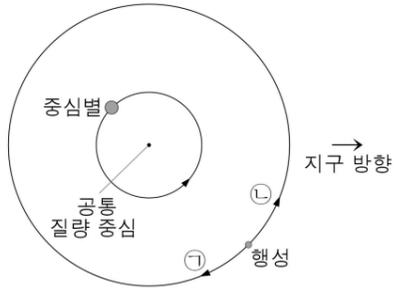


제 4 교시

과학탐구 영역(지구 과학 I)

성명  수험 번호

1. 그림은 어느 외계 행성과 중심별이 공통 질량 중심 주위를 8일 주기로 공전하는 모습을 나타낸 것이다.

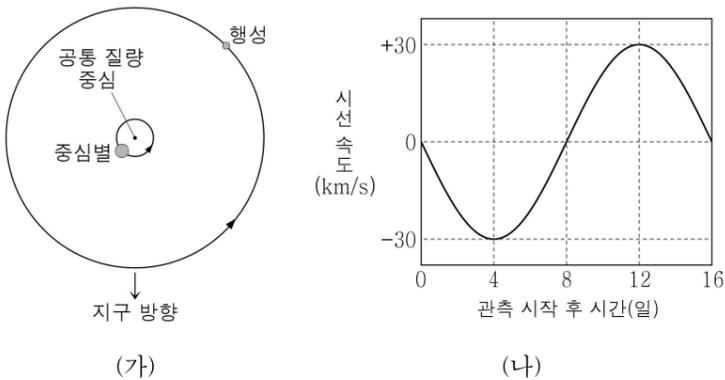


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 행성의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 나란하다.)

- <보 기>
- ㄱ. 행성이 공전하는 방향은 ㉠이다.
  - ㄴ. 이후 2일 동안 중심별의 스펙트럼 파장은 계속 짧아진다.
  - ㄷ. 행성에 의한 식 현상이 관측될 때 중심별의 스펙트럼 편이량은 최대이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄴ    ⑤ ㄴ, ㄷ

2. 그림 (가)는 어느 외계 행성과 중심별이 공통 질량 중심 주위를 원운동하며 공전하는 모습을, (나)는 이 중심별로부터 얻은 시선 속도 곡선을 나타낸 것이다. 공통 질량 중심과의 거리는 행성이 중심별의 7배이다.

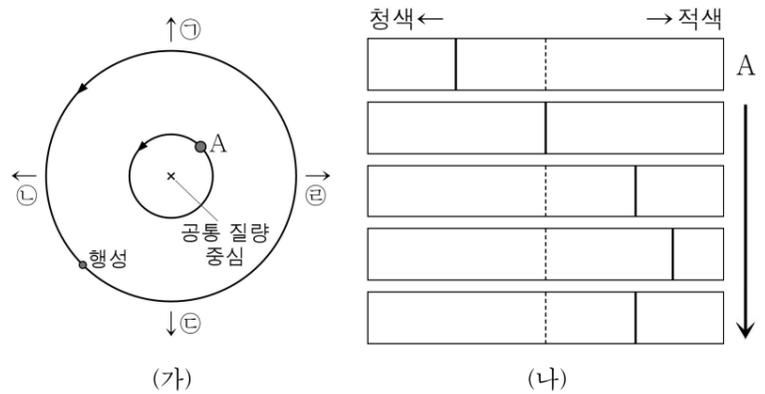


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 행성의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향에 나란하다.)

- <보 기>
- ㄱ. (가)로부터 4일 동안 중심별의 스펙트럼 파장은 계속 길어진다.
  - ㄴ. (나)에서 관측 시작 후 8일에 중심별에 의해 행성이 가려진다.
  - ㄷ. 행성의 공전 속도는 210km/s이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3. 그림 (가)는 공통 질량 중심 주위를 8일 주기로 공전하는 어느 외계 행성과 중심별의 모습을, (나)는 A 위치부터 1일 간격으로 4일 동안 관측한 중심별의 스펙트럼을 순서대로 나타낸 것이다. (가)에서 지구가 위치하는 방향은 ㉠~㉣ 중 하나이다.

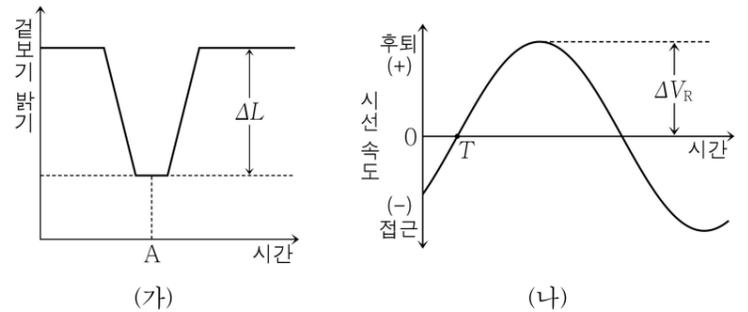


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 행성의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 나란하다.)

- <보 기>
- ㄱ. A에서 중심별의 시선 속도는 (-)값을 갖는다.
  - ㄴ. (가)에서 지구가 위치하는 방향은 ㉠이다.
  - ㄷ. (나)를 관측하는 동안에 행성에 의한 식 현상은 관측되지 않았다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4. 그림 (가)는 어느 외계 행성에 의한 중심별의 겉보기 밝기 변화를, (나)는 이 중심별로부터 얻은 시선 속도 곡선을 나타낸 것이다.

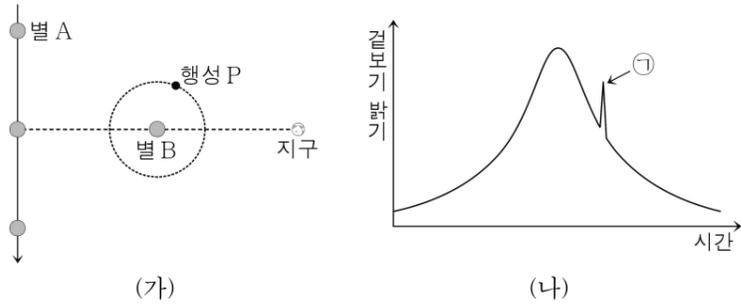


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 행성의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향에 나란하다.)

- <보 기>
- ㄱ. 행성의 반지름이 절반이 되면  $\Delta L$ 은 현재의 0.25배가 된다.
  - ㄴ. 행성의 질량이 클수록  $\Delta V_R$ 가 커진다.
  - ㄷ. (가)에서 A일 때 (나)에서는 T에 해당한다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

5. 그림 (가)는 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성 탐사를, (나)는 별 A 또는 별 B의 시간에 따른 밝기 변화를 나타낸 것이다.

