종족 II형보다 실제 밝기가 더 밝다.
 (3) 맥동 변광성 중 거문고자리 RR형 변광성은 변광 주기가 1일 이내인 별들이다. 변광 주기가 10일 이상인 것은 세페이드 변광성 중에 있다.

2 구상 성단은 질량이 매우 크므로 구상 성단이 분포하는 영역의 중심을 우리은하의 중심이라고 생각할 수 있다. 새플리는 세페이드 변광성의 주기 광도 관계를 이용하여 구상 성단까지의 거리를 구하였고, 공간 분포를 연구한 결과 태양은 우리은하의 중심이 아니며, 우리은하의 중심은 궁수자리 방향에 있다는 것을 밝혀냈다.

- 3 (1) 은하 원반을 이루는 나선팔에는 성간 물질이 많이 분포하므로 주로 젊은 별들과 산개 성단이 분포한다.
 (2) 팽대부는 은하 중심부에 별들이 모여 볼록하게 부풀어 오른 부분으로, 은하핵을 포함한 막대 모양의 구조가 가로지르고 있다. 팽대부에는 주로 붉은색의 늙은 별들이 많이 모여 있다.
 (3) 헤일로는 우리은하를 둘러싸고 있는 공 모양의 공간으로, 나이가 많은 별들로 이루어진 구상 성단이 분포한다.

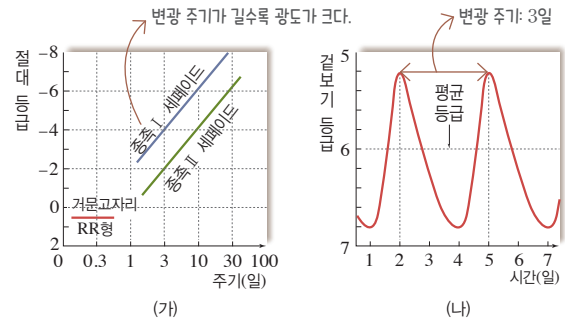
- 4 (1) P는 태양계가 위치한 곳으로, 우리은하 중심에서 약 8.5 kpc 떨어져 있다.
 (2) Q는 헤일로에 분포하는 구상 성단을 나타낸다.
 (3) A에서 B까지의 거리는 우리은하의 지름으로, 약 30 kpc이다.
 (4) P에서 은하 중심 방향인 (나) 방향으로 바라볼 때 은하수의 폭이 가장 넓고 밝게 보인다.

대표 자료 분석 1

145쪽

1 주기가 길수록 광도가 크다. 2 ㉢ 3 약 100배 4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

꼼꼼 문제 분석



- 1 절대 등급이 작을수록 광도가 크다. 세페이드 변광성은 변광 주기가 길수록 절대 등급이 작으므로 광도가 크다.
 2 변광 주기가 3일인 종족 I 세페이드 변광성의 절대 등급은 -4등급이고, 종족 II 세페이드 변광성의 절대 등급은 -2등급이다. 종족 I 세페이드 변광성이 종족 II 세페이드 변광성보다 절대 등급이 2등급 작고, 1등급 사이의 밝기 차이는 약 2.5배이므로 종족 II 세페이드 변광성보다 약 6.3(≈2.5²)배 밝다.
 3 변광 주기가 1일 이내인 거문고자리 RR형 변광성은 변광 주기에 관계없이 절대 등급이 약 0.5등급이므로 이 별은 겉보기 등급과 절대 등급이 5등급 차이가 난다. 따라서 실제 밝기가 겉보기 밝기보다 약 100(≈2.5⁵)배 밝다.
 4 (1) 변광 주기는 겉보기 등급이 가장 작은 날로부터 다시 가장 작아지는 날까지이므로 약 3일이다.
 (2) (나)에서 이 별의 평균 겉보기 등급은 등급이 가장 클 때와 가장 작을 때의 중간이므로 약 6등급이다.

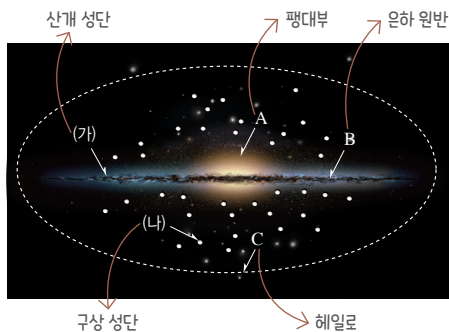
- (3) 종족 I 세페이드 변광성인 (나)의 변광 주기가 약 3일이므로 (가) 주기 광도 관계에서 절대 등급은 -4등급이다.
- (4) $m-M=5\log r-5$ 에서 $6-(-4)=5\log r-5$, $r=10^3$ 이다. 따라서 (나) 변광성까지의 거리(r)는 1000 pc이다.
- (5) 세페이드 변광성은 별이 팽창과 수축을 반복함에 따라 밝기가 변하는 맥동 변광성의 한 종류로, 별의 내부 구조가 불안정하여 1일~100일을 주기로 팽창과 수축을 반복한다.
- (6) 그림 (나)에서 겉보기 등급이 작아질 때의 기울기가 겉보기 등급이 커질 때의 기울기보다 더 크므로 이 변광성은 밝아지는 속도가 어두워지는 속도보다 빠르다.

대표자료분석 2

146쪽

1 A: 팽대부, B: 은하 원반, C: 헤일로 2 (1) 많은 (2) B (3) 붉은색 (4) B 3 ③ 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

꼼꼼 문제 분석



1 A는 팽대부로, 별들이 모여 볼록하게 부풀어 오른 부분이다. 팽대부 중심에는 은하핵이 있고 막대 모양의 구조가 가로지르고 있다. B는 나선팔이 은하 중심을 감싸고 있는 은하 원반이다. 은하 원반을 이루는 나선팔에는 성간 물질이 풍부하며 젊은 별들이 많이 분포한다. C는 우리은하를 둘러싸고 있는 공 모양의 공간인 헤일로이다.

- 2 (1) A(팽대부)에는 성간 물질이 적어 주로 붉은색의 나이가 많은 별이 분포하고, B(은하 원반)에는 성간 물질이 풍부하여 별의 탄생이 활발하므로 파란색의 나이가 적은 별이 많이 분포한다.
- (2) 별의 탄생이 가장 활발한 곳은 성간 물질이 풍부한 B(은하 원반)이다.
- (3) C(헤일로)에는 늙은 별과 구상 성단이 주로 분포하므로 붉은색 별이 많이 분포한다.
- (4) 태양은 나선팔에 분포하므로 은하 원반인 B에 분포한다.

3 ③ 우리은하는 막대 모양의 중심 구조와 나선팔을 가지고 있는 막대나선 은하이다. ①은 산개 성단, ②는 방출 성운, ④는 구상 성단, ⑤는 행성상 성운의 모습이다.

- 4 (1) 은하 원반에는 주로 산개 성단, 헤일로에는 주로 구상 성단이 분포한다. (가)는 은하 원반에 분포하므로 산개 성단이고, (나)는 헤일로에 분포하므로 구상 성단이다.
- (2) (가) 산개 성단은 은하 원반을 이루는 나선팔(B)에 분포한다.
- (3) (나) 구상 성단이 분포하는 영역의 중심인 우리은하의 중심은 궁수자리 방향에 있다. 태양계는 우리은하의 나선팔에 있으므로 구상 성단의 중심에 분포하지 않는다.
- (4) 산개 성단을 구성하는 별의 개수는 수백 개~수천 개이지만, 구상 성단을 구성하는 별의 개수는 수만 개~수백만 개이다.

내신만점문제

147쪽~149쪽

01 ③	02 ①	03 ②	04 ④	05 ②	06 해설 참조
07 ⑤	08 해설 참조	09 ⑤	10 ①		
11 해설 참조	12 ②				

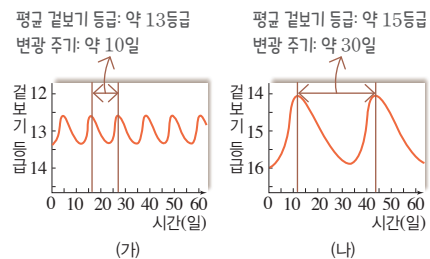
01 나. 세페이드 변광성의 주기 광도 관계에서 변광 주기가 길수록 광도가 크다. 따라서 밝기가 변하는 주기가 길수록 절대 등급이 작다.

르. 종족 I에 해당하는 별은 종족 II에 해당하는 별보다 젊은 별로 구성되어 있어 변광 주기가 같을 경우 종족 I에 해당하는 별이 종족 II에 해당하는 별보다 밝다.

(바로알기) ㄱ. 세페이드 변광성은 맥동 변광성 중 변광 주기가 1일~100일 정도인 별이다.

ㄴ. 세페이드 변광성은 맥동 변광성의 한 종류로, 맥동 변광성은 내부 구조가 불안정하여 팽창과 수축을 반복하면서 광도가 주기적으로 변하는 별이다. 식 현상이 일어나 밝기가 주기적으로 변하는 별은 식변광성이다.

02 꼼꼼 문제 분석



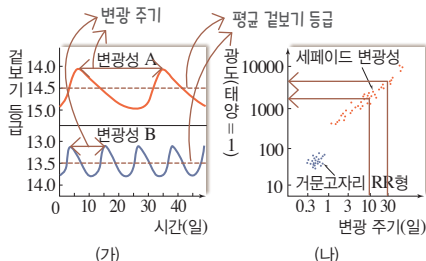
- 겉보기 등급: (가) < (나) ⇒ (가)가 (나)보다 밝게 보인다.
- 변광 주기: (가) < (나) ⇒ 광도는 (나)가 (가)보다 크다.
⇒ 절대 등급은 (가)가 (나)보다 크다.

ㄱ. (가)의 평균 겉보기 등급은 약 13등급이고 B의 평균 겉보기 등급은 약 15등급이다. 별은 겉보기 등급이 작을수록 밝게 보이므로 (가)가 (나)보다 밝게 보인다.

바로알기 ㄴ. 세페이드 변광성의 주기 광도 관계에 따르면 변광 주기가 길수록 광도가 크다. 변광 주기는 (가)가 약 10일, (나)가 약 30일로, (나)의 변광 주기가 더 길기 때문에 광도는 (나)가 (가)보다 크다.

ㄷ. (가)는 (나)보다 광도가 작음에도 더 밝게 보인다. 이것은 (가)가 (나)보다 지구에서 더 가까운 거리에 있기 때문이다.

03 품점 문제 분석



- 평균 겉보기 등급: 변광성 A는 14.5등급, 변광성 B는 13.5등급
- 변광 주기: 변광성 A는 약 30일, 변광성 B는 약 10일

ㄴ. (가)에서 변광 주기는 변광성 A가 B보다 길다. (나)의 주기 광도 관계에서 변광 주기가 길수록 광도가 크므로 광도는 변광성 A가 B보다 크다. 따라서 절대 등급은 A가 B보다 작다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 A의 평균 겉보기 등급이 B보다 크므로 겉보기 밝기는 A가 B보다 어둡다.

ㄷ. 변광 주기는 A가 약 30일, B가 약 10일이고, 이 주기 값을 (나)의 주기 광도 관계 그래프에 적용하면 A와 B는 모두 세페이드 변광성이다.

④ 평균 겉보기 등급이 A는 4.0등급, B는 6.0등급이고, A와 B의 절대 등급은 -3등급이므로 거리지수는 A가 7.0, B가 9.0이다. 거리지수가 클수록 별의 거리가 멀기 때문에 거리는 A가 B보다 가깝다.

바로알기 ① 변광 주기는 밝기가 최대 밝기에서 다음 최대 밝기가 될 때까지 걸린 시간이므로 A의 변광 주기는 약 5일이다.

② B는 변광 주기가 약 5일로 (가)에서 절대 등급은 약 -3등급이다.

③ 절대 등급이 작을수록 광도가 크고, (가)에서 절대 등급은 변광 주기가 길수록 작다. (나)에서 변광성 A와 B의 변광 주기가 같으므로 A와 B의 광도는 같다.

⑤ 육안으로 관찰하면 A가 B보다 평균 겉보기 등급이 작으므로 밝게 보인다.

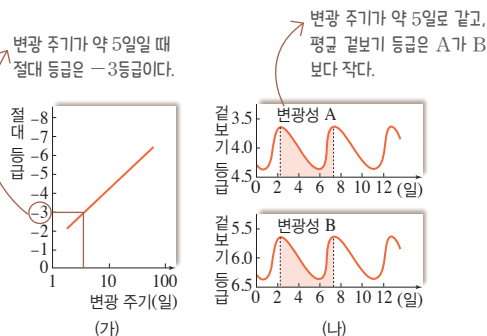
05 별 내부가 불안정하여 수축·팽창을 반복하면서 밝기가 변하는 별을 맥동 변광성이라 한다. 맥동 변광성은 밝기가 변하는 주기와 별의 광도 사이에 일정한 관계가 있다.

ㄴ. 변광 주기가 1일보다 작은 A는 거문고자리 RR형 변광성, 1일보다 큰 B는 세페이드 변광성이다. 거문고자리 RR형 변광성인 별 A는 변광 주기에 관계 없이 절대 등급이 약 0.5등급으로 일정하다. 세페이드 변광성인 별 B는 변광 주기가 길수록 절대 등급이 작아진다. 변광 주기가 3일이므로 절대 등급은 -2 또는 -4등급이다. 따라서 절대 등급은 별 A가 별 B보다 크다.

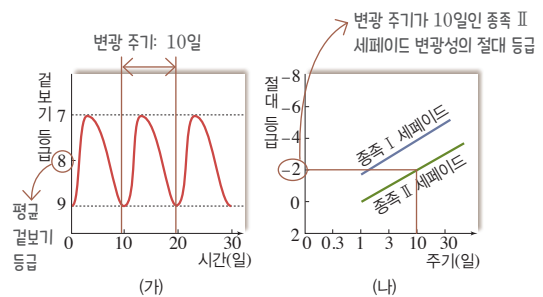
바로알기 ㄱ. 그림과 같은 일정한 변광 주기 광도 관계를 갖는 것은 맥동 변광성이다.

ㄷ. A, B 두 별의 겉보기 등급이 같으므로 절대 등급이 작을수록 거리지수가 크다. 따라서 별 A보다 B의 거리지수가 크므로 B가 A보다 멀다.

04 품점 문제 분석



06 품점 문제 분석

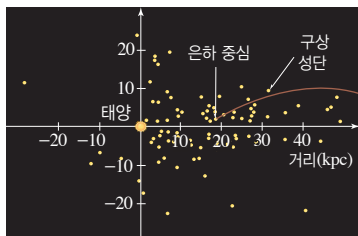


(가)에서 겉보기 등급이 가장 컸다가 다시 가장 쉰 때까지가 변광 주기에 해당하므로 변광 주기는 10일이다. (나)에서 변광 주기가 10일인 종족 II 세페이드 변광성의 절대 등급은 약 -2등급이다.

모범 답안 (1) 변광 주기: 10일, 평균 겉보기 등급: 8등급
 (2) 절대 등급은 약 -2 등급이고, 거리지수 식에 대입하면 $8 - (-2) = 5 \log r - 5$, $15 = 5 \log r$, $\log r = 3$ 이므로 $r = 10^3$ 이다. 따라서 변광성까지의 거리는 1000 pc이다.

채점 기준	배점
(1) 변광 주기와 평균 겉보기 등급을 모두 옳게 쓴 경우	40 %
변광 주기와 평균 겉보기 등급 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	20 %
(2) 절대 등급을 옳게 쓰고, 거리를 구하는 과정을 포함하여 옳게 서술한 경우	60 %
절대 등급만 옳게 쓴 경우	20 %

07 품점 문제 분석



ㄱ. 구상 성단은 우리은하를 둘러싼 공간인 헤일로에도 분포하므로 구상 성단이 분포하는 영역이 우리은하의 영역이다. 따라서 구상 성단이 분포하는 영역의 크기로부터 우리은하의 크기를 알아낼 수 있다.

ㄴ. 구상 성단은 많은 별이 모여 있어 질량이 매우 크므로 구상 성단이 분포하는 영역의 중심을 우리은하의 중심이라고 생각할 수 있다.

ㄷ. 태양계는 우리은하의 중심(구상 성단 분포 영역의 중심)에서 벗어나 있음을 알 수 있다.

08 구상 성단은 수만~수십만 개의 별들로 이루어진 집단이다. 이처럼 질량이 큰 천체는 은하 중심에 대하여 대칭적으로 분포해야 역학적으로 안정할 수 있다.

모범 답안 구상 성단은 많은 별이 모여 있는 집단으로 질량이 매우 크므로, 우리은하가 역학적으로 안정하려면 우리은하의 질량 중심과 구상 성단의 공간 분포 중심이 일치해야 한다.

