HIGH TOP

3권

지구 과학

정답과 해설

III 태양계 천체와 별과 우주의 진화

1 태양계 천체

01 태양-달-지구 시스템에서의 식현상

중요 개념 체크

10쪽 **1** (1) ○ (2) × **2** 거의 같다
12쪽 **1** (1) × (2) ○ **2** 금환
14쪽 **1** (1) ○ (2) × **2** 대기
15쪽 **1** 서쪽, 동쪽 **2** 교점

탐구 확인 문제 16쪽

1 ㄷ **2** 해설 참조

1 ㄷ. 월식은 달이 보이는 지역이라면 관측 장소에 관계 없이 같은 시각에 시작하고 끝난다.

바로알기 ㄱ. 일식은 협정세계시 기준으로 서쪽 지역에서 먼저 시작하고 먼저 끝난다.

ㄴ. 일식은 달이 지구 주위를 서쪽에서 동쪽으로 공전하며 태양을 가리기 때문에 태양의 서쪽부터 가려지고, 서쪽부터 다시 드러난다.

2 남반구에서 하늘을 바라보면 북반구와 반대로 보이므로, 관측자 기준에서는 왼쪽과 오른쪽이 바뀌어 보인다. 즉, 태양이 위치한 북쪽 하늘을 바라봤을 때 오른쪽이 동쪽, 왼쪽이 서쪽이다.

모범답안 북반구와 마찬가지로 남반구에서도 달은 서쪽에서 동쪽으로 이동하며 지구의 그림자에 들어간다. 이때 달의 동쪽 부분부터 가려지기 시작하고, 월식이 끝날 때도 동쪽 부분부터 드러난다. 하지만 남반구에서는 하늘을 보는 시야가 북반구와 반대이므로, 달의 동쪽이 관측자 기준 오른쪽에 위치하게 된다. 따라서 남반구에서는 달의 오른쪽부터 어두워지고, 다시 오른쪽부터 밝아지는 것처럼 보인다.

채점 기준	배점(%)
남반구에서 월식이 일어날 때 달의 모습을 북반구와 비교하여 옳게 서술한 경우	100
달이 동쪽부터 가려지고 동쪽부터 드러난다고만 서술한 경우	50

개념 기본 문제 18쪽~19쪽

01 ㉠ 본그림자, ㉡ 반그림자 **02** ㄱ **03** ㄱ, ㄴ
04 겉보기 크기(시지름) **05** ㉠ 서쪽에서 동쪽, ㉡ 서쪽
06 ㄱ **07** ㉠ 긴, ㉡ 굴절 **08** ㄴ, ㄹ **09** (1) A: 개기일식, B: 부분일식 (2) a: 부분월식, b: 개기월식, c: 반영식
10 a **11** (다)−(나)−(가) **12** ㉠ 5, ㉡ 교점

01 광원에서 오는 빛이 완전히 차단되어 생기는 그림자는 본그림자, 광원에서 오는 빛이 일부만 차단되어 생기는 그림자는 반그림자이다.

02 ㄱ. 지구의 본그림자 안에 위치하는 A 지점에서는 태양이 완전히 가려지는 개기일식이 관측된다.

바로알기 ㄴ. 지구의 반그림자 안에 위치하는 B 지점에서는 태양의 일부만 가려지는 부분일식이 관측된다.

ㄷ. 지구의 본그림자가 닿지 않는 금환영 안에 위치하는 C 지점에서는 태양의 가장자리만 보이는 금환일식이 관측된다.

03 그림은 태양의 광구가 완전히 가려지고, 태양의 대기층이 보이는 개기일식 때의 모습이다.

ㄱ. 일식은 달이 태양과 지구 사이에 위치하는 삭일 때 일어날 수 있다.

ㄴ. 개기일식은 달의 시지름이 태양보다 크거나 같을 때, 달이 태양을 완전히 가리면서 일어난다.

바로알기 ㄷ. 일식은 태양, 달, 지구의 순서로 일직선상에 놓일 때, 달이 태양을 가려 지구의 일부 지역에서 태양이 보이지 않는 현상이다.

04 혼성일식은 지구 곡률에 의해 관측자의 위치가 달라져 태양과 달의 겉보기 크기(시지름)가 달라질 때 일어난다. 또는, 달의 공전 궤도 이심률 때문에 한 일식 동안 지구와 달 사이의 거리가 변하여 일어날 수 있다.

05 지구의 자전 속도보다 달의 공전에 의해 달 그림자가 지구 표면을 따라 이동하는 속도가 더 빠르다. 따라서 달 그림자는 지구 표면을 따라 서쪽에서 동쪽으로 이동하며, 일식은 서쪽에 있는 지역에서 먼저 시작된다.

06 ㄱ. (가)는 달이 어두운 붉은색으로 보이는 개기월식의 모습으로, 달이 지구의 본그림자 안에 완전히 들어갔을 때 나타난다.

바로알기 ㄴ. (나)는 달의 일부가 보이지 않는 부분월식의

모습으로, 달이 지구의 본그림자에 일부만 들어가 있을 때 달의 일부가 가려져 나타난다.

ㄷ. (다)는 달의 밝기가 평소보다 조금 감소하는 반영식의 모습으로, 달이 지구의 반그림자 안에만 있을 때 나타난다.

07 태양 빛이 지구의 대기를 통과할 때, 파장이 긴 붉은색 빛은 파장이 짧은 파란색 빛에 비해 상대적으로 적게 산란한다. 이후 이 빛은 지구의 대기에서 굴절하여 달의 표면에 도달하며, 달은 이 빛을 반사하여 어두운 붉은색으로 보인다.

08 ㄴ. 일식은 달의 위상이 삭인 음력 1일경, 월식은 달의 위상이 망인 음력 15일경에 일어날 수 있다.

ㄹ. 월식은 태양, 지구, 달의 순서로 일직선상에 놓일 때, 달이 지구의 그림자 안으로 들어가 가려지는 현상이다.

바로알기 ㄱ. 일식이 일어날 때 달의 위상은 삭이며, 월식이 일어날 때 달의 위상은 망이다.

ㄷ. 일식은 달이 태양을 가려 지구의 일부 지역에서 태양이 보이지 않는 현상이다.

09 태양, 달, 지구의 순서로 일직선상에 놓일 때 일식이 일어나며, 태양, 지구, 달의 순서로 일직선상에 놓일 때 월식이 일어난다.

(1) A 지점은 달의 본그림자 안에 위치하므로, 개기일식을 관측할 수 있다. B 지점은 달의 반그림자 안에 위치하므로, 부분일식을 관측할 수 있다.

(2) 달이 a 지점에 있을 때는 달의 일부가 지구의 본그림자 안에 있으므로, 지구에서는 부분월식을 관측할 수 있다. 달이 b 지점에 있을 때는 달 전체가 지구의 본그림자 안에 있으므로, 지구에서는 개기월식을 관측할 수 있다. 달이 c 지점에 있을 때는 지구의 반그림자 안에만 있으므로, 지구에서는 반영식을 관측할 수 있다.

10 달은 지구 주위를 서쪽에서 동쪽으로 공전한다. 따라서 일식이 진행될 때 달은 서쪽에서 동쪽으로 이동하며 태양의 서쪽부터 가리기 시작하고, 끝날 때는 태양의 서쪽부터 드러나며 끝난다.

11 월식이 진행될 때 달은 서쪽에서 동쪽으로 이동하며 지구의 그림자로 들어간다. 따라서 달의 동쪽부터 지구의 그림자로 들어가 어두워지기 시작하며, 끝날 때는 달의 동쪽부터 다시 밝아지며 끝난다.

12 달의 공전 궤도면은 지구의 공전 궤도면에 대해 약 5° 기울어져 있어, 달이 삭이나 망일 때 교점 근처에 위치해야만 식현상이 일어난다.

개념 적용 문제

20쪽~23쪽

01 ④ 02 ① 03 ⑤ 04 ② 05 ② 06 ②
07 ③ 08 ⑤

01 (가)는 태양의 가장자리가 밝게 남아 고리 형태를 보이는 금환일식, (나)는 태양의 일부분이 달에 가려진 부분일식, (다)는 태양의 광구가 모두 가려진 개기일식의 모습이다.

ㄴ. 부분일식은 관측자가 달의 반그림자 안에 있을 때 관측할 수 있는 현상이다.

ㄷ. 개기일식은 달의 시지름이 태양의 시지름보다 크거나 같아 태양의 광구를 모두 가릴 수 있을 때 일어난다.

바로알기 ㄱ. 금환일식은 달의 본그림자가 지구에 닿지 않아 달의 시지름이 태양의 시지름보다 작을 때 나타나는 현상이다. 달의 본그림자가 지표면에 닿는 지역에서는 개기일식을 관측할 수 있다.

02 그림은 혼성일식이 일어났을 때 지구와 달의 위치를 나타낸 것이다. 달이 A와 C 지점에 있을 때는 달의 본그림자가 지구 표면에 닿지 않으므로, 금환일식이 관측된다. 달이 B 지점에 있을 때는 달의 본그림자가 지구 표면에 닿으므로, 개기일식이 관측된다.

ㄱ. 관측 결과를 보면 대서양에서는 태양의 광구가 완전히 가려졌으므로, 개기일식이 관측된다. 따라서 이때 달은 B 지점에 있다.

바로알기 ㄴ. 태평양에서는 태양의 가장자리가 고리 형태로 보이는 금환일식이 관측된다. 따라서 이 지역에는 달의 본그림자가 닿지 않고, 금환영이 드리운다.

ㄷ. 아프리카에서는 태양의 가장자리가 고리 형태로 보이는 금환일식이 관측된다. 따라서 달의 시지름이 태양의 시지름보다 작다.

03 ㄱ. 이날 지구에서는 개기일식이 관측되므로, 달은 태양과 지구 사이에 있는 삭에 위치한다.

ㄴ. 지구의 자전 속도보다 달의 공전에 의해 달의 그림자가 지구 표면을 따라 이동하는 속도가 더 빠르므로, 달 그림자는 지구 표면을 따라 서쪽에서 동쪽으로 이동한다. 따라서 이날 일식은 (가) → (나) → (다)의 순서로 진행되었다.

ㄷ. 달 그림자의 이동 방향을 보면, 이날 우리나라에는 달의 본그림자와 반그림자가 모두 지나간다. 따라서 우리나라에서는 개기일식과 부분일식을 모두 관측할 수 있다.

04 ㄷ. 월식은 지역에 따라 관측 결과가 달라지지 않고, 달이 지구의 그림자를 통과하는 동안 밤이 되는 지역에서 모두 같은 종류의 월식이 관측된다.

바로알기 ㄱ. 달이 A에 위치할 때, 달은 지구의 반그림자 안에만 들어가 있다. 따라서 달의 밝기만 평소보다 조금 감소하는 반영식이 나타난다.

ㄴ. 달이 B에 위치할 때, 달은 지구의 본그림자 안에 완전히 들어가 있으므로 개기월식이 나타난다. 개기월식 때 달은 완전히 어두워지지 않고 표면이 붉게 보인다.

05 ㄴ. 달이 b에 위치할 때, 달은 지구의 본그림자 안에 들어가 있다. 따라서 지구에서는 개기월식이 관측된다.

바로알기 ㄱ, ㄷ. 달이 a와 c에 위치할 때, 달은 지구의 반그림자 안에만 들어가 있다. 따라서 지구에서는 달의 밝기가 평소보다 조금 감소하는 반영식이 관측된다. 달 전체가 붉게 보이는 모습은 개기월식 때 나타난다.

06 식현상은 달의 위상이 삭과 망일 때 일어날 수 있는데, 반드시 일어나지는 않는다. 달의 공전 궤도면은 지구의 공전 궤도면에 약 5° 기울어져 있어, 달이 삭이나 망일 때 교점 근처에 위치해야만 식현상이 일어난다.

ㄴ. 지구와 달의 위치가 C일 때는 달의 위상이 망이고 교점 부근에 위치한다. 따라서 지구에서는 개기월식을 관측할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 지구와 달의 위치가 A와 B일 때 달의 위상은 삭이다. 하지만, 지구와 달의 위치가 B일 때는 달이 교점 부근에 위치하지 않아 일식이 일어나지 않는다.

ㄷ. 지구와 달의 위치가 D일 때 달의 위상은 망이다. 하지만, 달이 교점 부근에 위치하지 않아 월식이 일어나지 않는다. 따라서 달은 지구의 본그림자 안에 위치하지 않는다.

07 ㄱ. 달 그림자는 지구 표면을 따라 서쪽에서 동쪽으로 이동하므로, 일식은 서쪽에 있는 지역에서 먼저 시작된다. 따라서 일식은 A 지역에서 먼저 관측되고, 이후 B 지역에서 관측된다.

ㄴ. 태양이 최대로 가려지는 비율이 100 %인 선이 지나가는 곳이 바로 본그림자가 지나가는 경로이다. 우리나라는 본그림자가 지나가지 않으므로, 10시 30분과 11시 사이에 부분일식이 관측된다.

바로알기 ㄷ. 일식은 태양을 중심으로 달이 서쪽에서 동쪽으로 이동하면서 일어난다. 따라서 우리나라에서 일식이 일어나기 전인 10시에는 달이 태양보다 서쪽에 있으며, 이후 일식이 일어나면서 점차 동쪽으로 이동하여 일식이 끝난 12시에는 달이 태양보다 동쪽에 있다.

08 ㄱ. 관측 기록을 보면 달 전체가 어둡고 붉은색으로 보이는 개기월식이 일어났다는 것을 알 수 있다. 따라서 이날 태양, 지구, 달의 순서로 일직선상에 놓인다.

ㄴ. 22시 23분에 달 전체가 어둡고 붉은색으로 보이는 개기월식이 일어났고, 23시 12분에 달의 왼쪽 아래가 다시 밝아지기 시작한다. 따라서 이 사이에 달은 지구의 본그림자 안에 위치한다.

ㄷ. 월식이 일어날 때, 달은 지구 주위를 서쪽에서 동쪽으로 공전하며 지구의 그림자 안으로 들어간다. 따라서 달은 개기월식이 시작되기 전인 22시보다 개기월식이 진행되고 있는 23시에 공전 궤도에서 더 동쪽에 위치한다.

02 태양계 행성의 겉보기 운동

중요 개념 체크

24쪽 **1** 동쪽 **2** 이각

27쪽 **1** (1) ○ (2) × **2** 충

29쪽 **1** (1) × (2) ○ **2** 내합, 충

탐구 확인 문제 30쪽

1 ㄴ **2** 해설 참조

1 ㄴ. 외행성은 지구보다 느리게 공전하며, 충 부근에서 지구가 외행성을 추월할 때 역행이 관측된다.

바로알기 ㄱ. 내행성은 지구보다 빠르게 공전하며, 내합 부근에서 내행성이 지구를 추월할 때 역행이 관측된다.

ㄷ. 행성의 공전 속도가 빠를수록 안쪽 행성이 바깥쪽 행성을 추월하는 시간이 짧아져 역행하는 기간이 짧아진다.

2 행성의 이각이 클수록 태양과의 각거리가 커 관측할 수 있는 시간이 길어진다.

모범답안 행성은 이각의 크기에 따라 관측 가능한 시간이 달라진다. 내행성은 역행할 때 내합 부근에 있으므로, 초저녁이나 새벽에만 관측할 수 있다. 반면, 외행성은 역행할 때 충 부근에 있으므로, 초저녁과 새벽 뿐만 아니라 한밤중에도 관측할 수 있다.

채점 기준	배점(%)
지구에서 내행성과 외행성의 역행을 관측할 수 있는 시간을 모두 옳게 서술한 경우	100
지구에서 내행성과 외행성의 역행을 관측할 수 있는 시간 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50

개념 기본 문제

31쪽~32쪽

01 ㄱ **02** B **03** ㉠ 빨라, ㉡ 동방, ㉢ 서방 **04** ㄱ, ㄴ
05 ㉠ 상현, ㉡ 하현 **06** ㉠−㉣−㉢−㉡ **07** ㄴ, ㄷ
08 수성: 외합, 금성: 동방 최대이각, 화성: 서구 **09** 화성
10 ㄱ, ㄷ **11** (1) B~D (2) B, D **12** ㉠ 내합, ㉡ 충

01 ㄱ. 내행성이 내합과 외합에 위치할 때 이각은 0°이다.
바로알기 ㄴ. 내행성이 내합 부근에 위치할 때는 초승달이나 그믐달 모양으로 관측된다. 내행성이 외합 부근에 위치할 때 보름달에 가까운 모양으로 관측된다.
ㄷ. 내행성이 태양보다 동쪽에 위치할 때는 초저녁에 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다.

02 북반구에서 내행성의 위상은 태양의 동쪽에 있을 때 오른쪽, 서쪽에 있을 때 왼쪽이 밝다. 따라서 오른쪽이 밝은 상현달 모양은 내행성이 동방 최대이각(B)에 있을 때 나타난다.

03 내행성은 지구보다 공전 속도가 빠르므로, 지구와의 위치 관계가 시계 반대 방향인 외합 → 동방 최대이각 → 내합 → 서방 최대이각 순으로 변한다.

04 ㄱ. 외행성이 구에 위치할 때, 이각은 90°이다.
ㄴ. 외행성이 충에 있을 때는 태양의 반대편에 위치하므로, 초저녁부터 새벽까지 밤중에 계속 관측이 가능하다.
바로알기 ㄷ. 외행성은 지구보다 공전 궤도의 크기가 크기 때문에, 반달보다 큰 위상만 나타난다. 외행성이 합과 동구 사이에 위치할 때는 상현달에서 보름달 사이의 위상 변화가 나타난다.

05 외행성은 지구에서 관측할 때, 태양보다 동쪽에 위치할 때는 상현달에서 보름달, 서쪽에 위치할 때는 보름달에서 하현달 사이의 위상 변화가 나타난다.

06 외행성은 지구보다 공전 속도가 느리므로, 지구와의 위치 관계가 시계 방향인 합(㉠) → 서구(㉣) → 충(㉢) → 동구(㉡) 순으로 변한다.

07 ㄴ. 내행성의 겉보기 크기는 내합에 가까울수록 크고, 외합에 가까울수록 작다.
ㄷ. 외행성의 겉보기 크기는 합에 가까울수록 작고, 충에 가까울수록 크다.
바로알기 ㄱ. 내행성은 지구보다 공전 궤도의 크기가 작기 때문에 이각이 0°에서 최대이각 사이에서 변한다. 반면, 외행성은 지구보다 공전 궤도의 크기가 크기 때문에 이각이 0°에서 180°까지 나타날 수 있다. 따라서 이각의 최댓값은 외행성이 내행성보다 크다.

08 수성은 수성−태양−지구의 순서로 같은 방향에 위치하므로 외합에 있다. 금성은 태양의 동쪽으로 이각이 가장 큰 곳에 위치하므로 동방 최대이각에 있다. 화성은 태양의 서쪽으로 직각 방향인 곳에 위치하므로 서구에 있다.

09 이날 금성은 서방 최대이각에, 화성은 충에 위치한다. 행성의 이각이 클수록 관측 가능 시간이 길어지므로, 이각이 약 48°인 금성보다 이각이 약 180°인 화성이 관측 가능 시간이 더 길다. 이날 금성은 약 3시간, 화성은 밤중에 계속 관측이 가능하다.

10 ㄱ. 순행은 행성이 배경이 되는 별자리를 기준으로 서쪽에서 동쪽으로 이동하는 겉보기 운동이다.
ㄷ. 순행과 역행이 전환될 때, 행성이 정지한 것처럼 보이는 시기를 유라고 한다. 따라서 행성의 겉보기 운동은 순행 → 유 → 역행 → 유 → 순행 순으로 나타난다.
바로알기 ㄴ. 행성은 보통 순행하다가 일정한 시기에만 역행이 일어난다. 따라서 일반적으로 순행하는 기간이 역행하는 기간보다 더 길다.

11 (1) 역행은 행성이 배경이 되는 별자리를 기준으로 동쪽에서 서쪽으로 이동하는 겉보기 운동이다. 따라서 밤하늘에서 행성이 동쪽에서 서쪽으로 움직이는 B~D 구간에서 역행이 일어났다.
(2) 순행과 역행이 전환될 때, 행성이 정지한 것처럼 보이는 시기를 유라고 한다. 따라서 유가 일어나는 위치는 순행에서 역행으로 전환되는 B와 역행에서 순행으로 전환되는 D이다.

12 행성의 역행은 지구와 행성의 공전 속도 차이 때문에 나타난다. 내행성의 역행은 내합 부근에서 내행성이 지구를 추월할 때 나타나며, 외행성의 역행은 충 부근에서 지구가 외행성을 추월할 때 나타난다.

개념 적용 문제

33쪽~37쪽

01 ② 02 ④ 03 ② 04 ② 05 ① 06 ①
07 ③ 08 ⑤ 09 ③ 10 ③

01 A는 외합, B는 동방 최대이각, C는 내합이다.
ㄷ. 내행성이 태양보다 동쪽에 있을 때는 초저녁에 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다. 따라서 금성이 동방 최대이각인 B에 위치할 때는 초저녁 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다.
바로알기 ㄱ. 내행성의 겉보기 크기는 내합에 가까울수록 크고, 외합에 가까울수록 작다. 따라서 금성의 겉보기 크기는 내합인 C에 위치할 때 가장 크다.
ㄴ. 내행성은 지구보다 공전 속도가 빠르므로, 지구와의 위치 관계는 외합 → 동방 최대이각 → 내합 → 서방 최대이각 → 외합 순으로 변한다. 따라서 금성의 위치 관계는 A → B → C → D 순으로 변한다.

02 이 기간에 금성은 해가 진 직후 서쪽 하늘에서 관측되므로, 태양보다 동쪽에 있다.
ㄴ. 관측 15일 차에 금성이 가장 높은 곳에서 관측되므로, 이날 금성은 태양의 동쪽에서 이각이 최대인 동방 최대이각 근처에 위치한다.
ㄷ. 내행성의 위치 관계는 외합 → 동방 최대이각 → 내합 → 서방 최대이각 → 외합 순으로 변한다. 따라서 관측 15일 차에 동방 최대이각이었던 금성은 이후 점점 내합에 가까워진다.
바로알기 ㄱ. 관측 14일 차까지 하늘에서 금성의 고도가 점점 높아진다. 이는 금성의 이각이 점점 커지는 것을 의미하므로, 금성의 관측 시간은 점점 길어진다.

03 A는 합, B는 동구, C는 충, D는 서구이다.
ㄴ. 외행성이 태양의 서쪽에 있을 때는 새벽에 관측할 수 있다. 따라서 화성이 서구인 D에 위치할 때는 새벽에 관측할 수 있다.
바로알기 ㄱ. 외행성의 이각은 합일 때 0°, 구일 때 90°, 충일 때 약 180°이다. 따라서 화성의 이각 크기는 충에 위치할 때인 C일 때 가장 크다.
ㄷ. 외행성은 지구보다 공전 속도가 느리므로, 지구와의 위치 관계는 합 → 서구 → 충 → 동구 → 합 순으로 변한다. 따라서 화성의 위치 관계는 A → D → C → B 순으로 변한다.