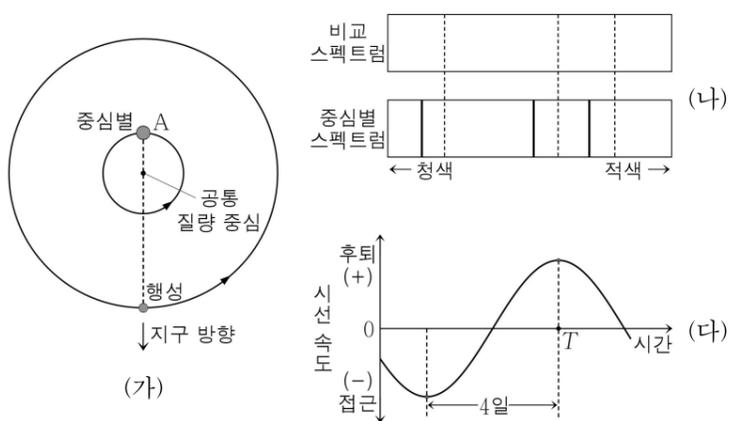


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보 기>
- ㄱ. ㉠을 통해 행성 P의 존재를 알 수 있다.
  - ㄴ. (나)는 B의 밝기 변화이다.
  - ㄷ. (가)는 A의 중력에 의해 B의 별빛이 굴절되는 현상을 이용한 탐사 방법이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

6. 그림 (가)는 어느 외계 행성과 중심별이 공통 질량 중심 주위를 공전하는 모습을, (나)는 어느 시점에 관측된 이 중심별의 스펙트럼을, (다)는 이 중심별의 시선 속도 변화를 나타낸 것이다.

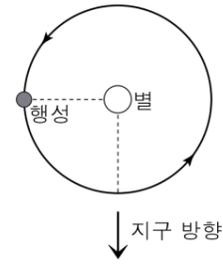


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 행성의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 나란하다.)

- <보 기>
- ㄱ. 중심별이 A에 위치할 때 (다)에서는 T에 해당한다.
  - ㄴ. (나)는 행성이 지구로부터 멀어지는 시점에 관측되었다.
  - ㄷ. 중심별을 관측하면 행성에 의한 식 현상이 4일 주기로 나타난다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

7. 그림은 외계 행성계에서 별의 주위를 공전하는 행성을 공전 궤도에 나타낸 것이다. 행성의 공전 주기는 16일이다.

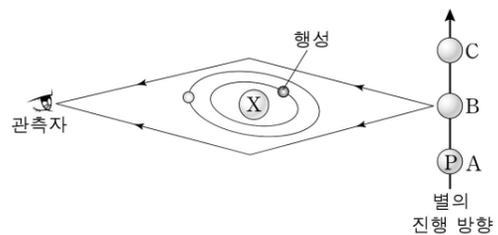


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 행성의 공전 궤도면은 시선 방향과 나란하다.)

- <보 기>
- ㄱ. 이날로부터 4일 후 행성이 별에 의해 가려진다.
  - ㄴ. 이날 이후 일주일 동안 별빛의 스펙트럼 파장은 계속 짧아진다.
  - ㄷ. 같은 조건에서 행성의 질량이 클수록 별빛의 최대 편이량은 커진다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

8. 그림은 별 P의 밝기 변화를 이용해 행성계 X에 속한 외계 행성의 탐사 방법을 나타낸 것이다.

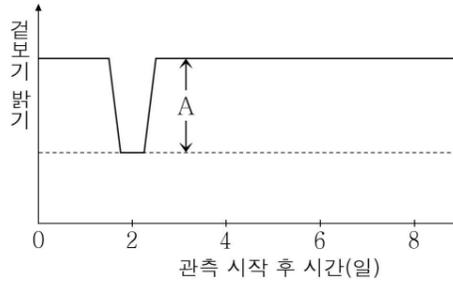


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보 기>
- ㄱ. 중력에 의한 빛의 미세한 굴절 현상을 이용한 방법이다.
  - ㄴ. 외계 행성의 질량이 클수록 존재를 확인하기에 유리하다.
  - ㄷ. 관측한 별 P의 밝기는 A에서 C로 가면서 계속 밝아진다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

9. 그림은 외계 행성계에서 중심별의 주위를 원궤도로 공전하는 행성에 의한 중심별의 겉보기 밝기 변화를 나타낸 것이다.

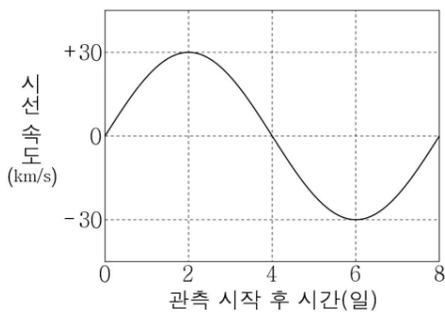


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 행성의 공전 궤도면은 시선 방향과 나란하다.)

- <보 기>
- ㄱ. 행성의 공전 주기는 6일보다 길다.
  - ㄴ. 관측 시작 후 4일에 중심별을 관측하면 적색 편이가 나타난다.
  - ㄷ. 행성의 반지름이 절반이 되면 A는 현재의 0.25배가 된다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄴ    ⑤ ㄱ, ㄷ

10. 그림은 공전 궤도면이 시선 방향과 나란한 외계 행성을 가지고 있는 중심별의 시선 속도 변화 곡선을 나타낸 것이다.

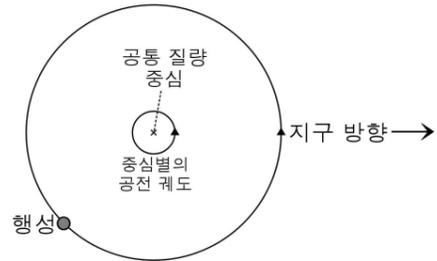


위 그림에 대한 해석으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보 기>
- ㄱ. 중심별의 공전 주기는 4일이다.
  - ㄴ. 행성의 공전 속도는 30km/s보다 빠르다.
  - ㄷ. 관측 시작 후 12일에 중심별이 행성의 앞을 가린다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

11. 그림은 어느 외계 행성계의 모습과 공통 질량 중심 주위를 16일 주기로 공전하는 외계 행성의 위치를 나타낸 것이다.

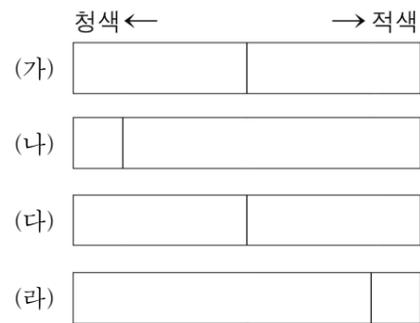


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 별과 행성의 공전 궤도면은 시선 방향과 나란하다.)

- <보 기>
- ㄱ. 현재 위치에서 중심별의 별빛은 적색 편이한다.
  - ㄴ. 8일에 한 번씩 행성이 중심별의 앞을 가린다.
  - ㄷ. 중심별의 별빛 스펙트럼 파장은 현재보다 8일 후에 더 길다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12. 그림 (가)~(라)는 행성이 16일 주기로 중심별의 주위를 원궤도로 공전하는 외계 행성계의 중심별의 스펙트럼을 4일 간격으로 관측하여 나타낸 것이다. (가)와 (다)에서 관측된 별빛의 스펙트럼 파장은 서로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 행성의 공전 궤도면은 시선 방향과 나란하다.)

- <보 기>
- ㄱ. (가)일 때 행성에 의한 식 현상이 일어난다.
  - ㄴ. (나)일 때 관측한 중심별의 시선 속도는 (-)값을 갖는다.
  - ㄷ. (다)~(라) 기간 동안 행성은 지구로부터 점점 멀어진다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

\* 확인 사항  
○ 답안지의 해당란에 필요한 내용을 정확히 기입(표기)했는지 확인 하시오.

문항 번호	1	2	3	4	5	6
정답	②	⑤	⑤	③	①	②
문항 번호	7	8	9	10	11	12
정답	⑤	③	⑤	②	①	③

미래를 위해 현재를 투자하는 수험생분들의 하늘 위에  
'입시 성공'이라는 밝은 별이 빛나기를 기원하겠습니다.