채점 기준	배점
구상 성단의 질량을 언급하여 옳게 서술한 경우	100 %
구상 성단의 질량을 언급하지 않고 서술한 경우	0 %

09 ①, ② 우리은하는 위에서 보면 막대 모양의 구조에서 나선팔이 뻗어 나오는 막대나선 모양이고, 옆에서 보면 중심부가 볼록한 원반 모양이다.

③, ④ 우리은하의 지름은 약 30 kpc(약 10만 광년)이고, 태양계는 우리은하의 중심에서 약 8.5 kpc(약 26000광년) 떨어진 나선팔에 있다.

바로알기 ⑤ 성간 물질은 주로 은하 원반을 이루는 나선팔에 밀집되어 분포한다.

10 A는 은하 원반의 중간, B는 은하 중심핵, C는 은하 원반의 끝부분이다. 태양계는 우리은하의 중심으로부터 약 8.5 kpc 떨어진 나선팔에 위치한다. 은하 중심부의 별과 가스의 운동으로부터 우리은하의 중심에 태양 질량의 약 300만 배에 이르는 거대 블랙홀이 존재할 것으로 추정하고 있다. 따라서 태양계는 나선팔의 중간 정도인 A에 위치하며, 블랙홀은 은하 중심핵 B에 존재할 것이다.

11 A는 헤일로, B는 은하 원반, C는 중심핵, D는 나선팔이다. 구상 성단은 주로 은하 중심부와 헤일로에 분포한다. 우리은하에는 약 150여 개의 구상 성단이 존재하며, 이들의 분포 중심은 우리은하의 중심과 거의 일치한다. 태양은 우리은하의 중심부에서 약 8 kpc 떨어진 나선팔에 위치한다.

모범 답안 C, 구상 성단의 분포 중심은 우리은하의 중심부 C이고, 태양은 나선팔 D에 위치한다.

채점 기준	배점
구상 성단의 위치를 쓰고, 구상 성단의 분포 중심과 태양의 위치를 비교하여 옳게 서술한 경우	100 %
구상 성단의 위치만 옳게 쓴 경우	30 %

12 ㄷ. 태양계는 우리은하의 중심에서 약 8.5 kpc 떨어진 나선팔의 안쪽 가장자리에 위치하고 있다. 지구에서 우리은하를 관측하면 은하 원반에 별들이 주로 분포하므로 띠 모양의 은하수를 관측할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 우리은하는 막대나선 은하이다.

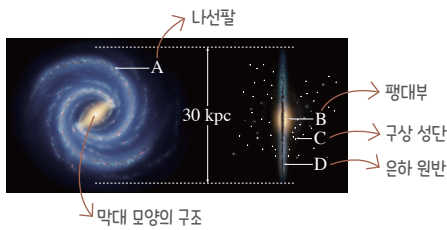
ㄴ. 은하의 중심부에는 나이가 많은 별들이 주로 분포한다.

실력 UP 문제

149쪽

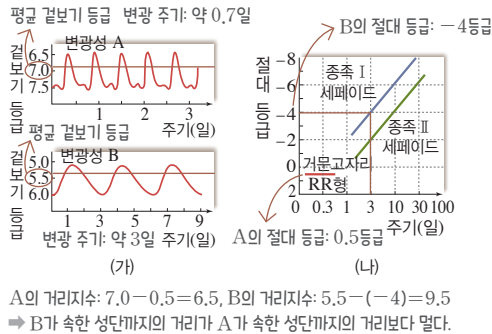
01 ② 02 ②

01 품평 문제 분석



- ㄱ. 나선팔(A)에는 주로 산개 성단이 분포한다.
 ㄴ. C에 위치하는 천체는 구상 성단으로, 주로 나이가 많고 붉은 색을 띠는 별들로 이루어져 있다.
 (바로알기) ㄷ. 우리은하에서 별은 은하 원반(D)보다 팽대부(B)에 더 밀집되어 있다.
 ㄹ. 은하 원반을 이루는 나선팔에는 성간 물질이 많다. 별은 성간 물질이 밀집된 곳에서 태어나므로 새로운 별의 탄생은 성간 물질이 많은 D에서 활발하게 일어난다. 따라서 나이가 적은 별의 비율은 D에서 가장 높다.

02 품평 문제 분석



- 세페이드 변광성의 변광 주기가 길수록 절대 등급이 작고 광도가 크다.
 ㄴ. 거리가 100 pc이 되려면 거리지수가 5가 되어야 한다. 변광성 B의 거리지수가 5보다 크므로 변광성 B가 속한 성단까지의 거리는 100 pc보다 멀다.
 (바로알기) ㄱ. 거문고자리 RR형 변광성인 A의 변광 주기는 약 0.7일로 절대 등급은 0.5등급이고, 종족 I 세페이드 변광성인 B는 변광 주기가 약 3일로 절대 등급이 -4등급이다. 따라서 A의 광도는 B보다 작다.
 ㄴ. 변광성 A는 평균 겉보기 등급이 약 7.0등급이고, 절대 등급이 0.5등급이므로 거리지수는 6.5이고, 변광성 B는 평균 겉보기 등급이 약 5.5이고 절대 등급이 -4등급이므로 거리지수가 9.5이다. 따라서 변광성 B가 속한 성단까지의 거리가 변광성 A가 속한 성단까지의 거리보다 멀다.

03 성간 물질

개념 확인 문제

153쪽

- ① 성간 티끌 ② 성간 기체 ③ 수소 ④ 성간 소광 ⑤ 성간 적색화
 ⑥ HII 영역 ⑦ HI 영역 ⑧ 분자운 ⑨ 성운
- 1 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ 2 (1) 어렵게 (2) 길수록 (3) 붉게
 3 (1) 붉게 (2) 반사 성운 4 (1) HII 영역 (2) 분자운 (3) HI 영역
 5 (1) 암흑 성운 (2) 방출 성운 (3) 반사 성운 6 (1) ○ (2) ×
 (3) × (4) × (5) ○

- 1 (1) 성간 물질의 약 99 %는 성간 기체이고, 약 1 %는 성간 티끌이 차지한다.
 (2) 성간 기체는 수소와 헬륨이 대부분을 차지하고, 그중 수소가 가장 많은 비율을 차지한다.
 (3) 성간 소광은 성간 티끌에 의한 빛의 흡수와 산란으로 별빛의 세기가 약해지는 현상이다.
 (4) 성간 티끌은 별빛을 흡수 또는 산란시켜 성간 소광과 성간 적색화의 주요 원인이 된다.

- 2 (1) 성간 티끌에 의해 별빛이 산란되므로 성간 티끌이 많으면 관측되는 별의 수가 적어진다. 또한 성간 티끌을 통과하는 별빛의 세기가 약해지므로 별빛이 어렵게 관측된다.
 (2) 파장이 긴 붉은색 빛이 파장이 짧은 파란색 빛보다 성간 티끌을 잘 통과하므로 성간 적색화가 일어난다.
 (3) 별빛이 성간 티끌을 통과할 때 파란색 빛의 산란과 흡수가 잘 일어나고 붉은색 파장의 빛은 대부분 관측자에게 도달하므로 실제보다 붉게 보인다.

- 3 (1) 별빛이 성간 티끌층을 통과할 때 파장이 짧은 파란색 빛은 흡수되거나 산란되고, 파장이 긴 붉은색 빛은 잘 통과한다. 따라서 A에서는 실제 별의 색깔보다 붉게 보이게 된다. 이러한 현상을 성간 적색화라고 한다.
 (2) B에서는 성간 티끌에 의해 산란된 파란색 빛이 많이 관측되므로 반사 성운으로 관측된다.

- 4 성간 기체에서 수소는 온도와 밀도에 따라 이온, 중성 원자, 분자 상태로 존재한다. 고온의 별 주위에 있는 성운의 수소 기체가 별에서 방출된 자외선을 흡수하여 이온화된 수소 상태의 영역이 HII 영역이고, 온도가 비교적 낮아 수소가 중성 원자 상태로 밀집되어 있는 영역이 HI 영역이다. 성간 물질의 밀도가 높고 온도가 매우 낮은 곳에서 수소가 분자 상태로 존재하는 영역은 분자운이다.

- 5 (1) 성운 속의 성간 티끌에 의해 별빛이 통과하지 못해 어둡게 보이는 성운은 암흑 성운이다.
 (2) HII 영역의 전리된 수소가 자유 전자와 결합하여 중성수소로 되돌아갈 때 에너지를 방출하는데, 이때 방출되는 빛의 파장이 붉은색 영역이므로 붉은색으로 보인다. 이러한 성운은 방출 성운이다.
 (3) 성간 티끌이 주위의 별빛을 산란시켜 파란색으로 보이는 성운은 반사 성운이다.

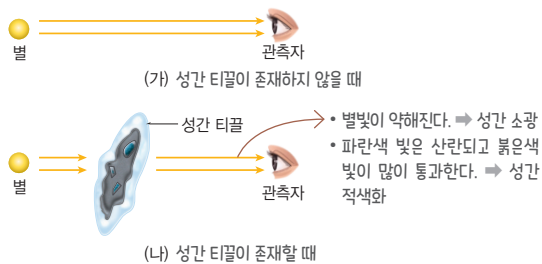
- 6 (1) 성운의 모양이 말머리를 닮은 말머리성운이다.
 (2), (5) 성운에는 방출 성운, 반사 성운, 암흑 성운이 있다. 이 성운은 성운 속의 성간 티끌이 뒤쪽에서 오는 별빛을 가로막아 검게 보이므로 암흑 성운에 속한다.
 (3) 스스로 빛을 내는 성운은 방출 성운이다.
 (4) 성운은 가스나 티끌 등 성간 물질이 많이 모여 구름처럼 보이는 천체이다.

대표자료분석 1

154쪽

1 (나), (나) 2 (1) < (2) < (3) < (4) < 3 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ×

꼼꼼 문제 분석



- 1 성간 소광과 성간 적색화는 성간 티끌에 의해 일어나는 현상이므로 모두 (나)에서 일어난다.
 2 (1) (나)에서 별빛이 성간 티끌을 통과하면서 빛의 세기가 약해지므로 (가)보다 어둡게 관측된다. 별의 등급은 숫자가 클수록 어두우므로 별빛의 겉보기 등급은 (가)보다 (나)가 크다.
 (2) 거리지수는 (겉보기 등급 - 절대 등급)이므로 절대 등급이 같을 때 겉보기 등급이 클수록 크다. 따라서 겉보기 등급이 더 큰 (나)가 (가)보다 거리지수가 크다.

- (3) 거리지수가 크게 관측될수록 별까지의 거리가 크게 측정된다. 따라서 (나)는 (가)보다 멀리 있는 것처럼 관측된다.
 (4) 색지수는 (B 등급 - V 등급)이다. (가)에서는 고유한 색지수가 나타나고, (나)에서는 성간 적색화가 일어나 색지수가 실제로 더 큰 값으로 관측된다.

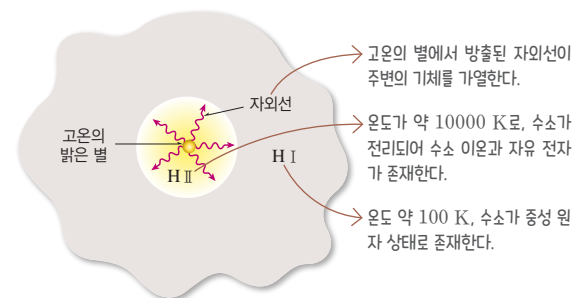
- 3 (1) 별빛은 (가)보다 성간 티끌에 의해 약해진 (나)에서 어둡게 보인다.
 (2) 성간 티끌이 있는 (나)에서 성간 소광이 일어나므로 소광 보정이 필요한 경우는 (나)이다.
 (3) (나)에서 별빛은 상대적으로 붉은색 빛이 성간 티끌을 많이 통과하여 원래보다 붉게 보인다.
 (4) (나)에서 성간 티끌이 많아지면 성간 적색화가 심해지고, 성간 적색화가 심해지면 색지수가 더 크게 관측된다.
 (5) (가)와 (나)에서 별까지의 거리는 변함이 없으므로 연주 시차는 변함이 없다.

대표자료분석 2

155쪽

1 HI 영역: 수소 원자(중성수소), HII 영역: 수소 이온(이온화된 수소)
 2 (1) < (2) > 3 ㉠ 붉은색, ㉡ 방출 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

꼼꼼 문제 분석



- 1 HII 영역은 고온의 별 주위에 있는 수소가 전리되어 이온으로 존재하는 영역이고, HI 영역은 수소가 중성 원자 상태로 존재하는 영역이다.
 2 HII 영역은 HI 영역보다 온도가 높기 때문에 수소가 이온 상태로 존재하고 수소의 개수 밀도가 낮다.

3 HII 영역에서 이온 상태로 있는 수소 중 일부는 다시 자유 전자와 결합하는 과정에서 중성수소로 돌아가며, 중성수소 내에서 전자가 높은 에너지 상태에서 낮은 에너지 상태로 되면서 에너지를 방출하기도 한다. 이때 방출되는 빛은 붉은색이 강하게 나타나 성운이 전체적으로 붉게 보이며, 이러한 성운을 방출 성운이라고 한다.

- 4** (1) 대부분의 별은 온도가 낮고 밀도가 높아서 중력 수축이 일어나기 쉬운 분자운에서 생성된다. 분자운에서 생성된 고온의 별에 의해 수소가 전리되어 HII 영역이 생성된다.
 (2) O형 또는 B형 별은 고온의 별로, 고온의 별 주변의 수소가 별에서 방출된 자외선을 흡수하여 수소 원자를 이온화시킨다.
 (3) 성간 기체에서 수소는 온도가 높을수록 개수 밀도가 낮은 경향을 보인다. HII 영역은 HI 영역보다 온도가 높아 수소의 개수 밀도가 낮다.
 (4) 온도가 비교적 낮아 수소가 중성 원자 상태로 밀집되어 있는 영역인 HI 영역은 우러은하 원반에 집중적으로 분포한다.
 (5) HII 영역은 고온의 별(O형 별이나 B형 별) 주위에 있는 수소 기체가 별에서 방출된 자외선을 흡수하여 대부분 이온화되어 있는 영역으로, 주 구성원은 수소 이온(수소 원자핵)과 자유 전자이다.

내신만점문제

156쪽~158쪽

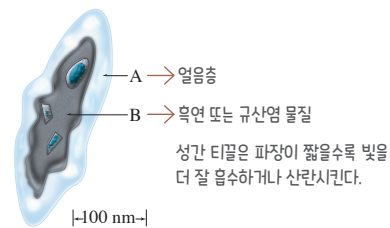
- 01** ⑤ **02** ⑤ **03** ③ **04** ③ **05** ④ **06** ③
07 ⑤ **08** 해설 참조 **09** ③ **10** ④ **11** ④
12 C>A>B **13** ① **14** 해설 참조 **15** ②
16 ④

- 01** ㄱ. 성간 물질은 약 99 %의 성간 기체와 약 1 %의 성간 티끌로 이루어져 있다.
 ㄴ. 성간 소광을 일으키는 주요 성분은 성간 티끌이므로 성간 소광이 관측되면 성간 티끌의 존재를 알 수 있다.
 ㄷ. 성간 물질에 포함된 티끌은 별빛을 흡수하거나 산란시켜 성간 소광과 성간 적색화를 일으킨다.

- 02** ㄱ, ㄷ. A는 성간 티끌로, 별빛을 흡수하거나 산란시켜 성간 소광과 성간 적색화를 일으킨다.
 ㄴ, B는 성간 기체로, 주로 원자와 분자 형태로 존재하고 수소와 헬륨이 가장 많다.

- 03** ① 성간 티끌은 파장이 짧은 파란색 빛을 잘 흡수하거나 산란시킨다. 따라서 성간 티끌을 통과한 별빛은 붉은색 빛이 많이 도달하여 성간 적색화가 일어난다.
 ② 성간 티끌은 파장이 짧은 전자기파(☞ 자외선, 가시광선)를 잘 흡수하고, 파장이 긴 전자기파(☞ 적외선)는 잘 통과시킨다.
 ④ 파장이 긴 빛일수록 성간 티끌을 잘 통과하여 관측자에게 도달한다.
 ⑤ 성간 티끌은 규산염 물질이나 흑연 등이 얼음에 덮여 있는 미세한 고체 입자로, 크기는 대부분 1 μm 이하이다.
[바로알기] ③ 성간 물질 전체 질량의 대부분은 성간 기체가 차지하고, 성간 티끌은 성간 물질 전체 질량의 약 1 %에 불과하다.

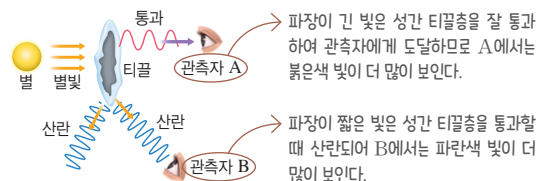
04 — 곁곁 문제 분석



- ㄱ. 성간 티끌은 얼음층으로 둘러싸여 있다.
 ㄷ. 성간 티끌의 크기는 가시광선의 파장과 비슷하므로 성간 소광을 일으킨다. 이때 파장이 긴 붉은색 빛보다 파장이 짧은 파란색 빛이 이 더 잘 산란된다.
[바로알기] ㄴ, B는 흑연이나 규산염 물질로 이루어져 있다.