04 ㄷ. 내행성의 위치 관계는 외합 → 동방 최대이각 → 내합 → 서방 최대이각 → 외합 순으로 변한다. 따라서 현재 외합과 동방 최대이각 사이에 위치하는 금성은 다음 날 내합에 더 가까워진다. 한편, 외행성의 위치 관계는 합 → 서구 → 충 → 동구 → 합 순으로 변한다. 따라서 현재 합과 동구 사이에 위치하는 화성은 다음날 합에 더 가까워진다.
바로알기 ㄱ. 내행성의 위상은 최대이각에 위치할 때 반달로 보이므로, 외합과 동방 최대이각 사이에 위치하는 금성은 이날 반달과 보름달 사이의 위상으로 보인다.
ㄴ. 외행성은 동구에 위치할 때 초저녁부터 자정까지 약 6시간 관측이 가능하다. 따라서 이날 화성은 합과 동구 사이에 위치하므로, 관측 가능 시간은 6시간보다 짧다.

05 ㄱ. 이날 수성과 금성이 동쪽 하늘에서 관측되므로, 새벽에 관측한 모습이다. 따라서 화성도 새벽에 동쪽 하늘에서 관측된 것이다. 한편, 화성은 금성보다 고도가 낮으므로, 이날 화성의 이각은 금성보다 작다. 따라서 이날 화성은 서구와 합 사이에 위치한다.
바로알기 ㄴ. 이날 금성은 동쪽 하늘에서 관측되므로, 태양의 서쪽에 있다. 따라서 금성의 위상은 그믐달~하현달~보름달 모양 중 한 가지로 관측된다. 금성이 동방 최대이각에 위치할 때 상현달 모양으로 보인다.
ㄷ. 이날 수성은 동쪽 하늘에서 관측되므로, 태양보다 서쪽에 있다. 따라서 수성은 동방 최대이각에 위치할 수 없다.

06 ㄱ. 이날 수성은 서방 최대이각에 위치한다. 따라서 이날 이후 수성은 외합으로 이동하므로 관측 가능 시간은 다음날 더 짧아진다.
바로알기 ㄴ. 이날 금성은 외합, 화성은 충에 위치한다. 내행성이 외합에 위치할 때는 태양과 같은 방향에 있어 관측하기 어렵다. 반면, 외행성이 충에 위치할 때는 태양의 반대편에 있어 밤중에 계속 관측이 가능하다.
ㄷ. 다음날 수성은 서방 최대이각에서 외합 방향으로 이동하므로, 이각의 크기가 작아진다. 금성은 이각이 가장 작은 외합에서 동방 최대이각 방향으로 이동하므로, 이각의 크기가 커진다. 화성은 이각이 가장 큰 충에서 동구 방향으로 이동하므로, 이각의 크기가 작아진다.

07 ㄱ. 약 15일 간격으로 관측된 내행성의 겉보기 운동을 보면, 행성의 위치 변화량은 B가 A보다 크다. 따라서 공전 속도는 B가 A보다 빠르다. 태양계 행성은 태양과 가까울수록 공전 속도가 빠르므로, B는 수성이고 A는 금성이다.

ㄴ. 내행성인 A와 B가 모두 해가 질 무렵 서쪽 하늘에서 관측되었으므로, 이 기간에 A와 B는 모두 태양의 동쪽에 위치한다.

바로알기 ㄷ. 이 기간에 A와 B는 모두 이각이 증가하였으므로, 외합과 동방 최대이각 사이에 위치한다. 따라서 이 기간에 A와 B는 모두 순행하고 있다.

08 지점 1은 서구 부근, 지점 4는 충, 지점 7은 동구 부근이다.

ㄱ. 지점 1~4 사이에 외행성은 서구에서 충으로 이동한다. 외행성의 이각은 서구에서 90°이고 충에서는 약 180°이므로, 외행성의 이각은 증가한다.

ㄴ. 지점 3~5 사이에 외행성은 충을 지나간다. 충 부근에서 지구가 외행성을 추월할 때 역행이 나타나므로, 이 기간에 외행성의 역행이 관측된다.

ㄷ. 행성의 겉보기 운동에서 유는 순행과 역행이 전환될 때 나타난다. 이 기간에 외행성은 순행 → 역행 → 순행의 전환이 있었으므로 유가 2번 관측된다.

09 ㄱ. 한 해 동안 겉보기 크기의 변화 주기는 B가 A보다 짧으므로, 행성의 공전 속도는 B가 A보다 빠르다. 태양계 행성은 태양과 가까울수록 공전 속도가 빠르므로, A는 목성이고 B는 수성이다.

ㄴ. 5월 말~6월 초에 수성(B)의 겉보기 크기는 해당 주기에서 가장 큰 시기가 있다. 내행성의 겉보기 크기는 내합에 가까울수록 커지므로, 이 기간에 수성은 내합을 지나간다. 따라서 수성은 이 기간에 태양과 같은 방향에 위치하는 시기가 있다.

바로알기 ㄷ. 10월에 수성의 겉보기 크기는 해당 주기의 가장 큰 값에서 점점 작아지고 있다. 따라서 수성은 10월에 내합에서 서방 최대이각을 거쳐 외합으로 이동하고 있으며, 새벽에 동쪽 하늘에서 관측할 수 있다.

10 ㄱ. 내행성의 위치 관계는 외합 → 동방 최대이각 → 내합 → 서방 최대이각 → 외합 순으로 변한다. 따라서 2월 7일에 서방 최대이각에 위치하는 수성은 이후 외합을 지나 4월 18일에 동방 최대이각에 위치한다.

ㄷ. 2월 7일에 수성의 최대이각은 26°이고, 4월 18일에 수성의 최대이각은 20°이다. 내행성의 최대이각이 작을수록 태양과 행성 사이의 거리가 가까우므로, 수성과 태양 사이의 거리는 2월 7일보다 4월 18일에 더 가깝다.

바로알기 ㄴ. 외행성의 위치 관계는 합 → 서구 → 충 → 동구 → 합 순으로 변한다. 따라서 3월 8일에 충에 위치하는 목성은 이후 동구를 지나 9월 26일에 합에 위치한다.

중단원 핵/심/정/리

38쪽~39쪽

1 금환영	2 0.5	3 혼성일식	4 서
5 동	6 반영식	7 서	8 동
9 교점	10 동	11 서	12 이각
13 내합	14 충	15 서	16 동
17 순행	18 역행	19 내합	20 충

통합 실전 문제

40쪽~43쪽

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

01 달의 시지름이 태양의 시지름보다 크거나 같을 때, 개기일식이 일어날 수 있다. 반면, 달의 시지름이 태양의 시지름보다 작을 때, 금환일식이 일어날 수 있다. 한편, 혼성일식은 태양과 달의 시지름 크기가 비슷할수록 일어날 확률이 더 높다.

ㄷ. 태양과 달의 시지름 차이를 보면 2023년 4월 20일이 2024년 4월 8일보다 더 작으므로, 두 천체의 시지름 크기가 더 비슷하다. 따라서 혼성일식은 2023년 4월 20일이 2024년 4월 8일보다 일어날 확률이 더 높다.

바로알기 ㄱ. 2023년 4월 20일에 태양의 시지름은 달의 시지름보다 크다. 따라서 이날은 달이 태양의 가장자리를 가리지 못하여 태양이 고리 형태로 보이는 금환일식이 일어날 수 있다.

ㄴ. 2024년 4월 8일에는 태양의 시지름이 달의 시지름보다 작다. 따라서 달이 태양을 완전히 가릴 수 있으므로, 개기일식이 일어날 수 있다.

02 ㄱ. 일식이 일어날 때, 지구의 자전 속도보다 달의 공전으로 달 그림자가 지구 표면을 따라 이동하는 속도가 더 빠르므로 달 그림자는 지구 표면을 따라 서쪽에서 동쪽으로 이동한다. 따라서 이날 달 그림자는 a 방향으로 이동한다.

바로알기 ㄴ. 현재 A 지점은 본그림자가 지나간 뒤이므로, 개기일식이 끝나고 태양이 점점 드러나는 중이다. 북반구에서 일식이 끝날 때는 태양의 오른쪽(서쪽)부터 드러나기 시작하므로, 현재 A 지점에서는 태양의 왼쪽(동쪽)이 가려져 있다.

ㄷ. 현재 B 지점은 A 지점보다 본그림자에서 더 멀리 떨어져 있다. 본그림자에서 멀어질수록 태양이 가려지는 비율은 감소하므로, 현재 태양이 가려진 면적은 A 지점이 B 지점보다 더 넓다.

03 ㄴ. 22시 30분에는 개기월식이 끝났지만, 아직 부분월식이 진행되고 있다. 따라서 달의 일부가 지구의 본그림자 안에 들어가 있으며, 지구의 본그림자를 빠져나오고 있다.
ㄷ. 달이 지구의 본그림자 안으로 완전히 들어가면 개기월식이 일어난다. 따라서 이날 달이 지구의 본그림자 안에 완전히 들어가 있던 시간은 개기월식이 진행된 시간인 약 43분이다.
바로알기 ㄱ. 20시 30분에는 개기월식이 진행되기 이전에 부분월식이 진행되고 있다. 따라서 달의 일부가 지구의 본그림자 안에 들어가 있다.

04 월식이 진행될 때 달은 서쪽에서 동쪽으로 이동하며 지구의 그림자로 들어간다. 따라서 달의 동쪽부터 지구의 그림자로 들어가 어두워지기 시작하며, 끝날 때는 달의 동쪽부터 다시 밝아지며 끝난다.
ㄱ. 북반구에서 월식을 관측할 때 달의 왼쪽이 동쪽이므로, 월식은 (다) → (가) → (나) 순으로 진행되었다.
바로알기 ㄴ. 달이 가려진 부분의 비율은 (나) 시기가 (다) 시기보다 더 높다. 따라서 (다) 시기보다 (나) 시기에 지구의 본그림자에 더 많이 들어가 있다.
ㄷ. 남반구에서는 하늘을 보는 시야가 북반구와 반대이므로, 달은 북쪽 하늘에 떠 있으며 달의 동쪽이 관측자 기준으로 오른쪽에 위치하게 된다. 따라서 남반구에서는 달의 오른쪽부터 어두워지고, 다시 오른쪽부터 밝아지는 것처럼 보인다.

05 ㄱ. (가)에서 달의 위상은 그믐달이다. 그믐달은 새벽에 동쪽 하늘에서 관측할 수 있으므로, (가)는 새벽에 동쪽 하늘을 관측한 모습이다. 금성이 새벽에 동쪽 하늘에서 관측되려면 태양의 서쪽에 있어야 하므로, 이날 금성은 A～D 중 서방 최대이각인 D에 있다.
ㄷ. 현재 서방 최대이각에 있는 금성은 이후 시계 반대 방향으로 위치가 변한다. 따라서 금성은 외합 방향으로 이동하며, 이때 이각은 점점 작아진다.
바로알기 ㄴ. 금성이 서방 최대이각에 있을 때, 위상은 하현달 모습으로 보인다. 따라서 이날 금성의 위상과 달의 위상은 다르다.

06 이 기간에 금성의 위상을 보면 그믐달 모양부터 시작하여 점점 보름달 모양으로 변한다. 따라서 금성은 이 기간에 태양의 서쪽에 위치한다.
ㄴ. 금성의 위상을 보면 a에서 그믐달, c에서 하현달 모양이다. 따라서 a는 내합 근처, c는 서방 최대이각이다. 내행성이 내합에서 서방 최대이각으로 이동할 때는 이각이 점점 증가하므로, 관측할 수 있는 시간도 길어진다.
ㄷ. 금성은 c에서 서방 최대이각을 지난 뒤 외합으로 이동하므로, 이각은 점점 작아진다.
바로알기 ㄱ. 금성은 이 기간에 태양의 서쪽에 위치하므로, a～e 모두 새벽에 동쪽 하늘에서 관측된다. 금성이 초저녁에 관측되려면 태양의 동쪽에 위치해야 하며, 서쪽 하늘에서 관측 가능하다.

07 ㄱ. 1월 초부터 금성이 지는 시각이 점점 빨라지다가, 2월 초에 태양과 같은 시각에 진다. 이는 1월 초부터 이각이 점점 작아지다가, 2월 초에 태양과 함께 서쪽 하늘로 지는 합에 있다는 것을 의미한다. 따라서 금성은 이 기간에 동방 최대이각에서 내합으로 이동하고 있으며, 2월 초인 ㉠ 시기에 내합에 있다.
ㄴ. 내행성의 위치 관계는 시계 반대 방향으로 변하므로, 2월 초에 내합을 통과한 금성은 이후 서방 최대이각을 지나 외합으로 향하는 태양의 서쪽에 위치한다.
바로알기 ㄷ. 10월 초에 다시 금성과 태양은 같은 시각에 지므로, 이때 외합을 통과한다는 것을 알 수 있다. 따라서 11월에서 12월까지 금성은 태양의 동쪽에 위치하며, 초저녁 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다.

08 ㄷ. 이날 화성에서 지구를 관측하면, 지구는 태양의 서쪽으로 이각이 최대인 서방 최대이각에 있다. 따라서 지구는 화성의 새벽에 관측할 수 있다.
바로알기 ㄱ, ㄴ. 이날 화성은 태양의 동쪽으로 직각 방향인 동구에 있다. 외행성의 위치 관계는 시계 방향으로 변하므로, 다음날 화성은 동구에서 합 방향으로 이동한다. 따라서 화성의 이각이 작아지므로 관측할 수 있는 시간도 짧아지며, 지구에서 멀어지므로 지구에서 관측되는 겉보기 크기도 작아진다.

09 이날 A는 합에 위치하며, B는 충에 위치한다.
ㄱ. 외행성의 위치 관계는 시계 방향으로 변하므로, 다음날 A는 합에서 서구 방향으로 이동한다. 따라서 이각의 크기는 커진다.

바로알기 ㄴ. 다음날 B는 충에서 동구 방향으로 이동한다. 따라서 지구와의 거리가 더 멀어지므로 지구에서 관측한 시지름은 작아진다.
ㄷ. 다음날 A는 서구 방향으로 이동하며, 새벽에 동쪽 하늘에서 관측할 수 있다. 반면, B는 동구 방향으로 이동하며, 새벽에 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다. 따라서 다음날 A와 B는 같은 방향에서 관측할 수 없다.

10 ㄴ. 이날 화성은 태양, 지구, 화성의 순서로 같은 방향에 있으므로, 충에 있다. 따라서 이날 화성은 지구로부터의 거리가 가장 가깝다.
ㄷ. 화성은 이날 충에 있으므로, 초저녁에 동쪽에서 떠서 자정에 남중하고 새벽에 서쪽으로 진다. 따라서 초저녁에 동쪽 하늘에서 관측할 수 있다.
바로알기 ㄱ. 이날 금성은 지구에서 태양의 동쪽으로 46° 방향에 있으므로, 동방 최대이각 근처에 위치한다. 따라서 이날 금성은 초저녁 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다.

11 ㄱ. 그림에서 달의 위상은 초승달이다. 초승달은 초저녁에 서쪽 하늘에서 관측할 수 있으므로, 그림은 초저녁에 서쪽 하늘을 관측한 모습이다.
ㄴ. 이날 목성은 금성보다 고도가 낮으므로, 목성의 이각은 금성보다 작다. 금성의 최대이각은 약 48°이므로, 이날 목성의 이각은 약 48°보다 작다. 또한, 목성은 이날 초저녁 서쪽 하늘에서 관측되므로, 이각이 0°인 합과 태양의 동쪽으로 90°인 동구 사이에 있다.
ㄷ. 내행성의 위치 관계는 시계 반대 방향으로 변하므로, 태양의 동쪽에 있는 금성은 내합 방향으로 이동한다. 따라서 다음날 금성은 지구와 더 가까워지므로 겉보기 크기도 더 커진다.

12 ㄴ. 9월 21일 목성은 지구에서 가장 가까운 위치인 충에 있다. 따라서 이날 이후 목성은 겉보기 크기가 점점 작아지면서 합 방향으로 이동한다.
ㄷ. 내행성의 위치 관계는 시계 반대 방향으로 변한다. 따라서 10월 20일 수성은 외합을 지나 태양의 동쪽에 위치한다. 한편, 금성은 10월 29일에 내합에 도달하므로, 10월 20일에는 태양의 동쪽에 위치한다. 따라서 10월 20일 수성과 금성은 초저녁 서쪽 하늘에서 같이 관측된다.
바로알기 ㄱ. 9월 3일 내합에 있는 수성은 이후 시계 반대 방향으로 이동한다. 따라서 9월 20일 수성은 서방 최대이각에 있으며, 위상은 하현달 모양으로 관측된다.

13 수성이 태양의 광구를 가리기 위해서는 태양, 수성, 지구의 순서로 일직선상에 있어야 한다. 따라서 이날 수성은 내합에 위치한다.
ㄱ. 이날 수성은 동쪽에서 서쪽으로 이동하고 있으므로, 역행하고 있다. 내행성이 내합 부근에 있을 때, 지구에서는 역행이 관측된다.
ㄷ. 내행성의 위치 관계는 시계 반대 방향으로 변하므로, 이날 이후 수성은 내합에서 서방 최대이각 방향으로 이동한다. 따라서 수성의 이각은 서방 최대이각에 도달할 때까지 점점 커지며, 뜨는 시각도 점점 빨라진다.
바로알기 ㄴ. 이날 수성은 내합에 있으므로, 지구와의 거리가 가장 가깝다. 따라서 수성의 겉보기 크기는 이날 가장 크다.

14 화성은 1에서 5까지는 서쪽에서 동쪽으로 이동하므로 순행하며, 5에서 9까지는 동쪽에서 서쪽으로 이동하므로 역행한다. 이후 9에서 14까지는 다시 서쪽에서 동쪽으로 이동하므로 순행한다.
ㄴ. 화성은 5에서 9까지 역행하므로, 이 기간에 충을 통과한다. 따라서 이 구간의 가운데인 7 부근에 있을 때 충에 있으며, 이때 겉보기 크기가 최대가 된다.
바로알기 ㄱ. 화성은 합에 있을 때 지구에서 가장 멀리 있다. 화성이 5 부근에 있을 때 역행이 시작되므로, 이때는 충 부근에 있으며, 지구에서 상대적으로 가깝다.
ㄷ. 화성은 역행하는 기간에 충을 통과한 뒤, 이각의 크기가 점점 작아진다. 따라서 화성의 이각은 9에서 14 사이에 점점 감소한다.

15 ㄱ. 수성은 9월 29일에서 10월 13일까지 고도가 점점 높아지므로, 이 기간에 이각이 점점 증가한다. 태양에서 멀어질수록 관측할 수 있는 시간이 늘어나므로, 이 기간에 수성을 관측할 수 있는 시간은 점점 길어진다.
ㄴ. 수성은 9월 29일에서 10월 13일까지 이각이 점점 증가한다. 내행성이 새벽에 동쪽 하늘에서 관측되려면 태양의 서쪽에 있어야 하므로, 수성은 이 기간에 내합에서 서방 최대이각으로 이동하는 중이다. 따라서 10월 13일 수성은 서방 최대이각에 있으며, 위상은 하현달 모양이다.
바로알기 ㄷ. 화성은 9월 26일에서 10월 20일까지 고도가 점점 높아지므로, 이 기간에 이각이 점점 증가한다. 외행성이 새벽에 동쪽 하늘에서 관측되려면, 합과 서구 사이에 있어야 한다. 따라서 이 기간에 화성은 합에서 서구로 이동하고 있으며, 충을 지날 수 없다.

HIGH TOP 최상위 문제

44쪽~45쪽

1 ③ 2 ⑤ 3 ② 4 ③

1 자료 분석



(가) (나)

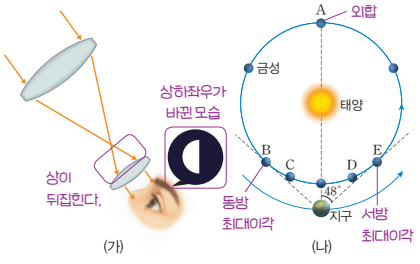
- (가)에서 월식이 진행됨에 따라 달의 고도가 왼쪽 아래에서 오른쪽 위로 점점 높아진다. 이는 달이 떠오르면서 월식이 진행됐다는 것이다.
- 우리나라(북반구)에서 월식을 관측할 때 왼쪽은 동쪽, 오른쪽은 서쪽이다.
- 개기월식이 진행될 때 달의 동쪽부터 가려지기 시작하며, 동쪽부터 드러나며 끝난다.

ㄱ. 우리나라에서 달은 동쪽에서 떠서 서쪽으로 지므로, 이날 부분월식은 초저녁에 동쪽 하늘에서 달이 떠오르며 시작됐다.

ㄷ. 개기월식이 진행될 때 달의 동쪽부터 가려지기 시작하며, 동쪽부터 드러나며 끝난다. (나)에서 달은 동쪽이 드러난 모습이므로, 개기월식이 끝나고 달이 서서히 드러나고 있는 단계이다. 따라서 (나)는 (가)에서 B 시기 이후에 관측한 모습이다.

바로알기 ㄴ. 월식은 달이 서쪽에서 동쪽으로 공전하며 지구의 그림자 안으로 들어가 나타난다. 따라서 A와 B 시기 사이에 달은 공전 궤도에서 더 동쪽으로 이동한다.

2 자료 분석



- (가)에서 빛이 망원경으로 들어오는 경로를 보면, 중간에서 한번 뒤집히는 것을 볼 수 있다. 따라서 대물렌즈로 보는 천체의 모습은 상하좌우가 바뀐 모습이다.
- (나)에서 A는 내행성–태양–지구의 순서로 일직선상에 있으므로 외합, B는 태양의 동쪽으로 이각이 최대인 동방 최대이각, E는 태양의 서쪽으로 이각이 최대인 서방 최대이각이다.
- 내행성은 태양의 동쪽에 있을 때 보름달에서 초승달 모양으로 변하며, 태양의 서쪽에 있을 때 그믐달에서 보름달 모양으로 변한다.

ㄱ. 케플러식 천체 망원경으로 천체를 관측하면 상하좌우가 바뀐 모습으로 보인다. 따라서 (가)에서 관측된 모습의 상하좌우를 바꾸면, 오른쪽이 밝은 상현달의 모습이 된다. 내행성은 동방 최대이각에 있을 때 상현달의 모습으로 보이므로, 이날 금성은 B에 위치한다.

ㄴ. 현재 금성은 동방 최대이각인 B에 위치하므로, 다음날부터 점점 시계 반대 방향으로 이동하면서 내합에 가까워지며 이각은 점점 작아진다.

ㄷ. 내행성은 동방 최대이각에서 내합에 가까워질수록 점점 초승달 모양으로 변한다. 따라서 다음날 금성의 모습은 초승달에 가까워진다.

3 자료 분석

날짜	행성	천문 현상
1월 22일	수성	동방 최대이각
2월 24일	토성	충 (역행)
3월 3일	수성	서방 최대이각
6월 9일	금성	외합 (순행)

내합을 지남. (역행)

이후 동방 최대이각 방향으로 이동

- 내행성의 위치 관계는 시계 반대 방향으로 변한다.
- 외행성의 위치 관계는 시계 방향으로 변한다.
- 내행성은 내합 부근, 외행성은 충 부근에 있을 때 역행이 나타난다.
- 수성은 1월 22일 동방 최대이각에서 3월 3일 서방 최대이각으로 이동하였으므로, 이 사이에 내합을 지난다.
- 토성은 2월 24일 충에 있으므로, 이 시기에 역행하고 있다.
- 금성은 6월 9일 외합에 있으므로, 이 시기에 순행하고 있다.
- 금성은 6월 9일 이후 동방 최대이각 방향으로 이동한다.