*Per ardua ad astra*  
역경을 헤치고 별을 향하여

Castellar  
(Since 2017)

출제 및 제작 : 김효길

Castellar 지구과학 N제 시리즈 저자

E-mail : gyrlf6190@naver.com

오르비 닉네임 : Castellar (IMIN682944)

#### 집필

오르비 Castellar 지구과학1 N제 2018

오르비 Castellar 지구과학1 N제 2019

오르비 Castellar 지구과학1 N제 2020

오르비 Castellar 지구과학2 N제 2021

1. 문서에 실린 문항은 Castellar 지구과학1 N제 2019 및 2020에 수록되어 실제 출판된 것과 내용이 동일하며, 저작권법에 따라 보호받는 저작물입니다.
2. 문서의 전체 또는 일부를 허가 없이 영리 목적으로 이용하는 경우, 해당 문항이 수록된 실제 출판물(Castellar 지구과학1 N제)의 저작권을 침해한 것으로 간주합니다.

## 2022학년도 Castellar 외계 행성 탐사 문항 해설지

### 1. [정답] : ㉡ ㄴ

[저자의 말] 외계 행성 탐사 방법에 관한 문항에서 가장 흔하게 출제되는 ‘도플러 효과 이용’입니다. 중심별과 행성이 공통 질량 중심 주위를 공전한다는 것 하나만으로 여러 가지 개념들을 적용하여 어렵게 물어볼 수 있기 때문에, 준킬러 3점 문항으로 출제하기가 좋습니다.

- ㄱ. 문항의 그림에서 중심별의 공전 방향이 시계 반대 방향으로 나타나 있는데, 행성의 공전 방향은 중심별의 공전 방향과 동일합니다. 별과 행성을 이은 선분 위에는 항상 공통 질량 중심이 위치하기 때문에, 행성의 공전 방향은 중심별이 공통 질량 중심 주위를 공전하는 방향과 동일해야 합니다.(그림 1-1 참고) 따라서 문항의 그림에서 행성이 공전하는 방향은 ㉡입니다.

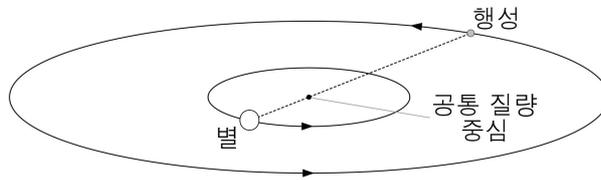


그림 < 1-1 >

- ㄴ. 아마도 이 선지를 많이 틀리셨을 겁니다. 중심별의 위치에 따른 스펙트럼 파장의 변화에 대한 정확한 개념은 단 한 가지인데, 나머지 오개념들이 너무 많습니다. 그리고 그 오개념들은 수능 시험지 위에 ‘오답’을 고르게 만듭니다. 따라서 제가 여기서 확실히 정리해드리겠습니다. 내용이 조금 길지만, 개념서 읽듯이 한번 읽어보시기 바랍니다. 우선 ‘스펙트럼 파장’과 ‘적색 편이 및 청색 편이’ 사이의 관계에 대해 정확히 이해할 필요가 있습니다.

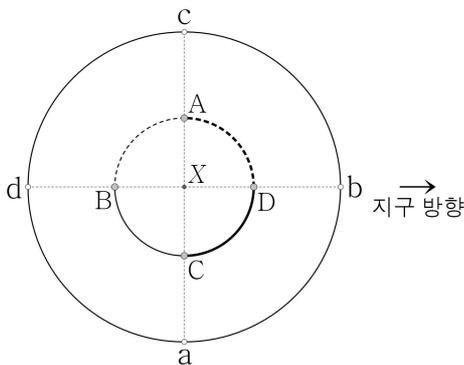


그림 < 1-2 >

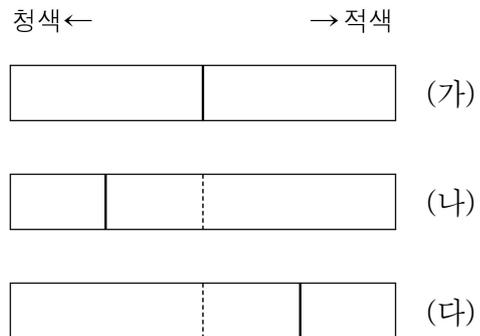


그림 < 1-3 >

- 그림 1-2와 같은 외계 행성계가 있다고 가정하고, 별과 행성이 공통 질량 중심(X) 주위를 공전하는 방향은 편의상 시계 반대 방향으로 가정해봅시다. 중심별은 A~D가 그려진 궤도를 따라 공전하고, 중심별의 위치가 각각 A, B, C, D일 때 행성의 위치는 각각 a, b, c, d에 해당합니다. ... 별의 스펙트럼 파장은 별이 멀어지고 가까워짐에 따라 조금씩 변합니다. 그림 1-3의 (가)는 별이 정지

상태일 때의 파장을 나타낸 것인데, 그림 1-3의 (나)처럼 스펙트럼의 파장이 짧아져 청색 영역으로 이동하는 것을 청색 편이라고 합니다. 그림 1-3의 (다)처럼 스펙트럼의 파장이 길어져 적색 영역으로 이동하는 것을 적색 편이라고 합니다. 그리고 청색 편이는 별이 지구에 가까워질 때 나타나고, 적색 편이는 별이 지구로부터 멀어질 때 나타납니다. 지구와 '무조건 가까운 거리에 있는' 별에서 청색 편이가 관측되는 것이 아니라, '거리가 가까워지고 있는' 별에서 청색 편이가 관측되는 것입니다. 즉, '거리 그 자체'가 아니라 '거리의 변화 상태'에 영향을 받는 것입니다. (지구와의 거리가  $10^2$ 광년인 별이 지구로부터 점점 멀어지고 있다면 그 별은 적색 편이가 관측되고, 거리가  $10^7$ 광년인 별이 지구에 점점 가까워지고 있다면 그 별은 청색 편이가 관측됩니다.) 따라서 그림 1-2에서 중심별이 지구로부터 멀어지는 구간(점선으로 표시된 구간)에서는 적색 편이가 관측되고, 중심별이 지구에 가까워지는 구간(실선으로 표시된 구간)에서는 청색 편이가 관측됩니다.