- 05** ㉠: 성간 소광으로 인해 별빛은 실제보다 어둡게 관측된다.
 ㉡, ㉢: 성간 소광으로 인해 거리지수는 실제 거리지수보다 A 등급만큼 커지기 때문에 성간 소광 효과를 보정하지 않은 채 거리지수 식으로 거리를 산출하면 별의 실제 거리보다 멀게 구해진다.

06 — 곁곁 문제 분석

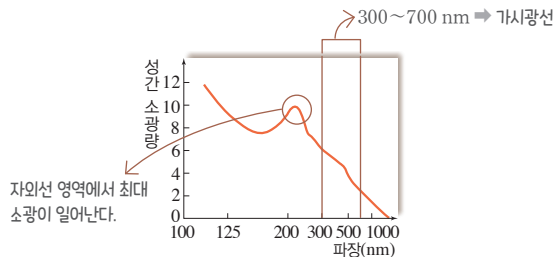


ㄱ. A에서 별빛이 성간 티끌층을 통과할 때 파장이 짧은 파란색 빛은 흡수되거나 산란되고, 파장이 긴 붉은색 빛은 잘 통과한다. 따라서 A에서는 실제 별의 색깔보다 붉게 보이는 성간 적색화가 나타난다.

ㄴ. B에서는 성간 티끌에 의해 산란된 파란색 빛이 많이 관측되므로 반사 성운으로 관측된다.

[바로알기] ㄷ. A에서 성간 적색화가 나타나는 까닭은 별빛의 파장이 길어지기 때문이 아니라 파장이 짧은 파란색 빛은 산란되고 파장이 긴 붉은색 빛이 많이 도달하기 때문이다.

07 품격 문제 분석



성간 소광량은 자외선 영역에서 최대로 나타난다. 파장이 길어질수록 소광은 점점 작아져 전파 영역에서는 거의 0에 가깝다. 따라서 성간 소광의 영향을 받지 않고 관측하고자 할 경우, 적외선 영역이나 전파 영역에서 관측한다.

ㄴ. 성간 소광은 대부분 성간 티끌에 의해 일어난다. 성간 티끌에 의한 빛의 흡수나 산란은 파장이 긴 붉은색 빛보다 파장이 짧은 파란색 빛에서 더 잘 일어난다. 따라서 멀리 있는 별의 색은 성간 티끌의 영향을 받아 고유의 색보다 더 붉게 보인다.

ㄷ. 성간 티끌에 의한 소광 현상은 파장이 짧은 자외선 영역에서 크고, 적외선 영역에서 작으며, 전파 영역에서 관측할 경우 거의 무시할 수 있을 정도로 작다. 따라서 성간 소광에 의해 관측이 어려운 천체의 경우 적외선이나 전파 영역에서 관측하는 것이 효과적이다.

[바로알기] ㄱ. 파장이 짧은 빛일수록 성간 소광에 의한 영향이 크다.

08 성간 소광으로 인해 별의 겉보기 등급이 커진다. 거리지수를 구하고자 할 경우 성간 소광을 고려해야 한다. 별 S의 거리가 2 kpc이므로 성간 소광에 의해 실제보다 2등급 더 크게(어둡게) 보인다. 따라서 성간 소광이 없을 때 별 S의 실제 겉보기 등급은 10등급이다.

S의 절대 등급을 M 이라 하면,

$$10 - M = 5 \log 2000 - 5$$

$$M = 15 - 5 \log 2000 = 15 - 16.5 = -1.5$$

즉, S의 절대 등급은 -1.5 등급이다.

모범 답안 S의 실제 겉보기 등급: 10등급, S의 절대 등급을 M 이라 하면, 별 S의 거리지수는 다음과 같다.

$$10 - M = 5 \log 2000 - 5, \quad M = 15 - 5 \log 2000 = 15 - 16.5 = -1.5$$

로부터 S의 절대 등급은 -1.5 등급이다.

채점 기준	배점
S의 실제 겉보기 등급을 옳게 쓰고, 이를 이용하여 절대 등급을 구하는 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
S의 실제 겉보기 등급을 옳게 쓴 경우	40 %

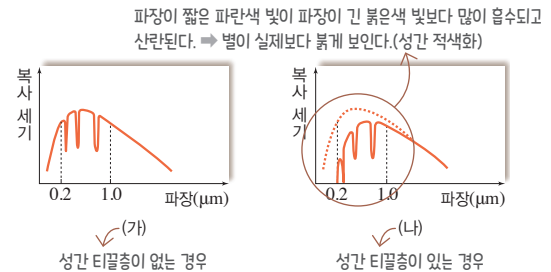
09 가시광선 관측에서는 성간 티끌에 의한 성간 소광이 크기만 적외선 관측에서는 그 영향이 적다. (가)는 적외선으로, (나)는 가시광선으로 관측한 사진이다.

ㄱ. 성간 소광의 영향이 적은 (가)가 적외선 사진이다.

ㄴ. 성간 티끌이 많이 분포하는 은하 원반의 모습이 (가)에서는 비교적 잘 관측되는 반면에, (나)에서는 검게 차단된 부분이 많다. 그러므로 성간 소광의 영향은 (가)보다 (나)에서 크다.

[바로알기] ㄷ. 은하 원반과 중앙 팽대부의 모습이 (가)에서는 비교적 뚜렷하지만, (나)에서는 불명확하다. 그러므로 (나)는 (가)보다 우리은하의 구조 파악에 효과적이지 않다.

10 품격 문제 분석



(가)보다 (나)의 경우 성간 소광으로 별이 더 어둡게 보인다. ⇒ 겉보기 등급이 더 커진다. ⇒ 거리지수가 커진다. ⇒ 별까지의 거리가 더 먼 것으로 계산된다.

성간 티끌층에 의해 파란색 빛이 붉은색 빛보다 더 많이 흡수·산란되어 별이 실제보다 붉게 보이는 현상을 성간 적색화라고 한다.

ㄴ. (가)에 비해 성간 티끌층을 통과한 (나)의 경우 상대적으로 파란색 빛의 양이 적으므로 별은 더 붉은색으로 보이게 된다.

ㄷ. (가)보다 (나)의 경우 별이 더 어둡게 보이므로 겉보기 등급이 더 크고 그 만큼 거리지수가 증가하여 별까지의 거리가 더 먼 것으로 계산된다.

[바로알기] ㄱ. 지구와 별 사이에 성간 티끌층이 있으면 별빛의 짧은 파장 영역이 긴 파장 영역보다 더 잘 흡수·산란되므로 이에 해당하는 것은 (나)이다.

11 ①, ② 주로 수소와 헬륨으로 이루어진 성간 기체는 전체 성간 물질의 약 99 %를 차지한다.

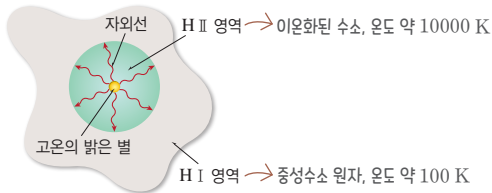
③ 성간 기체를 이루는 수소는 대부분 중성 원자 상태로 존재하며, 고온의 별 부근에서 이온화된 상태로 존재하기도 한다.

⑤ 분자운은 온도가 낮고 밀도가 높아 수소가 분자 상태로 존재하며, 중력 수축이 잘 일어나 별은 대부분 이 영역에서 탄생한다.

[바로알기] ④ 온도가 매우 높은 곳의 수소는 에너지를 흡수하여 전자를 방출시키고 이온으로 존재한다.

12 A는 중성수소(HI) 영역으로 온도는 100 K 정도이고, B는 수소 분자운으로, 온도는 보통 10 K 정도이다. C는 전리된 수소(HII) 영역으로, 온도는 10000 K 정도이다. 따라서 온도가 높은 것부터 나열하면 C>A>B 순이다.

13 품평 문제 분석



ㄱ. HII는 수소의 전자 1개가 떨어져 나가 이온화된 것을 의미하며, HI는 전리되지 않은 중성수소를 의미한다. HII 영역 주위에는 밝은 별들이 분포하는데, 이 별들은 대부분 젊은 주계열성으로 표면 온도(15000 K 이상)가 매우 높은 별이다. 이러한 고온의 별은 에너지가 비교적 높은 자외선을 많이 방출한다. 이 별 주위에 있는 수소 원자들은 별에서 방출된 자외선을 흡수하여 전자를 잃어 이온화되어 HII 영역을 형성한다.

[바로알기] ㄴ. 방출 성운은 HII 영역에서 전리된 수소가 전자와 다시 결합하면서 빛을 방출하여 붉게 보이는 성운이다.

ㄷ. 성운 내의 성간 티끌은 파란색 빛을 잘 산란시키지만 파장이 긴 붉은색 빛은 성간 티끌을 잘 통과하므로 성간 티끌은 별이 원래보다 붉게 보이는 성간 적색화 현상을 일으킨다.

14 별이 탄생하려면 중력 수축에 의해 물질이 모여야 한다. 이를 위해서는 온도가 낮고, 밀도가 높을수록 유리하다.

[모범 답안] 분자운의 중심부는 온도는 낮지만, 밀도가 높은 편이다. 이런 조건에서는 중력 수축에 의해 물질이 모여들어 원시별로 성장할 수 있기 때문이다.

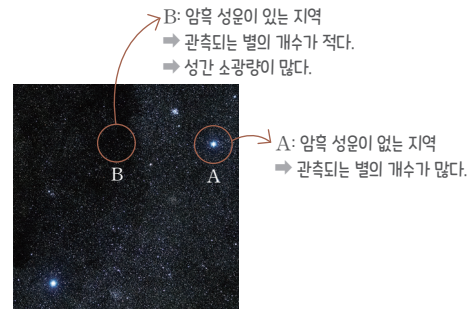
채점 기준	배점
낮은 온도, 높은 밀도를 중력 수축 조건과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
온도 조건 또는 밀도 조건에 대해서만 옳게 서술한 경우	50 %

15 ㄷ. (가)의 방출 성운은 성간 물질이 고온의 별빛을 흡수하여 온도가 높아져 전리되었다가 중성수소로 돌아가는 과정에서 빛을 방출하여 나타나므로 (나)의 반사 성운보다 온도가 높다.

[바로알기] ㄱ. (가)는 HII 영역으로, 수소는 수소 이온(이온화된 수소) 상태로 존재한다. 방출 성운은 별빛을 흡수한 성운 내의 성간 물질이 전리되었다가 수소 방출선을 방출하면서 빛을 내는 성운이다.

ㄴ. (나)의 반사 성운은 성운 주변의 별빛을 산란시켜서 빛나는 성운으로, 붉은색보다는 파란색 빛을 잘 산란시키므로 대체로 파란색으로 관측된다.

16 품평 문제 분석



ㄴ. B에서는 별이 두꺼운 티끌층에 가려져 있으므로 보이지 않는 별들이 있다. 따라서 실제 별의 수보다 눈에 보이는 별의 개수가 적다.

ㄷ. 암흑 성운이 있는 B에는 성간 티끌이 존재하고, 성간 티끌은 가시광선 영역의 빛을 더 잘 흡수하거나 산란시키므로 B 지역을 가시광선보다 적외선으로 관측하면 더 많은 별을 볼 수 있다.

[바로알기] ㄱ. 암흑 성운은 성간 티끌이 뒤에서 오는 별빛을 흡수하거나 차단하여 어둡게 보이는 성운이므로 암흑 성운이 있는 지역은 B이다.

실력 UP 문제

159쪽

01 ③ 02 ③ 03 ④ 04 ③

01 품점 문제 분석

표면 온도, 절대 등급, 거리가 같은 별 (가), (나)의 관측 결과

별	성간 소광 효과	겉보기 등급	V 등급
(가)	받지 않음	6.0	5.0
(나)	반응 성간 티끌이 존재한다.	() 성간 소광 효과로 별빛 이 어둡게 관측된다.	() 성간 적색화로 별빛이 붉게 관측된다.

ㄴ. (나)는 관측자와 별 사이에 성간 티끌이 존재하여 성간 소광이 일어나므로 V 등급이 (가)보다 크다.

ㄷ. 두 별은 표면 온도가 같으므로 고유의 색지수가 같다. (나)는 성간 적색화가 나타나므로 관측된 색지수($B-V$)는 (가)보다 크다.

[바로알기] ㄱ. (나)는 (가)와 절대 등급과 거리가 같지만, 성간 소광 효과를 받았으므로 별빛이 어둡게 관측되어 겉보기 등급이 (가)보다 크다. 따라서 6.0보다 크다.

ㄷ. (나)는 성간 소광 효과를 받아 거리가 실제보다 멀게 측정되므로 거리지수는 (나)가 (가)보다 크다.

02 성간 티끌은 주로 파란색 빛을 흡수하거나 산란시키고 붉은색 빛은 잘 통과시키므로 성간 티끌을 통과한 별빛은 원래보다 더 붉게 보이고 별빛의 세기도 약해진다.

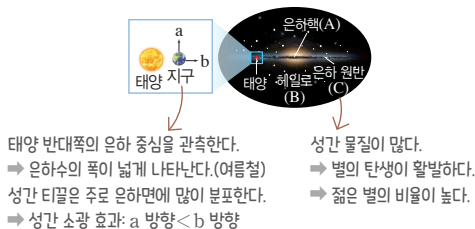
ㄱ. 성간 티끌을 통과한 별빛은 원래보다 더 붉게 보이므로 색지수는 증가한다.

ㄴ. 성간 티끌은 별빛에서 주로 파란색 빛을 흡수 또는 산란시킴으로 성간 티끌을 통과한 별빛은 원래보다 세기가 약해진다. 따라서 성간 티끌을 통과한 별빛의 겉보기 등급은 증가한다.

ㄷ. 성간 티끌을 통과한 별빛의 겉보기 등급이 원래보다 증가하므로 거리지수(겉보기 등급-절대 등급)도 증가하여 별의 거리가 실제보다 멀리 있는 것으로 측정된다.

[바로알기] ㄷ. 별과 관측자 사이의 거리는 (가)와 (나)에서 변함이 없으므로 연주 시차의 변화는 없다.

03 품점 문제 분석



우리은하 내에 있는 지구에서 관측할 때 우리은하의 원반이 은하수로 관측된다.

ㄱ. (가)와 같은 위치일 때 지구에서는 태양 반대쪽의 은하 중심을 관측할 수 있고, (나)에서 은하수의 폭이 더 넓게 나타나는 때는 여름철이다.

ㄷ. 별은 성간 물질이 밀집된 곳에서 잘 생성될 수 있으므로 은하 원반인 C에서 젊은 별의 비율이 가장 높다.

[바로알기] ㄴ. 성간 티끌은 주로 은하면에 많이 분포하므로 은하면에 수직인 a 방향보다는 은하면에 나란한 b 방향에 위치한 별의 성간 소광 효과가 크게 나타난다.

04 ㄱ. 별이 탄생하는 성운은 온도가 낮기 때문에 대부분의 수소가 분자 상태로 존재한다. 여러 개의 별이 동시에 탄생한다고 했으므로 A 영역은 분자운에 해당한다.

ㄷ. 분자운에서 여러 개의 별이 동시에 탄생하는 경우 이 별들은 성단을 구성한다. 따라서 동일 성단 내의 별들은 나이가 거의 같으며, 지구에서의 거리도 거의 같기 때문에 항성 연구에 유용하게 이용된다.

[바로알기] ㄴ. 독수리성운의 A 영역은 별이 탄생하고 있는 곳으로, 성운의 온도가 수십 K 이내로 낮다. 즉, 별은 가스와 먼지 등 물질의 밀도가 높고 온도가 낮은 영역에서 탄생하기 쉽다. 성운의 온도가 높으면 기체 압력으로 인해 중력 수축이 잘 이루어지지 않아 물질이 모이기 어려우므로 별이 탄생하기 어렵다.

04 / 우리은하의 질량과 암흑 물질

개념 확인 문제

163쪽

① 21 cm 수소선 ② 나선팔 ③ 케플러 회전 ④ 크다 ⑤ 암흑 물질 ⑥ 중력 렌즈

1 (1) A, D (2) B, C 2 (1) A-㉔, B-㉕, C-㉖ (2) C
 3 (1) ㉗ 중성수소, ㉘ 21 (2) 도플러 (3) 원자 수 4 (1) ㉙ ㉚
 (3) × (4) ○

1 (1) A는 태양보다 회전 속도가 느리므로 태양에서 멀어지고, D는 태양보다 회전 속도가 빠르므로 태양에서 멀어진다. 따라서 별 A와 D는 관측자로부터 점차 멀어지므로 적색 이동이 나타난다.