ㄷ. 내행성은 지구보다 공전 속도가 빨라 위치 관계의 변화가 시계 반대 방향으로 진행된다. 따라서 6월 9일 외합에 있는 금성은 이후 동방 최대이각 방향으로 이동한다. 내행성이 태양의 동쪽에 있을 때는 초저녁에 관측 가능하므로, 6월 15일에 금성은 초저녁에 관측된다.

바로알기 ㄱ. 수성은 1월 22일 동방 최대이각에서 3월 3일 서방 최대이각으로 이동했으므로, 이 기간에 내합을 지난다. 수성의 이각은 동방 최대이각에서 내합으로 이동하

면서 점점 감소하여 내합에서 가장 작은 값이었다가, 이후 내합에서 서방 최대이각까지 이동하면서 다시 증가한다. 따라서 이 기간에 수성의 이각은 감소하다가 다시 증가한다.

ㄴ. 지구보다 공전 속도가 빠른 내행성은 내합 부근에서 내행성이 지구를 추월할 때 역행이 나타나며, 지구보다 공전 속도가 느린 외행성은 충 부근에서 지구가 외행성을 추월할 때 역행이 나타난다. 2월 24일 토성은 충에 있으므로 역행이 나타나며, 밤하늘에서 동쪽에서 서쪽으로 이동한다. 반면, 금성은 6월 9일에 외합에 있으므로 순행이 나타나며, 밤하늘에서 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

4 **자료 분석**



- 태양과 가까운 행성일수록 공전 속도가 빠르다.
- 행성 A는 B보다 겉보기 운동의 변화 주기가 짧다. 따라서 행성 A는 내행성, B는 외행성이다.
- 행성 A는 5월 말~6월 말과 9월 말~10월 중순에 동쪽에서 서쪽으로 이동하므로, 이 시기에 역행하며 내합 부근에 있다.
- 행성 B는 6월 말~10월 중순에 동쪽에서 서쪽으로 이동하므로, 이 시기에 역행하며 충 부근에 있다.
- 외행성의 겉보기 크기는 충에 가까울수록 크다.

ㄱ. 태양에 가까울수록 태양의 중력이 더 강하게 작용하여 공전 속도가 빨라진다. 따라서 겉보기 운동의 변화 주기가 더 짧은 행성 A가 더 안쪽에 있는 내행성, 행성 B가 외행성이다.

ㄷ. 지구가 외행성보다 빠르게 공전하면서 충 부근에서 외행성을 추월할 때 외행성의 역행이 나타난다. 따라서 행성 B는 6월 말~10월 중순까지 충 부근에 위치하며, 그 중심 무렵인 8월 중순에 충을 지난다. 외행성의 겉보기 크기는 충에 가까울수록 크므로, 행성 B의 겉보기 크기는 충을 지난 뒤인 9월에서 11월까지 점점 작아진다.

바로 알기 ㄴ. 내행성이 지구보다 빠르게 공전하면서 내합 부근에서 지구를 추월할 때 내행성의 역행이 나타난다. 따라서 행성 A는 서쪽에서 동쪽으로 순행하고 있는 8월에는 지구를 추월하지 않는다. 행성 A는 5월 말~6월 말과 9월 말~10월 중순에 역행하므로, 이 기간에 지구를 추월한다.

사고력 확장 문제

46쪽~49쪽

1 (1) 달은 지구 주변을 시계 반대 방향인 서쪽에서 동쪽으로 공전한다. 따라서 월식이 일어날 때는 지구 그림자의 서쪽으로 들어가서 끝날 때는 지구 그림자의 동쪽으로 빠져나온다.

(2) 태양 빛이 지구의 대기를 통과할 때, 파장이 짧은 푸른색 빛은 산란이 강하게 일어나며, 파장이 긴 붉은색 빛은 상대적으로 적게 산란한다. 이후 이 빛은 지구의 대기에서 굴절하여 달에 도달한다.

모범 답안 (1) 월식은 달이 지구 주위를 서쪽에서 동쪽으로 공전하면서 지구의 그림자로 들어가 일어나므로, 달의 공전 방향을 기준으로 지구 그림자의 서쪽 경계부터 들어가서 동쪽 경계로 나오게 된다. 따라서 달이 지구의 본그림자에 들어갈 때가 C, 완전히 들어간 개기월식이 B, 그림자에서 벗어나며 끝날 때가 A가 되어 C → B → A 순으로 진행된다.

(2) 달이 지구의 본그림자에 완전히 들어가면 태양 빛이 직접 달에 도달할 수 없다. 한편, 태양 빛이 지구의 대기를 통과할 때, 파장이 긴 붉은색 빛은 파장이 짧은 푸른색 빛보다 상대적으로 적게 산란한다. 이후 이 빛이 굴절되어 달에 도달하며, 달은 이 빛을 반사한다. 따라서 개기월식 중 달은 완전히 어두워지지 않고, 붉은색의 희미한 모습으로 관측된다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	월식의 진행 순서를 옳게 쓰고, 그 까닭을 달의 공전 방향을 중심으로 옳게 서술한 경우	50
	월식의 진행 순서만 옳게 쓴 경우	20
(2)	개기월식 중 달이 붉게 보이는 까닭을 지구 대기와 빛의 성질을 중심으로 옳게 서술한 경우	50
	달이 붉은 빛을 반사한다고만 서술한 경우	20

2 자정 무렵에 서쪽 하늘로 저무는 달은 해가 질 무렵에 남중하며, 이러한 달의 위상은 상현달이다. 하지만 그림 속 달의 모습은 위쪽이 얇게 빛나는 모습이다. 따라서 그림 속 달은 월식이 일어나는 중에 관측된 모습이라고 추정할 수 있다.

모범 답안 북반구에서 달은 동쪽에서 떠서 남쪽 하늘을 거쳐 서쪽으로 진다. 따라서 삼경에 저무는 달은 해가 질 무렵에 남쪽 하늘에 떠 있어야 한다. 이렇게 해가 질 무렵에

남쪽 하늘에 떠 있는 달은 상현달이다. 하지만, 그림 속 달은 상단이 얇게 빛나는 그믐달 모양이므로, 그림 속 달은 일반적인 시기의 달이 아닌 월식이 일어나고 있는 달의 모습이라고 추정할 수 있다.

채점 기준	배점(%)
그림 속 달의 모양과 위치를 근거로 달이 월식 때 관측된 모습임을 옳게 서술한 경우	100
그림 속 달의 모양이 상현달이 아니라고만 서술한 경우	50

3 내행성은 지구보다 태양에 가까운 위치에서 공전하기 때문에 이각의 크기가 최대이각 이상으로 커질 수 없다. 따라서 내행성이 공전 궤도에서 태양의 동쪽에 위치하면 초저녁에 서쪽 하늘, 서쪽에 위치하면 새벽에 동쪽 하늘에서 관측할 수 있다. 그림 속 밤하늘을 보면 수성과 금성이 비슷한 방향에서 관측되므로, 두 행성은 공전 궤도에서 비슷한 방향에 위치한다.

모범답안 수성은 공전 궤도에서 1월 18일~3월 4일과 5월 12일~6월 13일에 태양의 동쪽에 위치하며, 3월 4일~5월 12일에는 태양의 서쪽에 위치한다. 한편, 금성은 3월 29일 이전에는 태양의 서쪽, 이후에는 태양의 동쪽에 위치한다. 따라서 이 기간에 두 행성이 같은 방향에 위치할 때는 3월 4일~3월 29일 또는 5월 12일~6월 13일이다. 합에 있을 때는 행성의 관측이 어려우므로, 표의 날짜 중 그림과 같은 모습을 관측할 수 있는 날은 6월 13일이다.

채점 기준	배점(%)
그림과 같은 모습을 관측할 수 있는 날을 수성과 금성의 공전 위치 변화를 중심으로 옳게 서술한 경우	100
그림과 같은 모습을 관측할 수 있는 날만 옳게 쓴 경우	50

4 (1) 내행성은 지구보다 공전 궤도의 크기가 작아 지구에서 관측할 때 이각이 일정 범위 내에서 변한다. 반면, 외행성은 지구보다 공전 궤도의 크기가 커 지구에서 관측할 때 이각이 0°에서 180°까지 나타날 수 있다.

(2) 행성의 겉보기 크기는 행성과 지구 사이의 거리가 가까울수록 커진다. 내행성의 겉보기 크기는 내합에 가까울수록 크고, 외합에 가까울수록 작다.

모범답안 (1) 그래프에서 이각의 크기는 약 50°까지 증가하며, 이후 다시 작아진다. 따라서 이각이 일정 범위 내에서 변하는 것으로 보아 이 행성은 내행성임을 알 수 있다.

(2) 내행성의 겉보기 크기는 지구와 가까울수록 커진다. a 시기는 행성이 태양의 서쪽에서 이각이 가장 클 때이므로, 서방 최대이각에 있을 때이다. b 시기는 행성이 외합을 지나 동방 최대이각으로 접근하고 있을 때이다. 따라서 행성의 겉보기 크기는 지구에서의 거리가 더 가까운 a 시기가 b 시기보다 더 크다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	이 행성이 내행성과 외행성 중 무엇인지 이각의 변화를 중심으로 옳게 서술한 경우	50
	이 행성이 내행성과 외행성 중 무엇인지만 옳게 쓴 경우	20
(2)	a와 b 시기에 행성의 겉보기 크기를 지구와 행성 사이의 거리와 관련지어 옳게 비교한 경우	50
	a와 b 시기에 행성의 겉보기 크기 비교만 옳게 한 경우	20

5 (1) 내행성은 태양보다 동쪽에 있을 때는 초저녁에 서쪽 하늘, 태양보다 서쪽에 있을 때는 새벽에 동쪽 하늘에서 관측할 수 있다. 한편, 외행성은 합과 동구 사이에 있을 때 초저녁에 서쪽 하늘, 합과 서구 사이에 있을 때 새벽에 동쪽 하늘에서 관측할 수 있다.

(2) 내행성은 지구보다 공전 속도가 빠르므로, 지구와의 위치 관계가 시계 반대 방향인 외합 → 동방 최대이각 → 내합 → 서방 최대이각 → 외합 순으로 변한다. 반면, 외행성은 지구보다 공전 속도가 느리므로, 지구와의 위치 관계가 시계 방향인 합 → 서구 → 충 → 동구 → 합 순으로 변한다.

모범답안 (1) 6월 30일 금성은 초저녁에 서쪽 하늘에서 관측되므로, 공전 궤도에서 태양보다 동쪽에 위치한다. 목성은 합과 동구 사이에 있을 때, 초저녁에 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다. 10월 26일 금성은 새벽에 관측되므로 동쪽 하늘에 있으며, 공전 궤도에서 태양보다 서쪽에 위치한다. 이날 목성도 동쪽 하늘에 있으며, 목성은 합과 서구 사이에 있을 때, 새벽에 동쪽 하늘에서 관측할 수 있다.

(2) 내행성인 금성은 위치 관계가 시계 반대 방향으로 변하므로, 이 기간에 태양의 동쪽에서 내합을 통과하여 10월 26일 태양의 서쪽에 있다. 반면, 외행성인 목성은 위치 관계가 시계 방향으로 변하므로, 이 기간에 태양의 동쪽에서 합을 통과하여 10월 26일에 태양의 서쪽에 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	6월 30일과 10월 26일 금성과 목성의 위치를 모두 옳게 서술한 경우	50
	6월 30일과 10월 26일 금성과 목성의 위치를 일부만 옳게 서술한 경우	30

(2)	금성은 내합, 목성은 합을 통과했을 것으로 추정할 수 있는 까닭을 각 행성의 위치 관계 변화를 중심으로 모두 옳게 서술한 경우	50
	금성은 내합, 목성은 합을 통과했을 것으로 추정할 수 있는 까닭을 일부만 옳게 서술한 경우	30

6 (1) 이날 달의 위상은 초승달이다. 초승달은 해가 진 직후 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다.
(2) 내행성은 태양의 동쪽에 있을 때 초저녁 서쪽 하늘에서 관측할 수 있으며, 위상은 보름달에서 초승달 사이의 모습으로 보인다.
(3) 외행성은 합과 동구 사이에 있을 때 초저녁 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다.

모범답안 (1) 이 그림에서 달의 위상은 초승달이다. 초승달은 해가 진 직후 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다. 따라서 그림은 하루 중 해가 진 직후 서쪽 하늘을 관측한 모습이다.
(2) 내행성은 공전 궤도에서 태양의 동쪽에 있을 때 초저녁 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다. 따라서 금성은 이날 보름달에서 초승달 사이의 모습으로 보인다.
(3) 외행성은 합과 동구 사이에 있을 때 초저녁 서쪽 하늘에서 관측할 수 있다. 따라서 화성은 합과 동구 사이에 위치한다.

채점 기준		배점(%)
(1)	그림이 하루 중 어느 시각에, 어떤 방향을 관측한 모습인지 추정하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	20
	그림이 하루 중 어느 시각에, 어떤 방향을 관측한 모습인지만 옳게 쓴 경우	10
(2)	금성의 위상을 공전 위치를 바탕으로 옳게 추정하여 서술한 경우	40
	금성의 위상만 옳게 쓴 경우	20
(3)	화성의 위치를 그 근거와 함께 옳게 추정하여 서술한 경우	40
	화성의 위치만 옳게 추정하여 쓴 경우	20

7 (1) 내행성이 합에 있을 때는 태양과 같은 방향에 위치하여 태양과 함께 뜨고 지므로, 관측하기 어렵다. 반면, 내행성이 최대이각에 있을 때는 태양으로부터 가장 멀리 떨어져 있으므로 가장 긴 시간 관측할 수 있다.
(2) 내행성이 지구보다 빠르게 공전하면서 지구를 추월할 때, 천구상에서 역행이 나타난다.

모범답안 (1) A 지점에서 수성은 해가 진 직후 태양과 거의 함께 지는 위치이므로, 내합 근처에 있다. B 지점에서 수성은 태양으로부터 가장 멀리 떨어져 해가 진 직후 가장 높게 관측되므로, 동방 최대이각에 있다.
(2) 2월 22일경 수성은 내합 근처에 있으므로, 공전 속도가 빠른 수성이 지구를 추월하고 있다. 따라서 수성은 2월 22일경 천구상에서 동쪽에서 서쪽으로 역행하고 있다.

채점 기준		배점(%)
(1)	A와 B 지점에서 수성과 지구와의 상대적인 위치와 그 근거를 모두 옳게 서술한 경우	50
	A와 B 지점에서 수성과 지구와의 상대적인 위치만 옳게 쓴 경우	20
(2)	2월 22일경 수성의 이동 방향과 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	50
	2월 22일경 수성의 이동 방향만 옳게 쓴 경우	20

8 (1) 내행성은 태양보다 서쪽에 있을 때, 새벽에 동쪽 하늘에서 관측된다. 또한, 내행성은 지구보다 공전 속도가 빠르므로, 지구와의 위치 관계가 시계 반대 방향인 외합 → 동방 최대이각 → 내합 → 서방 최대이각 → 외합 순으로 변한다.
(2) 내행성은 내합 부근에서 서방 최대이각으로 이동하며 점점 그믐달 모양에서 하현달 모양으로 변한다.

모범답안 (1) 금성은 합 근처인 A에서 B 지점으로 이동하며 점점 빨리 뜬다. 따라서 이 기간에 금성은 태양의 서쪽에 있다. 태양과 거의 같은 방향에 있는 A 지점에서 금성은 내합 근처에 위치한다. 이후 금성은 시계 반대 방향으로 위치가 변하며, B 지점에서 서방 최대이각에 위치한다.
(2) 금성은 내합 근처인 A 지점에서 그믐달과 같은 위상으로 관측된다. 이후 서방 최대이각인 B 지점까지 이동하면서 지구와 멀어지므로 겉보기 크기는 작아지며, 모양은 점점 하현달의 모양으로 변한다. 따라서 금성이 A에서 B 지점으로 이동하는 동안 위상 변화는 ㄹ→ㅁ→ㅂ 순으로 일어난다.

채점 기준		배점(%)
(1)	금성과 지구와의 상대적인 위치와 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	50
	금성과 지구와의 상대적인 위치만 옳게 쓴 경우	20
(2)	금성의 위상 변화와 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	50
	금성의 위상 변화만 옳게 쓴 경우	20

2 별의 특성과 분류

01 별의 특성과 분류

중요 개념 체크

53쪽 **1** 표면 온도 **2** 짧은, 파란

55쪽 **1** (1) ○ (2) ×

56쪽 **1** 크고, 높을수록 **2** 낮을수록

61쪽 **1** (1) × (2) ○ **2** 주계열성 **3** 크고, 크며, 짧다

탐구 확인 문제 62쪽

1 ㄱ **2** 해설 참조

1 ㄱ. 집단 1은 주계열성으로, H−R도의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 이어지는 대각선 띠에 분포한다. H−R도에서는 위로 갈수록 광도가 커지므로, 주계열성은 O형에서 M형으로 갈수록 광도가 작아진다.

바로알기 ㄴ. 집단 2는 거성으로, 주계열의 오른쪽 위에 분포한다. H−R도에서는 왼쪽으로 갈수록 표면 온도가 높아지므로, 거성은 다른 집단에 비해 표면 온도가 낮다.

ㄷ. 집단 4는 백색왜성으로, 주계열의 왼쪽 아래에 분포한다. H−R도에서는 아래로 갈수록 광도가 작아지므로, 백색왜성은 다른 집단에 비해 광도가 작다.

2 집단 1과 집단 3은 모두 분광형이 O형부터 M형까지 다양하게 분포한다는 공통점이 있다. 그러나 집단 1은 절대 등급이 다양하게 분포하지만, 집단 3은 절대 등급이 일정 구간 안에서만 분포한다.

모범답안 집단 1과 집단 3은 모두 O형부터 M형까지 다양한 분광형의 별들을 포함한다는 공통점이 있다. 그러나 집단 1은 절대 등급이 −5등급에서 12등급까지 다양하게 분포하며, 표면 온도가 높을수록 광도와 크기가 크다. 반면 집단 3은 절대 등급이 −8등급에서 −2등급으로 매우 밝고, 광도가 매우 크며, 특히 표면 온도가 낮은 별들의 크기가 매우 크다.

채점 기준	배점(%)
집단 1과 집단 3의 별들이 가지는 물리적 성질의 공통점과 차이점을 모두 옳게 서술한 경우	100
집단 1과 집단 3의 별들이 가지는 물리적 성질의 공통점과 차이점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50

개념 기본 문제 64쪽~65쪽

01 (1) A (2) B (3) A **02** (1) A: 연속 스펙트럼, B: 방출 스펙트럼, C: 흡수 스펙트럼 (2) ㉠ A, ㉡ C, ㉢ B **03** ㄴ, ㄷ **04** ㄱ **05** $4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ **06** (1) (다), (바) (2) (나), (사) **07** (1) A: 초거성, B: 주계열성, C: 거성, D: 백색왜성 (2) B−D−C−A (3) A−B−C−D **08** ㄱ, ㄷ **09** (가) ㉢ (나) ㉣ **10** ㄴ, ㄷ

01 그림은 흑체가 방출하는 복사 에너지의 파장에 따른 에너지 세기 분포를 나타낸 플랑크 곡선이다.

(1) 빈의 변위 법칙에 따르면, 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례한다. 따라서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 더 짧은 A가 B보다 표면 온도가 높다.

(2) 빈의 변위 법칙에 따르면, 표면 온도가 낮을수록 긴 파장의 복사 에너지를 더 많이 방출하여 붉은색을 띤다. 따라서 표면 온도가 더 낮은 B가 A보다 더 붉은색을 띤다.

(3) 슈테판·볼츠만 법칙에 따르면, 흑체가 단위시간 동안 단위넓이에서 방출하는 복사 에너지의 총량은 표면 온도의 네제곱에 비례한다. 따라서 표면 온도가 더 높은 A가 B보다 단위시간 동안 단위넓이에서 방출하는 복사 에너지의 총량이 더 많다.

02 (1) A는 모든 파장에 걸쳐 연속적으로 나타나는 연속 스펙트럼, B는 특정 파장 영역에서만 밝은 방출선이 나타나는 방출 스펙트럼, C는 특정 파장 영역에서만 어두운 흡수선이 나타나는 흡수 스펙트럼이다.

(2) ㉠에서는 광원의 빛이 그대로 관측되므로, 연속 스펙트럼인 A가 관측된다. ㉡에서는 광원에서 나온 빛이 저온의 기체를 통과하면서 특정 파장의 빛이 흡수되므로, 흡수 스펙트럼인 C가 관측된다. ㉢에서는 고온의 기체에서 에너지 준위가 높은 전자가 방출하는 특정 파장의 빛이 관측되므로, 방출 스펙트럼인 B가 관측된다.

03 ㄴ. 별의 분광형은 표면 온도에 따라 O>B>A>F>G>K>M의 순서를 따른다. 따라서 분광형이 O형인 별에서 M형인 별로 갈수록 표면 온도가 낮아진다.

ㄷ. 각 분광형은 고온인 0부터 저온인 9까지 10등급으로 세분화된다. 따라서 숫자의 크기가 작을수록 별의 표면 온도가 높다.

바로알기 ㄱ. 분광형은 별의 표면 온도에 따라 스펙트럼

에 나타나는 흡수선의 종류와 세기를 기준으로 별을 분류한 것이다.

04 ㄱ. HⅠ 흡수선의 세기는 분광형이 A0형인 별에서 가장 강하게 나타난다.

바로알기 ㄴ. CaⅡ 흡수선은 A형 별부터 나타나기 시작한다. 따라서 B0형 별에서는 CaⅡ 흡수선이 나타나지 않는다.

ㄷ. G0형 별에서는 CaⅡ 흡수선의 세기가 HⅠ 흡수선의 세기보다 강하다.

05 별이 단위시간 동안 방출하는 총 에너지량인 광도는 단위시간 동안 단위넓이에서 방출하는 에너지량에 별의 겉넓이를 곱한 값이다. 단위시간 동안 단위넓이에서 방출하는 에너지량은 슈테판·볼츠만 법칙에 따라 $E=\sigma T^4$이며, 별의 겉넓이는 구의 겉넓이인 $4\pi R^2$이다. 따라서 별의 광도 $L=4\pi R^2\cdot\sigma T^4$이다.

06 (1) H−R도에서 가로축은 별의 표면 온도와 관련이 있다. 따라서 별의 표면 온도 또는 분광형으로 나타낸다.

(2) H−R도에서 세로축은 별의 밝기와 관련이 있다. 따라서 별의 광도 또는 절대 등급으로 나타낸다.

07 (1) A는 H−R도에서 가장 위쪽에 분포하는 초거성, B는 H−R도에서 왼쪽 위부터 오른쪽 아래로 이어지는 대각선 띠에 분포하는 주계열성, C는 주계열의 오른쪽 위에 분포하는 거성, D는 주계열의 왼쪽 아래에 분포하는 백색왜성이다.

