

### ① 별의 물리량

#### (1) 분광 관측

① 분광 관측: 분광기를 사용하여 천체로부터 오는 전자기파를 파장 별로 분산시켜서 나타난 스펙트럼을 관측하는 것으로, 별의 물리량 파악에 중요한 역할을 한다.

#### ② 스펙트럼의 종류

• **연속 스펙트럼**: 넓은 파장 범위에 걸쳐 연속적으로 나타나는 스펙트럼이다. 백열등 빛을 분광기에 통과시키면 무지개 색깔의 연속적인 색의 띠를 관찰할 수 있다.

• **방출 스펙트럼**: 기체가 고온으로 가열될 때 불연속적인 파장의 빛이 방출되면서 특정 파장에서 밝은 선(방출선)이 나타나는 스펙트럼이다.

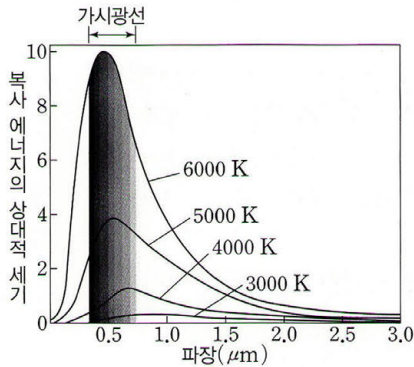
• **흡수 스펙트럼**: 연속 스펙트럼이 나타나는 빛을 저온의 기체에 통과시키면 연속 스펙트럼 위에 특정 파장에서 검은색 선(흡수선)이 나타나는 스펙트럼이다.

*4별 색과 중심에 비해 온도가 낮아 흡수선!*

(2) 별의 표면 온도: 표면 온도가 높을수록 짧은 파장의 빛(파란색)이, 표면 온도가 낮을수록 긴 파장의 빛(붉은색)이 많이 방출된다.

① **흑체**: 입사하는 모든 복사 에너지를 흡수하고, 흡수한 복사 에너지를 모두 방출하는 이상적인 물체를 흑체라고 한다.

• 플랑크 곡선: 흑체가 방출하는 파장에 따른 복사 에너지 세기를 나타낸 곡선이다.



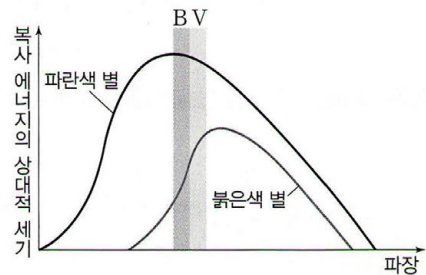
▲ 플랑크 곡선

• **빈의 변위 법칙**: 흑체가 최대 복사 에너지를 방출하는 파장( $\lambda_{max}$ )은 표면 온도( $T$ )가 높을수록 짧아진다.

$$\lambda_{max} = \frac{a}{T} \quad (a = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K})$$

#### ② 색지수와 표면 온도

• 색지수는 별의 표면 온도를 나타내는 척도로 사용되며, U, B, V 필터로 정해지는 겔보기 등급의 차를 이용한다. 색지수는 일반적으로 **(B-V)**를 사용하며, **별의 표면 온도가 높을수록 작아진다.**



▲ 별의 색과 B, V 필터의 파장에 따른 빛의 투과 영역

• 색지수와 표면 온도: 표면 온도가 높은 별은 파장이 짧은 자외선과 파란색 부근에서 에너지를 많이 방출하므로 B 등급이 작지만, 파장이 긴 붉은색 부근에서는 에너지를 적게 방출하므로 V 등급이 크다. 즉, 별의 표면 온도가 높을수록 색지수(B-V)는 작아진다.

#### ③ 분광형과 표면 온도

• **분광형**: 별의 표면 온도에 따라 스펙트럼을 O, B, A, F, G, K, M형의 7개로 분류하며, 각각의 분광형은 다시 고온의 0에서 저온의 9까지 10등급으로 세분한다.