(2) B는 태양보다 회전 속도가 느리므로 태양에 가까워지고, C는 태양보다 회전 속도가 빠르므로 태양에 가까워진다. 따라서 별 B와 C는 관측자에게 점차 가까워지므로 청색 이동이 나타난다.

2 (1) 태양과 중성수소 구름 A~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) 수소 구름 A~C의 복사 세기를 비교하면 C(㉠)에서 가장 강하다. 따라서 수소 구름의 밀도는 C에서 가장 높다.

3 (1), (2) 우리은하의 나선팔에는 중성수소가 풍부하며, 중성수소는 파장이 21 cm인 전파를 방출한다. 따라서 중성수소가 방출하는 21 cm 수소선의 세기와 도플러 이동을 해석하여 시선 속도를 측정하면 우리은하의 나선팔 구조와 회전을 알 수 있다.

(3) 중성수소 원자에서 방출하는 21 cm 수소선의 세기는 수소 원자 수가 높은 곳에서 강하다.

4 (1) 강제 회전은 레코드판의 회전처럼 거리에 상관없이 회전 주기가 같으며 외곽으로 갈수록 회전 속도가 증가하는 회전이다. 우리은하는 은하 중심으로부터 약 1 kpc까지는 거리가 멀어질수록 회전 속도가 증가하는 강제 회전을 한다.

(2) 약 1 kpc~3 kpc 구간에서는 은하 중심에서 멀어질수록 회전 속도가 감소하는 케플러 회전을 한다.

(3) 우리은하의 질량이 중심에 집중되어 있다면 은하 외곽의 회전 속도는 중심에서 멀어질수록 회전 속도가 감소하는 케플러 회전을 해야 한다. 그러나 우리은하 외곽의 속도는 어느 정도 감소하다가 일정해진다. 이는 우리은하의 질량이 중심에 집중되어 있지 않고, 우리은하 외곽에도 많은 양의 물질이 존재한다는 것을 의미한다.

(4) 우리은하의 회전 속도와 만유인력을 이용하여 은하의 질량을 계산할 수 있다.

대표 자료 분석 1

164쪽

1 (가)가 (나)보다 에너지 상태가 조금 더 높다. (가)에서 (나)로 자발적으로 바뀔 때 파장이 약 21 cm인 복사 에너지를 방출한다.

2 B **3** A, C **4** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○

1 (가) 양성자와 전자의 회전(스핀) 방향이 서로 같을 때가 (나) 반대일 때보다 에너지 상태가 조금 더 높으므로, 높은 에너지 상태(가)에서 낮은 에너지 상태(나)로 자발적으로 바뀔 때 파장이 약 21 cm인 복사 에너지를 방출한다.

2 A~D 지점 중 상대 복사 세기가 가장 큰 B 지점에서 중성수소의 밀도가 가장 높다.

3 A는 시선 속도가 (-) 값을 나타내므로 태양보다 느리게 회전하여 태양계에 가까워지고, B~D는 시선 속도가 (+) 값을 나타내므로 태양보다 빠르게 회전하여 태양계에서 멀어지고 있다. 이 중 C는 시선 속도가 약 +60 km/s로 가장 빠르므로 회전 속도가 가장 빠르다.

4 (1) 21 cm 수소선의 복사 세기는 중성수소 원자가 많을수록 강하므로, A~D 지점 중 21 cm 수소선의 복사 세기가 가장 약한 C 지점이 중성수소의 양이 가장 적다.

(2) A 지점은 시선 속도가 태양보다 작으므로 태양에 가까워지는 것으로 관측되어 시선 속도가 (-) 값을 갖는다.

(3) A~D 지점 중 태양보다 느리게 회전하고 있는 곳은 시선 속도가 (-) 값인 A 지점으로, 태양에 가까워지고 있다.

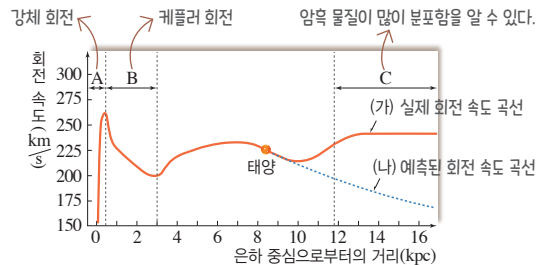
(4) 시선 속도가 $A < B < D < C$ 인 것으로 보아 회전 속도는 $A < B < D < C$ 이다. 따라서 A~D 지점은 은하 중심에 가까울수록 회전 속도가 빠른 케플러 회전을 하고 있다.

대표 자료 분석 2

165쪽

1 (가) **2** A **3** ㉠ 거의 일정한, ㉢ 외곽 **4** (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

꼼꼼 문제 분석



1 우리은하 외곽부에서 회전 속도가 (나)와 같이 감소할 것으로 예측하였으나, 실제 회전 속도 곡선은 (가)와 같다.

2 우리은하의 중심핵 부근인 은하 중심~약 1 kpc 구간에서는 강제 회전을 한다.

3 우리은하의 외곽부에서 은하의 회전 속도가 거의 일정한 것을 통해 우리은하의 질량이 중심부에 집중되어 있지 않고 외곽부에도 많은 물질이 존재함을 추정할 수 있다. 우리은하에서 빛을 내는 보통 물질은 주로 태양계 안쪽에 분포하고 있으므로 우리은하 외곽에 암흑 물질이 많이 분포하고 있다고 추정할 수 있다.

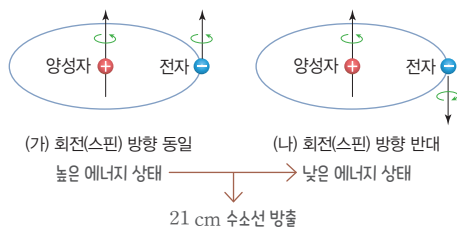
- 4 (1) 우리은하의 원반에 분포하는 중성수소가 방출하는 21 cm 수소선은 시선 속도의 크기에 따라 도플러 이동을 일으킨다. 이로부터 우리은하의 나선팔 구조 및 회전을 알아낼 수 있다.
- (2) 태양 부근에서는 은하 중심에서 멀어질수록 회전 속도가 감소하는 케플러 회전을 한다.
- (3) 은하의 중심에서 멀리 떨어진 곳에서도 은하의 회전 속도는 감소하지 않는다. 이것은 은하 외곽 지역에 많은 양의 물질이 존재하기 때문이다.
- (4) (가)와 (나)의 차이는 눈에 보이지 않는 물질에 의한 효과이므로 암흑 물질에 의한 것으로 볼 수 있다.

내신 만점 문제

166쪽~168쪽

- 01 ③ 02 ⑤ 03 ④ 04 해설 참조 05 ③
06 ② 07 ② 08 ㉠ 09 ④ 10 ① 11 ④
12 ② 13 해설 참조 14 ④

01 고품질 문제 분석



ㄴ. 중성수소는 전자와 원자핵(양성자)의 회전 방향 차이에 따라 원자의 에너지 크기가 다르며, 높은 에너지 상태의 원자가 낮은 에너지 상태의 원자로 변하는 과정에서 에너지 차이에 해당하는 전자기파가 방출된다. 이 전자기파의 파장이 21 cm이며 전파에 해당한다.

ㄷ. 우리은하에 존재하는 수소 중에는 원자 상태의 중성수소가 가장 많은 비율을 차지한다. 중성수소 원자가 방출하는 21 cm 파의 관측으로 중성수소 원자가 많이 존재하는 영역을 알 수 있는데, 이 영역을 통해 우리은하의 나선팔 구조를 발견하였다.

[바로알기] ㄱ. 중성수소 원자에서 원자핵과 전자의 회전 방향이 같은 원자가 회전 방향이 다른 원자에 비해 조금 더 불안정하다. 이것은 회전 방향이 같은 원자의 에너지가 더 높은 상태라는 의미이다. 따라서 (가)가 (나)보다 에너지가 높다.

ㄷ. 중성수소는 주로 성간 물질이 풍부한 나선팔에 분포하므로 (가)와 (나)의 에너지 차이로 방출되는 21 cm 전파(수소선)는 주로 나선팔에서 관측된다.

02 ①, ② 성간 물질을 이루는 중성수소에서 21 cm 수소선이 방출되며, 파장이 긴 전자기파는 성간 물질의 영향을 적게 받으므로 21 cm 수소선을 관측하면 성간 물질의 분포를 파악하여 우리은하의 나선팔 구조를 확인할 수 있다.

③ 중성수소 구름이 멀어지거나 다가오면 21 cm 수소선의 도플러 이동이 나타나므로 이때의 파장 변화로부터 우리은하가 회전한다는 것을 알 수 있다.

④ 21 cm 수소선은 수소의 에너지가 높은 상태(양성자와 전자의 회전 방향이 같은 상태)에서 에너지가 낮은 상태(양성자와 전자의 회전 방향이 다른 상태)로 되돌아갈 때 방출된다.

[바로알기] ⑤ 21 cm 수소선처럼 파장이 긴 전자기파는 성간 티끌의 영향을 거의 받지 않아 관측자에게 도달하므로 우리은하의 구조 연구에 적합하다.

03 ㄴ. 그림에서 밝게 나타나는 부분은 성간 물질의 밀도가 높은 곳이고, 어두운 부분은 성간 물질의 밀도가 낮은 곳이다. 21 cm 수소선의 세기는 성간 물질을 이루는 중성수소에서 방출되므로 성간 물질의 밀도가 낮은 A 부분보다 성간 물질의 밀도가 높은 B 부분에서 더 강하게 관측된다.

ㄷ. 21 cm 수소선은 파장이 21 cm인 전파이므로 전파 망원경을 이용해 관측할 수 있다.

[바로알기] ㄱ. 그림에서 성간 물질은 고르게 분포하지 않고 군데 군데 밀집되어 있으며, 성간 물질의 밀도가 높은 영역들이 나선형으로 분포하고 있다.

04 중성수소 원자에서 파장이 21 cm인 전파가 방출되므로 우리은하의 나선팔에서 방출되는 21 cm 수소선을 관측하면 우리은하의 나선팔에 중성수소가 많이 분포한다는 것을 알 수 있다. 전파는 파장이 길어 성간 소광이 잘 일어나지 않기 때문에 아주 멀리 떨어진 거리에서 오더라도 검출될 수 있다.

[모범 답안] 중성수소 원자에서 방출되는 21 cm 수소선을 관측하여 알 수 있다. 전파는 성간 소광이 잘 일어나지 않기 때문에 우리은하의 구조 연구에 효과적이다.

채점 기준

채점 기준	배점
21 cm 수소선 관측을 통해 알 수 있다는 내용과 전파는 성간 소광이 잘 일어나지 않는다는 내용(성간 티끌을 잘 통과한다)을 모두 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
두 가지 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

05 가시광선의 파장은 약 400 nm~700 nm이고, 성간 티끌의 크기 또한 이와 비슷하므로 성간 티끌은 가시광선을 잘 산란시킨다. 반면에 21 cm 전파는 성간 티끌의 크기보다 파장이 매우 길기 때문에 성간 티끌을 쉽게 통과할 수 있다.

ㄱ. (가)에서는 검게 나타나는 부분이 (나)에서는 밝게 나타난다. 이는 가시광선은 성간 물질을 잘 통과하지 못하지만 21 cm 전파는 가시광선을 차단하는 성간 티끌을 쉽게 통과하기 때문이다. 따라서 (가)는 가시광선, (나)는 21 cm 전파를 이용하여 촬영한 사진이다.

ㄴ. 가시광선을 이용하여 촬영한 (가)에서 나타나는 검은 띠는 성간 티끌이 뒤에서 오는 가시광선을 흡수하기 때문에 생긴 것이다.

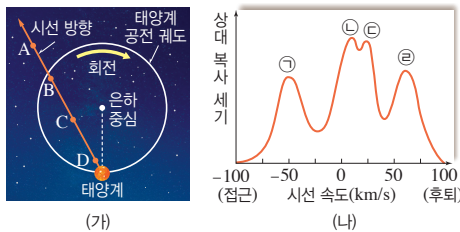
[바로알기] ㄷ. 나선팔에는 21 cm 전파를 방출하는 중성수소가 밀집되어 있으므로 나선팔 구조를 파악하는 데는 (나)가 효과적이다.

06 우리은하에서 은하 중심을 회전하는 중성수소 구름의 속도에 따라 태양(지구)에서 관측한 시선 속도가 결정되며, 이러한 중성수소가 방출하는 21 cm 전파에서 도플러 효과가 일어난다.

② A는 태양보다 바깥쪽 궤도에 있으므로 태양보다 회전 속도가 느리며, 시선 방향의 속도 성분을 비교해도 태양의 속도보다 느리므로 A는 태양에 접근하게 된다. B는 은하 중심에 가장 가까워 회전 속도가 가장 빠르고, 회전 속도의 방향이 시선 방향과 일치하므로 태양으로부터 멀어지게 된다. 따라서 A의 시선 속도는 (-), B의 시선 속도는 (+) 값을 갖는다. 또한 중성수소는 A보다 B에 많이 분포하므로 복사 세기도 A보다 B가 크다.

07 — 품평 문제 분석

태양계 부근에서는 케플러 회전을 하므로 우리은하의 회전 속도는 은하 중심에 가까울수록 빠르다.



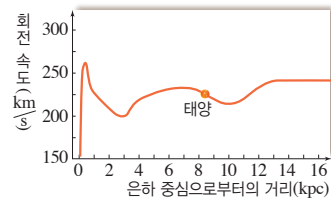
- A: 태양계보다 회전 속도가 느려서 태양계에 점점 가까워지므로 시선 속도는 (-) 값이다. ⇒ ㉠
- B, D: 태양계보다 회전 속도가 조금 빨라 태양계에서 조금씩 멀어지므로 시선 속도가 작고 (+) 값이다. ⇒ ㉡, ㉢
- C: 태양계보다 회전 속도가 빨라 태양계에서 멀어지므로 시선 속도가 B, D보다 크고, (+) 값이다. ⇒ ㉣

ㄷ. (가)에서 A는 태양계보다 회전 속도가 느리므로 태양계에 가까워지는 나선팔에 위치하며, B, C, D는 태양계보다 회전 속도가 빠르므로 태양계에서 멀어지는 나선팔에 위치한다. C는 태양계에서 멀어지므로 시선 속도가 (+) 값으로 나타나는데, B와 D보다 회전 속도가 크므로 시선 속도가 가장 크게 나타난다. 따라서 (가)의 C를 관측한 것은 (나)의 ㉣이다.

[바로알기] ㄱ. (가)의 A는 은하 중심으로부터 거리가 먼 곳에 위치한 지점으로, 회전 속도가 태양계보다 느려서 태양계에 점점 가까워진다.

ㄴ. 21 cm 수소선은 우주 공간의 중성수소 원자의 존재를 확인하는 방법이다. 파장이 21 cm인 전파는 수소 원자핵인 양성자에 대해 전자의 회전 방향이 같은 방향에서 반대 방향으로 바뀔 때 방출되며, 이때 방출선의 세기는 중성수소 원자 수가 많은 곳일수록 강하다. 따라서 (나)의 ㉠~㉣ 중 상태 복사 세기가 가장 강한 ㉣이 중성수소 원자 수가 가장 많은 곳이다.

08 — 품평 문제 분석



약 1 kpc 이내의 우리은하의 중심핵 부분에서는 강체 회전 속도 분포를, 약 1 kpc~3 kpc 범위의 궤도에서는 케플러 회전 속도 분포를 보이지만, 그 바깥쪽 부분에서는 케플러 회전만을 고려했을 때 예상되는 속도보다 더 빠른 속도 분포를 보인다.

㉠ 우리은하의 중심에 가까운 약 1 kpc 이내에서는 중심으로부터의 거리가 멀어질수록 속도가 증가하는 강체와 같은 회전 속도 분포를 보인다.

㉡ 약 1 kpc~3 kpc 범위에서는 은하 중심으로부터 거리가 멀어질수록 회전 속도가 감소하는 것으로 나타나고 있다. 이는 케플러 제3법칙에서 공전 궤도 장반경이 길어질수록 공전 주기가 길어지는 운동이므로 케플러 회전을 하고 있는 영역에 해당한다.

[바로알기] ㉢ 은하 중심에서 약 15 kpc보다 먼 곳에서는 중심에서 멀어지더라도 은하의 회전 속도가 감소하지 않고 거의 일정하다. 이와 같이 은하 중심으로부터의 거리가 멀어져도 회전 속도가 감소하지 않는 것으로부터 우리은하 질량의 대부분이 중심부에 집중되어 있지 않다는 것을 알 수 있다.

09 ㄴ. 눈에 보이는 물질들만을 고려했을 때 이론적으로 계산한 우리은하의 회전 속도가 관측된 실제 회전 속도보다 작으므로 보이는 물질의 중력만으로는 우리은하의 실제 회전 속도를 설명할 수 없다.