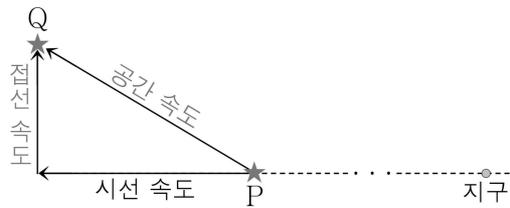


그림 < 1-4 >

이제 별빛의 편이량이 변하는 양상에 대해 파악해보아야 하는데, 이에 앞서 '시선 속도'에 대한 개념을 간략히 설명해보겠습니다. 그림 1-4에서 별(★)은 P에서 Q로 움직이는데, 별이 이동하는 성분 그 자체를 공간 속도라고 보시면 됩니다. 그리고 공간 속도는 관측자의 시선 방향에 나란한 성분과 수직인 성분으로 나눌 수 있는데, 이 중 관측자의 시선 방향에 나란한 성분이 시선 속도에 해당합니다. 그림 1-2에서는 별의 공전 궤도에 접선을 그음으로써 별의 공간 속도의 방향을 파악할 수 있고, 이 공간 속도 성분을 분해했을 때 관측자의 시선 방향에 나란한 성분이 시선 속도에 해당합니다. 여기서 시선 속도의 방향이 지구 쪽을 향하면 별이 지구로 접근한다는 것을 의미하고, 부호는 (-)가 됩니다. 그리고 시선 속도의 방향이 지구의 반대 방향을 향하면 별이 지구로부터 멀어진다는 것을 의미하고, 부호는 (+)에 해당합니다. 그리고 만약에 시선 속도의 성분이 없다면, 지구와 별 사이의 거리는 멀어지지도 가까워지지도 않는 상태입니다. ... 이제 그림 1-2에 적용해봅시다. A에서는 별이 지구로부터 멀어지는 성분이 가장 크고, C에서는 가까워지는 성분이 가장 큼니다. 그러므로 A에서 별은 적색 편이가 최대인 것으로 관측되고, C에서는 청색 편이가 최대인 것으로 관측됩니다. 그리고 B와 D에서는 시선 속도 성분이 0이므로 별빛의 편이량이 0입니다. 따라서 별빛의 스펙트럼 파장은 A일 때 가장 길고 C일 때 가장 짧습니다. 즉, 별빛의 스펙트럼 파장은 짧은 선으로 표시된 부분(C→D→A)에서는 점점 길어지고, 짧은 선으로 표시된 부분(A→B→C)에서는 점점 짧아지는 모습을 보입니다. ... 그러므로 문항의 그림에서 중심별의 스펙트럼은 적색 쪽으로 치우쳐 있으면서도 파장이 점점 짧아지는 중입니다. 중심별이 공통 질량 중심 주위를 공전하는 주기가 8일이므로, 2일 동안 중심별은 공통 질량 중심 주위를  $90^\circ$ 만큼 공전합니다. 현재 중심별의 위치로부터 약  $45^\circ$ 를 공전하는 동안(이후 약 1일 동안)에 중심별은 적색 편이하고, 약 1일 후 중심별은 편이량이 0인 지점을 지납니다. 그리고 나머지 약 1일 동안 다시 약  $45^\circ$ 를 공전할 때는 청색 편이합니다. 하지만 아직 중심별은 '스펙트럼 파장이 가장 짧은 위치'에 도달하지 않았기 때문에, 문항의 그림에 표시된 위치로부터 2일 동안( $90^\circ$ 를 공전하는 기간 동안) 중심별의 스펙트럼 파장은 계속 짧아집니다.

㉔. 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 나란하므로, 행성이 중심별과 지구 사이에 위치할 때 행성에 의한 식 현상이 관측됩니다. 식 현상이 관측될 때 중심별은 그림 1-2에서 B에 위치한 것과 마찬가지로, 이때 중심별의 시선 속도는 0이므로 스펙트럼 편이량 또한 0이 됩니다.

## 2. [정답] : ㉠ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- ㄱ. 그림 (나)에서 중심별의 시선 속도가 사인 곡선 형태를 띠며 그려지는데, 이 사인 곡선의 주기가 16일이므로 '공통 질량 중심에 대한 중심별의 공전 주기'는 16일에 해당합니다. 그러므로 (가)로부터 4일 동안 중심별은 공통 질량 중심 주위를  $90^\circ$ 만큼 공전할 것입니다. 그리고 (가)에서 중심별은 지구와 가까워지고 있기 때문에 청색 편이하며, 이때 중심별의 위치는 '별빛의 스펙트럼 파장이 가장 짧은 위치'로부터 약  $45^\circ$ 만큼 더 공전한 위치에 해당합니다. 따라서 중심별의 스펙트럼 파장은(가)로부터 약 6일 후에 가장 길고, (가)로부터 4일 동안에는 중심별의 스펙트럼 파장이 계속 길어집니다.
- ㄴ. (나)에서 '관측 시작 후 8일'을 편의상  $T$ 라고 합시다.  $T$ 일 때는 중심별의 시선 속도가 0이 되는데,  $T$ 를 기준으로 중심별의 시선 속도는 (-)에서 (+)로 변합니다. 따라서  $T$ 일 때 중심별과 지구 사이의 거리는 최소이고, 행성과 지구 사이의 거리는 최대입니다. 즉, 이때는 행성, 중심별, 지구가 일렬로 나란하게 위치하며, 이때 중심별은 행성과 지구 사이에 위치합니다. 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향에 나란하기 때문에, (나)에서 관측 시작 후 8일에( $T$ 일 때)는 중심별에 의해 행성이 가려집니다.
- ㄷ. 공통 질량 중심에 대한 중심별과 행성의 공전 주기는 16일로 같고, 공통 질량 중심과의 거리는 행성이 중심별의 7배입니다.(ㄱ 선지 해설 및 발문 참고) 따라서 공통 질량 중심 주위를 원운동하며 1바퀴 공전하는 동안 움직이는 거리(=궤도의 둘레)는, 행성이 중심별의 7배입니다. 하지만 중심별과 행성이 공통 질량 중심 주위를 공전하는 주기가 서로 동일하기 때문에, 공전 속도는 행성이 중심별의 7배가 됩니다. 중심별의 공전 속도는 시선 속도의 방향이 관측자의 시선 방향과 나란할 때의 관측 자료를 바탕으로 알 수 있는데, (나)에서 중심별의 시선 속도가 0를 기준으로  $30\text{km/s}$ 의 범위에서 변하기 때문에 중심별의 공전 속도가  $30\text{km/s}$ 라는 사실을 알 수 있습니다. 따라서 행성의 공전 속도는 중심별의 공전 속도의 7배인  $210\text{km/s}$ 가 됩니다.

### 3. [정답] : ㉕ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[분석] 그림 (나)를 보면 스펙트럼의 가운데 부분에 점선이 그려져 있는데, 이 점선이 '중심별이 정지 상태일 때의 스펙트럼'이라고 한 적은 없습니다. 즉, 그림 (나)의 점선은 5개의 스펙트럼을 서로 정확히 비교하기 위한 기준선에 불과할 뿐, 일단 이 점선이 중심별이 정지 상태일 때의 스펙트럼이라고 할 만한 근거는 어디에도 없습니다. 일단 편의상 그림 (나)에서 A의 아래에 있는 나머지 4개의 스펙트럼을 각각 B, C, D, E라고 하겠습니다. 만약 (가)에서 지구가 위치하는 방향이 ㉔ 또는 ㉕이라면, 중심별의 스펙트럼 파장은 A보다 B일 때 더 짧아야 합니다. 하지만 (나)의 관측 결과는 그렇지 않습니다. 그리고 만약 지구가 위치하는 방향이 ㉖이라면, 중심별의 스펙트럼 파장은 B보다 C일 때 더 짧아야 합니다. 하지만 (나)의 관측 결과는 그렇지 않습니다. 따라서 (가)에서 지구가 위치하는 방향은 ㉗에 해당합니다. 지구가 위치하는 방향이 ㉘이라면, 중심별의 스펙트럼 파장은 A에서부터 D까지 계속 길어져야 하고, D~E 기간에는 스펙트럼 파장이 짧아져야 합니다. (나)의 관측 결과가 이에 부합하기 때문에, (가)에서 지구가 위치하는 방향은 ㉗에 해당합니다.