• 별의 대기에 존재하는 원소들은 별의 표면 온도에 따라 스펙트럼의 특정한 영역에서 흡수선을 형성하므로, 흡수 스펙트럼선의 종류와 세기는 별의 표면 온도에 따라 달라진다.

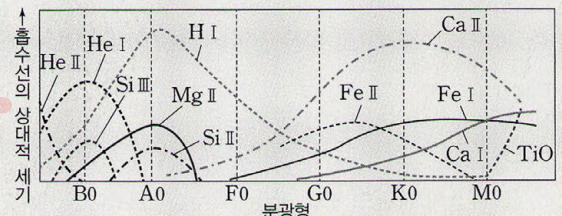
• 태양은 표면 온도가 약 5800 K인 노란색 별로, 이온화된 칼슘(Ca II) 흡수선이 가장 강하게 나타나며, 분광형은 G2형이다.

### 더 알기

#### 별의 분광형과 흡수선의 종류 및 세기

• 표면 온도가 높은 O형, B형 별에서는 이온화된 헬륨(He II)이나 중성 헬륨(He I)에 의한 흡수선이, 표면 온도가 낮은 K형, M형 별에서는 금속 원소와 분자에 의한 흡수선이 강하게 나타난다. 또한 표면 온도가 약 10000 K인 A형 별에서는 수소(H I)에 의한 흡수선이 강하게 나타난다.

• H I, He II 등의 기호에 붙은 로마 숫자는 떨어져 나간 전자의 개수를 나타낸다. 전자가 떨어져 나가지 않은 중성 원자는 I, 전자 1개가 떨어져 나가 +1가로 이온화된 원자는 II, 전자 2개가 떨어져 나가 +2가로 이온화된 원자는 III을 붙여 표현한다.



▲ 별의 분광형과 흡수선의 상대적 세기



(3) 별의 광도와 크기

① 슈테판·볼츠만 법칙: 흑체가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양( $E$ )은 표면 온도( $T$ )의 4제곱에 비례한다.

$$E = \sigma T^4 (\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$$

② 별의 광도: 별이 단위 시간 동안 방출하는 에너지양으로, 반지름이  $R$ 인 별의 광도( $L$ )는 별의 표면적과 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양을 곱하여 얻을 수 있다.

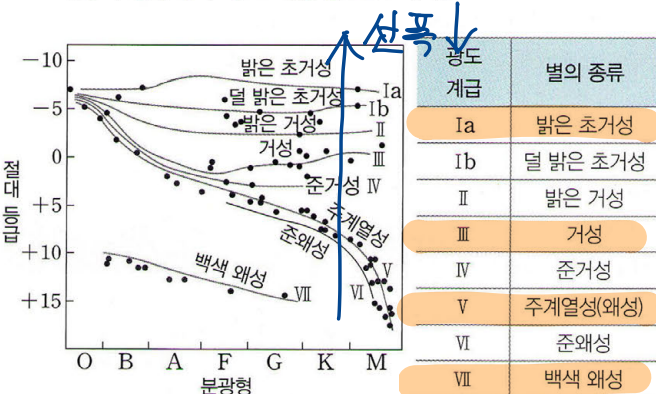
$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$$

③ 별의 반지름: 별의 표면 온도( $T$ )와 별의 광도( $L$ )를 알면 별의 반지름( $R$ )을 알아낼 수 있다.

$$R \propto \sqrt{\frac{L}{T^2}}$$

④ 별의 광도 계급: 별의 표면 온도와 광도를 고려하여 별을 분류한 것이다.

- 분광형이 같은 경우, 별의 반지름이 클수록 스펙트럼 흡수선의 선폭이 좁아지는 현상을 이용하여 별의 크기와 광도를 결정한다. 같은 분광형을 가진 별도 광도에 따라 분류할 수 있는데, 이를 광도 계급이라고 한다. **흡선 폭 ↓ → R ↑**
- 분광형이 같을 때 광도 계급이 클수록 별의 크기와 광도는 대체로 작다.
- 태양은 표면 온도가 약 5800 K이고 주계열성에 해당하므로, 태양의 분광형과 광도 계급은 G2V이다.