ㄷ. (가)와 (나)의 속도 차이 A는 눈에 보이지 않는 물질에 의한 효과이므로 암흑 물질에 의한 것으로 볼 수 있다.

[바로알기] ㄱ. 이론적으로 계산한 회전 속도 (나)는 실제 관측된 회전 속도인 (가)보다 작다.

10 태양에 작용하는 만유인력과 구심력의 크기가 같으므로 $G \frac{M_{\text{은하}} M_{\text{태양}}}{r^2} = \frac{M_{\text{태양}} v^2}{r}$ 이다. 은하의 질량에 대해 정리하면 $M_{\text{은하}} = \frac{M_{\text{태양}} v^2}{r} \times \frac{r^2}{GM_{\text{태양}}} = \frac{rv^2}{G}$ 이고, 회전 속도 $v = \frac{2\pi r}{P}$ 을 대입하면 $M_{\text{은하}} = \frac{r}{G} \times \left(\frac{4\pi^2 r^2}{P^2} \right) = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{r^3}{P^2}$ 이다.

11 ㄴ. 우리은하의 중심부에는 태양 질량의 약 300만 배에 이르는 거대 블랙홀이 존재할 것으로 추정된다.

ㄷ. 우리은하는 암흑 물질이 약 90 %의 질량을 차지한다.

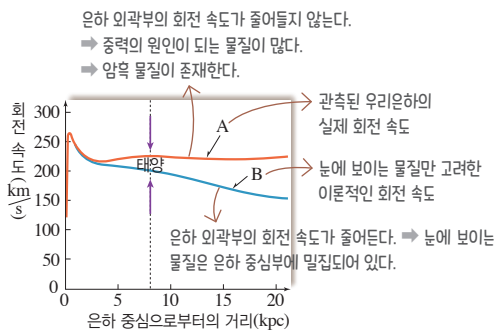
[바로알기] ㄱ. 우리은하의 회전 속도와 중력을 이용한 계산으로부터 우리은하의 질량 분포를 파악할 수 있다.

12 ㄷ. 우리은하의 외곽에서 회전 속도가 감소하지 않는데, 이것은 우리은하의 질량이 은하 중심에 집중되어 있는 것이 아니라 바깥쪽에도 상당량 분포하고 있음을 의미한다.

[바로알기] ㄱ. 암흑 물질은 빛을 방출하지 않기 때문에 우리 눈에 보이지 않으며, 중력 렌즈 현상을 통해 간접적으로 확인할 수 있다.

ㄴ. 21 cm 수소선으로 알아낸 우리은하 최외곽부의 회전 속도로 우리은하의 질량을 계산해 보면, 우리은하를 이루는 물질의 질량은 우리은하 안에 존재할 것으로 추정되는 별과 성간 물질의 질량보다 매우 큰 값으로 나타난다. 즉, 우리은하 물질의 대부분이 암흑 물질로 이루어져 있다는 것을 의미한다.

13 — 토픽 문제 분석



전자기파를 통해서만 관측되지 않지만 중력적인 효과에 의해서 그 존재를 알 수 있는 물질을 암흑 물질이라고 한다. 암흑 물질의 존재는 우리은하의 회전 속도 분포를 통해 확인할 수 있다.

[모범 답안] 우리은하의 중심에서 매우 멀리 떨어진 곳에서도 회전 속도가 줄어들지 않는 까닭은 은하 외곽에 중력의 원인이 되는 물질이 많다는 것을 의미한다. 이 물질들은 대부분 (전자기파)으로 관측할 수 없는 암흑 물질로 이루어져 있다.

채점 기준	배점
우리은하의 외곽부에서 회전 속도가 줄어들지 않는 것을 통해 암흑 물질의 존재를 옳게 서술한 경우	100 %
우리은하의 외곽부에서 회전 속도가 줄어들지 않는다고 서술하였으나 암흑 물질의 존재와 연계하지 못한 경우	70 %
회전 속도 곡선의 차이는 눈에 보이지 않는 암흑 물질 때문이라고만 서술한 경우	30 %

14 ㄴ. (가)에서 오는 빛이 천체 (나)에 의해 휘어지므로 (나)는 매우 강한 중력을 가지는 천체이다.

ㄷ. (나)와 같은 천체는 근처를 지나는 빛을 휘게 함으로써 중력을 가진 물체가 존재한다는 사실을 암시하여 암흑 물질의 존재에 대한 간접적인 증거가 된다.

[바로알기] ㄱ. (가)에서 오는 빛은 (나)의 중력에 의해 휘어져 관측자의 눈에 들어오는데, (나)의 위쪽으로 진행해 온 빛은 관측자에게 (가)의 상이 A에 만들어지도록 하며, (나)의 아래쪽으로 진행해 온 빛은 관측자에게 (가)의 상이 B에 만들어지도록 한다. 따라서 관측자에게 (가)의 상은 A와 B에 모두 있는 것으로 보인다. 이때 A와 B는 모두 (가)의 상이므로 동일한 천체의 상이다.

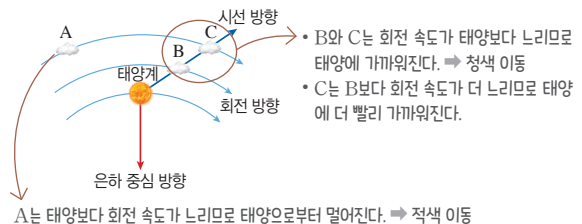
실력 UP 문제

169쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ⑤ 04 ②

01 — 토픽 문제 분석

태양, A, B, C는 은하 중심에 대해 케플러 회전을 하고 있다. → 태양보다 바깥 궤도를 회전하는 천체들은 태양보다 회전 속도가 느리다.

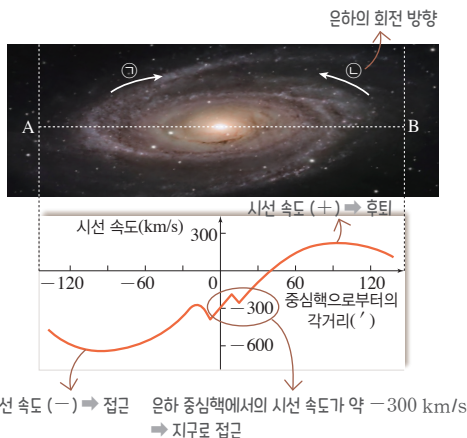


ㄱ. A는 회전 방향에 대해 태양보다 뒤쪽에 있으면서 회전 속도가 태양보다 느리므로 태양으로부터 멀어지며, 이로 인해 A의 스펙트럼에서는 적색 이동이 나타난다.

ㄴ. A, B, C가 케플러 회전을 하고, B의 회전 궤도가 C보다 안쪽에 있으므로 은하 중심에 대한 회전 속도는 B가 C보다 빠르다.

ㄷ. B와 C는 회전 방향에 대해 태양보다 앞쪽에 있고 회전 속도가 태양보다 느리므로 태양에 점점 가까워지고 있다. 이에 따라 스펙트럼에서 청색 이동이 나타난다. C는 B보다 시선 방향에서 태양으로부터 더 멀리 있으므로 태양과의 회전 속도 차이가 B보다 크다. 즉, C는 B보다 태양에 더 빠르게 접근하므로 청색 이동량이 크며, 스펙트럼에 나타나는 중성수소의 방출선 파장이 더 짧다.

02 품평 문제 분석



시선 속도가 (+)이면 관측자로부터 물체가 멀어지고, (-)이면 관측자에게 물체가 접근하고 있음을 뜻한다.

ㄱ. 지구에서 관측할 때 은하 중심핵을 중심으로 시선 속도는 대칭을 이루게 된다. 은하의 회전 속도 분포에서 시선 속도의 대칭이 되는 곳은 은하 중심핵이 위치한 곳이고 이곳에서의 시선 속도가 약 -300 km/s 로 나타나고 있으므로, 이 은하는 지구로 접근하고 있음을 알 수 있다.

ㄴ. 시선 속도 분포에서 은하 중심으로부터 왼쪽에 해당하는 부분이 (-)로, 오른쪽에 해당하는 부분이 (+)로 나타나고 있으므로 은하 중심의 왼쪽이 다가오고, 오른쪽이 멀어지고 있는 것이다. 따라서 은하는 Ⓛ 방향으로 회전하고 있음을 알 수 있다.

Ⓛ. 은하 중심핵의 시선 속도가 약 -300 km/s 로 나타나고 있고, 시선 속도 분포에서 이 영향을 제거하고 보면 A-B 구간에서는 중심에서 멀어지면서 시선 속도의 절대값이 주로 커지므로 강제 회전을 하고 있음을 알 수 있다.

03 은하면에 위치한 별들의 실제 관측된 회전 속도가 예상한 회전 속도보다 큰 것을 암흑 물질의 존재로 설명하고 있다.

ㄱ. 강제 회전의 경우 물체 내의 각 지점은 중심으로부터의 거리가 멀어질수록 선속도는 증가하지만 모든 지점에서의 각속도가 일정하다.

ㄴ. 회전의 중심에 대부분의 물질이 집중되어 있는 경우 회전 중심으로부터 떨어져 있는 물체는 중심에 집중되어 있는 물체에 의한 만유인력에 의해 원운동을 하게 된다. 따라서 중심으로부터 멀어질수록 회전 속도가 감소하는 케플러 회전(나)을 한다.

ㄷ. (다)에서 우리은하의 나선팔 부분에서는 실제 관측된 회전 속도가 보이는 물질만 고려한 회전 속도보다 더 크다. 이는 은하의 중심에만 물질이 집중되어 있는 것이 아니라 나선팔이나 그보다 바깥쪽에도 상당량의 물질이 분포함을 알 수 있다. 이러한 물질은 별이나 성운과 같이 눈에 보이지 않으므로 암흑 물질이라고 한다.

04 ㄴ. 우리은하의 질량 분포 곡선을 보면 태양계 안쪽보다 바깥쪽으로 갈수록 관측값과 추정값의 차이가 증가한다. 따라서 암흑 물질은 주로 태양계 바깥쪽에 분포한다고 할 수 있다.

Ⓛ. 관측값과 추정값이 차이가 나는 주요 원인은 중심에서 먼 곳에 암흑 물질이 많이 존재하기 때문이다.

ㄷ. 우리은하 외곽으로 갈수록 우리은하의 질량이 급격하게 증가하기 때문에 은하의 회전 속도는 일정하거나 증가할 것이다.

중단원 핵심정리

170쪽~171쪽

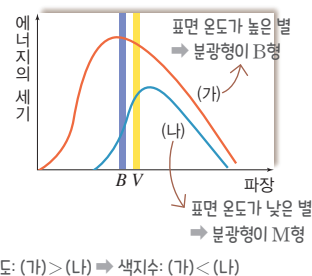
- ① 산개 ② 구상 ③ 적다 ④ 많다 ⑤ 거리지수 ⑥ 크다
- ⑦ 막대나선 ⑧ 성간 소광 ⑨ 성간 적색화 ⑩ HII 영역
- ⑪ 방출 성운 ⑫ 21 cm 수소선 ⑬ 시선 ⑭ 암흑 물질
- ⑮ 중력 렌즈

중단원 마무리 문제

172쪽~174쪽

- 01 ④ 02 ① 03 ④ 04 ⑤ 05 ① 06 ③
- 07 ③ 08 ② 09 ③ 10 ③ 11 해설 참조
- 12 해설 참조 13 해설 참조

01 품평 문제 분석



ㄴ. 별 (가)는 (나)보다 최대 복사 에너지 파장이 짧으므로 표면 온도는 (가)가 (나)보다 높다.

ㄷ. (가)와 (나) 중 표면 온도가 높은 (가)의 색지수($B-V$)가 (나)의 색지수보다 작다.

[바로알기] ㄱ. 별 (가)의 표면 온도가 (나)보다 높으므로 (가)의 분광형은 B형, (나)의 분광형은 M형이다.

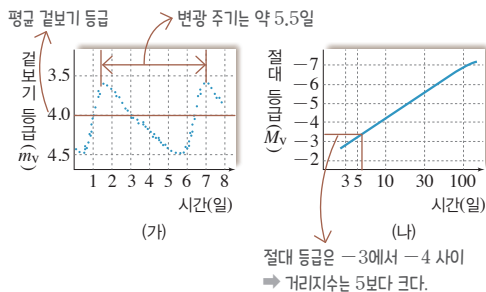
02 ㄱ. 성단을 이루는 별들은 같은 성운에서 거의 동시에 생성되기 때문에 나이, 지구로부터의 거리, 주계열성의 화학 조성이 거의 같다.

ㄷ. 성단을 이루는 별들의 겉보기 등급 분포와 표준 주계열성의 절대 등급 차이가 성단의 거리지수에 해당한다. 그래프에서 거리지수는 6 정도이다.

[바로알기] ㄴ. 색등급도에서 성단을 이루는 별들은 광도가 클수록, 즉 절대 등급이 작을수록 색지수가 작다. 색지수가 작을수록 표면 온도가 높으므로 광도가 큰 별일수록 표면 온도가 높다는 것을 알 수 있다.

ㄹ. 성단의 색등급도가 표준 주계열성의 아래쪽에 있으므로 거리지수가 (+) 값이다. 따라서 이 성단은 10 pc보다 먼 거리에 있다.

03 품격 문제 분석



ㄱ. (가)에서 세페이드 변광성의 변광 주기는 약 5.5일이다.

ㄷ. (가)로부터 세페이드 변광성의 평균 겉보기 등급은 약 +4.0이므로 거리지수는 5보다 크다.

[바로알기] ㄴ. (나)에서 변광 주기가 5.5일인 세페이드 변광성의 절대 등급은 -3에서 -4 사이이다.

04 ㄱ. ①은 은하 중심부와 헤일로에 주로 분포하는 구상 성단이다.

ㄴ. 태양은 은하 중심(B 부근)에 위치하지 않으므로 A에 위치한다.

ㄷ. 구상 성단 ①은 우리은하의 중심인 B 부근을 중심으로 우리은하를 회전하고 있다.

05 우리은하는 막대나선 은하에 속하며, 태양은 나선팔에 위치한다.

(가)의 A는 은하핵, B는 나선팔이고 (나)의 C는 헤일로이다.

ㄱ. 은하핵에는 나이가 많고 붉은색 별들이 많이 모여 있으며, 나선팔에는 나이가 적고 파란색 별들과 기체, 티끌로 이루어진 성간 물질이 분포하고 있다.

[바로알기] ㄴ. 우리은하의 나선팔 구조는 중성수소 원자에서 방출되는 21 cm 수소선을 관측하여 알아냈다. 방출된 21 cm 수소선의 세기와 도플러 이동을 분석하여, 수소 구름의 분포가 나선팔의 형태로 이루어져 있음을 알게 되었다.

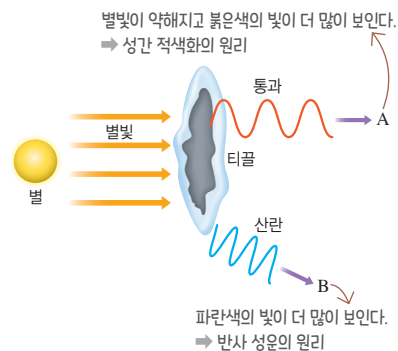
ㄷ. 새로운 별의 탄생이 가장 활발한 곳은 성간 물질이 가장 많이 분포하는 B이다.

06 ㄱ. 성간 물질의 약 99 %는 수소와 헬륨이 주성분인 성간 기체이다. 성간 티끌이 차지하는 비율은 약 1 %로, 흑연이나 규산염 물질이 얼음에 덮여 있는 미세한 고체 입자이다.

ㄴ. 성간 티끌은 별빛을 흡수하거나 산란시켜 관측자의 눈에 도달하는 별빛의 양을 줄어들게 하여 별빛이 원래보다 어둡게 보이는 성간 소광을 일으킨다.

[바로알기] ㄷ. 방출 성운은 전리수소 영역인 HII 영역에서 이온화되었던 수소가 전자와 결합하는 과정에서 에너지를 방출하여 밝게 보이는 것이다.

07 품격 문제 분석



성간 물질에 의한 빛의 흡수와 산란으로 별빛의 세기가 약해지는 현상을 성간 소광이라고 한다.

ㄱ. 반사 성운은 성운 주변에 있는 밝은 별의 별빛을 산란시켜 보이는 성운이므로, 별빛의 산란이 생기는 B 방향에서 잘 관측된다.

ㄷ. 성간 소광이 생기면 같은 별이 더 어둡게 관측되므로 겉보기 등급이 커지게 된다. 따라서 별의 겉보기 등급은 A와 B 모두에서 원래보다 크다.

[바로알기] ㄴ. 성간 적색화는 성간 티끌층을 통과해 온 별빛에서 생기므로 B보다 A 방향에서 잘 관측된다.