ㄱ. (가)에서 지구가 위치하는 방향은 ㉗에 해당합니다.([분석] 참고) 따라서 이때 중심별은 지구에 가까워지고 있고, 시선 속도는 (-)값을 갖습니다. 혹시 그림 (나)의 A에서 중심별의 스펙트럼선이 '점선'보다 왼쪽(청색 방향)에 있다는 것만 보고 ㄱ 선지를 풀었다면, [분석]의 앞 부분을 한 번 더 자세히 읽어보시기 바랍니다.

ㄴ. [분석]을 참고하시기 바랍니다. ㄴ 선지에 대한 해설 내용이 전부 [분석]에 포함되어 있기 때문입니다. '해설 쓰기가 귀찮아서'가 절대 아닙니다.

ㄷ. 행성에 의한 식 현상이 관측되기 위해서는 행성이 중심별과 지구 사이에 위치해야 합니다. 하지만 (가)에서 지구가 위치하는 방향이 ㉗에 해당하기 때문에, (나)를 관측하는 4일 동안 '행성이 중심별과 지구 사이에 위치하는 상황'은 일어나지 않았습니다. 따라서 (나)를 관측하는 동안에 행성에 의한 식 현상은 관측되지 않았습니다. 행성에 의한 식 현상은 A로부터 약 5일 후에 관측됩니다.

#### 4. [정답] : ㉓ ㄱ, ㄴ

- ㄱ. 행성의 반지름이 클수록 식 현상이 관측될 때 중심별의 밝기 변화량( $\Delta L$ )이 큼니다. 식 현상이 관측될 때 행성이 별의 앞을 가리게 되는데, 행성에 의해 가려지는 별의 면적이 바로  $\Delta L$ 에 해당합니다. 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 나란하기 때문에, 지구의 관측자가 볼 때 별과 행성은 원 모양의 단면으로 관측됩니다. 따라서 행성이 별을 가리는 면적은 행성의 '반지름의 제곱'에 비례합니다. 즉, 행성의 반지름이 2배가 되면, 이 면적은 4배가 되는 것입니다. 따라서 행성의 반지름이 절반이 되면 '행성이 별을 가리는 면적'은 0.25배가 되며,  $\Delta L$  또한 0.25배가 됩니다.
- ㄴ. 같은 조건에서 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심과 중심별 사이의 거리가 멀어지기 때문에 별빛의 최대 편이량이 커집니다. 즉, 행성의 질량이 클수록 외계 행성 탐사에 유리한 조건을 갖추고 있다고 볼 수 있습니다. 행성의 질량 변화는 공전 주기, 공통 질량 중심과 중심별 사이의 거리, 공전 속도, 별빛의 편이량과 같이 다양한 측면에 영향을 미칩니다. 흔히 케플러 제3법칙은  $P^2 = a^3$ 으로 알고 계시지만, 더 정확히는  $P^2 = \frac{4\pi^2}{G(M+m)} a^3$ 으로 나타냅니다. ( $P$ :공전 주기,  $G$ :만유인력 상수,  $M$ :중심별의 질량,  $m$ :행성의 질량,  $a$ : 중심별과 행성 사이의 거리) 이때 행성의 질량인  $m$ 이 커지면, 중심별과 공통 질량 중심 사이의 거리가 멀어지고 공전 주기( $P$ )가 짧아집니다. 중심별과 공통 질량 중심 사이의 거리가 멀어졌기 때문에 중심별이 공통 질량 중심의 주위를 한 바퀴 공전하는 동안 이동하는 '궤도의 길이'가 더 길어졌습니다. 하지만 공전 주기가 짧아졌으므로 중심별은 더 짧아진 시간 동안 더 길어진 공전 궤도를 따라 공전하게 됩니다. 따라서 중심별의 공전 속도가 더 빨라져 별빛의 최대 편이량이 더 커지게 됩니다. 별빛의 최대 편이량은 (나)에서  $\Delta V_R$ 에 비례하므로, 행성의 질량이 클수록  $\Delta V_R$ 가 커집니다.
- ㄷ. (가)에서 A는 행성에 의한 식 현상이 일어나는 한 가운데의 시점에 해당한다고 볼 수 있습니다. 따라서 이때 행성은 중심별과 지구 사이에 위치합니다. 이때 중심별과 지구 사이의 거리는 최대이고, 행성과 지구 사이의 거리는 최소입니다. 따라서 이때 중심별의 시선 속도는 0이고, A 이후에 중심별은 지구에 점점 가까워지면서 시선 속도가 (-)값을 가질 것입니다. 하지만 (나)에서  $T$ 를 지난 후 중심별의 시선 속도는 (+)값을 가집니다. 따라서 '(가)에서 A일 때 (나)에서는  $T$ 에 해당한다.'라는 설명은 옳지 않습니다.

## 5. [정답] : ㉠ ㄱ

[저자의 말] 그림을 그리느라 많이 힘들었던 문항입니다. 그림 (가)의 지구를 자세히 보면 세부묘사가 정말 뛰어납니다.(그림 5-1 참고)



그림 < 5-1 >

잡담은 이 정도까지만 하고, ‘미세 중력 렌즈 효과를 이용한 외계 행성 탐사’에 대해 간단하게 언급하도록 하겠습니다. 일단 외계 행성 탐사 방법으로는 크게 ‘도플러 효과 이용, 식 현상 관측, 미세 중력 렌즈 현상 이용’ 이렇게 3가지가 있는데, 평가원에서 주로 출제하는 부분은 도플러 효과 및 식 현상과 관련된 내용입니다. 지구과학1에서 미세 중력 렌즈 현상은 ‘외계 행성의 존재’를 확인하는 데 사용되는 탐사 방법으로 언급되기 때문에, 만약 평가원에서 이 부분과 관련된 문항을 출제한다면 ‘행성에 의한 관측값 변화’에 대한 내용을 물어볼 가능성이 높습니다. 미세 중력 렌즈 현상의 개념에 대해 가볍게 물어볼 수도 있지만, 이 부분에서 ‘주인공’은 결국 ‘행성’입니다. 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 탐사의 주목표는 ‘행성의 존재를 확인하는 것’이고, 평가원은 우리에게 ‘행성의 존재 여부가 관측값 변화에 미치는 영향’에 대해 물어볼 것입니다.

ㄱ. (가)에서 별 A가 별 B의 뒤로 지나갈 때, B의 중력에 의해 A의 밝기에 변화가 나타납니다. A의 밝기는 ‘A와 B의 방향이 서로 나란할 때’ 가장 밝고, 이 시점을 기준으로 밝기 변화가 대칭적으로 나타납니다. 그런데 만약 B의 주위를 공전하는 행성(P)이 있다면 P의 중력에 의해 A의 밝기에 추가적인 변화가 나타나는데, 이때 A의 밝기는 ‘뽀족한 바늘이 툭툭 튀어 오르는 듯한 모습’을 띠며 일시적으로 밝아집니다. 그리고 우리는 이러한 변화를 통해 행성의 존재를 알 수 있습니다. ㉠은 행성 P의 중력에 의한 추가적인 밝기 변화에 해당하며, 이를 통해 행성 P의 존재를 확인할 수 있습니다.

[ㄴ & ㄷ] (가)의 탐사 결과인 (나)는, B의 중력에 의해 A의 별빛이 굴절되는 현상을 관측한 것에 해당하며, (나)에서 관측 대상은 A입니다.

## 6. [정답] : ㉡ ㄴ

[저자의 말] 생김새는 엄청 어렵게 보이지만, 막상 풀어보면 어렵지 않은 문항입니다.