(2) H−R도에서 왼쪽으로 갈수록 표면 온도가 증가한다. 따라서 별의 표면 온도는 B>D>C>A이다.

(3) H−R도에서 위로 갈수록 광도가 커지고 절대 등급은 작아진다. 따라서 별의 절대 등급은 A<B<C<D이다.

08 ㄱ, ㄷ. ㉠과 ㉣은 주계열성이다. 주계열성은 일반적으로 질량이 클수록 반지름, 표면 온도, 광도가 커 H−R도의 왼쪽 위에 분포한다. 따라서 ㉠이 ㉣보다 질량이 크며, 표면 온도가 높다.

바로알기 ㄴ. ㉡은 거성, ㉢은 백색왜성이다. 거성은 질량에 비해 반지름이 매우 크고, 백색왜성은 질량에 비해 반지름이 매우 작다. 따라서 ㉡은 ㉢보다 반지름이 크다.

09 (가)는 분광형이 A0이므로, ㉠과 ㉢ 중 하나이다. 이때 광도 계급이 백색왜성에 해당하는 Ⅶ이므로, (가)는 ㉢이다. (나)는 분광형이 K0이므로, ㉡과 ㉣ 중 하나이다. 이때 광도 계급이 주계열성에 해당하는 Ⅴ이므로, (나)는 ㉣이다.

10 ㄴ, ㄷ. 주계열성의 질량이 클수록 반지름이 크고, 중심부 온도가 높다.

바로알기 ㄱ. 주계열성의 질량이 클수록 에너지를 빠르게 소모하므로 수명이 짧다.

개념 적용 문제

66쪽~71쪽

01 ④	02 ③	03 ④	04 ②	05 ①	06 ③
07 ③	08 ⑤	09 ④	10 ③	11 ②	12 ④

01 ㄴ. 빈의 변위 법칙에 따르면, 표면 온도가 높을수록 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 짧아진다. 복사 에너지의 상대 세기가 가장 강한 부분의 파장은 A보다 B가 더 오른쪽에 있다. 따라서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 A가 B보다 짧고, 표면 온도는 A가 B보다 높다.

ㄷ. 슈테판·볼츠만 법칙에 따르면, 단위시간 동안 단위넓이에서 방출하는 복사 에너지의 총량은 표면 온도의 네제곱에 비례한다. 따라서 표면 온도가 높은 A가 B보다 단위시간 동안 단위넓이에서 방출하는 복사 에너지의 총량이 많다.

바로알기 ㄱ. 별의 표면 온도가 낮을수록 긴 파장의 복사 에너지를 더 많이 방출하여 붉은색을 띤다. 따라서 별의 색은 B가 A보다 더 붉은색을 띤다.

02 ㄱ. 빈의 변위 법칙에 따르면, 흑체의 표면 온도가 높을수록 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧아진다. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 ㉠이 ㉡보다 짧으므로, 표면 온도는 ㉠이 ㉡보다 높다.

ㄴ. ㉠은 B 필터를 투과하는 파장 영역의 에너지 세기보다 V 필터를 투과하는 파장 영역의 에너지 세기가 더 작다. 따라서 ㉠은 B 등급보다 V 등급이 크다.

바로알기 ㄷ. ㉠은 U 등급보다 B 등급이 더 크므로, $(U-B)$ 색지수는 (−)값이 된다. ㉡은 U 등급보다 B 등급이 더 작으므로, $(U-B)$ 색지수는 (+)값이 된다. 따라서 $(U-B)$ 색지수는 ㉡이 ㉠보다 크다.

03 ㄴ. (나)는 HeⅠ선과 강한 HⅠ선이 나타나는 B형, (가)는 HⅠ선이 가장 뚜렷한 A형, (다)는 CaⅡ와 금속선이 발달한 G형, (라)는 분자선이 뚜렷한 M형이다. 따라서, 표면 온도가 가장 높은 별은 (나)이다.

ㄷ. 태양은 분광형이 G형이므로, 태양과 가장 유사한 스펙트럼을 가진 별은 (다)이다.

바로알기 ㄱ. A형인 (가)가 M형인 (라)보다 표면 온도가 높다. 표면 온도가 낮을수록 붉은색을 띠므로, (라)는 (가)보다 더 붉은색을 띤다.

04 ㄷ. He I 흡수선이 가장 강한 별은 B형 별이며, Fe Ⅱ 흡수선이 가장 강한 별은 G형 별이다. 따라서 표면 온도는 He I 흡수선이 가장 강한 별이 더 높다.

바로알기 ㄱ. H I 흡수선의 세기는 A형 별에서 세기가 가장 강하게 나타나며, 이후 표면 온도가 낮아지면서 점점 세기가 약해진다.

ㄴ. 표면 온도가 낮을수록 산화 타이타늄과 같은 분자 흡수선의 세기가 강하게 나타난다.

05 ㄱ. 별이 단위시간 동안 방출하는 총 에너지량은 광도이다. 광도는 절대 등급이 작을수록 더 크므로, 광도가 가장 큰 것은 (가)이다.

바로알기 ㄴ. 단위넓이에서 단위시간 동안 방출하는 에너지량은 표면 온도의 네제곱에 비례한다. 따라서 표면 온도가 가장 높은 (다)가 단위넓이에서 단위시간 동안 방출하는 에너지량이 가장 많다.

ㄷ. 별의 크기는 $\sqrt{\text{광도}}$에 비례하고, $(\text{표면 온도})^2$에 반비례한다. (다)는 (가)보다 표면 온도가 높지만, 광도가 작다. 따라서 별의 크기는 (다)가 (가)보다 작다.

06 ㄱ. 별의 크기는 $\sqrt{\text{광도}}$에 비례하고, $(\text{표면 온도})^2$에 반비례한다. (가)는 (다)보다 절대 등급이 작으므로 광도가 크다. 한편, 분광형이 M형인 (가)보다 B형인 (다)가 표면 온도가 높다. 따라서 별의 크기는 (가)가 (다)보다 크다.

ㄴ. 별의 분광형은 표면 온도에 따라 O>B>A>F>G>K>M의 순서를 따르며, 각 분광형은 다시 고온인 0부터 저온인 9까지 10등급으로 세분화된다. 따라서 별의 표면 온도는 (다)>(나)>(라)>(가)이다.

바로알기 ㄷ. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도가 낮을수록 길다. 따라서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 (나)보다 (라)가 더 길다.

07 ㄱ. H−R도에서 위쪽으로 갈수록 광도가 높으며, 왼쪽으로 갈수록 표면 온도가 높다. (가)와 (나)는 분광형이 같으므로, 표면 온도가 거의 같다. 하지만, (가)가 (나)보다 절대 등급이 작으므로, 광도가 더 크다. 표면 온도가 같을 때 별의 크기는 $\sqrt{\text{광도}}$에 비례하므로, 크기는 (가)가 (나)보다 크다.

ㄴ. H−R도에서 별의 밀도는 오른쪽 위로 갈수록 작아진다. 따라서 밀도는 (다)가 (라)보다 크다.

바로알기 ㄷ. H−R도에서 별의 색지수는 왼쪽으로 갈수록 작다. 따라서 색지수는 (가)가 (다)보다 작다.

08 ㄱ. H−R도에서 위쪽으로 갈수록 광도가 높다. 따라서 별의 광도는 X>Y>Z이다.

ㄴ. H−R도에서 왼쪽으로 갈수록 표면 온도가 높다. 따라서 별의 표면 온도는 Z>Y>X이다.

ㄷ. X는 표면 온도가 낮지만, 광도가 크므로 별의 반지름이 매우 큰 초거성이다. Z는 표면 온도가 높지만, 광도가 작으므로 반지름이 작은 백색왜성이다. 따라서 Y는 주계열성이다.

09 ㄴ. H−R도에서 별의 반지름은 오른쪽 위로 갈수록 크다. 따라서 반지름은 리겔 A가 안타레스보다 작다.

ㄷ. H−R도에서 색지수는 왼쪽으로 갈수록 작아진다. 따라서 색지수는 시리우스 B가 알데바란보다 작다.

바로알기 ㄱ. 스피카 A와 태양은 모두 주계열성이다. H−R도에서 주계열성은 왼쪽 위에 있을수록 질량이 크고, 에너지를 빠르게 소모하여 수명이 짧다. 따라서 스피카 A는 태양보다 수명이 짧다.

10 ㄱ. 광도 계급이 Ⅰ인 별은 초거성, Ⅶ인 별은 백색왜성이다. 별의 밀도가 낮고 반지름이 큰 초거성은 표면 중력이 작아 흡수선의 폭이 좁다. 반면, 밀도가 높고 반지름이 작은 백색왜성은 표면 중력이 커 흡수선의 폭이 넓다.

ㄷ. 별의 분광형이 같을 때, 광도 계급이 낮을수록 H−R도에서 위쪽에 있다. 따라서 별의 반지름은 커진다.

바로알기 ㄴ. 별의 분광형이 같을 때, 광도 계급이 높을수록 H−R도에서 아래쪽에 있다. 따라서 별의 광도는 작아진다.

11 ㄷ. B0형 별에서의 헬륨 흡수선 세기와 K0형 별에서의 철 흡수선 세기를 비교하면, B0형 별에서의 헬륨 흡수선 세기가 더 강하다.

바로알기 ㄱ. 별의 색지수가 작을수록 표면 온도가 높다. 표면 온도가 높은 별에서는 분자 흡수선이 잘 나타나지 않는다. 분자 흡수선은 표면 온도가 낮은 M형 별에서 잘 나타난다.

ㄴ. 태양의 분광형은 G2이다. 그래프에서 G2형 별의 흡수선 세기를 보면 철 흡수선이 수소 흡수선보다 강하게 나타난다.

12 ㄴ. (나)에서 질량이 클수록 광도는 커진다. 별의 광도가 클수록 에너지를 빠르게 소모하므로, 수명이 짧아진다.
ㄷ. (가)에서 표면 온도가 높을수록 색지수가 작으므로, 절대 등급이 작아진다. (나)에서 절대 등급이 작을수록 광도가 크므로, 질량이 커진다. 주계열성은 질량이 클수록 반지름이 크다.
바로알기 ㄱ. (가)에서 색지수가 클수록 절대 등급이 커지므로, 광도는 작아진다. (나)에서 광도가 작을수록 질량은 작아진다.

02 별의 진화

중요 개념 체크

73쪽 **1** (1) × (2) × **2** 영년 주계열
78쪽 **1** (1) ○ (2) × **2** CNO 순환 **3** 대류, 복사
81쪽 **1** 커진다 **2** (1) ○ (2) × (3) ×

개념 기본 문제

84쪽~85쪽

01 ㄴ, ㄷ **02** ㄴ, ㄷ **03** 정역학 평형 **04** ㄱ, ㄴ, ㄷ
05 약 1800만 K **06** ㄱ, ㄷ **07** A **08** 수소
09 ㄱ, ㄷ **10** ㄷ

01 ㄴ. 성운의 밀도가 높아지면 불투명도가 증가하여 복사 에너지가 외부로 쉽게 빠져나가지 못하며, 이로 인해 성운의 내부 온도는 점차 상승한다.
ㄷ. 원시별의 질량이 충분히 커지면, 자체 중력에 의한 수축으로 위치 에너지가 중력 수축 에너지로 전환되어 내부를 더욱 가열한다.
바로알기 ㄱ. 원시별은 성운의 내부 중 절대 온도 10 K 정도의 온도가 매우 낮고 밀도가 높은 곳에서 생성된다.

02 ㄴ. 전주계열성의 질량이 클수록 중심부 온도의 상승 폭이 크고, 반지름의 감소는 작아 광도가 거의 일정하게 유지되며 주계열의 왼쪽 위에 도달한다.
ㄷ. 별의 중심부 온도가 약 1000만 K에 도달하면, 중심부에서 수소 핵융합 반응이 시작되어 내부 압력이 발생하여 중력 수축이 멈춘다.
바로알기 ㄱ. 전주계열성의 질량이 클수록 내부 압력이 크고, 온도 상승이 빠르므로 진화 속도도 빠르다.

03 주계열성은 별의 중심으로 수축하려는 힘인 중력과 핵융합 반응으로 내부 온도가 상승하여 바깥쪽으로 팽창하려는 기체 압력이 평형을 이루는 정역학 평형 상태에 있다.

04 ㄱ. 수소 핵융합 반응은 4개의 수소 원자핵이 융합하여 1개의 헬륨 원자핵을 형성하는 과정이다.
ㄴ. 수소 핵융합 반응에서 생성된 헬륨 원자핵 1개의 질량은 반응에 참여한 수소 원자핵 4개의 질량을 합한 값보다 작으며, 이 질량 결손이 에너지로 전환된다.
ㄷ. 주계열성은 중심부에서 수소 핵융합 반응으로 에너지를 생산한다.

05 (가)는 중심부 온도가 약 1800만 K 이하인 별에서 우세하게 일어나는 양성자-양성자 연쇄 반응, (나)는 중심부 온도가 약 1800만 K보다 높은 별에서 우세하게 일어나는 탄소-질소-산소 순환 반응이다.

06 ㄱ. (가)는 태양 질량의 약 1.5배 이하인 주계열성, (나)는 태양 질량의 약 1.5배 이상인 주계열성의 내부 구조이다.
ㄷ. 태양 질량의 약 1.5배 이하인 주계열성은 중심핵-복사층-대류층의 구조를 가진다. 따라서 복사에 의한 에너지 전달이 우세하게 일어나는 층은 ㉠이다.
바로알기 ㄴ. 태양은 (가)와 같은 방식으로 에너지를 전달한다.

07 태양과 질량이 비슷한 별(B)은 적색거성으로 진화하며, 태양보다 질량이 매우 큰 별(A)은 적색거성보다 더 크고 밝은 초거성이 된다.

08 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 끝나면, 내부 압력이 감소하여 별은 중력에 의해 다시 수축한다. 이때 발생한 에너지에 의해 중심핵 주위에 남아 있던 수소 껍질의 온도가 상승하여 핵융합 반응이 시작되며, 이에 따라 별의 바깥층이 크게 팽창한다.

09 (가)는 태양과 질량이 비슷한 별, (나)는 태양보다 질량이 매우 큰 별이다.
ㄱ. 태양과 질량이 비슷한 별의 내부에서는 최종적으로 탄소와 산소가 만들어지며, 태양보다 질량이 매우 큰 별에서는 최종적으로 철이 만들어진다.
ㄷ. 태양보다 질량이 매우 큰 별은 진화의 최종 단계에서 초신성 폭발을 일으킨다.
바로알기 ㄴ. 태양과 질량이 비슷한 별은 중심부 온도가 탄소 핵융합 반응이 일어날 정도로 상승하지는 못한다. 반면, 태양보다 질량이 매우 큰 별에서는 중심부 온도가 계속

상승하여 탄소와 그 이후 원소의 핵융합 반응이 일어난다. 따라서 중심부 온도는 (나)가 (가)보다 높다.

10 (가)는 태양과 질량이 비슷한 별의 진화 과정, (나)는 태양보다 질량이 매우 큰 별의 진화 과정이다.

ㄷ. 백색왜성(A)보다 질량이 더 큰 별의 진화 과정에서 만들어지는 중성자별(B)과 블랙홀(C)의 밀도가 더 크다. 블랙홀은 중성자별보다 더 심하게 수축했을 때 만들어진다. 따라서 최종 진화 단계에서 밀도는 C > B > A이다.

바로알기 ㄱ. 별의 질량이 클수록 진화 속도는 빨라진다. 따라서 진화 속도는 (나)가 (가)보다 더 빠르다.

ㄴ. 주계열성의 질량은 (나)가 (가)보다 크다.

개념 적용 문제

86쪽~91쪽

01 ③	02 ③	03 ②	04 ②	05 ①	06 ④
07 ②	08 ⑤	09 ⑤	10 ③	11 ②	12 ④

01 ㄱ. 전주계열성의 질량이 클수록 중심부 온도의 상승 폭이 크고, 반지름의 감소는 작아 광도가 거의 일정하게 유지되며 주계열의 왼쪽 위에 도달한다. 따라서 별의 질량은 A가 B보다 크다.

ㄴ. 전주계열성의 질량이 클수록 내부 압력이 크고 온도 상승이 빠르므로, 진화 속도도 빠르다. 따라서 질량이 큰 A가 B보다 진화하는 속도가 빠르다.

바로알기 ㄷ. 별은 전주계열 단계에서 주계열 단계로 진화하는 동안 중력 수축으로 반지름이 작아진다.

02 ㄱ. A는 중심부의 수소 핵융합 반응으로 생성된 에너지에 의해 발생하는 기체 압력이다.

ㄷ. 주계열성은 정역학 평형 상태를 유지하면서 안정적인 구조를 가져, 광도와 크기가 거의 일정하게 유지된다.

바로알기 ㄴ. 주계열성은 별의 중심쪽으로 수축하려는 힘인 중력(B)과 핵융합 반응으로 내부 온도가 상승하여 바깥쪽으로 팽창하려는 기체 압력(A)이 평형을 이룬 상태이다. 따라서 이 별의 내부에서는 A와 B의 크기가 같다.

03 그림은 주계열성 중심핵에서 일어나는 수소 핵융합 반응 중 하나인 탄소·질소·산소 순환 반응이다. 이 반응은 4개의 수소 원자핵이 결합하여 1개의 헬륨 원자핵을 생성하는 과정으로 탄소, 질소, 산소가 촉매 역할을 한다.

ㄷ. 탄소·질소·산소 순환 반응은 중심부 온도가 약 1800만 K 이상인 별에서 우세하게 일어나는 반응이다.

바로알기 ㄱ. 탄소·질소·산소 순환 반응은 별의 질량이 태양의 약 1.5배 이상일 때 우세하게 일어난다.

ㄴ. 탄소·질소·산소 순환 반응은 4개의 수소 원자핵이 차례로 반응하여 최종적으로 1개의 헬륨 원자핵을 생성하는 과정이다. 이 과정에서 탄소는 촉매로 사용된다.

04 (가)는 태양 질량의 약 1.5배 이상인 별, (나)는 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별이다.

ㄷ. (나)는 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별이므로, 태양도 이에 해당한다. 쌀알 무늬는 태양의 표면에서 나타나는 현상이므로, C 영역과 같은 원리로 발생한다.

바로알기 ㄱ. (가)의 A 영역은 복사층, (나)의 C 영역은 대류층이다. 깊이에 따른 온도 차가 클수록 대류에 의한 에너지 전달이 우세하므로, A 영역은 C 영역보다 깊이에 따른 온도 변화가 작다.

ㄴ. 중심부 온도가 약 1800만 K 이상인 B 영역에서는 CNO 순환 반응이, 중심부 온도가 약 1800만 K 이하인 D 영역에서는 P−P 반응이 우세하다.

05 (가)는 주계열 단계, (나)는 적색거성 단계이다.

ㄱ. 별은 일생의 대부분을 주계열 단계에서 머무르므로, 이 별은 (나)보다 (가) 단계에서 더 오래 머무른다.

바로알기 ㄴ. (가)와 (나) 모두 중심부에서 핵융합 반응이 일어나고 있으므로, 중심부가 수축하지 않고 안정적인 상태를 유지한다.

ㄷ. 주계열성인 (가)에서는 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. 적색거성인 (나)에서는 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나며, 중심핵 주변의 수소 껍질에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. 따라서 A는 수소 핵융합 반응, B는 헬륨 핵융합 반응이다. 수소 핵융합 반응으로는 헬륨이 생성되며, 헬륨 핵융합 반응으로는 탄소와 산소가 생성된다. 따라서 핵융합 반응으로 생성되는 원소의 질량은 A가 B보다 작다.

06 ㉠은 전주계열성, ㉡은 주계열성, ㉢은 적색거성, ㉣은 백색왜성이다.

ㄴ. (나)는 수소 핵융합 반응이 끝난 중심핵이 중력에 의해 다시 수축하고, 이 에너지에 의해 중심핵 주위에 남아 있던 수소 껍질의 온도가 상승하여 핵융합 반응을 하는 단계의 내부 구조이다. 이러한 구조는 주계열성과 적색거성 사이

인 ㉡과 ㉢ 사이에서 나타난다.
ㄷ. 별의 밀도는 백색왜성인 ㉣에서 가장 크다.
바로알기 ㄱ. 전주계열성인 ㉠에서는 핵융합 반응이 일어나지 않는다. 핵융합 반응은 주계열성인 ㉡과 적색거성인 ㉢에서 일어난다.

07 ㄷ. (가)는 중심부에 철 원자핵이 존재하는 초거성 마지막 단계의 내부 구조이다.
바로알기 ㄱ. A는 헬륨 바깥에 있는 층이므로, 수소이다. 주계열 단계에서는 수소 핵융합 반응으로 헬륨 원자핵이 생성된다.
ㄴ. B는 규소보다 안쪽에 있는 층이므로, 철 중심핵이다. 핵융합 반응으로 생성될 수 있는 원소는 철이 마지막이며, 철보다 무거운 원소는 초신성 폭발 과정에서 형성된다.

08 (가)는 중심부에 철 원자핵이 존재하는 초거성 마지막 단계의 내부 구조, (나)는 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나고 있는 주계열 단계의 내부 구조, (다)는 헬륨 핵융합 반응으로 탄소가 생성된 초거성 중간 단계의 내부 구조이다.
ㄱ. 별의 반지름은 주계열성인 (나)가 초거성 단계인 (가)와 (다)보다 작다.
ㄴ. 중심부의 온도가 높을수록 더 무거운 원자핵이 만들어질 수 있다. 따라서 철 원자핵이 존재하는 (가)가 탄소 원자핵이 존재하는 (다)보다 중심부의 온도가 높다. 중심부에서 아직 수소 핵융합 반응이 일어나고 있는 (나)의 중심부 온도가 가장 낮다.
ㄷ. 중심부에서 철 원자핵까지 생성하는 초거성 단계를 거치므로, 이 별은 태양보다 질량이 매우 큰 별이다.

09 A는 태양과 질량이 비슷한 별, B는 태양보다 질량이 매우 큰 별이다.
ㄱ. 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높으므로, Ⅰ단계에서 별의 표면 온도는 B가 A보다 높다.
ㄴ. Ⅱ단계에서 별의 중심부 온도가 높을수록 더 무거운 원자핵이 만들어질 수 있다. A는 적색거성 단계에서 최종적으로 탄소와 산소가 생성될 수 있고, B는 초거성 단계에서 최종적으로 철이 생성될 수 있다.
ㄷ. Ⅲ단계에서 형성된 (가)는 백색왜성이고, (나)는 중성자별 또는 블랙홀이다. 따라서 반지름은 (가)가 (나)보다 크다.

10 ㄱ. (가)는 태양과 질량이 비슷한 별의 진화 과정에서 나타나며, 그 중심부에는 백색왜성이 존재한다.
ㄴ. (나)는 태양보다 질량이 매우 큰 별의 진화 과정에서 나타나는 초신성 폭발로 만들어지며, 초신성 폭발 과정에서 철보다 무거운 원소가 만들어진다.
바로알기 ㄷ. (나)는 태양보다 질량이 매우 큰 별의 진화 단계에서 나타나는 모습이므로, 태양의 진화 단계에서는 나타나지 않는다.