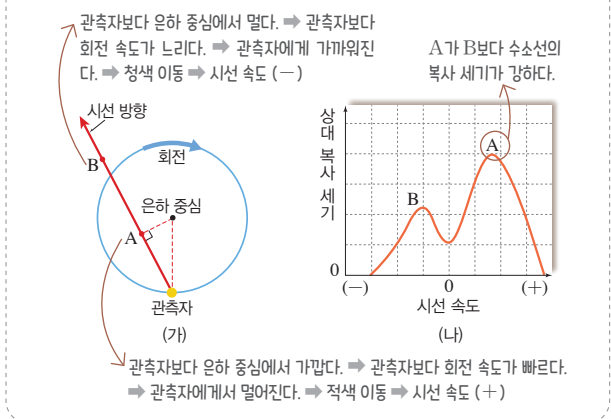
08 고온의 별로부터 방출된 자외선에 의해 별 주변 기체의 온도가 높아지면서 수소가 전리되면 이온 상태의 HII 영역이 생성된다.

ㄷ. HII 영역 바깥쪽에 분포하는 HI 영역에 존재하는 성간 티끌에 의해 파란색 빛은 산란되고 붉은색 빛은 통과하므로 성간 적색화 현상이 나타나게 되어 더 붉은색으로 보이게 된다.

[바로알기] ㄱ. HII 영역의 수소는 고온의 별로부터 얻은 에너지에 의해 전자를 잃게 되어 대부분 이온 상태로 존재하게 된다.

ㄴ. 중심에 위치한 별의 분광형이 A형인 경우보다 표면 온도가 더 높은 O형일 때 더 많은 에너지가 공급되기 때문에 HII 영역이 더 넓어지게 된다.

09 품고 문제 분석



ㄱ. 시선 속도가 (+)로 나타나는 것은 관측자에게서 멀어지는 수소 구름이고, (-)로 나타나는 것은 관측자에게 가까워지는 수소 구름이다. A는 시선 속도가 (+)이므로 관측자로부터 멀어지고 있다.

ㄴ. 중성수소의 원자 수가 많을수록 21 cm 수소선의 세기가 강하게 나타난다. A는 B보다 21 cm 수소선의 상대 복사 세기가 강하므로 B보다 중성수소 원자 수가 더 많다.

[바로알기] ㄷ. B는 관측자보다 회전 속도가 느리기 때문에 관측자에게 가까워진다. 따라서 시선 속도 값이 (-)인 청색 이동이 관측된다.

10 ㄱ. 우리은하의 회전은 중성수소에서 방출되는 21 cm 수소선의 스펙트럼선에 나타난 도플러 이동으로부터 알아낼 수 있다.

ㄷ. (나) 영역의 속도 분포는 중심에서 멀어져도 회전 속도가 감소하지 않는다. 중심에서 먼 거리에 있는 물질의 회전이 은하 중심핵의 질량에 의한 것이라면 거리가 멀어질수록 중력이 작아지

므로 회전 속도가 감소해야 한다. 그러나 (나) 부분과 같이 회전 속도가 감소하지 않는 것은 은하 중심핵 이외에 중력이 작용하는 물질이 더 있다는 것을 의미한다. 따라서 (나) 부분의 회전 곡선으로부터 암흑 물질의 존재를 예측할 수 있다.

[바로알기] ㄴ. 케플러 회전은 은하 중심으로부터의 거리가 멀어질수록 회전 속도가 감소하는 것이다. 따라서 (가) 영역 중 케플러 회전을 하는 곳은 일부이며, 은하 중심부는 강제 회전을 하고 있다.

11 (1) 별 A는 변광 주기가 3일이고, 별 B는 변광 주기가 30일이므로 A가 B보다 절대 등급이 크다. 절대 등급이 작을수록 광도가 크므로 광도는 B가 A보다 크다.

(2) 거리지수가 클수록 별까지의 거리가 멀다.

[모범 답안] (1) A는 B보다 변광 주기가 짧으므로 절대 등급이 크다. 절대 등급이 작을수록 광도가 크므로 광도는 B가 A보다 크다.

(2) A와 B의 겉보기 등급은 같고, 절대 등급은 A가 B보다 크므로 거리지수는 A가 B보다 작다. 따라서 지구로부터의 거리는 A가 B보다 가깝다.

채점 기준	배점
(1) 광도를 옳게 비교하고, 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
광도만 옳게 비교한 경우	30 %
(2) 거리를 옳게 비교하고, 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
거리만 옳게 비교한 경우	30 %

12 (1) 성간 물질은 주로 은하 원반에 존재한다.

(2) 성간 물질에 의한 소광 현상은 주로 자외선과 가시광선 영역에서 일어난다. 적외선 영역에서는 소광량이 매우 적기 때문에 은하면에 위치한 태양계에서 우리은하를 연구하기에 적합하다.

[모범 답안] (1) 은하 원반에 성간 물질이 풍부하고, 성간 티끌이 별빛을 흡수하기 때문에 가시광선 사진에서 어둡게 보인다.

(2) 적외선은 성간 물질에 의한 소광량이 매우 적기 때문에 적외선 영역을 이용한 관측은 우리은하 연구에 적합하다.

(3) 성간 물질에 의한 성간 소광이 일어나 천체의 거리가 실제보다 멀게 관측되기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) 성간 티끌이 별빛을 흡수한다고 옳게 서술한 경우	30 %
(2) 적외선 영역에서 성간 소광량이 적기 때문이라고 옳게 서술한 경우	30 %
(3) 성간 소광과 관측된 거리를 포함하여 옳게 서술한 경우	40 %
관측된 거리만 포함하여 옳게 서술한 경우	20 %

13 관측자 A는 성간 티끌에 의한 성간 적색화 현상으로 별이 실제보다 붉게 보이고, 관측자 B는 성간 티끌에 의한 빛의 산란으로 파란색의 반사 성운을 볼 수 있다.

[모범 답안] (1) 성간 티끌에 의해 별빛의 흡수 또는 산란이 일어난다. 이때 파장이 짧은 파란색 빛이 더 많이 산란되기 때문에 관측자 A에게 도달하는 빛은 주로 붉은색이다.

(2) 성간 티끌에 의해 파장이 짧은 파란색 빛의 산란이 더 잘 일어나므로 관측자 B에게는 주로 산란된 파란색 빛이 도달한다.

채점 기준	배점
(1) 별빛이 붉게 보이는 까닭을 성간 티끌이 별빛을 흡수, 산란시키는 것과 관련지어 옳게 서술한 경우	50 %
티끌층을 별빛이 통과했기 때문이라고만 서술한 경우	20 %
(2) 성간 티끌에 의해 파란색 빛의 산란이 잘 일어난다고 서술한 경우	50 %

중단원 고난도 문제

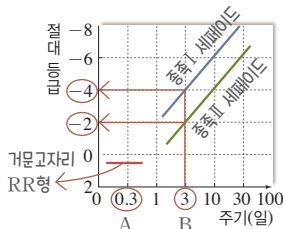
175쪽

01 ② 02 ② 03 ④ 04 ⑤

01 품gom 문제 분석

변광성	변광 주기
A	0.3일
B	3일

- A의 절대 등급: 약 0.5등급
- B의 절대 등급: -2등급 또는 -4등급



선택지 분석

- ☒ 별 A와 B는 식변광성이다. 맥동 변광성
- ☒ 절대 등급은 A가 B보다 크다.
- ☒ 별까지의 거리는 A가 B보다 멀다. 가깝다

전략적 풀이 ① 맥동 변광성은 어떤 변광성이며, 변광 주기와 광도 사이에 어떤 특성이 있는지 생각해 본다.

별 내부가 불안정하여 수축·팽창을 반복하면서 밝기가 변하는 별을 맥동 변광성이라고 한다. 맥동 변광성은 변광 주기와 광도 사이에 일정한 관계가 있다.

ㄱ. 그림과 같이 일정한 주기 광도 관계를 갖는 것은 맥동 변광성이다.

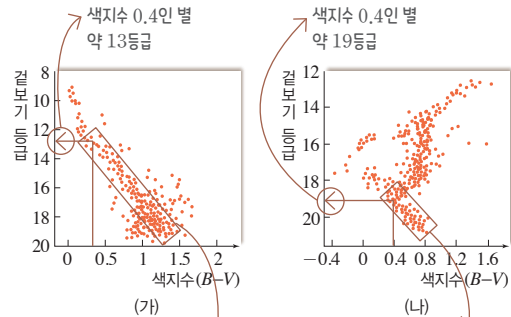
ㄴ. 맥동 변광성 중 거문고자리 RR형 변광성인 A는 변광 주기에 관계없이 절대 등급이 약 0.5등급으로 일정하다. 세페이드 변광성인 B는 변광 주기가 3일이므로 절대 등급은 -2등급 또는 -4등급이다. 따라서 절대 등급은 A가 B보다 크다.

② 별의 거리지수는 무엇이며, 이 값이 크다는 것은 어떤 의미인지를 생각해 본다.

ㄷ. 별 A와 B는 겉보기 등급이 같으므로 절대 등급이 작을수록 거리지수가 크다. 따라서 절대 등급이 더 작은 B가 A보다 거리지수가 크고 별까지의 거리가 멀다.

02 품gom 문제 분석

색지수가 같은 주계열성의 겉보기 등급은 (나)가 (가)보다 크다.
⇒ (나)까지의 거리가 더 멀다.



대부분의 별이 주계열성이다.
⇒ 산개 성단

주계열 하단에 있는 질량이 작은 별들만 주계열 단계에 있고, 대부분 주계열 단계를 벗어나 거성 단계에 있다.
⇒ 구상 성단

선택지 분석

- ☒ 파란색 주계열성의 비율은 (가)보다 (나)가 더 높다. 낮다
- ☒ 성단의 나이는 (가)보다 (나)가 더 많다.
- ☒ 성단까지의 거리는 (가)보다 (나)가 더 멀다.
- ☒ (가)와 같은 성단은 헤일로에 주로 분포한다. 나선팔

전략적 풀이 ① 별의 색과 표면 온도의 관계를 생각해 본다.

ㄱ. 주계열성에서 파란색을 띠는 별은 표면 온도가 높은 별이다. (나) 성단은 표면 온도가 낮은 주계열성만 주계열 단계에 남아 있다. 따라서 파란색 주계열성의 비율은 (나)보다 (가)가 더 높다.

② 성단을 이루는 별의 질량에 따른 진화 속도에 대해 파악하고 이를 통해 성단의 나이를 추정해 본다.

ㄴ. (가) 성단에 있는 별은 대부분 주계열 단계에 있고, 질량이 큰 별의 일부만 거성으로 진화하려고 하고 있다. (나) 성단은 주계열 하단에 있는 질량이 작은 별들만 주계열 단계에 남아 있고, 대부분 거성 단계에 있다. 따라서 성단의 나이는 (가)보다 (나)가 많다.

③ 성단의 거리지수와 함께 구상 성단과 산개 성단의 우리은하 내 분포 위치에 대해 파악한다.

ㄷ. 색지수(별의 표면 온도)가 같은 주계열성은 광도(절대 등급)가 같다. 따라서 성단까지의 거리를 비교할 때 색지수가 같은 주계열성의 겉보기 등급이 큰 성단일수록 거리지수가 커서 더 멀리 있는 성단이다. (가)와 (나) 성단에서 색지수가 같은 주계열성의 겉보기 등급이 (나)가 더 크므로 성단까지의 거리는 (나)가 더 멀다.

ㄹ. (가)와 같은 산개 성단은 우리은하의 나선팔에 주로 분포하며, (나)와 같은 구상 성단은 우리은하의 은하핵과 헤일로에 주로 분포한다.

03 품평 문제 분석

㉠은 헤일로, ㉡은 성간 물질이 많이 분포하는 은하면에 위치
 ⇒ ㉡은 ㉠보다 성간 소광이 더 잘 일어난다.



선택지 분석

- ✗ A는 ㉠이 ㉡보다 크게 나타난다. 작게
- ㄴ V 필터보다 B 필터로 관측할 때 A가 더 크다.
- ㄷ 은하 중심 방향의 별을 관측할 때 거리가 멀수록 A가 크다.

전략적 풀이 ① 성간 물질에 의해 나타나는 성간 소광의 원리에 대해 생각해 본다.

ㄱ. A는 성간 소광에 의한 겉보기 등급의 변화량이다. ㉠은 헤일로에 위치하고, ㉡은 성간 물질이 많이 분포하는 은하면에 위치하므로 ㉡은 ㉠보다 성간 소광이 더 잘 일어난다. 따라서 별의 겉보기 등급은 ㉡이 ㉠보다 더 크게 증가하므로 A의 값은 ㉡이 ㉠보다 크게 나타난다.

② 별빛의 파장과 성간 물질의 양에 따른 성간 소광량에 대해 생각해 본다.

ㄴ. B 필터는 V 필터보다 상대적으로 짧은 파장의 빛을 투과시키므로 성운을 통과해 온 긴 파장의 빛들은 V 필터보다 B 필터로 관측할 때 A가 더 크다.

ㄷ. 은하 중심 방향의 별을 관측할 때, 더 먼 거리에 위치한 별일수록 성간 물질의 영향을 더 많이 받게 되므로 A가 더 크게 나타난다.

선택지 분석

- ㉠ A 지점의 나선팔은 태양에 접근하고 있다.
- ㄴ A~D 중 중성수소가 가장 많이 분포하고 있는 영역은 B이다.
- ㄷ 은하 중심으로부터의 거리는 C 지점이 태양보다 가깝다.

전략적 풀이 ① 시선 속도의 뜻과 시선 속도가 (+) 값, (-) 값일 때의 의미를 생각한다.

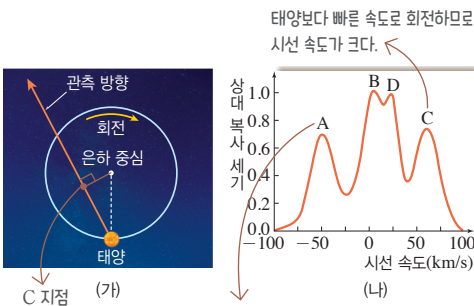
ㄱ. A 지점의 나선팔은 시선 속도가 (-) 값을 가지므로 태양에 접근하고 있다.

ㄷ. C는 시선 속도가 가장 크게 나타나는 지점이므로 태양에서 가장 빠르게 멀어지는 부분이다. 시선 방향으로 가장 빠르게 멀어지는 곳은 관측 방향의 화살표가 나선팔의 회전 궤도에서 접선이 되는 지점이므로 C 지점은 태양보다 은하 중심에서 가까운 곳이다.

② 중성수소 원자 수가 많을수록 21 cm 수소선의 복사 세기가 강하게 나타남을 이해한다.

ㄴ. 중성수소가 많이 분포하고 있을수록 21 cm 수소선의 상대적 복사 세기가 강하게 나타난다. 따라서 중성수소가 가장 많이 분포하고 있는 곳은 복사의 세기가 가장 강하게 나타난 B이다.

04 품평 문제 분석



2 은하와 우주의 구조

01 / 외부 은하의 전천 탐사

개념 확인 문제

180쪽

① 스펙트럼 ② 적색 이동 ③ 거리 ④ 전천 탐사 ⑤ 거대 공동 (보이드) ⑥ 퀘이사

1 분광 2 $\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ 3 ⑤ 4 ㉠ 적색 이동, ㉡ 방향
5 $C > B > A$ 6 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) ○

1 분광 관측은 천체에서 지구에 도달한 빛을 파장별로 분해한 스펙트럼을 관측하는 것으로, 분광 관측 자료로 은하의 운동 속도를 추정하여 은하 집단의 구조, 은하의 진화 과정 등을 이해할 수 있는 정보를 얻을 수 있다.

2 적색 이동(z)은 스펙트럼선이 고유 파장에 비해 파장이 긴 쪽으로 이동한 정도로, $\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ 로 나타낸다.

3 우주가 팽창하고 있다는 것은 은하들이 실제로 멀어지는 것이 아니라 공간 자체가 넓어지고 있다는 것이며, 공간을 진행하는 빛의 파장은 공간이 팽창한 만큼 늘어나게 된다. 우주가 지금 보다 작을 때 방출한 빛은 시간이 흐름에 따라 우주가 팽창하면서 그 파장이 길어지므로 적색 이동이 관측된다.

4 은하의 적색 이동(㉠)을 측정하여 은하의 거리를 추정하고, 은하가 관측된 방향(㉡)과 거리를 이용하면 은하의 3차원 공간 분포를 알아낼 수 있다.

5 거리가 먼 은하일수록 스펙트럼의 적색 이동이 크게 나타나므로, 은하까지의 거리는 $C > B > A$ 이다.

6 (1) 2dF 적색 이동 탐사 결과 CfA 적색 이동 탐사에서 확인한 은하 장성보다 훨씬 큰 규모의 은하 장성이 존재한다는 것을 알아냈다.

(2) 최초의 전천 탐사는 CfA 적색 이동 탐사이며, 2dF 적색 이동 탐사는 두 번째 대규모 전천 탐사이다.