- ㄱ. 중심별이 A에 위치할 때는 중심별과 지구 사이의 거리가 최대이고, 행성과 지구 사이의 거리는 최소입니다. 따라서 이때 중심별의 시선 속도는 0이고, A 이후에 중심별은 지구에 점점 가까워지면서 시선 속도가 (-)값을 가질 것입니다. 따라서 '중심별이 A에 위치할 때 (다)에서는 T에 해당한다.'라는 설명은 옳지 않습니다. 그림 (다)에서 T의 오른쪽을 보면 시선 속도 곡선과 '시간 축'이 만나는 점이 있습니다. 편의상 이 시점을  $T_A$ 라고 하면, 중심별이 A에 위치할 때 (다)에서는  $T_A$ 에 해당합니다. 중심별의 스펙트럼 파장은 '지구와 가장 먼' 시점이 아니라 '지구로부터 가장 빠르게 멀어지는' 시점에 가장 깁니다. 수험생들이 가장 많이 가지고 있는 오개념 중 하나입니다.
- ㄴ. (나)에서 중심별의 스펙트럼은 비교 스펙트럼보다 청색 방향으로 치우쳐 있습니다. 따라서 (나)는 중심별이 지구에 가까워질 때 관측된 것에 해당합니다. 그런데 중심별과 행성은 항상 공통 질량 중심을 사이에 두고 같은 주기로 공전하기 때문에, 중심별이 지구로부터 멀어질 때는 행성이 지구에 가까워지고, 중심별이 지구에 가까워질 때는 행성이 지구로부터 멀어집니다. 따라서 (나)는 중심별이 지구에 가까워질 때(=행성이 지구로부터 멀어질 때) 관측된 것에 해당합니다.
- ㄷ. 그림 (다)에서 '4일'이라고 표시된 부분이 있는데, 이는 중심별의 스펙트럼 파장이 가장 짧을 때부터 시작해서 가장 길 때까지 걸리는 시간입니다. 이 시간은 중심별이 공통 질량 중심 주위를 공전하는 주기의 절반에 해당하므로, 실제로 공통 질량 중심에 대한 중심별의 공전 주기는 8일에 해당합니다. 따라서 (행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향에 나란하다고 가정할 때) 중심별을 관측하면 행성에 의한 식 현상은 8일 주기로 나타납니다.

7. [정답] : ㉠ ㄴ, ㄷ

[분석] 외계 행성계에서 중심별과 행성을 이은 선분(중심별과 행성의 사이)에는 항상 공통 질량 중심이 위치하고, 중심별과 행성 모두 같은 주기로 공통 질량 중심을 공전합니다. 그림에 나타난 현재 행성의 위치를 바탕으로 별의 위치를 파악하면 그림 7-1과 같습니다.

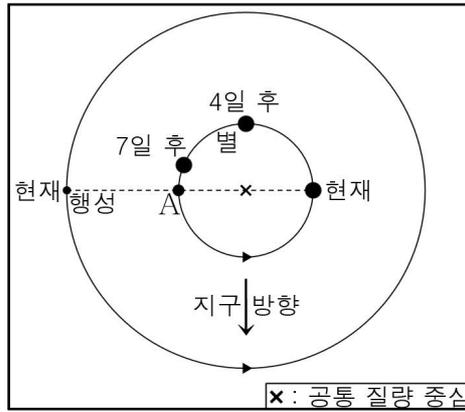


그림 < 7-1 >

행성의 공전 주기가 16일이기 때문에, 별도 공통 질량 중심의 주위를 16일 주기로 공전합니다. 따라서 현재로부터 8일 후에는 별이 A의 위치에 도달합니다.

- ㄱ. 그림 7-1을 보면, 이날로부터 4일 후에는 별이 지구로부터 가장 먼 지점을 지난다는 것을 알 수 있습니다. 그리고 이때 행성은 공전 궤도에서 지구와 가장 가까운 위치(그림 상에서 '▶'표시가 있는 곳)에 위치하게 됩니다. 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 나란하기 때문에 이때 행성이 별의 앞을 지나는 '행성에 의한 식 현상'이 일어납니다. 따라서 4일 후 행성이 별에 의해 가려진다는 설명은 옳지 않습니다.
- ㄴ. 별의 공전 궤도상의 위치에 따른 스펙트럼 파장, 시선 속도, 편이량 등의 변화에 대한 물음은 도플러 효과를 이용한 외계 행성 탐사 문제에 꼭 등장하는 내용입니다. 2017학년도 대수능 지 I 19번 문항이 대표적인 예입니다. 일단 현재의 위치에서 별은 적색 편이를 하고 있고, 편이량이 최대가 되며 별빛의 스펙트럼 파장이 가장 길습니다. 그리고 4일 후의 위치에서는 편이량이 0이 되고, 그 후부터는 별이 지구와 점점 가까워지면서 청색 편이를 하게 됩니다. 그리고 현재로부터 8일 후의 위치(A)에서는 청색 편이를 하고 있고, 편이량이 최대가 되며 별빛의 스펙트럼 파장이 가장 짧습니다. 정리하자면, 별빛의 스펙트럼 파장은 현재의 위치에서 가장 길고(최대 적색 편이), 그로부터 8일 후(스펙트럼 파장이 가장 짧은 때)가 될 때까지는 계속 스펙트럼 파장이 짧아진다는 것을 알 수 있습니다. 따라서 이날 이후 일주일(7일) 동안 별빛의 스펙트럼 파장은 계속 짧아집니다.
- ㄷ. 같은 조건에서 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심과 중심별 사이의 거리가 멀어지기 때문에 별빛의 최대 편이량이 커집니다. 즉, 행성의 질량이 클수록 외계 행성 탐사에 유리한 조건을 갖추고 있다고 볼 수 있습니다. 행성의 질량의 변화는 공전 주기, 공통 질량 중심과 중심별 사이의 거리, 공전 속도, 별빛의 편이량과 같이 다양한 측면에 영향을 미칩니다. 흔히, 케플러 제3법칙은  $P^2 = a^3$ 으로 알고계시지만, 더 정확히는  $P^2 = \frac{4\pi^2}{G(M+m)} a^3$ 으로 나타냅니다. ( $P$ :공전 주기,  $G$ :만유인력 상수,  $M$ :중심별의 질량,  $m$ :행성의 질량,  $a$ : 중심별과 행성 사이의 거리) 이때 행성의 질량인  $m$ 이 커지면, 중심별과 공통 질량 중심 사이의 거리가 멀어지고 공전 주기( $P$ )가 짧아집니다. 중심별과 공통 질량

중심 사이의 거리가 멀어졌기 때문에 중심별이 공통 질량 중심의 주위를 한 바퀴 공전하는 동안 이동하는 '궤도상의 길이'가 더 길어졌습니다. 하지만 공전 주기가 짧아졌으므로 중심별은 더 짧은 시간 동안 더 길어진 공전 궤도상을 따라 공전하게 됩니다. 따라서 중심별의 공전 속도가 더 빨라져 별빛의 최대 편이량이 더 커지게 됩니다.