11 ㄴ. 주계열성은 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. 반면, 적색거성은 중심부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나고, 중심부 바깥의 수소 껍질에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. 따라서 '별 전체에서 한 가지 핵융합 반응만 일어나는가?'는 B에 들어갈 수 있다.
바로알기 ㄱ. 전주계열성에서는 아직 핵융합 반응이 일어나지 않는다. 따라서 '별의 중심부에서 핵융합 반응이 일어나는가?'는 A에 들어갈 수 없다.
ㄷ. 탄소는 적색거성의 중심부에서 헬륨 핵융합 반응으로 생성된다. 따라서 주계열성의 내부에서는 생성될 수 없으므로, '별의 중심부에서 핵융합 반응으로 탄소가 형성되는가?'는 B에 들어갈 수 없다.

12 ㄴ. 주계열성에서 적색거성이 되는 동안 수소 껍질에서 핵융합 반응이 일어나 별의 바깥층은 크게 팽창하여 반지름이 커지고 광도가 증가하지만, 표면 온도는 낮아진다.
ㄷ. 적색거성에서 백색왜성이 되는 동안 별은 수축과 팽창을 반복하는 불안정한 상태가 되고, 별의 바깥쪽 물질이 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운이 형성된다.
바로알기 ㄱ. (나)의 중심부에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어나고, 중심부를 둘러싼 껍질에서는 수소 핵융합 반응이 일어나고 있으므로, 적색거성인 B 단계에 해당한다.

93쪽

수능분석 실전 문제 풀어보기

ㄱ, ㄴ. 초신성 폭발은 태양보다 질량이 매우 큰 별의 진화 과정에서 일어나며, 막대한 에너지를 방출한다. 이때 별 내부에서 생성된 원소가 우주로 방출되며, 철보다 무거운 원소들이 생성된다.
바로알기 ㄷ. 태양보다 질량이 매우 큰 별은 중심부 온도가 매우 높아 헬륨 핵융합 반응 이후에도 탄소, 네온, 산소, 규소 등이 차례로 핵융합 반응을 한다. 따라서 별의 중심부는 점점 더 무거운 원소로 채워지며, 최종적으로 철까지 생성된다.

정답 ③

중단원 핵/심/정/리

94쪽~95쪽

1 플랑크 2 슈테판·볼츠만 3 빈의 변위
4 파란 5 붉은 6 흡수 7 O
8 M 9 커 10 반지름 11 밀도
12 주계열성 13 거성 14 초거성 15 백색왜성
16 원시별 17 전주계열성 18 1000만
19 정역학 평형 20 1800만 21 1.5
22 1.5 23 수소 24 헬륨 25 탄소
26 백색왜성 27 철

통합 실전 문제

96쪽~99쪽

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

01 (가)에서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 빈의 변위 법칙에 따라 표면 온도에 반비례한다. 따라서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 더 짧은 A가 B보다 표면 온도가 높다. (나)에서 ㉠은 복사핵-복사층-대류층의 구조이므로 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별이며, ㉡은 대류핵-복사층의 구조이므로 태양 질량의 약 1.5배 이상인 별이다.

ㄷ. 수소 핵융합 반응이 끝난 이후부터 헬륨 핵융합 반응이 일어나기 전까지의 광도 변화 폭은 질량이 클수록 작으므로, A가 B보다 작다.

바로알기 ㄱ. 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높다. 따라서 표면 온도가 더 높은 A의 내부 구조는 ㉡이다.

ㄴ. 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별에서는 P-P 반응, 약 1.5배 이상인 별에서는 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다. 따라서 $\frac{\text{CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성량}}{\text{P-P 반응에 의한 에너지 생성량}}$은 질량이 더 작은 B가 A보다 작다.

02 (가)의 스펙트럼에서는 파장이 짧은 파란색 영역에서 흡수선이 강하게 나타난다. (나)의 스펙트럼에서는 파장이 긴 빨간색 영역에서 흡수선이 강하게 나타난다. (다)의 스펙트럼에서는 노란색~녹색 영역에서 흡수선이 나타난다. 따라서 (가)는 A형, (나)는 M형, (다)는 G형임을 알 수 있다.

ㄴ. 별의 스펙트럼에서 금속선은 표면 온도가 낮은 M형 별에서 가장 강하게 나타난다.

바로알기 ㄱ. 최대 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례한다. 따라서 표면 온도가 가장 높은 (가)는 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 가장 짧다.

ㄷ. 별의 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 네제곱에 비례한다. 따라서 광도가 같다면 표면 온도가 가장 낮은 (나)의 크기가 가장 크다.

03 ㄴ. CaⅡ 흡수선의 세기는 상대적으로 표면 온도가 낮은 4000 K~5000 K 사이에서 가장 강하다. 따라서 표면 온도가 7500 K~10000 K 정도인 A형 별보다 3500 K~5000 K인 K형 별에서 CaⅡ 흡수선이 더 강하게 나타난다.

ㄷ. 태양의 표면 온도는 약 5800 K이다. 별의 표면 온도가 5800 K일 때, HⅠ 흡수선보다 CaⅡ 흡수선이 강하게 나타난다.

바로알기 ㄱ. 그래프에서 HⅠ 흡수선의 세기가 가장 강한 표면 온도는 10000 K 정도이다. 따라서 HⅠ 흡수선의 세기는 A형 별에서 가장 강하게 나타난다.

04 별의 분광형은 표면 온도에 따라 O>B>A>F>G>K>M의 순서를 따른다. 따라서 표면 온도는 (가)>(라)>(다)>(나)이다.

ㄴ. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례하므로, 표면 온도가 낮은 (다)가 (라)보다 길다.

ㄷ. 단위시간 동안 단위넓이에서 방출되는 에너지량은 슈테판·볼츠만 법칙에 따라 표면 온도의 네제곱에 비례하므로, 표면 온도의 순서와 같은 (가)>(라)>(다)>(나)이다.

바로알기 ㄱ. 별의 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 네제곱에 비례한다. (가)와 (나)는 광도가 같지만, 표면 온도는 (가)가 더 높다. 따라서 반지름은 (나)가 더 크다.

05 절대 등급과 분광형을 이용하여 (가)와 (나)를 H-R도에 나타내면 (가)는 주계열의 왼쪽 아래에 위치하는 백색왜성, (나)는 주계열의 오른쪽 위에 위치하는 적색거성이다.

ㄱ. H-R도에서 밀도는 왼쪽 아래로 갈수록 커지므로, 밀도는 (가)가 (나)보다 크다.

ㄷ. 태양과 질량이 비슷한 별은 주계열성 이후 적색거성 단계를 거쳐 행성상 성운을 형성한 뒤 백색왜성이 된다. 따라서 (가)가 속한 백색왜성보다 (나)가 속한 적색거성을 먼저 거친다.

바로알기 ㄴ. H−R도에서 반지름은 오른쪽 위로 갈수록 커지므로, 반지름은 (나)가 (가)보다 크다.

06 ㄱ. 색지수는 별의 표면 온도가 높을수록 작아진다. 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높으므로, 표면 온도는 A가 B보다 높다. 따라서 색지수는 A가 B보다 작다.
ㄴ. 주계열성의 질량이 클수록 에너지를 더 많이 소모하여 광도가 크다. 따라서 별 전체의 에너지 소모량은 A가 B보다 크다.
ㄷ. 수소 핵융합 반응은 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별에서는 P−P 반응이 우세하며, 약 1.5배 이상인 별에서는 CNO 순환 반응이 우세하다. 따라서 태양 질량의 10배인 A에서는 CNO 순환 반응, 태양 질량의 1배인 B에서는 P−P 반응이 우세하게 일어난다.

07 ㄱ, ㄷ. 전주계열 단계에서 별은 진화하는 동안 수축이 계속되어 반지름은 작아지며, 이때 위치 에너지가 중력 수축 에너지로 전환되어 중심부 온도는 상승한다. 따라서 이 별의 진화는 C → B → A 순으로 진행되며, 중심부 온도는 A가 C보다 높다.
바로알기 ㄴ. 별이 주계열성에 가까워질수록 중심부 온도가 높으므로, 기체 압력이 증가한다. 따라서 기체 압력은 주계열성에 가까운 B가 C보다 크다.

08 그림에서 A는 별의 안쪽에서 바깥쪽으로 작용하는 기체 압력, B는 별의 중심쪽으로 작용하는 중력이다. 표에서 (가)는 기체 압력보다 중력이 크므로, 수축하고 있는 전주계열성이다. (나)는 기체 압력과 중력이 평형을 이루고 있는 주계열성이다.
ㄱ. 전주계열성에서 주계열성으로 진화하는 동안 별은 계속 수축하므로, 별의 반지름은 (가)가 (나)보다 크다.
ㄷ. 전주계열 단계에서는 수축이 지속되므로, 광도도 계속 변한다. 반면, 주계열 단계에서는 정역학 평형 상태이므로 광도의 변화가 거의 없다. 따라서 시간에 따른 광도의 변화 비율은 (가)가 (나)보다 크다.
바로알기 ㄴ. 전주계열성은 아직 수소 핵융합 반응이 일어나기 전이며, 중력 수축 에너지가 에너지원이다. 반면, 주계열성은 중심부의 수소 핵융합 반응이 에너지원이다. 따라서 A를 만드는 에너지원은 (가)와 (나)가 다르다.

09 중심부의 수소 함량은 A가 B보다 적다. 따라서 A는 B보다 수소 핵융합 반응이 더 많이 진행된 상태이다.
ㄴ. 두 주계열성의 질량이 같으므로, 수명도 거의 같다. A는 B보다 수소 핵융합 반응이 더 많이 진행된 상태이므로, 이 시점까지 주계열 단계에 머문 시간도 더 길다.
ㄷ. 이 시점까지 주계열 단계에 더 오래 머문 A가 B보다 더 빨리 거성 단계로 진화한다.
바로알기 ㄱ. 중심부의 수소 핵융합 반응으로 헬륨이 생성되므로, 수소 핵융합 반응이 더 많이 진행된 A는 B보다 중심부에 헬륨의 양이 더 많다. 따라서 중심부에서 $\frac{\text{헬륨의 양}}{\text{수소의 양}}$은 A가 B보다 크다.

10 (가)는 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별에서 우세하게 일어나는 양성자·양성자 연쇄 반응(P−P 반응), (나)는 태양 질량의 약 1.5배 이상인 별에서 우세하게 일어나는 탄소·질소·산소 순환 반응(CNO 순환 반응)을 나타낸 것이다. 따라서 A는 태양 질량의 1배, B는 태양 질량의 15배이다.
ㄱ. 태양 질량의 1배인 A는 복사핵−복사층−대류층의 구조이며, 태양 질량의 15배인 B는 대류핵−복사층의 구조이다. 따라서 별의 표면에서 대류가 우세하게 일어나는 부분까지의 거리는 A가 B보다 짧다.
바로알기 ㄴ. 질량이 더 큰 B가 A보다 거성 단계에서 반지름이 더 크다.
ㄷ. 태양과 질량이 비슷한 A는 진화 과정에서 탄소 핵융합 반응이 일어날 정도로 중심부 온도가 높아지지 못하여, 진화 마지막 단계에서 최종적으로 생성되는 물질은 탄소와 산소이다. 반면, 태양 질량의 15배인 B는 진화 과정에서 탄소와 그 다음 원소들의 핵융합 반응이 일어날 정도로 중심부 온도가 높아진다. 따라서 진화 마지막 단계에서 최종적으로 탄소와 산소보다 무거운 철까지 만들어진다.

11 ㄱ. A는 별의 중심부에 대류층, 그 바깥은 복사층으로 이루어져 있으므로 태양 질량의 약 1.5배 이상인 별이다. B는 표면 근처에서만 대류층이 나타나고, 대부분 복사층으로 이루어져 있으므로 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별이다. 따라서 별의 질량은 A가 B보다 크다.
ㄴ. 깊이에 따른 온도 차가 클수록 대류에 의한 에너지 전달이 우세하다. 따라서 중심부가 대류층인 A가 복사층인 B보다 중심부에서 깊이에 따른 온도 차가 크다.
바로알기 ㄷ. P−P 반응은 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별에서 우세하다. 따라서 별 전체의 에너지 생성량에 대한 P−P 반응에 의한 에너지 생성량은 A가 B보다 작다.

12 주계열성은 H−R도에서 왼쪽 위에 위치할수록 질량이 크다. 따라서 질량은 A가 B보다 크다.

ㄱ. 주계열성의 질량이 클수록 거성이 되는 데 걸리는 시간이 짧으므로, 진화 속도는 질량이 큰 A가 B보다 빠르다.

ㄷ. 진화 과정에서 가로축 값의 변화 폭은 A가 B보다 크다. H−R도에서 분광형은 표면 온도로도 표현할 수 있으므로, 진화 과정에서 표면 온도의 변화 폭은 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄴ. 진화 과정에서 세로축 값의 변화 폭은 A가 B보다 작다. H−R도에서 광도는 절대 등급으로도 표현할 수 있으므로, 진화 과정에서 절대 등급의 변화 폭은 A가 B보다 작다.

13 (가)는 별의 중심부에서 최종적으로 탄소와 산소가 형성되었고, (나)는 철이 형성되었다. 따라서 (가)는 태양과 질량이 비슷한 별, (나)는 태양보다 질량이 매우 큰 별이다.

ㄷ. 별의 질량이 클수록 거성으로의 진화 과정에서 표면 온도의 변화 폭이 크다. 따라서 주계열성에서 현재 상태까지의 진화 과정에서 표면 온도의 변화 폭은 (가)가 (나)보다 작다.

바로알기 ㄱ. 별의 질량이 클수록 진화 속도가 빠르므로, (나)가 (가)보다 진화 속도가 빠르다.

ㄴ. 원시별의 질량이 클수록 주계열성의 질량도 커지므로, 원시별 상태였을 때 질량은 (나)가 (가)보다 크다.

14 A는 원시별, B는 주계열성, C는 적색거성, D는 백색왜성이다.

ㄴ. 주계열성은 중심부에서 수소 핵융합 반응이 진행 중이지만, 별 전체의 대부분은 여전히 수소로 남아 있다. 반면, 적색거성은 중심부의 수소가 고갈되고, 수소 껍질에서 핵융합 반응이 일어나 수소가 소모되므로 별 전체의 수소 비율이 주계열성보다 작다. 따라서 $\frac{\text{수소의 총 질량}}{\text{별의 총 질량}}$은 B가 C보다 크다.

바로알기 ㄱ. 평균 밀도는 백색왜성인 D에서 가장 크다.

ㄷ. 주계열성이 적색거성으로 진화하면서 별은 급격히 팽창하여 반지름이 매우 커진다. 반면, 적색거성에서 백색왜성으로 진화할 때는 별의 바깥층이 방출되어 반지름이 매우 작아진다. 따라서 $\frac{\text{B의 반지름}}{\text{C의 반지름}} < \frac{\text{C의 반지름}}{\text{D의 반지름}}$이다.

HIGH TOP 최상위 문제

100쪽~101쪽

1 ③ **2** ① **3** ③ **4** ①

1

자료 분석

별	대표 흡수선	흡수선 세기	표면 온도(K)	분광형
X	(HeⅡ)	강함	35000	(O형)
Y	HⅠ	가장 강함	(10000)	(A형)
Z	CaⅡ	강함	5200	(G형)

- 별 X는 표면 온도가 35000 K이므로, O형 별이다. O형 별의 스펙트럼에서는 이온화된 헬륨(HeⅡ) 흡수선이 강하게 나타난다.
- 별 Y는 스펙트럼에서 HⅠ 흡수선이 가장 강하게 나타나므로, 표면 온도가 10000 K 정도의 A형 별이다.
- 별 Z는 표면 온도가 5200 K이므로, G형 별이다. 태양의 표면 온도는 약 5800 K이므로, 별 Z는 태양보다 질량이 작다.

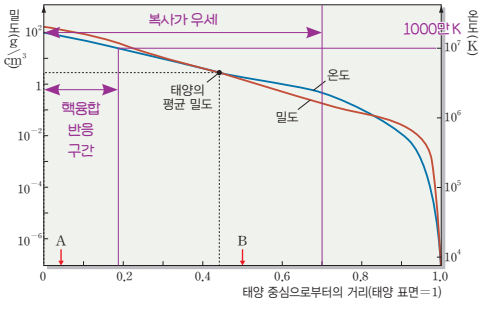
ㄱ. X는 표면 온도가 35000 K이므로, 분광형은 O형이다. O형 별에서는 HeⅡ의 흡수선이 강하게 나타난다.

ㄴ. Y의 스펙트럼에서는 HⅠ 흡수선이 가장 강하게 나타나므로, 표면 온도가 10000 K 정도의 A형 별이다. 따라서 Y의 표면 온도는 X보다 낮고 Z보다 높다.

바로알기 ㄷ. Z의 표면 온도는 5200 K이므로, G형 별이다. 태양의 표면 온도는 약 5800 K이므로, Z는 태양보다 질량이 작다. 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별의 중심핵에서는 주로 복사에 의한 에너지 전달이 일어난다.

2

자료 분석



- 별의 중심부 온도가 1000만 K 이상인 구간에서 핵융합 반응이 일어난다. 따라서, A 지점에서는 핵융합 반응이 일어나며, B 지점에서는 핵융합 반응이 일어나지 않는다.
- 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별에서는 P−P 반응이 우세하게 일어난다. 따라서, A 지점에서는 CNO 순환 반응보다 P−P 반응에 의한 에너지 생성량이 더 많다.

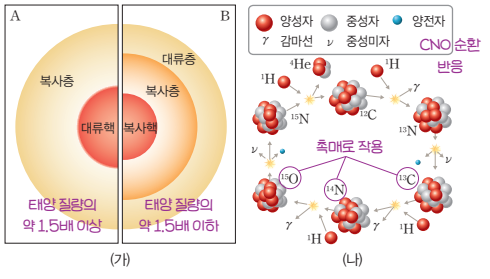
• 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별에서는 중심에서 반지름의 약 70 %까지 복사층에 해당한다. 따라서, A 지점과 B 지점에서는 모두 복사에 의한 에너지 전달이 우세하다.

ㄱ. 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별의 중심부에서는 P−P 반응이 우세하게 일어난다. 따라서 A 지점에서 P−P 반응에 의한 에너지 생성량은 CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성량보다 크다.

바로알기 ㄴ. 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별의 내부는 복사핵−복사층−대류층으로 이루어져 있으며, 별의 중심에서 별 반지름의 약 70 %까지 복사에 의한 에너지 전달이 우세하다. 따라서 B 지점에서의 에너지 전달은 주로 복사에 의해 일어난다.

ㄷ. 수소 핵융합 반응은 온도가 약 1000만 K 이상인 부분에서 일어난다. 그래프에서 온도가 약 1000만 K 이상인 부분은 B보다 안쪽에 위치한다. 따라서 B 지점에서는 수소 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

3 자료 분석



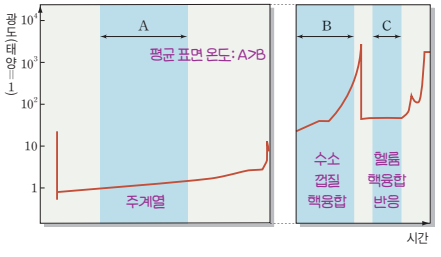
• 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별의 내부는 복사핵−복사층−대류층으로 이루어져 있으며, 약 1.5배 이상인 별의 내부는 대류핵−복사층으로 이루어져 있다. 따라서, A는 태양 질량의 10배인 별이고, B는 태양 질량의 1배인 별이다.
• 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별에서는 P−P 반응, 약 1.5배 이상인 별에서는 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다. 따라서, A의 중심부에서는 CNO 순환 반응, B의 중심부에서는 P−P 반응이 우세하게 일어난다.
• 그림 (나)는 탄소, 질소, 산소가 촉매로 작용하는 CNO 순환 반응이다.

ㄱ. A는 대류핵−복사층으로 이루어져 있으므로, 태양 질량의 약 1.5배 이상인 별이다. 따라서 A는 태양 질량의 10배이다. B는 복사핵−복사층−대류층으로 이루어져 있으므로, 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별이다. 따라서 B는 태양 질량의 1배이다.

ㄷ. 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별에서는 P−P 반응, 약 1.5배 이상인 별에서는 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다. 따라서 전체 수소 핵융합 반응으로 생성되는 에너지 중 CNO 순환 반응으로 생성되는 에너지의 비율은 태양 질량의 10배인 A에서 더 크다.

바로알기 ㄴ. (나) 과정은 수소 핵융합 반응 중 CNO 순환 반응이다. CNO 순환 반응에서는 최종적으로 헬륨이 생성되며, 탄소, 질소, 산소는 촉매 역할을 한다.

4 자료 분석



• A 시기에는 광도의 변화가 거의 없으므로, 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열 단계이다.
• B 시기에는 광도가 급격하게 증가하므로, 수소 껍질에서 핵융합 반응이 일어나는 단계이다. 중심부에서는 아직 핵융합 반응이 일어나지 않는다.
• C 시기에는 광도가 다시 안정적이므로, 중심부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나는 단계이다.
• 주계열성인 A 시기가 수소 껍질에서 핵융합 반응이 일어나 별의 반지름이 커지면서 표면 온도가 낮아지는 B 시기보다 평균 표면 온도가 높다.

ㄱ. A 시기는 주계열 단계, B 시기는 수소 껍질에서 핵융합 반응이 일어나는 단계이다. B 시기에는 수소 껍질에서 핵융합 반응이 일어나 별의 반지름이 커지면서 광도는 증가하지만 표면 온도는 낮아진다. 따라서 평균 표면 온도는 A 시기가 B 시기보다 높다. 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 표면 온도가 낮을수록 길어지므로, 파장의 평균값도 A 시기보다 B 시기가 길다.

바로알기 ㄴ. C 시기는 중심부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나는 단계이다. 이 시기에는 별에서 중심부의 헬륨 핵융합 반응과 수소 껍질에서 수소 핵융합 반응이 함께 일어난다. 반면, 주계열 단계인 A 시기에는 별에서 수소 핵융합 반응만 일어난다. 따라서 전체 핵융합 반응에 의한 에너지 생성량에서 수소 핵융합 반응에 의한 에너지 생성량이 차지하는 비율은 A 시기가 C 시기보다 크다.

ㄷ. B 시기에는 아직 헬륨 핵융합 반응이 일어나지 않고, 수소 껍질에서 수소 핵융합 반응만 일어난다.

사고력 확장 문제

102쪽~105쪽

1 (1) 빈의 변위 법칙에 따라 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 별의 표면 온도에 반비례한다.

(2) $(B-V)$ 색지수는 B 필터와 V 필터로 측정한 복사 에너지의 상대적인 세기로 결정된다.

모범답안 (1) 빈의 변위 법칙에 따라 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 별의 표면 온도에 반비례한다. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 ㉠이 ㉡보다 짧으므로, 표면 온도는 ㉠이 ㉡보다 높다.