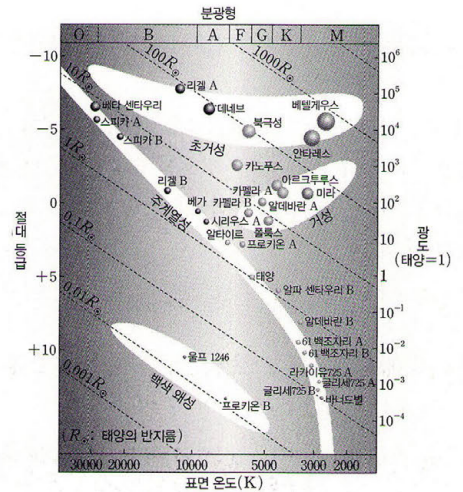


▲ H-R도와 광도 계급

② H-R도와 별의 종류

(1) H-R도

① H-R도: 가로축에 별의 분광형(또는 표면 온도)을, 세로축에 별의 절대 등급(또는 광도)을 나타낸 그래프로, 별의 표면 온도, 광도, 반지름 등의 물리적 특성을 파악할 수 있다.



▲ H-R도

② H-R도와 별의 물리량: 왼쪽으로 갈수록 표면 온도가 높고, 위로 갈수록 광도가 크다. 또한 오른쪽 위로 갈수록 반지름이 크고, 왼쪽 아래(반지름이 작아지는 방향)로 갈수록 평균 밀도가 대체로 크다.

(2) 별의 종류

- ① 주계열성: H-R도의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 대각선을 따라 분포하는 별들로, 전체 별들의 약 80~90%를 차지한다. H-R도에서 주계열성이 다른 집단에 비해 많은 이유는 별들이 주계열 단계에서 가장 오랫동안 머무르기 때문이다. → 왼쪽 위에 분포할수록 표면 온도가 높고 광도가 크며 반지름과 질량이 크다.
- ② 적색 거성(거성): H-R도의 오른쪽 위에 분포하는 별들로, 표면 온도는 낮지만 반지름이 커서 광도가 크고 붉은색을 띤다. 반지름은 태양의 약 10배~100배이며, 광도는 태양의 약 10배~1000배이다.  $M_{태} \approx +5 \therefore M_{거성} \approx -2 \sim +2$
- ③ 초거성: H-R도에서 적색 거성보다 더 위쪽에 분포하는 매우 밝은 별들로, 주계열성이나 적색 거성에 비해 반지름이 커서 광도가 매우 크지만, 평균 밀도는 매우 작다. 반지름은 태양의 약 수백 배~1000배 이상이며, 광도는 태양의 약 수만 배~수십만 배이다.  $M_{초거성} = -5 \downarrow$
- ④ 백색 왜성: H-R도의 왼쪽 아래에 분포하는 별들로, 표면 온도는 높지만 반지름이 매우 작아서 광도가 작으며, 평균 밀도는 태양의 약 100만 배로 매우 크다.

더 알기 흑체 복사 법칙을 이용하여 태양의 반지름 구하기

- 별은 거리가 매우 멀기 때문에 점처럼 보이므로 관측을 통해 직접 별의 크기를 알아낼 수 없다. 따라서 별의 크기를 구하기 위해서는 먼저 스펙트럼 분석을 통해 별의 표면 온도를 알아내고, 별의 절대 등급으로부터 별의 광도를 구해야 한다. 별의 표면 온도와 광도가 결정되면 슈테판·볼츠만 법칙을 이용하여 별의 반지름을 구할 수 있다.
- 빈의 변위 법칙을 이용하여 태양의 표면 온도( $T$ )를 구할 수 있다. → 태양이 복사 에너지를 최대 방출하는 파장은 약  $0.5 \mu\text{m}$ 이므로 태양의 표면 온도는 약 5800 K이다.