(3) 슬론 전천 탐사에서는 기존의 전천 탐사에 비해 훨씬 넓고 먼 영역의 은하 분포를 확인했다.

대표 자료 분석 1

181쪽

1 30000 km/s 2 429 Mpc 3 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) ○ (4) ○ (5) $\times$

1 적색 이동 값이 크지 않기 때문에 $v_r = cz$ (c : 빛의 속도)를 이용하여 시선 속도를 구할 수 있다. 시선 속도(v_r) = 3.0×10^5 km/s $\times 0.1 = 30000$ km/s이다.

2 허블-르메트르 법칙 $v_r = H \cdot r$ (v_r : 시선 속도, H : 허블 상수, r : 은하까지의 거리)을 적용하여 은하까지의 거리를 구하면, 30000 km/s = 70 km/s/Mpc $\times r$ 로부터 은하까지의 거리(r)는 429 Mpc임을 알 수 있다.

3 (1) 은하의 스펙트럼에서 흡수선의 (관측 파장 - 고유 파장) 값이 (+)이므로, 이 은하는 우리은하로부터 멀어지고 있다.

(2) 우주의 팽창을 설명하는 허블-르메트르 법칙에 따르면, 은하까지의 거리와 시선 속도는 비례 관계이다.

(3) 적색 이동이 충분히 작을 때, $v_r = cz$ 의 관계가 성립하므로 은하의 시선 속도(v_r)와 적색 이동(z)은 비례한다.

(4) 가까운 은하의 대해서는 $H \cdot r = cz$ 의 관계가 성립하므로, 분광 관측을 통해 적색 이동(z)을 측정하고, 허블-르메트르 법칙을 활용하면 은하까지의 거리(r)를 구할 수 있다.

(5) 가까운 은하에 대해서는 $H \cdot r = cz$ 의 관계가 성립하므로, 은하까지의 거리(r)와 적색 이동(z)은 비례한다. 따라서 가까운 은하의 경우 우리은하로부터의 거리가 멀수록 적색 이동이 크다.

내신 만점 문제

182쪽-183쪽

01 ⑤ 02 ① 03 해설 참조 04 해설 참조
05 ③ 06 ② 07 ④ 08 ⑤

01 ㄱ, ㄴ. 분광 관측은 천체에서 지구에 도달한 빛을 파장별로 분해한 스펙트럼을 관측하는 것으로, 분광 관측 자료로 은하를 이루는 별, 가스, 먼지 등을 식별할 수 있다.

ㄷ. 은하의 시선 속도(v_r)와 적색 이동(z)은 비례하므로, 분광 관측을 통해 적색 이동을 측정하면 은하의 시선 속도를 구할 수 있다.

02 은하의 시선 속도(v_r)와 적색 이동(z)의 관계는 $v_r = cz$ 이고, 적색 이동(z) = $\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ 이다. 따라서 은하의 시선 속도(v_r) = $c \times \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ 이다.

03 은하의 공간 분포를 파악하기 위해서는 은하의 방향뿐만 아니라 은하까지의 거리도 알아야 하는데, 이를 위해 분광 관측을 통해 은하의 적색 이동을 측정하여 은하의 거리를 추정한다.

모범 답안 분광 관측을 통해 은하가 방출하는 빛의 적색 이동에 대한 정보를 얻을 수 있고, 이로부터 은하까지의 거리를 알 수 있기 때문이다.

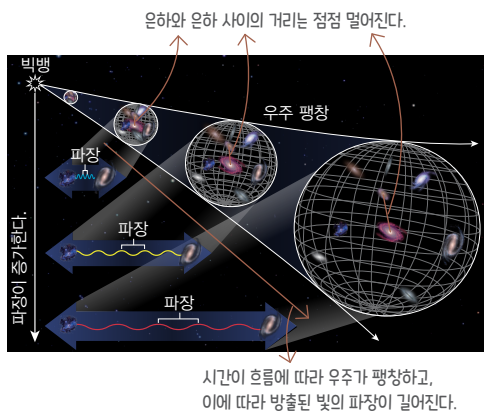
채점 기준	배점
적색 이동과 은하까지의 거리를 알 수 있다는 내용을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
적색 이동만 포함하여 서술한 경우	40 %

04 적색 이동이 충분히 작을 때, 은하의 시선 속도(v_r)와 적색 이동(z)은 비례하며, 우주 팽창에 의해 멀리 있는 은하는 더 빨리 멀어지고 있으므로 은하의 시선 속도(v_r)는 은하까지의 거리(r)에 비례한다.

모범 답안 (1) 7500 km/s, 이 은하의 시선 속도는 흡수선의 적색 이동으로부터 구할 수 있다. 은하의 시선 속도(v_r)와 적색 이동(z)의 관계는 $v_r = cz$ 이고, 적색 이동(z) = $\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ 이다. 따라서 은하의 시선 속도 (v_r) = $c \times \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = 3 \times 10^5 \text{ km/s} \times \frac{(410 - 400) \text{ nm}}{400 \text{ nm}} = 7500 \text{ km/s}$ 이다.
(2) 107 Mpc, 허블-르메트르 법칙 $v_r = H \cdot r$ (v_r : 시선 속도, H : 허블 상수, r : 은하까지의 거리)를 적용하여 은하까지의 거리를 구하면 $7500 \text{ km/s} = 70 \text{ km/s/Mpc} \times r$ 로부터 은하까지의 거리(r)는 107 Mpc임을 알 수 있다.

채점 기준	배점
(1) 시선 속도를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	50 %
시선 속도만 옳게 구한 경우	30 %
(2) 은하까지의 거리를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	50 %
은하까지의 거리만 옳게 구한 경우	30 %

05 — 곱셈 문제 분석



우주가 더 작았을 때 방출된 빛은 우주 팽창으로 파장이 길어지므로 적색 이동이 관측되고, 적색 이동이 큰 은하일수록 더 과거에 빛을 방출한 은하이므로 우리은하로부터 더 멀리 있다.

ㄱ. 우주가 팽창함에 따라 우주 공간 자체가 넓어지므로 은하와 은하 사이의 거리는 점점 멀어진다.

ㄴ. 우주가 지금보다 작을 때 은하가 방출한 빛은 시간이 흐름에 따라 우주가 팽창하면서 그 파장이 길어지므로 적색 이동이 관측된다.

바로알기 ㄷ. 적색 이동이 더 큰 은하일수록 더 과거에 빛을 방출한 은하이므로, 우리은하로부터 더 멀리 있는 은하이다.

06 ㄷ. 천체에서 나오는 빛의 파장별 스펙트럼을 분석하는 전천 탐사를 분광 탐사라고 한다.

바로알기 ㄱ. 전천 탐사는 가시광선, 적외선, 자외선, 엑스선 등 다양한 파장에서 탐사 관측을 할 수 있다.

ㄴ. 전천 탐사는 하늘의 전 지역을 탐사하는 것을 목표로 하는 관측이다.

07 ㄱ. 은하의 3차원 공간 분포를 2차원 그림으로 나타낼 때는 관측자를 중심으로 한 부채꼴 형태의 그림에 은하를 점으로 표시한다.

ㄴ. 분광 관측을 통해 은하의 적색 이동을 측정하여 은하의 거리를 추정할 수 있다.

바로알기 ㄷ. 부채꼴의 반지름 방향으로 은하의 적색 이동이 증가하며 이를 이용해 은하의 상대적인 거리를 나타낸다.

08 ㄱ. 전천 분광 탐사는 천체에서 나오는 빛의 파장별 스펙트럼을 분석하여 다양한 정보를 얻는 탐사이므로, 전천 분광 탐사를 통해 수많은 은하의 적색 이동을 동시에 측정한다.

ㄴ. 전천 분광 탐사로 은하의 적색 이동을 측정하여 은하의 거리를 추정할 수 있으므로, 은하가 관측된 방향과 거리를 이용하여 은하의 3차원 공간 분포를 알아낼 수 있다.

ㄷ. 슬론 전천 탐사(SDSS)는 대규모 다중 분광 관측을 이용한 적색 이동 탐사 계획으로, 기존의 전천 탐사에 비해 훨씬 넓고 먼 영역의 은하 분포 지도를 작성했다.

실력 UP 문제

183쪽

01 ③ 02 ④

01 ㄱ. 적색 이동 값이 크지 않기 때문에 $v_r = cz$ (c : 빛의 속도)를 이용하여 시선 속도를 구할 수 있다. 시선 속도(v_r) = $3.0 \times 10^5 \text{ km/s} \times 0.05 = 15000 \text{ km/s}$ 이다.

ㄴ. 허블-르메트르 법칙 $v_r = H \cdot r$ (v_r : 시선 속도, H : 허블 상수, r : 은하까지의 거리)을 적용하여 은하까지의 거리를 구하면, $15000 \text{ km/s} = 70 \text{ km/s/Mpc} \times r$ 로부터 은하까지의 거리(r)는 약 214 Mpc임을 알 수 있다.

바로알기 ㄷ. 이 은하는 관측 파장이 고유 파장보다 더 큰 값을 가지므로 우리은하로부터 멀어지고 있다. 따라서 우리은하와의 중력 효과보다 우주 팽창의 효과가 더 크게 나타나고 있다.

02 ㄴ. 전천 탐사 관측에서 관측 방식은 사진 촬영을 하는 영상 탐사, 스펙트럼을 얻는 분광 탐사로 구분할 수 있다.

ㄷ. 분광 관측을 통해 은하의 스펙트럼에서 적색 이동(㉔)을 측정하면 은하까지의 거리를 추정할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 전천 탐사는 지상 망원경이나 우주 망원경을 이용하여 망원경이 볼 수 있는 최대한의 하늘을 관측하려고 계획하는 탐사이다.

02 / 우주거대구조

개념확인문제

186쪽

① 은하단 ② 은하군 ③ 처녀자리 ④ 초은하단 ⑤ 우주거대구조 ⑥ 필라멘트 ⑦ 은하 장성 ⑧ 거대 공동(보이드) ⑨ 밀도 ⑩ 암흑 물질

1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ 2 (다) - (라) - (나) - (가) 3 ㄴ, ㄴ, ㄹ, ㄴ 4 A: 거대 공동, B: 은하 장성 5 (1) 은하 장성 (2) 작다 (3) 커졌다

1 (1) 은하가 수 개에서 수십 개가량 모인 가장 작은 규모의 은하 집단을 은하군이라고 하며, 은하군의 은하들은 중력에 의해 모여 있다.

(2) 은하단은 은하군보다 규모가 더 큰 집단으로, 은하가 수백 개 이상 모여 있다.

(3) 은하군과 은하단은 규모에 따라 구분하는 서로 다른 은하 집단이므로, 모든 은하군이 은하단에 속하는 것은 아니다.

(4) 처녀자리 은하단은 우리은하가 속한 국부 은하군에서 가장 가까운 은하단이다.

2 우리은하는 1개의 은하, 국부 은하군은 수 개에서 수십 개의 은하, 은하단은 수백 개에서 수천 개의 은하, 초은하단은 수백 개의 은하군과 은하단이 모여 있다. 따라서 규모가 큰 것부터 순서대로 나열하면 (다) 라니아케아 초은하단 - (라) 처녀자리 은하단 - (나) 국부 은하군 - (가) 우리은하 순이다.

3 ㄱ. 우리은하는 태양계가 속한 은하이다.

ㄴ. 국부 은하군은 우리은하를 포함한 수십 개의 은하들로 구성된 은하군이다.

ㄷ. 처녀자리 은하단은 우리은하에서 가장 가까운 은하단이지만 우리은하는 이에 속하지 않는다. 우리은하는 국부 은하군에 속하며, 국부 은하군은 처녀자리 초은하단에 포함된다.

ㄹ. 처녀자리 초은하단은 국부 은하군과 처녀자리 은하단을 포함한 약 100개 이상의 은하군과 은하단으로 이루어져 있다.

ㅁ. 라니아케아 초은하단은 처녀자리 초은하단을 포함하고 있는 규모가 훨씬 큰 초은하단이다.

4 우주거대구조에서 A는 은하들이 거의 발견되지 않는 넓은 영역인 거대 공동이고, B는 수많은 은하들로 이루어진 은하 장성이다.

5 (1) 우주 초기 밀도가 상대적으로 높은 부분에서는 시간이 지날수록 좀 더 많은 물질이 끌려들어가면서 은하, 은하단, 은하 장성 등이 만들어졌을 것으로 추정된다.

(2) 거대 공동은 은하들이 거의 발견되지 않는 넓은 영역으로, 거대 공동의 밀도는 우주의 평균 밀도보다 작다.

(3) 우주 초기에 시간이 지날수록 밀도가 높은 부분은 더 높아지고 낮은 부분은 더 낮아져 밀도 차이는 점점 더 커졌다.

대표자료분석 1

187쪽

1 A: 은하 장성, B: 거대 공동 2 (1) 우주 배경 복사 (2) 높 (3) ㉠ 암흑 물질, ㉡ 은하 장성 3 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

1 우주거대구조에서 A는 수많은 은하들로 이루어진 은하 장성이고, B는 은하들이 거의 발견되지 않는 넓은 영역인 거대 공동이다.

2 (1) 우주 배경 복사의 온도가 미세하게 불균일하게 나타나므로, 우주 초기의 밀도 분포는 불균일하였음을 알 수 있다.

(2) 우주 초기 밀도가 상대적으로 높은 지역은 시간이 지날수록 좀 더 많은 물질이 끌려들어가면서 은하, 은하단, 은하 장성 등이 만들어졌을 것으로 추정되고, 상대적으로 낮은 지역은 거대 공동이 형성되었을 것으로 추정된다.

(3) 암흑 물질(㉠)은 눈에 보이지 않지만 질량을 가지고 있으므로 중력으로 우리가 볼 수 있는 보통 물질들을 끌어당긴다. 이러한 암흑 물질이 은하들을 중력으로 끌어당겨 거대한 벽과 같은 3차원 구조인 은하 장성(㉡)이 형성되는 데 중요한 역할을 한 것으로 추정된다.

- 3 (1) A의 적색 이동이 B의 적색 이동보다 크기 때문에 관측자로부터의 거리가 더 멀다.
 (2) B는 은하들이 거의 발견되지 않는 넓은 영역인 거대 공동이다.
 (3) 그림은 처녀자리 초은하단보다 더 큰 규모인 우주거대구조를 확인할 수 있는 자료이다.
 (4) 우주거대구조에서 은하들은 은하단이나 필라멘트에 집중되어 분포하며, 대부분은 은하가 거의 없는 거대 공동이 차지하고 있다. 따라서 은하들이 차지하는 부피는 거대 공동이 차지하는 부피보다 작다.
 (5) (가)의 적색 이동은 0.04, (나)의 적색 이동은 0.08이므로 (가)와 (나) 은하에서 동일한 원소의 흡수선이 관측되었다면, (관측 파장 - 고유 파장) 값은 (나)가 (가)의 2배이다.

내신 만점문제

188쪽~189쪽

- 01 ④ 02 ③ 03 해설 참조 04 ④ 05 ⑤
 06 ③ 07 ①

01 ④ 은하군은 가장 작은 규모의 은하 집단, 은하단은 은하군보다 규모가 더 큰 집단, 초은하단은 은하군과 은하단으로 이루어진 대규모 은하 집단이다. 따라서 은하군 < 은하단 < 초은하단 순으로 규모가 커진다.

[바로알기] ① 은하군은 수 개~수십 개의 은하가 모인 가장 작은 규모의 은하 집단이고, 은하단은 수백 개~수천 개의 은하가 모여 있는 규모가 더 큰 은하 집단이다.

② 은하단을 이루는 은하들은 중력에 의해 묶여 있으므로 우주 팽창에 의해 서로 멀어지지 않는다.

③ 수십 개의 은하들이 모인 집단은 은하군이며, 은하단은 은하군보다 규모가 더 큰 집단이다.

⑤ 처녀자리 초은하단에서 은하들은 처녀자리 은하단 쪽에 집중되어 있다.

02 ㄱ. (가) 국부 은하군의 중심 은하는 우리은하와 안드로메다은하이고, (가) 국부 은하군의 질량의 중심은 두 은하 사이에 있다.

ㄴ, (나) 처녀자리 초은하단에 속한 은하단들은 중력에 의해 강하게 묶여 있지 않으므로 우주 팽창에 의해 서로 멀어지고 있다.

[바로알기] ㄷ, (나)의 처녀자리 은하단은 (가) 국부 은하군을 포함하지 않으며, 각각 독립된 형태로 처녀자리 초은하단을 구성하고 있다.

03 국부 은하군의 중심 은하는 우리은하와 안드로메다은하이고, 국부 은하군의 질량의 중심은 두 은하 사이에 있다. 처녀자리 초은하단의 중심은 처녀자리 은하단이고, 국부 은하군은 처녀자리 초은하단의 주변부에 위치한다.

[모범 답안] 우리은하는 국부 은하군에 속하며, 국부 은하군은 처녀자리 초은하단의 주변부에 위치한다.