(2) $(B-V)$ 색지수는 B 필터와 V 필터로 측정한 복사 에너지의 상대적인 세기로 결정된다. ㉠은 B 필터로 측정한 복사 에너지가 V 필터로 측정했을 때보다 상대적으로 크므로, $(B-V)$ 색지수가 작게 나타난다. 반면, ㉡은 B 필터로 측정한 복사 에너지가 V 필터로 측정했을 때보다 상대적으로 작으므로 $(B-V)$ 색지수가 크게 나타난다. 따라서 $(B-V)$ 색지수는 ㉠이 ㉡보다 작다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	㉠과 ㉡의 표면 온도를 최대 복사 에너지를 방출하는 파장과 관련지어 옳게 비교한 경우	50
	㉠과 ㉡의 표면 온도만 옳게 비교한 경우	20
(2)	㉠과 ㉡의 $(B-V)$ 색지수 크기를 B 필터와 V 필터로 측정한 복사 에너지의 상대적인 세기와 관련지어 옳게 비교한 경우	50
	㉠과 ㉡의 $(B-V)$ 색지수 크기만 옳게 비교한 경우	20

2 (1) 절대 등급의 크기는 백색왜성 > 적색거성이며, 반지름의 크기는 적색거성 > 주계열성 > 백색왜성이다.

(2) 스펙트럼에서 분자 흡수선은 별의 표면 온도가 낮을수록 강하게 나타난다.

모범답안 (1) A는 절대 등급이 5.0이고 반지름이 태양과 같으며 분광형이 G2이므로, 질량이 태양과 비슷한 주계열성이다. B는 절대 등급이 −2.0으로 매우 밝고 반지름이 태양의 100배로 매우 크므로, 적색거성이다. C는 절대 등급이 10.0으로 매우 어둡고 반지름이 태양의 0.01배로 매우 작으므로, 백색왜성이다.

(2) 분자 흡수선은 표면 온도가 낮은 별에서 강하게 나타난다. 세 별 중 표면 온도가 가장 낮은 별은 적색거성인 B이므로, 분자 흡수선은 B에서 가장 강하게 나타난다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	A~C의 종류를 모두 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50
	A~C의 종류만 옳게 쓴 경우	20
(2)	분자 흡수선이 가장 강하게 나타나는 별을 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50
	분자 흡수선이 가장 강하게 나타나는 별만 옳게 쓴 경우	20

3 A와 D는 주계열성, B는 안정적인 상태의 초거성, C는 백색왜성이다. 주계열성에서는 수소 핵융합 반응, 안정적인 상태의 초거성 중심부에서는 헬륨이나 더 무거운 원소의 핵융합 반응이 일어난다. 백색왜성에서는 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

모범답안 A와 D는 주계열에 있으므로, 주계열성이다. 주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응이 일어난다. B는 주계열보다 오른쪽 위에 있으며 절대 등급이 매우 작으므로, 안정적으로 빛을 내는 초거성이다. 이 초거성의 중심부에서는 헬륨이나 더 무거운 원소의 핵융합 반응이 일어난다. C는 주계열보다 왼쪽 아래에 있으므로, 백색왜성이다. 백색왜성은 중심부에서 더 이상 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

채점 기준	배점(%)
A~D의 중심부에서 일어나는 핵융합 반응의 종류를 옳게 비교한 경우	100
A~D의 중심부에서 일어나는 핵융합 반응의 종류 중 일부만 옳게 비교한 경우	50

4 (1) 태양 질량의 약 1.5배 이하인 별은 P−P 반응이 우세하게 일어나며, 약 1.5배 이상인 별은 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다.

(2) 태양과 질량이 비슷한 별은 중심부 온도가 탄소 핵융합 반응이 일어날 정도로 상승하지 못하며, 태양보다 질량이 매우 큰 별은 헬륨 핵융합 이후 중심부 온도가 계속 상승하여 탄소, 네온, 산소, 규소 등의 핵융합 반응이 일어난다.

모범답안 (1) (가)는 복사핵−복사층−대류층의 내부 구조를 가지므로, 태양보다 질량이 약 1.5배 이하인 별이다. 이 별의 중심부에서는 P−P 반응이 우세하게 일어난다. (나)는 대류핵−복사층의 내부 구조를 가지므로, 태양보다 질량이 약 1.5배 이상인 별이다. 이 별의 중심부에서는 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다.

(2) (가)는 태양 질량의 1배인 별이므로, 중심부에서 헬륨 핵융합 반응까지만 일어난다. 따라서 중심부의 핵융합 반응이 모두 끝났을 때 이 별의 가장 안쪽에는 탄소와 약간의 산소가 있다. (나)는 태양 질량의 15배인 별이므로, 중심부에서 헬륨 핵융합 이후 온도가 계속 상승하여 탄소 이후의 핵융합 반응이 차례대로 일어난다. 따라서 중심부의 핵융합 반응이 모두 끝났을 때, 이 별의 가장 안쪽에는 철이 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	(가)와 (나)의 중심부에서 우세하게 일어나는 수소 핵융합 반응의 종류를 별의 질량과 관련지어 옳게 비교한 경우	50
	(가)와 (나)의 중심부에서 우세하게 일어나는 수소 핵융합 반응의 종류만 옳게 쓴 경우	20
(2)	(가)와 (나)의 가장 안쪽에 있는 원소의 종류를 옳게 비교한 경우	50
	(가)와 (나)의 가장 안쪽에 있는 원소 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	20

5 질량이 큰 별일수록 중심부의 수소를 더 빨리 소모해 주계열을 먼저 벗어난다.

모범답안 이 성단의 별들은 거의 동시에 만들어졌지만, 질량이 큰 별일수록 중심부의 수소를 더 빨리 소모한다. 중심부의 수소가 고갈되면 핵은 수축하면서 가열되고, 바깥층은 팽창하면서 냉각된다. 따라서 이 별은 적색거성이나 초거성이 되며, H−R도에서 오른쪽 위로 이동하여 성단의 주계열 밖에 나타난다.

채점 기준	배점(%)
주계열을 벗어난 별들이 나타나는 까닭을 질량에 따른 별의 수명과 관련지어 서술한 경우	100
주계열을 벗어난 별들이 나타나는 까닭을 별의 진화 속도 차이 때문이라고만 쓴 경우	50

6 별 내부에서 일어나는 핵융합 반응으로 핵자당 결합 에너지가 증가하며, 점점 안정한 원자핵이 된다.

모범답안 핵자당 결합 에너지는 수소에서 철까지는 대부분 핵자 수가 커질수록 증가하다가, 철 이후에는 감소한다. 따라서 별 내부에서는 철까지는 핵융합으로 안정된 원자핵이 생성될 수 있다. 그러나 철보다 무거운 원자핵은 핵융합으로 더 안정해질 수 없으므로, 별 내부의 핵융합만으로는 철보다 무거운 원소가 생성되지 않는다.

채점 기준	배점(%)
별 내부에서 철 원자핵까지만 생성되는 까닭을 핵자당 결합 에너지와 핵자 수의 관계로 옳게 서술한 경우	100
철 원자핵이 가장 안정하기 때문이라고만 서술한 경우	50

7 (1) (나)는 행성상 성운으로, 적색거성 단계 직후부터 백색왜성으로 진화하는 과정에서 생성된다.

(2) 태양과 질량이 비슷한 별은 적색거성 단계 직후부터 백색왜성으로 진화하는 과정에서 중심부 온도가 탄소 핵융합 반응이 일어날 정도로 상승하지 못한다.

모범답안 (1) C와 D 단계 사이

(2) 태양과 질량이 비슷한 별은 헬륨 핵융합 반응 이후 중심부 온도가 탄소 핵융합 반응이 일어날 정도로 상승하지 못한다. 따라서 별은 수축과 팽창을 반복하며 바깥층 물질을 방출하고, 이 물질이 행성상 성운을 형성한다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	C와 D 단계 사이라고 옳게 쓴 경우	30
	그 외의 오답	0
(2)	(나)와 같은 천체가 만들어지는 과정을 핵융합 반응과 관련지어 옳게 서술한 경우	70
	(나)와 같은 천체가 만들어지는 과정을 핵융합 반응을 언급하지 않고 서술한 경우	30

8 (1) (가)는 태양과 질량이 비슷한 별의 진화 과정에서 나타나는 행성상 성운이며, (나)는 태양보다 질량이 매우 큰 별의 진화 과정에서 나타나는 초신성 잔해이다.

(2) 별이 진화하면서 방출한 물질은 우주 공간으로 흩어지며, 이후 다른 별의 생성에 사용된다.

모범답안 (1) (가)의 중심에는 백색왜성이 있고, (나)의 중심에는 중성자별이나 블랙홀이 있다. 중성자별이나 블랙홀은 백색왜성보다 훨씬 더 높은 밀도를 가진다.

(2) 별이 진화하면서 방출한 물질은 우주 공간으로 흩어지고, 이후 새로운 별의 생성에 다시 사용된다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	(가)와 (나)의 중심에 있는 천체가 무엇인지 옳게 쓰고, 두 천체의 밀도를 옳게 비교한 경우	50
	(가)와 (나)의 중심에 있는 천체가 무엇인지만 옳게 쓴 경우	20
(2)	우주 공간으로 방출된 뒤, 새로운 별의 생성에 다시 사용된다고 서술한 경우	50
	우주 공간으로 흩어진다고만 서술한 경우	20

3 은하와 우주

01 외부 은하

중요 개념 체크

110쪽 **1** (1) × (2) ○ (3) ×

113쪽 **1** (1) 제트 **2** (1) × (2) ○

개념 기본 문제

116쪽

01 ㄱ, ㄷ **02** ㄴ **03** ㉠ 많이, ㉡ 활발하다 **04** ㉠ 제트, ㉡ 로브 **05** ㄴ, ㄷ **06** ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 ㄱ. 허블은 다양한 외부 은하를 가시광선 영역에서 관측되는 형태학적 특징에 따라 분류하였다.

ㄷ. 안드로메다은하는 대표적인 Sb형 정상나선 은하이며, 우리은하는 중심에 막대 구조가 있는 SBbc형 막대나선 은하이다.

바로알기 ㄴ. 허블의 은하 분류는 은하의 진화와는 관련이 없는 형태학적 분류이다.

02 (가)는 나선팔이 없는 타원 모양의 타원 은하, (나)는 중앙 팽대부를 중심으로 나선팔이 감긴 모양의 나선 은하이다. 타원 은하는 성간 물질의 양이 매우 적어, 새로운 별의 생성이 거의 일어나지 않으며, 주로 나이가 많은 붉은색 별들로 이루어져 있다. 반면, 나선 은하의 나선팔에는 성간 물질이 많이 분포하여 새로운 별의 생성이 많이 일어나며, 주로 나이가 적은 푸른색 별들이 많다.

03 불규칙 은하는 규칙적인 형태가 없는 은하로, 성간 물질을 많이 포함하고 있어서 새로운 별의 생성이 활발하다.

04 전파 은하를 가시광선 영역으로 관측하면 타원 은하로 보인다. 반면, 전파 영역으로 관측하면 중심에는 핵이 있고, 핵 양쪽에 제트로 연결된 거대한 전파 방출 영역인 로브가 있다.

05 ㄴ. 퀘이사의 스펙트럼에서는 일반 은하에 비해 매우 큰 적색 이동이 나타난다.

ㄷ. 퀘이사의 크기는 태양계 정도로 작지만, 방출하는 에너지는 우리은하의 수백 배~수천 배에 이른다. 이러한 막대한 에너지는 중심부에 있는 것으로 여겨지는 거대한 질량의 블랙홀에 의해 형성되는 것으로 추정된다.

바로알기 ㄱ. 퀘이사의 스펙트럼에서 매우 큰 적색 이동이 나타난다는 것은 퀘이사가 지구로부터 매우 멀리 떨어져 있으며, 우주의 역사 초기부터 있었던 천체라는 것을 의미한다.

06 ㄱ. 세이퍼트 은하는 대부분 나선 은하로 관측되며, 은하의 중심부가 주변부에 비해 비정상적으로 밝고 크기가 작다.

ㄴ, ㄷ. 세이퍼트 은하의 스펙트럼에서는 방출선의 폭이 매우 넓게 나타나는데, 이것은 은하 중심에 있다고 추정되는 거대 질량 블랙홀의 영향으로 성간 물질이 매우 빠른 속도로 움직이고 있다는 것을 의미한다.

개념 적용 문제

117쪽~119쪽

01 ④ **02** ① **03** ③ **04** ② **05** ③ **06** ⑤

01 ㉠은 타원 은하, ㉡은 정상나선 은하, ㉢은 막대나선 은하, ㉣은 불규칙 은하이다.

ㄴ. 나선 은하는 중앙 구조에 따라 둥근 중심부를 가진 정상나선 은하와 막대 구조를 가진 막대나선 은하로 분류한다.

ㄷ. 타원 은하는 주로 나이가 많은 붉은색 별들로 이루어져 있다. 반면, 불규칙 은하는 나이가 적은 푸른색 별이 많다.

바로알기 ㄱ. 허블의 은하 분류는 은하의 진화와는 관련이 없는 형태학적 분류이다.

02 (가)는 타원 은하, (나)는 정상나선 은하이다.

ㄱ. 타원 은하에는 성간 물질이 매우 적어 별의 생성이 거의 일어나지 않는다. 반면, 나선 은하의 나선팔에는 성간 물질이 많아 별의 생성이 활발하다.

바로알기 ㄴ. 타원 은하보다 나선 은하에 푸른색 별이 더 많다. 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높아 푸른색을 띠므로, 현재 은하 내 주계열성의 평균 질량은 (가)보다 (나)가 크다.

ㄷ. 타원 은하에는 온도가 낮은 붉은색 별들이 많으며, 나선 은하의 나선팔에는 온도가 높은 푸른색 별이 많이 분포한다. 따라서 은하를 구성하는 별의 평균 표면 온도는 (가)가 (나)보다 낮다.

03 (가)는 (나)에 비해 특정 파장에서 방출선의 폭이 넓게 나타난다. 따라서 (가)는 세이퍼트 은하, (나)는 일반 은하이다.

ㄱ. 세이퍼트 은하는 중심부가 주변부에 비해 비정상적으로 밝다. 따라서 은하 전체의 밝기에 대한 은하 중심핵의 밝기 비율은 (가)가 (나)보다 크다.
ㄴ. ㉠ 파장에서의 방출선 폭을 보면 (가)가 (나)보다 넓다.
바로알기 ㄷ. 세이퍼트 은하는 가시광선 영역에서 대부분 나선 은하로 관측된다.

04 ㄴ. 두 은하가 충돌하더라도 별의 크기보다 별 사이의 공간이 훨씬 크기 때문에 은하 내부의 별들이 서로 충돌하는 현상은 거의 일어나지 않는다.
바로알기 ㄱ. 두 은하가 충돌할 때, 은하 안에 있는 거대한 분자 구름이 서로 충돌하고 압축되면서 별의 생성 비율이 증가한다.
ㄷ. 은하는 우주에서 집단을 이루어 분포하며, 집단 내 은하 중 상대적으로 가까운 은하끼리 충돌하는 현상이 나타난다. 따라서 우주에서 은하의 분포가 더 균일하다면 은하가 충돌하는 현상은 더 적게 일어날 것이다.

05 ㉠과 ㉡을 구성하는 별들의 분광형을 비교해 보면, ㉠을 구성하는 별들의 표면 온도가 ㉡보다 낮다. 따라서 ㉠은 타원 은하이고, ㉡은 나선 은하이다.
ㄱ. 별은 표면 온도가 낮을수록 붉은색을 띠므로, 표면 온도가 낮은 별이 더 많은 ㉠이 ㉡보다 붉은색 별의 비율이 더 높다.
ㄷ. 우리은하는 중심에 막대 구조가 있는 막대나선 은하로 분류한다.
바로알기 ㄴ. 타원 은하에는 성간 물질이 매우 적고, 나선 은하의 나선팔에는 성간 물질이 많다. 따라서 은하 내 성간 물질은 ㉡이 ㉠보다 많다.

06 A는 퀘이사, B는 전파 은하이다.
ㄱ. 퀘이사가 방출하는 막대한 에너지는 퀘이사 중심부에 있는 것으로 여겨지는 거대 질량 블랙홀에 의해 생성되는 것으로 추정된다.
ㄴ. 전파 은하는 중심에 핵이 있고, 핵 양쪽에 제트로 연결된 거대한 전파 방출 영역인 로브가 있다. 따라서 로브는 가시광선보다 파장이 긴 전파 영역에서 관측할 때 잘 보인다.
ㄷ. 흡수선의 적색 이동량이 클수록 더 멀리 떨어져 있으므로, 지구로부터의 거리는 A가 B보다 멀다. 일반적으로 퀘이사는 다른 은하들에 비해 매우 큰 적색 이동이 나타나며, 이는 퀘이사가 지구로부터 매우 멀리 있음을 의미한다.

02 우주의 팽창과 진화

중요 개념 체크

121쪽 **1** 길수록 **2** 거리
124쪽 **1** 빅뱅 **2** 2.7 **3** 3 : 1
127쪽 **1** (1) ○ (2) × **2** 빨라

개념 기본 문제

130쪽~131쪽

01 ㄱ, ㄴ, ㄷ **02** ㄱ, ㄴ **03** ㄱ, ㄴ, ㄷ **04** (가) 정상 우주론 (나) 빅뱅 우주론 **05** ㉠ 감소, ㉡ 감소 **06** ㄴ, ㄷ **07** ㉠ 12 : 1, ㉡ 3 : 1 **08** ㄷ **09** 평탄 **10** ㄱ, ㄴ **11** ㉠ 어둡게, ㉡ 밝게 **12** (가)−(다)−(나)−(라)

01 ㄱ. 외부 은하의 스펙트럼을 관측하면 멀리 있는 은하일수록 적색 이동량이 크게 나타난다.
ㄴ. 외부 은하의 스펙트럼을 관측하면 대부분 적색 이동이 관측되며, 이는 외부 은하가 우리에게서 멀어지고 있다는 것을 의미한다.
ㄷ. 우주가 팽창함에 따라 은하들은 서로 멀어지고 있다. 따라서 멀리 있는 외부 은하에서 우리은하를 관측하면 적색 이동이 나타난다.

02 ㄱ. 허블−르메트르 법칙에 따라 멀리 있는 은하일수록 후퇴 속도가 크다는 것은 우주가 팽창하고 있다는 중요한 증거가 된다.
ㄴ. 허블−르메트르 법칙에 따르면, 은하까지의 거리와 은하의 후퇴 속도는 비례한다.
바로알기 ㄷ. 허블−르메트르 법칙에 따르면, 모든 은하는 실제로 멀어지는 운동을 하는 것이 아니라, 공간 자체가 특별한 중심 없이 모든 방향에 대해 균일하게 팽창하고 있는 것이다.

03 ㄱ. 우주의 팽창 속도가 일정하다면, 허블 상수의 역수는 우주의 팽창이 시작되어 현재까지 걸린 시간을 의미한다.
ㄴ. 허블 상수는 허블−르메트르 법칙의 그래프에서 기울기에 해당한다.($v = H \times r \rightarrow H = \frac{v}{r}$)
ㄷ. 허블 상수를 계산하기 위해서는 은하까지의 거리와 은하의 후퇴 속도를 알아야 하는데, 후퇴 속도는 스펙트럼에 나타난 적색 이동량으로 알 수 있다.

04 (가)에서는 우주가 팽창해도 팽창한 공간에 새로운 물질이 계속 생성되어 우주의 밀도가 일정하다. 반면, (나)에서는 우주가 팽창하면서 우주의 밀도가 점점 감소한다. 따라서 (가)는 정상 우주론, (나)는 빅뱅 우주론이다.

05 빅뱅 우주론에서 우주는 고온·고밀도의 상태에서 시작하여 대폭발한 뒤 공간이 팽창한다. 따라서 시간이 지날수록 우주의 크기는 커지고, 우주의 밀도와 온도는 감소한다.

06 ㄴ. 우주 배경 복사는 우주의 팽창으로 파장이 길어져 현재 약 2.7 K에 해당하는 흑체 복사로 관측된다.
ㄷ. 우주 배경 복사 지도를 보면 방향에 따라 미세한 온도 차이가 있음을 알 수 있다.
바로알기 ㄱ. 우주의 나이가 약 38만 년이 되었을 때, 우주의 온도는 약 3000 K가 되었다. 이때 빛을 산란하던 전자가 원자핵과 결합하면서 원자를 형성하였고, 빛이 자유롭게 움직일 수 있게 되었다. 이 빛이 우주 배경 복사이다.

07 우주가 생성된 직후 극도로 높은 온도와 밀도에서 양성자와 중성자가 형성되었고, 시간이 지나 양성자와 중성자의 개수비가 약 7 : 1이 되었다. 이후 우주의 나이 약 3분에 헬륨 원자핵이 핵융합 반응으로 만들어졌으며, 수소와 헬륨의 개수비는 약 12 : 1, 질량비는 약 3 : 1이 되었다.

08 그림은 기존의 빅뱅 우주론만으로 설명하지 못하는 문제점 중 지평성(등방성) 문제를 나타낸 것이다.
ㄷ. A와 B 지점은 빅뱅 이후 현재까지 계속 멀어지고 있다. 하지만, 두 지역의 우주 배경 복사는 거의 같은 모습인데, 그 까닭을 기존의 빅뱅 우주론으로는 설명할 수 없다.
바로알기 ㄱ. A와 B 지점은 우주의 지평선 양쪽 끝에 있는 지점으로, 빅뱅 이후 현재까지 계속 멀어지고 있다. 따라서 이 두 지점은 빅뱅 이후 상호작용할 수 없었다.
ㄴ. 우리은하에서 관측되는 우주 배경 복사는 약 138억 년 전의 빛이 우리에게 도달한 것이지만, 그 사이 우주는 계속 팽창했다. 따라서 실제 관측 가능한 우주의 크기는 약 465억 광년이며, 우리은하를 중심으로 서로 반대 방향에서 오는 우주 배경 복사는 약 930억 광년 떨어져 있다.

09 우주 배경 복사 관측 결과, 현재 우주는 거의 완벽하게 0의 곡률인 평탄한 상태를 유지하고 있다. 이러한 평탄한 상태의 우주가 되려면 초기 우주의 밀도가 매우 정밀하고 특정한 값을 가져야 하며, 기존의 빅뱅 우주론으로는 어떻게 이러한 특정한 밀도 값을 가지게 되었는지 충분히 설명하기 어려운데, 이를 평탄성 문제라고 한다.

10 ㄱ, ㄴ. A는 우주의 급팽창 시기로, 급팽창 이전에 우주의 크기는 우주의 지평선보다 작았다. 따라서 우주의 모든 영역이 서로 충분히 영향을 주고받을 수 있었다.
바로알기 ㄷ. 우주가 급팽창하면서 초기 우주에 존재하던 자기 홀극이 우주의 지평선 너머로 흩어졌기 때문에, 관측 가능한 우주 안에서 자기 홀극의 밀도는 매우 낮아 발견하기 어렵다.

11 적색 이동량이 비교적 작은 Ia형 초신성은 예상보다 어둡게 관측되었고, 적색 이동량이 매우 큰 Ia형 초신성은 예상보다 밝게 관측되었다. 이는 먼 과거의 우주는 점점 느리게 팽창했지만, 비교적 최근의 우주는 점점 빠르게 팽창하고 있다는 것이다.

12 우주는 빅뱅에 의해 시작되었고, 그 직후 우주의 급팽창이 일어났다. 이후 우주는 처음에는 감속 팽창하다가 이후 현재까지 가속 팽창하고 있다.