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{a}{T} (a = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}) \Rightarrow T \approx 5800 \text{ K}$$

• 태양의 광도는 약  $4 \times 10^{26} \text{ W}$ 이므로 슈테판·볼츠만 법칙을 이용하여 태양의 반지름( $R$ )을 구할 수 있다.

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4 (\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \Rightarrow R = \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{4\pi\sigma \cdot T^2}} = \frac{\sqrt{4 \times 10^{26}}}{\sqrt{4 \times 3.14 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 5800^2}} \approx 7 \times 10^8 \text{ m}$$



# 테마 대표 문제

| 2024학년도 수능 |

표는 별 (가), (나), (다)의 물리량을 나타낸 것이다. 태양의 절대 등급은 +4.8등급이다.

별	단위 시간당 단위 면적에서 방출하는 복사 에너지 (태양=1) $T^4$	겉보기 등급	지구로부터의 거리(pc)
(가)	16	( )	( )
(나)	$\frac{1}{16}$	+4.8	1000
(다)	( )	-2.2	5

$\frac{1}{100}$ 배  $\rightarrow 10^4$ 배  
 $(1000\text{pc}) \rightarrow 10\text{pc}$

$M = 4.8 - 10$   
 $\text{물등} = -5.2$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- 가. 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 (가)가 (나)의  $\frac{1}{2}$ 배이다. X
- 나. 반지름은 (나)가 태양의 400배이다. O  $10^4 = R^2 \left(\frac{T^4}{16}\right) \therefore R = 400$
- 다. (다)의 광도는 태양의 광도보다 작다. X

	가	나
T	2	2 <sup>-1</sup>
$\lambda$	2 <sup>-1</sup>	2

$\frac{1}{\lambda} \propto T$

- ① 가    ② 나    ③ 다    ④ 가, 나    ⑤ 나, 다

다. 태양 (가)

L	1	$\frac{(2.5)^4}{4}$
---	---	---------------------

$\therefore \frac{10^2 \cdot 6.25}{4} > 100$

↓  
 밝기 차 1등급 4인데  
 4배 밝아질 상대가 1등급 차 이므로!

최근들어 겉보기등급과  
 거리의 관계를 이용한  
 물리량 유형이  
 자주 출제되는  
 선술해 둥시다!

## 접근 전략

슈테판-볼츠만 법칙, 빈의 변위 법칙을 이용하여 별의 표면 온도를 구하며, 별의 거리와 밝기 관계를 이용하여 절대 등급을 파악하고 별의 반지름과 광도를 비교해야 한다.

## 간략 풀이

X. 단위 시간당 단위 면적에서 방출하는 복사 에너지량은 표면 온도의 네제곱에 비례하므로 표면 온도는 (가)가 태양의 2배, (나)가 태양의  $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 표면 온도는 (가)가 (나)의 4배이고, 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 (가)가 (나)의  $\frac{1}{4}$ 배이다.

O. (나)의 광도는 태양의 100<sup>4</sup>배, 표면 온도는 태양의  $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 반지름은 (나)가 태양의 400배  $\left(= \frac{\sqrt{100^2}}{\left(\frac{1}{2}\right)^2}\right)$ 이다.

X. (다)가 10 pc에 위치하면 밝기는 현재의  $\frac{1}{4}$ 배가 되고 겉보기 등급은 현재보다 약 1.5등급 커져 약 -0.7등급이 되므로, (다)의 절대 등급은 약 -0.7등급이다. 따라서 (다)의 절대 등급은 태양의 절대 등급보다 약 5.5등급 작으므로, (다)의 광도는 태양 광도의 100배보다 크다.    정답 | ②

# 답은 끝 문제로 유형 익히기

정답과 해설 28쪽

다음은 별 (가)와 (나)에 대한 설명이다.