## 8. [정답] : ㉓ ㄱ, ㄴ

- ㄱ. 거리가 다른 두 별이 같은 방향에 위치할 경우, 앞쪽 별의 중력에 의해 뒤쪽 별의 별빛이 미세하게 굴절되어 휘어지는 현상이 나타나는데, 이를 미세 중력 렌즈 현상이라고 합니다. 이때 앞쪽 별이 행성을 가질 경우 행성의 중력에 의해 뒤쪽 별의 밝기에 추가적인 변화가 일어나는데, 이를 이용하여 외계 행성의 존재를 확인할 수 있습니다. 그림에서 나타난 탐사 방법은 이러한 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사하는 방법을 나타낸 것이며, 행성의 중력에 의해 뒤쪽 별빛에 미세한 굴절 현상이 일어남을 이용하여 행성의 존재를 확인하는 방법에 해당합니다.
- ㄴ. 도플러 효과, 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사하는 경우, 행성의 질량이 클수록 존재를 확인하기에 유리합니다. 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사할 때는 외계 행성의 질량이 클수록 행성의 중력이 커지며, 이로 인해 뒤쪽 별빛이 굴절되는 정도가 커집니다. 따라서 외계 행성의 질량이 클수록 존재를 확인하기에 유리합니다.
- ㄷ. 뒤쪽 별(P)의 밝기는 P와 행성계 X가 같은 방향에서 관측될 때, 즉 B의 위치에서 가장 밝게 관측됩니다. A에서 B로 갈수록 P의 밝기는 점점 밝아지고, B에서 C로 갈수록 밝기가 점점 어두워지며 원래대로 돌아옵니다. P의 밝기가 A에서 C로 가면서 계속 밝아지지는 않습니다.

9. [정답] : ㉠ ㄱ, ㄷ

[저자의 말] 외계 행성에 의한 중심별의 식 현상에 대해 묻는 문항입니다. 식 현상 자료를 통해 중심별의 스펙트럼 편이, 공전 주기 등을 파악할 수 있는가를 물을 수도 있습니다. 대표적인 출제 사례로는 2017학년도 대학수학능력시험 지구과학 I 19번 문항이 있습니다.

- ㄱ. 행성에 의한 중심별의 식 현상이 나타나는 주기를 통해 행성의 공전 주기를 파악할 수 있습니다. 행성에 의한 중심별의 밝기 감소 현상(식 현상)은 중심별과 지구(관측자)의 사이로 행성이 지나갈 때 일어나기 때문에, 식 현상이 일어나는 주기는 행성의 공전 주기와 같습니다. 문제의 자료에서 '관측 시작 후 2일'에 식 현상이 관측되었는데, 그로부터 6일 후인 '관측 시작 후 8일'이 지난 후에도 식 현상이 나타나지 않습니다. 즉, 식 현상이 나타나는 주기(=행성의 공전 주기)가 6일보다 길다는 것을 알 수 있습니다.
- ㄴ. 행성의 공전 주기가 6일보다 길고(ㄱ.해설 참고) 행성의 공전 주기는 중심별이 공통 질량 중심을 공전하는 주기와 같기 때문에 중심별의 공전 주기 또한 6일보다 깁니다. 중심별의 공전 주기를 6일이라 가정하면, 관측 시작 후 시간(일)에 대한 중심별의 위치는 그림 9-1과 같습니다. 그림 9-1에서 중심별은, '관측 시작 후 2일'부터 '관측 시작 후 4일'까지의 시간 동안 공통 질량 중심 주위를 약 120°만큼 공전합니다. 하지만 문항의 자료에 나타난 실제 중심별의 공전 주기는 6일보다 길기 때문에 '관측 시작 후 2일'부터 '관측 시작 후 4일'까지의 시간 동안 중심별이 공통 질량 중심의 주위를 공전하는 각도는 120°보다 작습니다. 그림 9-1에서 지구의 방향은 그림의 아래쪽 방향이므로, 중심별의 공전 궤도에서 왼쪽 절반의 영역에서는 중심별이 지구에 접근하게 되고, 관측 시작 후 4일에는 중심별이 이 영역에 위치합니다. 따라서 관측 시작 후 4일에 중심별을 관측하면 청색 편이가 나타납니다.

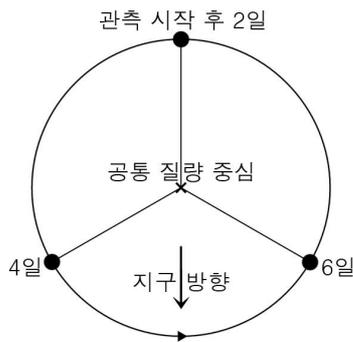


그림 < 9-1 >

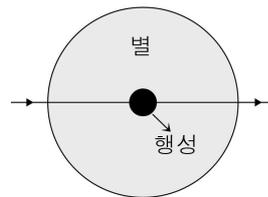


그림 < 9-2 >

- ㄷ. 행성의 반지름이 클수록 식 현상이 나타날 때 중심별의 밝기 변화량(A)이 큼니다. 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 나란하기 때문에 식 현상이 관측될 때의 모습은 그림 9-2와 같습니다. 이때 행성이 별의 앞을 가리게 되는데, 행성에 의해 가려지는 별의 면적이 바로 A에 해당합니다. 지구의 관측자가 볼 때, 별과 행성은 원 모양의 단면으로 관측되기 때문에 행성이 별을 가리는 면적은 행성의 '반지름의 제곱'에 비례합니다. 즉, 행성의 반지름이 2배가 되면, 이 면적은 4배가 되는 것입니다. 따라서 행성의 반지름이 절반이 되면 '행성이 별을 가리는 면적'은 0.25배가 되며, A 또한 0.25배가 됩니다.

10. [정답] : ㉡ ㄴ

ㄱ. 관측 시작 후 2일에 시선 속도가 최대이고, 6일에 최소입니다. 또한 관측 시작 후 0일, 4일, 8일에 모두 시선 속도가 0이므로 관측 시작 후 시간(일)에 따른 중심별의 위치는 그림 10-1과 같이 나타낼 수 있습니다. 따라서 중심별이 공통 질량 중심(x)을 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간(공전 주기)은 8일입니다.

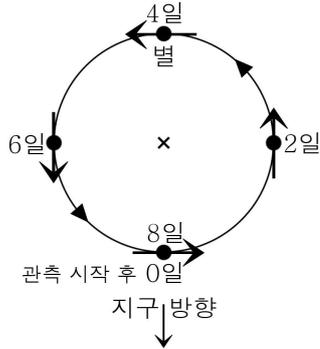


그림 < 10-1 >

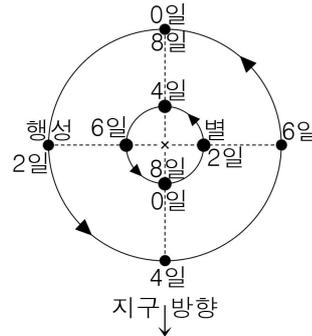


그림 < 10-2 >

ㄴ. 그림 10-1에서 화살표는 '중심별의 공전 속도 성분(벡터)'에 해당합니다. 시선 속도는 시선 방향의 속도, 즉 '별의 이동 속도 성분 중에서 관측자의 시선 방향에 나란한 성분'에 해당하기 때문에, 그림 10-1의 화살표가 관측자의 시선 방향에 수직인 위치(관측 시작 후 0일, 4일, 8일)에는 시선 속도가 0이 됩니다. 그리고 그림 10-1의 화살표가 관측자의 시선 방향과 나란한 위치(관측 시작 후 2일)에는 시선 속도가 최대가 되며, 관측 시작 후 6일에는 중심별이 시선 방향의 반대 방향으로 접근하므로 시선 속도가 최소가 됩니다. 따라서 중심별의 공전 속도는 시선 속도의 최댓값과 같은데, 제시된 시선 속도 곡선에서 최댓값이 +30km/s이므로 중심별의 공전 속도가 30km/s임을 알 수 있습니다. 또한, 공통 질량 중심의 주위를 공전하는 주기는 중심별과 행성이 서로 같은데, 공전을 하는 반경은 행성이 더 큽니다. 따라서 1회 공전하는 동안 이동하는 거리는 중심별보다 행성이 더 길습니다. 같은 시간동안 중심별보다 더 긴 거리를 이동(공전)해야 하는 행성은, 공전 속도가 중심별보다 빠를 수밖에 없습니다. 따라서 행성의 공전 속도는 30km/s보다 빠릅니다.