개념 적용 문제 132쪽~137쪽

01 ④	02 ③	03 ③	04 ①	05 ⑤	06 ③
07 ④	08 ④	09 ③	10 ③	11 ②	12 ①

01 ㄴ. 멀리 있는 은하일수록 후퇴 속도가 빨라 적색 이동량이 더 크다. 따라서 적색 이동량이 더 작은 A가 B보다 지구에 더 가까이 있다.
ㄷ. A에서 B를 관측했을 때도 스펙트럼에서 흡수선은 파장이 긴 쪽으로 이동하므로, 적색 이동이 나타난다.
바로알기 ㄱ. (나)에서 $\frac{b}{a}$는 허블 상수이다. 허블 상수는 모든 은하에 대해 같은 값을 가진다. 허블 상숫값은 최신 연구에 따르면 약 70 km/s/Mpc이다.

02 ㄱ. 우리은하에서 A까지의 거리가 50 Mpc이고 A의 후퇴 속도가 3500 km/s이므로, 허블 상수는 $\frac{3500\ \text{km/s}}{50\ \text{Mpc}}$ = 70 km/s/Mpc이다.
ㄷ. C에서 A까지의 거리는 우리은하까지의 거리보다 2배 멀다. 후퇴 속도는 거리에 비례하므로, C에서 측정한 후퇴 속도는 A가 우리은하의 2배이다.
바로알기 ㄴ. 허블 상수는 모든 은하에 대해 같은 값이다. B는 우리은하에서 20 Mpc 떨어져 있으므로, 후퇴 속도

㉠은 70 km/s/Mpc × 20 Mpc = 1400 km/s이다. 한편, 우리은하에서 C까지의 거리는 $\frac{3500\ \text{km/s}}{70\ \text{km/s/Mpc}}$ = 50 Mpc이다. 따라서 ㉡은 30 Mpc이다.

03 ㄱ. 허블-르메트르 법칙을 나타낸 그래프에서 기울기가 허블 상수이다. 따라서 A 시기에 $\frac{10000\ \text{km/s}}{20\ \text{Mpc}}$ = 500 km/s/Mpc, B 시기에 $\frac{5000\ \text{km/s}}{70\ \text{Mpc}}$ = 약 71 km/s/Mpc이다.

ㄷ. 은하까지의 거리가 같을 때, 은하의 후퇴 속도는 허블 상수에 비례한다. 따라서 후퇴 속도는 허블 상수가 큰 A 시기에 더 빠르게 측정된다.

바로알기 ㄴ. 은하의 후퇴 속도가 같을 때, 은하까지의 거리는 허블 상수에 반비례한다. 따라서 은하까지의 거리는 허블 상수가 작은 B 시기에 더 멀게 측정된다.

04 (가)에서 시간이 지날수록 은하의 개수가 계속 증가하며, (나)에서 우주의 평균 밀도가 일정하므로, 이 우주론은 정상 우주론이다. 정상 우주론에서는 우주가 팽창하고 있지만, 팽창한 공간에 새로운 물질이 계속 생성되어 우주 전체의 평균 밀도는 일정하게 유지된다고 본다.

ㄱ. (가)에서 시간이 지날수록 은하의 개수가 증가하므로, 우주의 질량도 계속 증가한다.

바로알기 ㄴ, ㄷ. 정상 우주론도 허블-르메트르 법칙을 바탕으로 팽창하는 우주를 전제로 한다.

05 ㄱ. 우주의 나이가 약 38만 년이 되었을 때 방출된 빛은 우주의 팽창으로 파장이 길어져 현재 약 2.7 K에 해당하는 복사로 우주 전역에서 관측된다.

ㄴ. (나)에서 우주 배경 복사가 방향에 따라 미세한 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 미세한 차이는 우주 전역의 미세한 밀도 차이로 발생한 것이며, 이 초기 밀도 차이가 별과 은하의 형성으로 이어졌다.

ㄷ. 시간이 지날수록 우주는 팽창하므로, 우주 배경 복사의 세기도 점점 약해질 것이다. 따라서 우주 배경 복사와 일치하는 그래프 아래 면적도 감소할 것이다.

06 (가) 시기는 헬륨 원자핵 생성 전, (나) 시기는 헬륨 원자핵 생성 후이다.

ㄱ. (가) 시기에 A가 B보다 개수가 많은 것으로 보아, A는 양성자, B는 중성자이다. 이때, 양성자와 중성자의 개수비는 14 : 2 = 7 : 1이다.

ㄷ. (가) 시기에 중성자의 개수가 2개 더 많았다면, 헬륨 원자핵이 1개 더 생성된다. 따라서 양성자의 수도 2개가 줄어들어 수소와 헬륨의 개수비는 10 : 2 = 5 : 1이 된다.

바로알기 ㄴ. 수소 원자핵은 양성자 1개이므로, (나) 시기에 수소와 헬륨의 개수비는 12 : 1이다. 헬륨은 양성자 2개와 중성자 2개로 이루어져 있으므로, 수소와 헬륨의 질량비는 12 : 4 = 3 : 1이다.

07 헬륨 원자핵은 우주의 나이가 약 3분일 때 만들어졌고, 중성 원자는 약 38만 년일 때 만들어졌다. 따라서 A는 헬륨 원자핵, B는 중성 원자가 형성된 시기이다.

ㄴ. 우주의 나이가 약 3분일 때, 헬륨 원자핵이 만들어졌다. 따라서 A 시기 이후 우주에 있는 수소와 헬륨의 질량비는 약 3 : 1이 되었다.

ㄷ. 우주에 있는 별과 은하는 B 시기 이후 수소와 헬륨 등의 원자들이 뭉쳐져 만들어졌다.

바로알기 ㄱ. 우주의 나이가 약 38만 년이 되었을 때, 빛을 산란하던 전자가 원자핵과 결합하면서 원자를 형성하였고, 이때 빛이 자유롭게 움직일 수 있게 되었다. 따라서 빛은 B 시기 이후 자유롭게 움직일 수 있게 되었다.

08 (가)는 지평선(등방성) 문제, (나)는 자기 홀극 문제이다.

ㄴ. 급팽창이 일어나기 전, 우주의 크기(B)는 우주의 지평선(A)보다 작았다. 따라서 우주 내의 모든 영역이 서로 충분히 영향을 주고받을 수 있었다. 이로 인해 우주의 에너지 밀도가 거의 균일해질 수 있었고, 이러한 균일성은 현재 우주 배경 복사가 모든 방향에서 거의 같게 관측되는 지평선 문제를 설명할 수 있다.

ㄷ. 급팽창이 일어난 후, 우주의 크기는 급격하게 커져 초기 우주에 존재하던 자기 홀극이 우주의 지평선 너머로 흩어졌기 때문에 관측 가능한 우주 안에서 자기 홀극의 밀도가 매우 낮아졌다. 따라서 우주에서 자기 홀극이 발견되지 않는 자기 홀극 문제를 해결할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 급팽창 우주론에서 우주는 빅뱅 직후에 매우 작은 크기였다가, 매우 짧은 시간 동안 급격하게 커졌다. 따라서 B가 우주의 크기이고, A는 우주의 지평선이다.

09 적색 이동량이 같을 때, 겉보기 등급은 B보다 A에서 더 크다. 이는 B보다 A에서 더 어둡게 관측된다는 것이며, B보다 A에서 더 먼 거리에 있다는 것을 의미한다. 같은 적색 이동량에서 거리가 다르다는 것은 우주의 팽창률이 다르다는 것을 의미하며, A가 B보다 더 팽창했으므로 A는 가속 팽창 모형, B는 감속 팽창 모형이다.

ㄱ. Ia형 초신성은 일정한 질량 조건에서 폭발하기 때문에 최고 밝기의 절대 등급이 거의 일정하다. 따라서 관측되는 겉보기 등급과 절대 등급을 비교하면 초신성까지의 거리를 알 수 있다.

ㄷ. Ia형 초신성의 관측 자료는 A의 그래프와 더 비슷하게 분포한다. 따라서 우주는 가속 팽창했음을 알 수 있다.

바로알기 ㄴ. 그림에서 적색 이동량은 ㉡이 ㉠보다 크다. 적색 이동량이 클수록 더 멀리 있으므로, ㉡은 ㉠보다 지구로부터 더 멀리 있다.

10 ㄱ. 이 기간에 우주는 계속 가속 팽창하였다. 따라서 우주가 팽창한 정도는 (가)~(나) 기간보다 (나)~(다) 기간이 더 크다.

ㄴ. 우주는 시간이 지남에 따라 계속 팽창하므로, A에서 출발한 빛의 파장도 점점 길어진다. 따라서 빛이 A에서 출발했을 때의 파장은 현재보다 짧다.

바로알기 ㄷ. A에서 출발한 빛이 우리은하까지 도달하는 데 걸린 시간은 38억 년이다. 하지만, 이 기간에 우주도 계속 팽창했으므로, 빛이 실제로 이동한 거리는 38억 광년보다 길다.

11 ㄴ. 우주의 팽창 속도가 일정하다면, 허블 상수의 역수는 우주의 나이를 의미한다. 따라서 허블 상수를 이용하여 우주의 나이를 구하면 허블 상수가 더 작은 1970년대 계산값이 1930년대 계산값보다 더 많다.

바로알기 ㄱ. 허블 상수는 1930년대 이후 점점 작게 측정되었다. 그러나 이는 외부 은하의 적색 이동량이 작아진 것이 아니라, 관측과 측정 방법의 변화로 허블 상수의 추정값이 점점 작아진 것이다.

ㄷ. 허블-르메트르 법칙에 따르면, 후퇴 속도가 같은 은하까지의 거리는 허블 상수에 반비례한다. 따라서 은하까지의 거리는 허블 상수가 작은 1970년대 계산값이 1930년대 계산값보다 더 멀다.

12 빅뱅 우주론에 따르면, 우주의 나이가 약 38만 년이 되었을 때, 빛을 산란하던 전자가 원자핵과 결합하면서 원자를 형성하였고, 빛이 자유롭게 움직일 수 있게 되었다. 따라서 (가) 시기는 우주의 나이가 약 38만 년 이후, (나) 시기는 약 38만 년 이전이다.

ㄱ. 우주의 나이는 약 38만 년 이후인 (가) 시기가 약 38만 년 이전인 (나) 시기보다 많다.

바로알기 ㄴ. 빅뱅 우주론에서 우주는 팽창하면서 점점 밀도가 작아지므로, 우주의 밀도는 (가) 시기가 (나) 시기보다 작다.

ㄷ. (나) 시기에는 전자의 산란으로 빛이 자유롭게 움직일 수 없었다. 따라서 우주 배경 복사는 (가) 시기에만 존재한다.

중단원 핵/심/정/리

138쪽~139쪽

1 형태학적	2 타원	3 나선	4 정상나선
5 막대나선	6 불규칙	7 제트	8 로브
9 적색 이동	10 방출선	11 적색 이동량	
12 일정	13 감소	14 3000	15 3 : 1
16 지평선	17 자기 홀극	18 평탄성	
19 Ia형 초신성		20 가속 팽창	

통합 실전 문제

140쪽~142쪽

01 ①	02 ③	03 ③	04 ⑤	05 ①	06 ②
07 ③	08 ③	09 ③	10 ①	11 ①	

01 불규칙 은하는 규칙적인 형태가 없고, 중앙 팽대부나 나선팔이 명확하지 않은 은하이다. 타원 은하는 나선팔이 없는 타원 모양의 은하이다. 나선 은하는 납작한 원반 구조를 가지며, 중앙 팽대부를 중심으로 나선팔이 감긴 모양의 은하이다. 따라서 A는 불규칙 은하, B는 타원 은하, C는 나선 은하이다.

ㄱ. 불규칙 은하는 나이가 적고 표면 온도가 높은 푸른색 별이 많고, 타원 은하는 나이가 많고 표면 온도가 낮은 붉은색 별이 많다. 따라서 은하를 구성하는 별의 평균 나이는 불규칙 은하(A)가 타원 은하(B)보다 적다.

바로알기 ㄴ. 타원 은하에는 성간 물질이 매우 적어 별의 생성이 거의 일어나지 않는다. 반면, 나선 은하의 나선팔에는 성간 물질이 많이 분포하여 별의 생성이 활발하다. 따라서 별이 생성되는 비율은 나선 은하(C)가 타원 은하(B)보다 높다.

ㄷ. 붉은색 별의 비율이 가장 높은 타원 은하(B)에서 별의 전체 개수 대비 붉은색 별의 개수 비율이 가장 높다.

02 ㄱ. (가)에서 A는 별의 생성이 매우 활발하다가 T 기간 이후 급격히 줄어든다. 이는 은하 내 성간 물질이 다 소진되어 더 이상 별이 만들어지지 않는 것으로, 타원 은하의 특징이다. 반면, B는 A에 비해 별의 생성 비율이 낮지만, 별의 생성이 계속 이어진다. 이는 성간 물질이 풍부하여 계속 별이 형성되는 것으로, 나선 은하의 특징이다. (나)에서 ㉠은 나선팔이 없는 타원 모양의 타원 은하, ㉡은 나선팔이 있는 나선 은하이다. 따라서 ㉠은 A, ㉡은 B에 속한다.

ㄴ. T 기간 동안 A는 B보다 별의 생성률이 계속 높으므로, 이 기간에 생성된 별의 총 질량은 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄷ. T 기간 이후 A에서는 내부의 성간 물질이 소진되어 별이 생성되지 않는다. 반면, B에서는 성간 물질이 풍부하여 별의 형성이 지속된다. 따라서 은하의 전체 질량 중 성간 물질이 차지하는 비율은 B가 A보다 크다.

03 ㄱ. 허블-르메트르 법칙에서 퀘이사까지의 거리 $r=\frac{v}{H}$이며, 후퇴 속도 $v=c\times\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$이므로, $r=\frac{c}{H}\times\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$이다. 따라서 퀘이사까지의 거리를 구하면 $\frac{3\times10^5\ \text{km/s}}{70\ \text{km/s/Mpc}}\times\frac{760\ \text{nm}-660\ \text{nm}}{660\ \text{nm}}\fallingdotseq649\ \text{Mpc}$이다.

ㄷ. 지구에서 거리가 멀수록 스펙트럼의 적색 이동량이 커진다. 따라서 이 퀘이사보다 먼 은하의 스펙트럼에서는 방출선의 파장 변화량이 100 nm보다 더 크게 나타난다.

바로알기 ㄴ. 퀘이사는 중심부에 거대 질량 블랙홀이 있을 것으로 추정되며, 이 블랙홀의 영향으로 우리은하의 수백 배~수천 배에 이르는 에너지를 방출한다.

04 A는 전파 은하, B는 세이퍼트 은하이다.

ㄱ. 전파 은하의 로브는 거대한 전파 방출 영역이므로, 가시광선보다 파장이 긴 전파 영역에서 잘 관측된다.

ㄴ. 세이퍼트 은하는 일반 은하에 비해 방출선의 폭이 매우 넓게 나타나는데, 이것은 은하 중심에 있다고 추정되는 거대 질량 블랙홀의 영향으로 성간 물질이 매우 빠른 속도로 움직이고 있기 때문이다.

ㄷ. 전파 은하와 세이퍼트 은하 모두 허블의 은하 분류 체계로는 분류하기 어려운 특이 은하이다.

05 ㄱ. (가)에서 관측한 A의 파장은 550 nm이므로, 적색 이동 계수 $z_{(가)}=\frac{550\ \text{nm}-500\ \text{nm}}{500\ \text{nm}}=0.1$이다. 이 적색 이동 계수는 B에서도 같으므로, $0.1=\frac{770\ \text{nm}-㉠\ \text{nm}}{㉠\ \text{nm}}$에서 ㉠은 700 nm이다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 관측한 A의 파장은 520 nm이므로, 적색 이동 계수 $z_{(나)}=\frac{520\ \text{nm}-500\ \text{nm}}{500\ \text{nm}}=0.04$이다. 이 적색 이동 계수는 B에서도 같은 값이어야 하므로, $0.04=\frac{㉡\ \text{nm}-700\ \text{nm}}{700\ \text{nm}}$에서 ㉡은 728 nm이다. 따라서 (나)에서 측정한 파장 변화량은 A가 20 nm, B가 28 nm이므로 A보다 B가 크다.

ㄷ. (가)의 적색 이동 계수는 0.1이고, (나)의 적색 이동 계수는 0.04이다. 따라서 적색 이동 계수는 (가)가 (나)의 2.5배이다.

06 ㄴ. 허블-르메트르 법칙에서 거리 $r=\frac{v}{H}$이다. A에서 본 B의 후퇴 속도는 7000 km/s이고 허블 상수는 70 km/s/Mpc이므로, A와 B 사이의 거리는 $\frac{7000\ \text{km/s}}{70\ \text{km/s/Mpc}}=100\ \text{Mpc}$이다.

바로알기 ㄱ. 허블-르메트르 법칙에서 우주는 공간 자체가 특별한 중심 없이 모든 방향에 대해 균일하게 팽창하고 있다. 따라서 우주 공간 팽창의 중심은 없다.

ㄷ. A에서 측정한 C의 후퇴 속도와 C에서 측정한 E의 후퇴 속도가 같다. 허블-르메트르 법칙에서 은하의 후퇴 속도는 거리에 비례하므로, A와 C 사이의 거리는 C와 E 사이의 거리와 같다.

07 ㄱ. A에서 측정한 B의 후퇴 속도가 1400 km/s이므로, 허블-르메트르 법칙에서 비례 상수인 허블 상수는 $H=\frac{v}{r}=\frac{1400\ \text{km/s}}{20\ \text{Mpc}}=70\ \text{km/s/Mpc}$이다.

ㄴ. A에서 측정한 C의 후퇴 속도가 2800 km/s이므로, 허블-르메트르 법칙에서 A에서 C까지의 거리는 $r=\frac{v}{H}=\frac{2800\ \text{km/s}}{70\ \text{km/s/Mpc}}=40\ \text{Mpc}$이다.

바로알기 ㄷ. A에서 B와 C까지의 거리가 각각 20 Mpc과 40 Mpc이며, 그 사이의 각도가 60°이므로 각 ABC는 90°이다. 따라서 직각 삼각형의 비율에 의해 B에서 C까지의 거리는 $20\sqrt{3}$ Mpc이다. 허블-르메트르 법칙에서 후퇴 속도는 거리에 비례하므로, B에서 측정한 후퇴 속도는 A보다 C가 빠르다.

08 (가)는 빛이 전자의 산란으로 자유롭게 움직일 수 없었던 시기의 모습이고, (나)는 전자가 원자핵과 결합하면서 원자를 형성한 뒤의 모습이다. 따라서 (가)는 우주의 나이가 약 38만 년 이전, (나)는 약 38만 년 이후의 시기이다.

ㄱ. 우주는 빅뱅 이후 계속 팽창하였으므로, 우주의 크기는 (가)보다 (나) 시기일 때 크다.

ㄷ. 우주의 나이가 약 38만 년이 되었을 때, 우주의 온도는 약 3000 K까지 낮아졌다. 이때 빛을 산란하던 전자가 원자핵과 결합하면서 원자를 형성하여 (나)와 같은 상태가 되었다.

바로알기 ㄴ. 수소와 헬륨의 질량비는 우주의 나이 약 3분에 약 3 : 1이 된 이후로 현재까지 거의 변화가 없다. (가) 시기에 이미 헬륨 원자핵이 형성되었으므로, (가) 시기에는 이미 수소와 헬륨의 질량비가 약 3 : 1이 된 이후이다. 따라서 (가) 시기와 (나) 시기의 수소와 헬륨의 질량비는 약 3 : 1로 같다.

09 ㄱ. ㉠ 시기는 아직 급팽창이 일어나기 전이다. 이 시기에는 우주 내의 모든 영역이 서로 충분히 상호작용할 수 있었다.

ㄴ. ㉡ 시기에 우주의 크기가 급격하게 커졌으므로, 이 시기에 급팽창이 일어났다. 이때 우주는 빛보다 빠른 속도로 팽창하여 우주의 지평선보다 커진다.

바로알기 ㄷ. ㉠ 시기는 아직 급팽창이 일어나기 전이므로, 우주의 지평선 크기가 우주의 크기보다 크다. 반면, ㉢ 시기는 급팽창이 일어난 뒤이므로, 우주의 지평선 크기가 우주의 크기보다 작다. 따라서 $\frac{\text{우주의 크기}}{\text{우주의 지평선 크기}}$는 ㉠보다 ㉢ 시기에 크다.

10 ㄱ. 급팽창 우주론에 따르면, 우주가 급팽창하면서 초기 우주에 존재하던 자기 홀극이 우주의 지평선 너머로 흩어져 관측 가능한 우주 안에서 자기 홀극은 관측되지 않는다. 따라서 (가) 시기 이후 우주에서는 자기 홀극이 관측되지 않는다.

바로알기 ㄴ. 우주의 나이가 약 38만 년이 되었을 때, 우주의 온도는 약 3000 K까지 낮아졌다. 이때 빛을 산란하던 전자가 원자핵과 결합하면서 원자를 형성하여 빛이 자유롭게 움직일 수 있게 되었다. 이때 방출된 빛이 우주 배경 복사이다. 따라서 우주 배경 복사는 (다) 시기에 퍼져나간 빛이 현재 관측되는 것이다.

ㄷ. (다) 시기에 우주 배경 복사가 퍼져나갔으며, 이때 온도는 약 3000 K이다. 이후 우주의 팽창으로 파장이 길어져 현재는 약 2.7 K에 해당하는 복사로 관측된다.

11 ㄱ. 현재 A와 B에서 우주 배경 복사 온도가 같다는 것은 현재까지 우주의 온도가 같은 정도로 감소했음을 의미한다. 우주 배경 복사 온도는 우주의 크기에 반비례하므로, 온도가 같다는 것은 우주가 같은 비율로 팽창했음을 의미한다. 따라서 현재 우주의 크기는 A와 B가 같다.

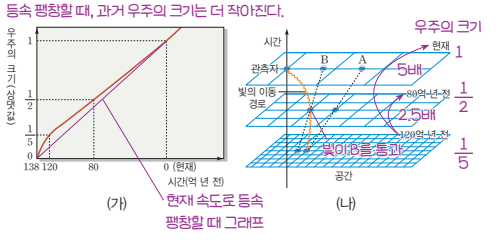
바로알기 ㄴ, ㄷ. T 시기 이후 현재까지 우주의 팽창 속도는 항상 A가 B보다 크다. 따라서 우주의 평균 팽창 속도는 A가 B보다 빠르다. 한편, 현재 우주의 크기가 같으므로 평균 팽창 속도가 빠른 A는 B보다 더 짧은 시간 동안 팽창했다. 따라서 현재 우주의 나이는 A가 B보다 적다.

HIGH TOP 최상위 문제 143쪽

1 ② **2** ①

1

자료 분석



- 우주의 크기와 빛의 파장이 서로 비례한다면, 우주의 크기가 커지면 그만큼 빛의 파장도 길어진다.
- 만약 우주가 처음부터 현재와 같은 속도로 등속 팽창했다면, 과거의 우주 크기는 지금보다 작아진다.
- A에서 방출된 빛은 80억 년 전에 B를 지나간다.

ㄴ. A에서 방출된 빛이 현재에 도달했을 때 우주는 $\frac{1}{5}$(=0.2)에서 1로 커졌다. 따라서 우주의 크기는 $\frac{1}{0.2}$=5배 더 커졌다. 우주의 크기가 커지면 그만큼 빛의 파장도 길어지므로, 빛의 파장도 5배 더 길어진다.