채점 기준	배점
국부 은하군과 처녀자리 초은하단에서의 위치를 옳게 서술한 경우	100 %
국부 은하군에 속하고, 처녀자리 초은하단에 속한다고만 서술한 경우	50 %

04 ㄱ. 우주거대구조는 우주에 분포하는 은하들이 모여 형성한 큰 규모의 구조로, 현대 우주론에서는 우주거대구조를 우주 진화의 초기 단계 흔적으로 보고 있다.

ㄴ. 필라멘트는 은하가 수십 Mpc이 넘는 선 모양으로 연결된 구조이며, 필라멘트가 서로 만나는 지점에는 규모가 큰 초은하단이 분포하기도 한다.

ㄷ. 우주거대구조는 암흑 물질의 중력에 의해 은하들이 모여 형성되었을 것으로 추정된다.

[바로알기] ㄹ. 거대 공동(보이드)은 그물 모양의 필라멘트 사이에 은하들이 거의 발견되지 않는 넓은 영역이므로, 은하의 밀도가 매우 낮은 공간이다.

05 (가)는 은하단, (나)는 우주거대구조, (다)는 은하이다.

ㄴ. 은하는 우주의 구조를 형성하는 기본 천체로, (나) 우주거대구조에서 작은 점들은 은하에 해당한다.

ㄷ. (가) 은하단은 (다) 은하가 수십 개가량 모인 은하군보다 규모가 더 큰 집단이며, (나) 우주거대구조는 우주에 분포하는 은하들이 모여 형성한 큰 규모의 구조로, 우주에서 볼 수 있는 최대 규모의 구조이다. 따라서 공간 규모가 작은 것부터 순서대로 나열하면 (다) 은하 - (가) 은하단 - (나) 우주거대구조 순이다.

[바로알기] ㄱ. (가)는 은하가 수백 개 이상 모인 은하단으로, 은하군보다 규모가 더 크다.

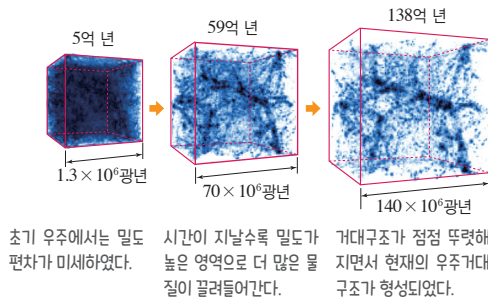
06 ① 우주거대구조는 수많은 은하가 거미줄처럼 연결되어 있어 우주 거미줄이라고 표현하기도 한다.

②, ④ 거대 공동(B)은 그물 모양의 필라멘트 사이에 은하들이 거의 발견되지 않는 넓은 영역이다.

⑤ 은하가 그물처럼 얽혀 있는 지점에 규모가 큰 초은하단이 분포하기도 한다.

[바로알기] ③ A는 은하가 벽 또는 면처럼 연결된 은하 장성이다. 은하 장성(A)은 초기 우주의 밀도가 상대적으로 높은 지역에서 시간이 지날수록 많은 물질이 끌려들어가면서 만들어졌을 것으로 추정된다.

07 품공 문제 분석



ㄱ. 시간에 따라 물질이 분포하는 공간의 크기가 커지고 있으므로, 우주는 팽창하고 있다.

[바로알기] ㄴ. 우주 초기 밀도가 상대적으로 높은 지역은 시간이 지날수록 좀 더 많은 물질이 끌려들어가면서 은하, 은하단, 은하장성 등이 만들어졌을 것으로 추정된다.

ㄷ. 초기 우주의 밀도 분포는 미세한 차이가 있었지만, 미세한 밀도 편차가 중력 수축으로 이어지면서 물질이 밀집되는 곳과 상대적으로 물질이 적은 곳의 밀도 차이가 점점 커지게 되었다.

실력 UP 문제

189쪽

01 ① 02 ⑤

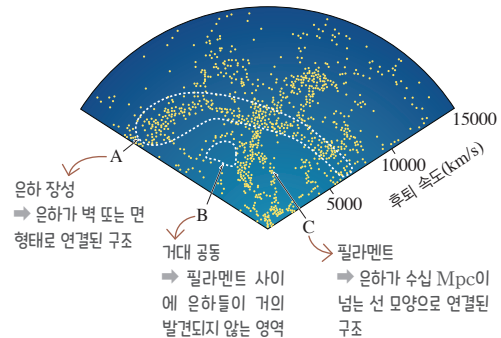
01 (가)는 처녀자리 초은하단, (나)는 처녀자리 은하단, (다)는 국부 은하군이다.

ㄱ. 국부 은하군은 수 개에서 수십 개의 은하, 은하단은 수백 개에서 수천 개의 은하, 초은하단은 수백 개의 은하군과 은하단이 모여 있다. 따라서 공간 규모가 가장 큰 은하 집단은 (가) 처녀자리 초은하단이다.

[바로알기] ㄴ. (나) 처녀자리 은하단의 구성 은하들은 중력에 의해 묶여 있으므로 우주 팽창에 의해 서로 멀어지지 않는다.

ㄷ. (다) 국부 은하군은 우리은하와 안드로메다은하가 대부분의 질량을 차지하며, 전체 질량은 우리은하 질량의 몇 배 정도로 추정된다. 따라서 (다) 국부 은하군의 질량은 우리은하 질량의 100 배인 $10^{14} M_{\odot}$ 보다 훨씬 작다.

02 품공 문제 분석



ㄱ. 암흑 물질은 은하들을 중력으로 끌어당겨 우주거대구조를 형성한다. 따라서 암흑 물질의 밀도는 은하들의 밀도가 가장 높은 은하장성(A)에서 가장 높다.

ㄴ. 거대 공동(B)은 필라멘트(C) 사이에 은하들이 거의 발견되지 않는 넓은 영역이므로, 은하의 밀도가 매우 낮다. 우주가 팽창함에 따라 밀도가 상대적으로 높은 지역은 은하들이 계속 성장하고, 밀도가 상대적으로 낮은 지역은 점점 더 빈 공간으로 남게 되므로 우주가 팽창함에 따라 거대 공동(B)은 더 넓어질 것이다.

ㄷ. 대부분의 은하들은 필라멘트(C) 구조를 따라 분포하며, 필라멘트(C)가 서로 만나는 지점에는 규모가 큰 초은하단이 분포하기도 한다.

중단원 핵심 정리

190쪽

- ① 스펙트럼 ② 거리 ③ 천전 탐사 ④ 적색 이동 ⑤ CfA
⑥ 슬론 ⑦ 국부 은하군 ⑧ 초은하단 ⑨ 처녀자리 ⑩ 은하장성 ⑪ 거대 공동

중단원 마무리 문제

191쪽~192쪽

- 01 ⑤ 02 ② 03 A → D → B → C 04 ③ 05 ②
06 해설 참조 07 해설 참조 08 해설 참조
09 해설 참조

01 ㄱ. 천체에서 지구에 도달한 빛을 파장별로 분해한 스펙트럼을 관측하는 것을 분광 관측이라고 한다.

ㄴ. 우주가 지금보다 작을 때 방출한 빛은 시간이 지남에 따라 우주가 팽창하면서 그 파장이 길어지므로 적색 이동이 관측된다. 적색 이동이 큰 은하일수록 더 과거에 빛을 방출한 은하이므로, 우리은하로부터 더 멀리 있는 은하이다.

ㄷ. 전천 탐사는 망원경이 볼 수 있는 최대한의 하늘을 관측하려고 계획하는 탐사로, 전천 탐사를 통해 하늘의 다양한 방향에 위치한 은하들의 적색 이동을 측정하여 은하의 방향과 거리를 추정하면 은하의 공간 분포를 파악할 수 있다.

02 ㄴ. 은하단은 수백 개에서 수천 개의 은하, 초은하단은 수백 개의 은하군과 은하단이 모여 있다. 따라서 처녀자리 초은하단(A)은 처녀자리 은하단(B)보다 구성 은하 수가 많다.

[바로알기] ㄱ. 은하들이 연결되어 분포해 있는 은하 장성이 발견되면서 초은하단보다 더 큰 구조가 존재한다는 사실이 밝혀졌다. 우주거대구조는 우주에 분포하는 은하들이 모여 형성한 큰 규모의 구조로, 우주에서 볼 수 있는 최대 규모의 구조이다.

ㄷ. 은하단은 은하군보다 큰 규모의 집단일 뿐, 은하군이 모여 은하단을 이루는 것은 아니다.

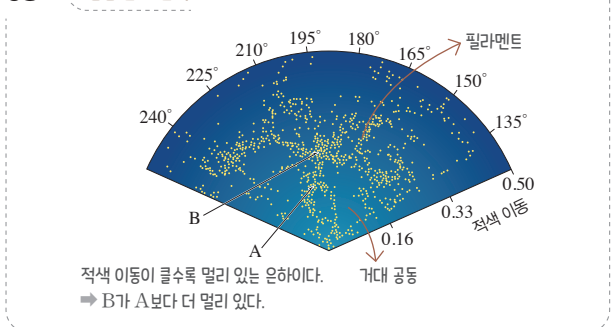
03 A는 수만 개~수백만 개의 별이 모여 이루어진 천체로 은하의 구성원인 성단, B는 수백 개~수천 개의 은하가 모인 은하단, C는 우주에서 볼 수 있는 최대 규모의 구조인 우주거대구조, D는 성단과 성간 물질 등으로 이루어진 은하이다.

04 ㄱ. 우주 배경 복사의 온도가 높은 영역은 초기 우주에서 밀도가 더 높았던 영역에 해당하며, 이러한 영역은 중력이 더 크게 작용하여 주변 물질을 끌어 모았으므로 물질이 상대적으로 많이 모여 있던 곳이다.

ㄴ. 우주 배경 복사에 의하면 초기 우주의 밀도 분포에 미세한 차이가 있었으며, 밀도가 상대적으로 높은 부분에서는 중력에 의해 더 많은 물질이 끌려들어가면서 은하와 별 등이 형성되었다.

[바로알기] ㄷ. 최초의 은하는 초기 우주에서 상대적으로 밀도가 높은 지역에서 시간이 지날수록 좀 더 많은 물질이 끌려들어가면서 만들어졌을 것으로 추정된다.

05 — 토픽 문제 분석



ㄷ. 우주 배경 복사에 의하면 초기 우주의 밀도 분포에 미세한 차이가 있었으며, 이 밀도 차이가 중력에 의해 점차 커져 우주거대구조를 형성하였다.

[바로알기] ㄱ. 우주 공간의 대부분은 은하가 거의 없는 거대 공동이 차지하고 있으며, 은하들은 필라멘트나 은하 장성 등의 구조를 따라 분포한다.

ㄴ. 적색 이동이 클수록 거리가 먼 은하이므로, 은하 A보다 적색 이동이 큰 은하 B가 관측자로부터 더 멀리 있다.

06 **[모범 답안]** 전천 탐사, 전천 탐사 중 분광 탐사는 천체에서 나오는 빛의 파장별 스펙트럼을 분석하여 탐사하는 방법이다.

채점 기준	배점
전천 탐사를 쓰고, 분광 탐사에 대해 옳게 서술한 경우	100 %
분광 탐사에 대해서만 옳게 서술한 경우	70 %
전천 탐사라고만 쓴 경우	30 %

07 은하군이나 은하단에 속한 은하들은 중력에 의해 모여 있으므로 우주가 팽창하더라도 서로 멀어지지 않는다.

[모범 답안] 국부 은하군에 속한 은하들은 우주 팽창보다 서로의 중력에 의한 영향이 더 우세하게 작용하므로, 우주 팽창에 의해 멀리 있는 은하가 더 빠르게 멀어지고 있다는 허블-르메트르 법칙을 적용하기 어렵다.

채점 기준	배점
우주 팽창과 중력의 내용을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
중력에 대한 내용만 포함하여 옳게 서술한 경우	50 %

08 우주 배경 복사에 의하면 초기 우주의 밀도 분포에 미세한 차이가 있었으며, 시간이 지날수록 밀도 차이가 중력에 의해 점차 커져 우주거대구조를 형성하였다.

[모범 답안] 우주 배경 복사가 균일하지 않은 까닭은 초기 우주의 밀도 분포에 미세한 차이가 있었음을 의미하며, 시간이 지나 우주가 팽창함에 따라 밀도 차가 커져 별과 은하가 만들어졌다.

채점 기준	배점
우주 배경 복사가 균일하지 않은 까닭과 은하 형성에 미친 영향을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
우주 배경 복사가 균일하지 않은 까닭과 은하 형성에 미친 영향 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

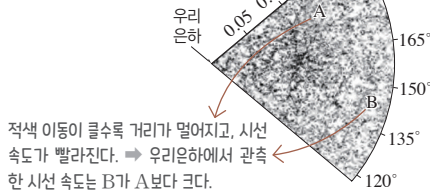
09 **[모범 답안]** 초은하단과 거대 공동은 중력보다 우주 팽창의 영향을 더 크게 받는 규모이다. 따라서 먼 미래에는 초은하단을 이루는 은하군이나 은하단들은 서로 멀어져 흩어지고, 거대 공동의 규모는 현재보다 더 커질 것이다.

채점 기준	배점
초은하단과 거대 공동의 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
초은하단과 거대 공동의 변화 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

01 ② 02 ③

01 품뚫 문제 분석

우주에 분포하는 수많은 은하들이 모여 거대한 구조를 이루고 있다. → 우주거대구조



선택지 분석

- ☒ A와 B는 같은 은하군에 속한다. **다른**
- ☒ 우리은하에서 관측한 시선 속도는 B가 A보다 크다.
- ☒ 우주가 팽창해도 우주거대구조의 형태는 **변하지 않는다**.

전략적 풀이 ① 은하군과 우주거대구조의 규모를 비교한다.

ㄱ. 은하군은 가장 작은 규모의 은하 집단이며, 외부 은하들의 분포를 나타낸 그림은 우주에서 볼 수 있는 최대 규모의 구조인 우주거대구조의 일부이다. 따라서 A와 B는 서로 매우 먼 거리에 떨어져 있으므로 같은 은하군으로 보기 어렵다.

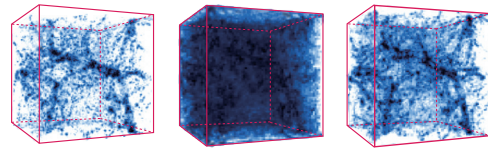
② 적색 이동과 은하의 시선 속도 및 거리의 관계를 파악한다.

ㄴ. 적색 이동이 충분히 작을 때, 은하의 시선 속도는 적색 이동에 비례한다. 적색 이동은 B가 A보다 크기 때문에 우리은하에서 관측한 시선 속도는 B가 A보다 크다.

③ 우주 팽창이 우주거대구조에 미치는 영향을 파악한다.

ㄷ. 우주거대구조의 형태는 우주가 팽창함에 따라 조금씩 변한다.

02 품뚫 문제 분석



(가) 거대구조가 점점 뚜렷해지면서 현재의 우주거대구조가 형성되었다.
(나) 초기 우주에서는 밀도 편차가 미세하였다.
(다) 시간이 지날수록 밀도가 높은 영역으로 더 많은 물질이 끌려들어간다.

- 우주거대구조의 형성 순서: (나) → (다) → (가)
- 밀도가 상대적으로 높은 지역: 은하, 은하단 등 형성
- 밀도가 상대적으로 낮은 지역: 거대 공동 형성

선택지 분석

- ☒ 우주거대구조의 형성 순서는 (나) → (다) → (가)이다.
- ☒ 우주 초기에 밀도가 상대적으로 **높은** 지역에는 거대 공동이 형성되었을 것이다. **낮은**
- ☒ 암흑 물질은 우주거대구조의 형성 과정에 영향을 미쳤을 것이다.

전략적 풀이 ① 시간에 따른 우주의 밀도 변화를 파악한다.

ㄱ. 초기 우주의 밀도 분포는 미세한 차이가 있었지만, 미세한 밀도 편차가 중력 수축으로 이어지면서 물질이 밀집되는 곳과 상대적으로 물질이 적은 곳의 밀도 차이가 점점 커지게 되었고, 현재의 우주거대구조가 형성되었다. 따라서 우주거대구조의 형성 순서는 (나) → (다) → (가)이다.

② 우주 초기의 밀도 차이가 우주거대구조 형성에 미치는 영향을 파악한다.

ㄴ. 우주 초기에 밀도가 상대적으로 높은 지역에는 시간이 지날수록 많은 물질이 끌려들어가면서 은하단, 은하 장성과 같은 구조가 형성되었고, 밀도가 상대적으로 낮은 지역에는 거대 공동이 형성되었을 것으로 추정된다.

③ 암흑 물질이 우주거대구조의 형성에 미치는 영향을 파악한다.

ㄷ. 암흑 물질의 중력에 의해 은하들이 모여 우주거대구조가 형성되었을 것으로 추정된다.