ㄷ. 중심별의 위치가 주어졌을 때 행성의 위치를 알아내려면, 공통 질량 중심을 찾으면 됩니다. 별과 행성은 공통 질량 중심(x)을 사이에 두고 공전하는데, 공전 궤도의 반경은 그림 10-2와 같이 행성이 별보다 큽니다. 이때 공통 질량 중심은 항상 '별과 행성을 이은 선분'위에 위치합니다. 즉, 공통 질량 중심은 항상 별과 행성의 사이에 위치한다는 뜻입니다. 따라서 그림 10-1에서 나타난 중심별의 위치를 바탕으로 행성의 위치까지 파악해보면 그림 10-2와 같이 나타낼 수 있습니다. 별과 행성의 공전 주기는 8일이므로(ㄱ.해설 참고) 관측 시작 후 12일 후의 별, 행성의 위치는 '관측 시작 후 4일'과 동일할 것입니다. 따라서 관측 시작 후 12일(=4일)에는 중심별이 행성의 앞을 가리는 것이 아니라, 행성이 중심별의 앞을 지나(별의 일부를 가리는) 현상이 관측됩니다.

11. [정답] : ㉠ ㄱ

[저자의 말] 행성의 위치, 공전 주기가 주어졌습니다. 따라서 중심별의 위치를 낱짜(현재로부터  $n$ 일 후)에 따라 파악할 수 있어야 합니다.

- ㄱ. 공통 질량 중심(x)은 행성과 중심별의 사이에 위치합니다. 따라서 현재와 8일 후의 중심별 위치를 파악하여 그림 11-1과 같이 나타낼 수 있습니다. (공통 질량 중심의 주위를 공전하는 주기는 행성과 중심별이 서로 16일로 같습니다.)

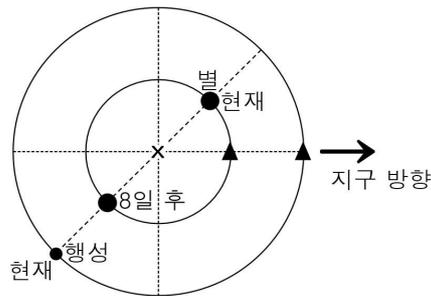


그림 < 11-1 >

현재의 위치에서 중심별은 지구로부터 멀어지고 있기 때문에, 중심별을 관측하면 적색 편이가 나타납니다.

- ㄴ. 별과 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 나란하기 때문에, 행성이 중심별의 앞을 지날 때 중심별의 앞을 가리는 식 현상이 관측됩니다. 이때 중심별, 지구, 행성은 '중심별-행성-지구' 순으로 나란히 정렬하게 되는데, 이러한 위치 관계는 행성의 공전 주기인 16일 주기로 나타납니다. 식 현상이 관측된 지 8일 후에는 '행성-중심별-지구' 순으로 나란히 정렬되기 때문에, 행성이 중심별의 앞을 가리는 현상은 8일이 아닌 16일 주기로 관측됩니다.
- ㄷ. 그림 11-1에서 현재의 중심별 위치는 지구로부터 점점 멀어지는 위치에 해당하고, 8일 후의 중심별 위치는 지구에 점점 가까워지는 위치에 해당합니다. 즉, 현재 중심별은 적색 편이하고, 8일 후에 중심별은 청색 편이를 합니다. 청색 편이가 나타날 때의 별빛 스펙트럼 파장은, 적색 편이가 나타날 때보다 짧습니다. 따라서 중심별의 별빛 스펙트럼 파장은 현재보다 8일 후에 더 짧습니다.

12. [정답] : ㉓ ㄱ, ㄴ

[분석] 문항의 발문에서 얻을 수 있는 정보가 여러 개 있습니다. 행성의 공전 주기가 16일이라는 사실로부터 '중심별이 공통 질량 중심의 주위를 공전하는 주기가 16일이라는 사실을 파악할 수 있습니다. 그리고 별빛의 스펙트럼을 관측한 간격이 4일이므로, (가)~(다)는 중심별의 공전 주기의 절반(8일)임을 알 수 있습니다. 이때 8일 간격인 (가)와 (다)에서 별빛의 스펙트럼 파장이 서로 같기 때문에, (가)와 (다)일 때 모두 별빛의 스펙트럼 편이량이 0임을 알 수 있습니다. 그렇기 때문에 만약 (라)로부터 4일 후인 (마)가 있었다면, (가), (다)와 마찬가지로 별빛의 스펙트럼 편이량은 0일 것입니다.

ㄱ. (가)와 (다)일 때는 별빛의 스펙트럼 편이량이 0입니다. 따라서 행성에 의한 식 현상이 관측되는 때는 (가)와 (다)중에서 하나에 해당합니다. (가)와 (다)의 사이에 위치한 (나)일 때 별빛은 청색 편이하는데, 이는 별이 지구에 가까워지고 있다는(접근하고 있다는)것을 의미하기 때문에, (가)일 때 별은 지구와 가장 멀리 떨어진 지점을 지난다는 것을 알 수 있습니다. 따라서 (가)~(라)에 해당하는 중심별의 위치를 행성과 함께 나타내면 그림 12-1과 같습니다.

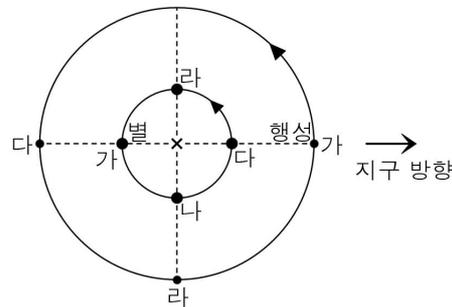


그림 < 12-1 >

- (가)일 때 행성은 별과 지구의 사이를 지나며, 행성의 공전 궤도면은 시선 방향에 나란하기 때문에 (가)일 때 행성에 의한 식 현상이 일어납니다.
- ㄴ. (나)일 때 중심별의 스펙트럼 파장은 청색의 영역으로 치우쳐 있습니다.(청색 편이) 따라서 이때 중심별의 시선 속도는 (-)값을 갖습니다. 별이 지구로부터 멀어질 때(후퇴할 때)는 적색 편이를 하며, 이때 시선 속도는 (+)값을 갖습니다. 그리고 반대로 별이 지구에 가까워질 때(접근할 때)에는 청색 편이를 하며, 이때 시선 속도는 (-)값을 갖습니다.
- ㄷ. (다)일 때 중심별은 지구와 가장 가까운 위치를 지나고, 행성은 지구와의 거리가 가장 먼 지점을 지납니다. 그리고 (다)로부터 8일 동안 중심별은 지구로부터 점점 멀어지고(적색 편이하고), 행성은 반대로 지구에 점점 가까워집니다. (그림 12-1 참고) 따라서 (다)~(라) 기간 동안 행성은 지구에 점점 가까워집니다.