바로알기 ㄱ. 120억 년 전 A에서 방출된 빛은 80억 년 전에 B를 지나가며, 그 사이 우주는 $\frac{1}{5}$(=0.2)에서 $\frac{1}{2}$(=0.5)로 커졌다. 따라서 우주의 크기는 $\frac{0.5}{0.2}$=2.5배 더 커졌고, 빛의 파장도 2.5배 더 길어진다.

ㄷ. 만약 우주가 처음부터 현재와 같은 속도로 등속 팽창했다면, 과거의 우주 크기는 현재 모형일 때보다 더 작다. 즉,

120억 년 전에 우주의 크기도 $\frac{1}{5}$보다 더 작으며, 현재 우주의 크기와 비교했을 때의 비율도 작아진다. 따라서 빛의 파장이 현재 모형일 때보다 더 길게 나타난다.

2 **자료 분석**

	$v=c\times z$	$(m_A/m_B)\propto(r_B/r_A)^2$	$v=H\times r$
은하	적색 이동 계수 2.3×10^{-3}	은하 내 Ia형 초신성의 겉보기 밝기 최대값(A=1)	은하까지의 거리 (Mpc)
A	(㉠)	1	10
B	3.5×10^{-3}	$\left(\frac{10}{15}\right)^2$	15
C	( )	25	2

- 적색 이동의 정도를 나타내는 적색 이동 계수(z)는 관측된 흡수선의 파장이 λ, 원래의 파장이 λ_0일 때, $z=\frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}$이다.
- 은하의 후퇴 속도(v)는 적색 이동 계수(z)에 빛의 속도(c)를 곱하여 알 수 있다.
- 천체의 겉보기 밝기(m)는 거리의 제곱(r^2)에 반비례한다.
- 허블–르메트르 법칙에서 은하의 후퇴 속도(v)는 은하까지의 거리(r)에 비례한다. 비례 상수는 허블 상수이며, 모든 은하에 같은 값으로 적용된다.

ㄱ. A까지의 거리가 10 Mpc이므로, 허블–르메트르 법칙에서 A의 후퇴 속도 $v=70\ \text{km/s/Mpc}\times10\ \text{Mpc}=700\ \text{km/s}$이다.

바로알기 ㄴ. B의 적색 이동 계수가 3.5×10^{-3}이므로, B의 후퇴 속도 $v=(3\times10^5)\times(3.5\times10^{-3})=1050\ \text{km/s}$이다. 따라서 B까지의 거리는 $\frac{1050\ \text{km/s}}{70\ \text{km/s/Mpc}}=15$ Mpc이다. 초신성의 겉보기 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로, $\frac{\text{B에 있는 초신성의 밝기}}{\text{A에 있는 초신성의 밝기}}\propto\left(\frac{10}{15}\right)^2<\frac{1}{2}$이다. 즉, 은하 내 Ia형 초신성의 겉보기 밝기는 A가 B의 2배보다 크다.

ㄷ. C에 있는 초신성의 겉보기 밝기가 A의 25배이므로, 거리는 A의 $\sqrt{\frac{1}{25}}$배인 2 Mpc이다. 따라서 B에서 C까지의 거리는 15 Mpc−2 Mpc=13 Mpc이고, B에서 본 C의 후퇴 속도 $v=70\ \text{km/s/Mpc}\times13\ \text{Mpc}=910\ \text{km/s}$이다. 따라서 B에서 본 C의 적색 이동 계수는 $z=\frac{v}{c}=\frac{910\ \text{km/s}}{3\times10^5\ \text{km/s}}\fallingdotseq3\times10^{-3}$이다. 한편, A의 후퇴 속도는 700 km/s이므로 우리은하에서 관측한 A의 적색 이동 계수는 $z=\frac{v}{c}=\frac{700\ \text{km/s}}{3\times10^5\ \text{km/s}}\fallingdotseq2.3\times10^{-3}$이다. 따라서 B에서 관측한 C의 적색 이동 계수는 우리은하에서 관측한 A의 적색 이동 계수보다 크다.

서술형 확장 문제 144쪽~147쪽

1 (1) 은하가 타원 모양인 타원 은하로 관측되는 것으로 보아, ㉠은 가시광선 영역으로 관측한 모습이다.

(2) 핵을 중심으로 양쪽에 제트와 연결된 거대한 영역의 로브가 보이는 것으로 보아, ㉡은 전파 영역으로 관측한 모습이다.

모범답안 (1) ㉠은 가시광선 영역에서 관측한 모습으로, 이 영역에서 은하는 타원 모양의 타원 은하로 관측된다.

(2) ㉡은 전파 영역에서 관측한 모습으로, 이 영역에서 은하는 가운데 핵을 중심으로 로브가 관측되고, 그 사이를 제트가 연결하고 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	㉠이 어느 파장 영역으로 관측한 모습인지 쓰고, 이때 관측되는 특징을 옳게 서술한 경우	50
	㉠이 어느 파장 영역으로 관측한 모습인지만 옳게 쓴 경우	20
(2)	㉡이 어느 파장 영역으로 관측한 모습인지 쓰고, 이때 관측되는 특징을 옳게 서술한 경우	50
	㉡이 어느 파장 영역으로 관측한 모습인지만 옳게 쓴 경우	20

2 (1) 우리은하에서 A와 B가 서로 직각 방향에 있으므로, A와 B 사이의 거리는 피타고라스의 정리를 사용하여 구할 수 있다.

(2) 어느 은하에서 관측하더라도 허블–르메트르 법칙은 똑같이 적용된다.

모범답안 (1) 5 Mpc

(2) 우리은하에서 A까지의 거리가 3 Mpc, A의 후퇴 속도가 210 km/s이므로, 허블 상수는 $\frac{210\ \text{km/s}}{3\ \text{Mpc}}=70\ \text{km/s/Mpc}$이다. 따라서 A에서 B를 관측했을 때의 후퇴 속도는 $70\ \text{km/s/Mpc}\times5\ \text{Mpc}=350\ \text{km/s}$이다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	A와 B 사이의 거리를 옳게 쓴 경우	30
	그 외의 오답	0
(2)	A에서 B를 관측했을 때의 후퇴 속도를 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	70
	A에서 B를 관측했을 때의 후퇴 속도만 옳게 쓴 경우	35

3 (1) (가)에서는 우주가 팽창하면서 우주의 밀도가 감소한다. 반면, (나)에서는 우주가 팽창하면서 물질이 만들어져 우주의 밀도가 일정하다. 따라서 (가)는 빅뱅 우주론, (나)는 정상 우주론에 해당한다.

(2) 현재는 빅뱅 우주론이 받아들여지고 있다. 대표적인 관측적 증거로는 우주 배경 복사, 우주 전체의 수소와 헬륨의 질량비가 있다.

모범답안 (1) (가)는 빅뱅 우주론, (나)는 정상 우주론이다. 두 이론의 공통점은 팽창하는 우주를 전제로 한다는 것이다. 하지만, 빅뱅 우주론은 우주가 고온·고밀도의 초기 상태에서 대폭발한 뒤 팽창하면서 우주 전체의 평균 밀도와 온도가 감소한다고 가정한다. 반면, 정상 우주론은 우주가 팽창한 공간에 새로운 물질이 계속 형성되어 우주 전체의 평균 밀도와 온도가 일정하다고 가정한다.

(2) 현재는 (가)의 빅뱅 우주론이 받아들여지고 있다. 빅뱅 우주론을 지지하는 대표적인 관측적 증거로는 우주 배경 복사와 우주 전체의 수소와 헬륨의 질량비가 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	우주의 진화에 대해 (가)와 (나)의 이론이 설명하는 공통점과 차이점을 모두 옳게 서술한 경우	60
	우주의 진화에 대해 (가)와 (나)의 이론이 설명하는 공통점과 차이점 중 일부만 옳게 서술한 경우	30
(2)	현재 받아들여지고 있는 우주론을 쓰고, 그 이론을 지지하는 관측적 증거를 옳게 서술한 경우	40
	현재 받아들여지고 있는 우주론만 옳게 쓴 경우	20

4 (1) (가)는 빅뱅 핵합성으로, 빅뱅 이후 3분 정도에 매우 짧은 시간 동안 일어났다. (나)는 수소 핵융합 반응으로, 별 내부에서 오랜 시간 동안 일어난다.

(2) 빅뱅 핵합성이 일어난 뒤, 수소와 헬륨의 개수비는 약 12 : 1, 질량비는 약 12 : 4 = 3 : 1이 되었다.

모범답안 (1) 빅뱅 핵합성에 해당하는 (가)가 별 내부에서 일어나는 수소 핵융합 반응인 (나)보다 먼저 일어났다. (가) 반응은 빅뱅 이후 3분 정도에 일어났으며, 매우 짧은 시간 동안 고온·고밀도의 환경에서 일어났다. 반면, (나) 반응은 별 내부에서 일어나며, 안정적인 고온·고밀도의 환경에서 오랜 시간 동안 지속된다.

(2) 빅뱅 우주론에 따르면, 우주가 생성된 직후 극도로 높은 온도와 밀도에서 양성자와 중성자가 형성되었고, 시간이 지나 양성자와 중성자의 개수비가 약 7 : 1이 되었다. 이후 우주의 나이 약 3분에 양성자 2개와 중성자 2개가 결합하여 헬륨 원자핵이 만들어졌으며, 이때 수소와 헬륨의 개수비는 약 12 : 1, 질량비는 약 3 : 1이 되었다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	(가)와 (나) 중 먼저 일어난 핵융합 반응을 옳게 쓰고, 다른 하나의 핵융합 반응과의 차이점을 옳게 서술한 경우	60
	(가)와 (나) 중 먼저 일어난 핵융합 반응만 옳게 쓴 경우	30
(2)	(가) 반응이 일어난 뒤 수소와 헬륨의 질량비는 어떻게 되는지 쓰고, 그 과정을 옳게 서술한 경우	40
	(가) 반응이 일어난 뒤 수소와 헬륨의 질량비만 옳게 쓴 경우	20

5 (1) 이 우주론은 급팽창 우주론으로, A 시기에 우주의 크기가 급격히 커지는 급팽창이 일어났다.

(2) 우주의 지평선 양쪽 끝에서 오는 우주 배경 복사는 거의 같게 관측된다. 그러나 두 지역은 서로 영향을 주고받을 수 없는 위치에 있다. 급팽창 우주론에 따르면, 빅뱅 직후 급팽창이 일어나기 전까지는 우주의 크기가 작아 우주 내의 모든 영역이 서로 영향을 충분히 주고받을 수 있었기 때문에 현재 우주의 지평선 양쪽 끝에서 오는 우주 배경 복사는 거의 같게 관측된다.

모범답안 (1) A 시기에는 우주의 크기가 급격히 커지는 급팽창이 일어났다. 우주의 급팽창 이전에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 작았으나, 급팽창 이후에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 훨씬 커졌다.

(2) 급팽창이 일어나기 전까지는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 작아, 우주의 모든 영역에서 서로 충분히 영향을 주고받을 수 있었다. 따라서 현재 우주 배경 복사가 모든 방향에서 거의 같게 관측된다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	A 시기에 일어난 일이 무엇인지 쓰고, 그 이전과 이후에 우주의 크기와 우주의 지평선 크기를 옳게 비교한 경우	50
	A 시기에 일어난 일이 무엇인지만 옳게 쓴 경우	20
(2)	급팽창이 일어나기 전까지는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 작아 우주의 모든 영역에서 서로 충분히 영향을 주고받을 수 있었다고 서술한 경우	50
	급팽창이 일어나기 전에는 우주의 크기가 작았다고만 서술한 경우	20

6 (1) Ia형 초신성은 일정한 질량 조건에서 폭발하기 때문에 최대 밝기가 거의 일정하므로, 겉보기 등급을 관측하여 거리를 구할 수 있다.

(2) Ia형 초신성의 관측으로 구한 은하까지의 거리는 우주가 일정한 비율로 팽창한다고 가정했을 때의 예상 거리보다 더 크게 나왔으며, 이로부터 우주가 가속 팽창하고 있다는 것을 알 수 있게 되었다.

모범답안 (1) Ia형 초신성은 폭발할 때의 최대 광도가 거의 일정하므로, 절대 등급도 거의 일정하다. 따라서 Ia형 초신성의 겉보기 등급이 클수록 은하까지의 거리가 멀다는 것을 알 수 있다.

(2) Ia형 초신성의 밝기는 일정한 비율로 팽창하는 우주를 가정하여 예상한 값보다 더 어둡게 관측되었다. 이는 초신성이 예상보다 더 멀리 있다는 것을 의미하며, 현재의 우주는 팽창 속도가 점점 빨라지는 가속 팽창을 하고 있다는 것을 알 수 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	멀리 있는 천체까지의 거리를 구하는 데 Ia형 초신성을 이용할 수 있는 까닭을 초신성의 특징과 관련지어 옳게 서술한 경우	40
	그 외의 오답	0
(2)	Ia형 초신성의 밝기를 옳게 비교하고, 그것이 무엇을 의미하는지 옳게 서술한 경우	60
	Ia형 초신성의 밝기만 옳게 비교한 경우	30

7 (1) 그래프가 아래쪽으로 내려가면 속도가 감소하고, 위쪽으로 올라가면 속도가 증가한다. 그러나 우주의 팽창 속도가 0보다 크면 우주의 크기는 계속 증가한다.

(2) A 시기에는 그래프가 아래쪽으로 내려가므로 우주의 팽창 속도가 감소하는 감속 팽창 중이고, B 시기에는 그래프가 위쪽으로 올라가므로 우주의 팽창 속도가 증가하는 가속 팽창 중이다.

모범답안 (1) A와 B 시기 모두 우주의 팽창 속도는 0보다 크기 때문에, 우주의 크기는 계속 증가하였다. 그러나 A 시기에는 그래프가 아래쪽으로 내려가고 있으므로, 시간이 지남에 따라 우주의 팽창 속도가 점점 감소하여 우주의 크기는 점점 더 느린 속도로 커졌다. 반면, B 시기에는 그래프가 다시 위로 올라가고 있으므로, 시간이 지남에 따라 우주의 팽창 속도가 점점 증가하여 우주의 크기는 점점 더 빠른 속도로 커졌다.

(2) 우주의 팽창 속도가 현재와 같은 변화 경향으로 계속 유지된다면, 우주의 팽창 속도는 계속 증가할 것이다. 따라서 우주의 크기는 시간이 지날수록 점점 더 빠른 속도로 커질 것이다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	A와 B 시기에 우주의 크기는 어떻게 변해 왔는지 우주의 팽창 속도 변화와 관련지어 모두 옳게 서술한 경우	50
	A와 B 시기에 우주의 크기가 어떻게 변했는지만 옳게 서술한 경우	25
(2)	미래에 우주의 크기는 어떻게 변할지 우주의 팽창 속도와 관련지어 옳게 서술한 경우	50
	미래에 우주의 크기는 어떻게 변할지만 옳게 서술한 경우	25

8 (1) 허블은 외부 은하까지의 거리와 스펙트럼에서 나타나는 적색 이동을 비교하여 대부분의 은하가 지구로부터 멀어지고 있으며, 멀리 있는 은하일수록 더 빠르게 멀어진다는 것을 발견하였다.

(2) 지평선 문제, 평탄성 문제 등 빅뱅 우주론이 해결하지 못한 문제들은 우주가 빅뱅 직후 매우 작은 크기였다가 짧은 시간에 매우 급격하게 커졌다는 급팽창 우주론으로 해결할 수 있었다.

모범답안 (1) A 법칙은 허블-르메트르 법칙이다. 허블-르메트르 법칙은 거리가 먼 은하일수록 후퇴 속도가 빨라 더 빠르게 멀어진다는 것을 의미한다. 이는 은하들이 실제로 멀어지는 운동을 하는 것이 아니라, 공간 자체가 특별한 중심 없이 모든 방향에 대해 균일하게 팽창하고 있다는 것이다.

(2) B는 급팽창 우주론이다. 급팽창 우주론은 우주가 빅뱅 직후 매우 작은 크기였다가, 매우 짧은 시간 동안 급격하게 커졌다고 설명한다. 반면, 이전의 빅뱅 우주론은 대폭발 이후 우주가 비교적 일정한 속도로 팽창했다고 설명한다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	A에 해당하는 법칙을 쓰고, 그것이 무엇을 의미하는지 옳게 서술한 경우	50
	A에 해당하는 법칙만 옳게 쓴 경우	20
(2)	B에 해당하는 우주론을 쓰고, 이전 빅뱅 우주론과의 차이점을 옳게 서술한 경우	50
	B에 해당하는 우주론만 옳게 쓴 경우	20

논구술 대비 문제

150쪽~153쪽

1 **문제 해결 과정** (1) 태양이 주계열 단계에서 핵융합 반응으로 사용할 수 있는 수소의 양을 먼저 계산한 뒤, 질량-에너지 등가 원리를 이용하여 태양이 생성할 수 있는 총 에너지로 변환한다. 이후 태양의 광도와 비교하여 태양이 주계열 단계에서 머물 수 있는 전체 시간을 계산한다.

(2) 별의 광도와 질량과의 관계를 이용하여 별의 수명과 관련된 수식을 질량으로만 나타내고, 이후 수명과 질량의 관계를 파악한다.

(3) 태양 질량 정도의 별이 백색왜성이 됐을 때의 부피를 먼저 계산한 뒤, 이를 이용하여 별의 평균 밀도를 계산한다.

해설 (1) 태양은 주계열 단계에서 질량-에너지 등가 원리를 바탕으로 에너지를 안정적으로 방출한다.

(2) 별의 질량이 조금만 커져도 별의 광도가 매우 커지는 것은, 별 내부에서 핵융합 반응이 매우 빠르게 일어나 수소가 빨리 소모된다는 것이다.

(3) 백색왜성은 상대적으로 질량이 작은 별의 진화 마지막 과정에서 형성되며, 중심부가 수축하여 만들어지기 때문에 밀도가 매우 높다.

예시 답안 (1) 수소 핵융합 반응에 사용할 수 있는 질량은 태양 질량의 약 10 %이며, 수소 핵융합 반응에서 질량 결손 비율은 약 0.7 %이다. 따라서 태양이 주계열 단계에 머무는 동안 수소 핵융합 반응으로 생성 가능한 총 에너지량은 $E_{\odot}=mc^2=2\times10^{30}\ \text{kg}\times0.1\times0.007\times(3\times10^8\ \text{m/s})^2=1.26\times10^{44}\ \text{J}$이다. 현재 태양의 광도는 약 $4\times10^{26}\ \text{J/s}$이므로, 태양이 이 광도를 유지할 수 있는 시간은 $t=\frac{E_{\odot}}{L_{\odot}}=\frac{1.26\times10^{44}\ \text{J}}{4\times10^{26}\ \text{W}}=3.15\times10^{17}\ \text{s}\fallingdotseq1.0\times10^{10}$년이다. 따라서 태양은 주계열 단계에 약 100억 년 동안 머물 수 있다.

(2) 별의 광도는 질량과 $L\propto M^{3\sim4}$의 관계가 있다. 따라서 별의 질량이 조금만 커져도 광도는 더 많이 커지며, 이는 별 내부에서 핵융합 반응에 사용되는 수소의 소모량이 빨라진다는 것을 의미한다. 별의 수명은 핵융합 반응에 사용 가능한 수소의 양을 수소의 소모 속도로 나눈 값으로 생각할 수 있다. 이를 수식으로 나타내면 $t\approx\frac{M}{L}$이며, 별의 광도와 질량의 관계를 대입하면 $t\approx\frac{1}{M^{2\sim3}}$이다. 이는 별의 질량이 클수록 수명이 짧아진다는 것을 의미한다.

(3) 태양 질량 정도의 별이 최종적으로 백색왜성이 됐을 때, 반지름은 약 $7\times10^6\ \text{m}$이므로, 별의 부피 $V=\frac{4}{3}\times\pi\times(7\times10^6\ \text{m})^3\fallingdotseq1.37\times10^{21}\ \text{m}^3$이다. 따라서 평균 밀도 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{2\times10^{30}\ \text{kg}}{1.37\times10^{21}\ \text{m}^3}\fallingdotseq1.46\times10^9\ \text{kg/m}^3$이다. 이 값은 물의 밀도인 약 $10^3\ \text{kg/m}^3$이나 철의 밀도인 약 $7.9\times10^3\ \text{kg/m}^3$보다 매우 큰 값이므로, 백색왜성은 매우 밀도가 높은 천체임을 확인할 수 있다.

2 **문제 해결 과정** (1) 적색 이동 계수 $z=\frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}$이다. 따라서 (관측 파장-정지 파장)의 값을 먼저 계산하고, 그 값을 정지 파장으로 나누어 준다.

(2) $\frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}=\frac{v}{c}$에서 $\frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}=z$이므로, (1)에서 계산한 z값을 이용하여 후퇴 속도 v를 구한다.

(3) 허블-르메트르 법칙인 $v=H\times r$에서 v는 후퇴 속도이므로, (2)에서 계산한 후퇴 속도를 이용하여 초신성까지의 거리를 계산한다.

해설 (1) 한 천체에서 측정한 적색 이동 계수는 파장에 따라 변하지 않고 거의 같게 측정된다.

(2) 초신성이 지구로부터 멀어지는 속도인 후퇴 속도는 적색 이동 계수에 비례한다.

(3) 허블-르메트르 법칙에 따르면, 초신성까지의 거리는 초신성의 후퇴 속도에 비례한다.

예시 답안 (1) 적색 이동 계수 $z=\frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}=\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$이므로, 각 방출선의 적색 이동 계수는 다음과 같다.

- $z_{\textcircled{\scriptsize 1}}=\frac{4511.91-4102}{4102}=\frac{409.91}{4102}\fallingdotseq0.0999$
- $z_{\textcircled{\scriptsize 2}}=\frac{4773.69-4340}{4340}=\frac{433.69}{4340}\fallingdotseq0.0999$
- $z_{\textcircled{\scriptsize 3}}=\frac{5347.64-4861}{4861}=\frac{486.64}{4861}\fallingdotseq0.1001$
- $z_{\textcircled{\scriptsize 4}}=\frac{7219.33-6563}{6563}=\frac{656.33}{6563}\fallingdotseq0.1000$

각 방출선의 적색 이동 계수를 비교해 보면, 크기가 거의 0.1로 같다.

(2) $\frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}=\frac{v}{c}$이므로, $v=\left(\frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}\right)\times c$이다. $\frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}=z$이므로, (1)에서 계산한 z값인 0.1을 대입하면, $v=0.1\times3\times10^8\ \text{m/s}=3\times10^7\ \text{m/s}$이다.

(3) 허블-르메트르 법칙에서 $v=H\times r$이므로, $r=\frac{v}{H}$이다. 이때, v는 (2)에서 계산한 $3\times10^7\ \text{m/s}=3\times10^4\ \text{km/s}$이고, $H=70\ \text{km/s/Mpc}$이므로, 초신성 iPTF15th까지의 거리는 $r=\frac{3\times10^4\ \text{km/s}}{70\ \text{km/s/Mps}}\fallingdotseq429\ \text{Mpc}$이다.

MEMO

MEMO