$M = 0$  (8pc에서 10pc가면 어두워짐  
 $\therefore$  등급 내려짐)

- (가) 겉보기 등급이 0등급으로, 별의 밝기를 측정할 때 표준성으로 이용되는 별이다. 지구로부터의 거리는 8 pc이며, 색지수(B-V)가 0인 흰색 별이다.
- (나) 지구의 자전축 방향 부근에 위치한 별로, 지구로부터의 거리는 100 pc, 겉보기 등급은 2등급, 표면 온도는 6500 K이다.  $\therefore M = 2 - 5 = -3$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $2.5^{\frac{3}{2}} \approx 40$ 이다.)

**보기**

- 가. (가)와 (나)의 절대 등급 차는 3등급보다 크다. O  $\rightarrow$  vs O
- 나. 스펙트럼에 나타나는 수소 흡수선의 상대적 세기는 (나)가 (가)보다 강하다. X (가) = A<sub>0</sub>
- 다. (나)의 반지름은 (가)의 반지름보다 8배 크다. O  $L \propto R^2 \therefore L_m \propto R^2$

	가	나
$L_m$	$(2.5)^2$	1
$r^2$	2	5 <sup>2</sup>
$r^2$	2 <sup>2</sup>	5 <sup>-4</sup>
L	2 <sup>2</sup> ·(2.5) <sup>2</sup>	5 <sup>4</sup>
T	20	13

$\frac{5^4}{2^2 \cdot 2.5^2} = R^2 \cdot \left(\frac{13}{20}\right)^4 \therefore \frac{5^2}{2 \cdot 2.5} = R \cdot \left(\frac{13}{20}\right)^2$

- ① 가    ② 나    ③ 다    ④ 가, 나    ⑤ 가, 다

가:나) 100 : 8 = 12.5 : 2

82 EBS 수능완성 지구과학 I  
 T(나)  $\frac{10000}{100} : \frac{6500}{65} = 20 : 13$

## 유사점과 차이점

흑체 복사 법칙을 이용하여 별들의 물리량을 비교한다는 점에서 대표 문제와 유사하지만, 스펙트럼의 특성을 비교한다는 점에서 대표 문제와 다르다.

## 배경 지식

- 별의 겉보기 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로 거리가 10배 멀어지면 밝기는  $\frac{1}{100}$ 배가 된다.
- 5등급 차이가 날 때 밝기 비는 100배이고, 1등급 차이가 날 때 밝기 비는  $100^{\frac{1}{5}} = 10^{\frac{2}{5}} \approx 2.5$ 배이다.
- 별의 반지름은 광도의 제곱근에 비례하고, 표면 온도의 제곱에 반비례한다.

$R = 5 \times \frac{20^2}{13^2} > 8$

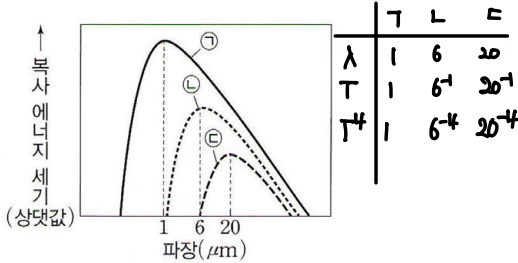


## 01

$$\text{면적} = \sigma T^4$$

▶24069-0156

그림은 흑체 ㉠, ㉡, ㉢의 플랑크 곡선과 최대 복사 에너지 세기를 나타낸 것이다.



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

①

- 보기
- ✓ 1. 표면 온도는 ㉠이 ㉢의 6배이다. ○
  - ✗ 2. 그래프와 가로축이 이루는 면적은 ㉠이 ㉢의 20배이다. ✗ 20<sup>4</sup>배
  - ✓ 3. 적외선 영역의 복사 에너지량은 흑체의 표면 온도가 높을수록 크다. ✗

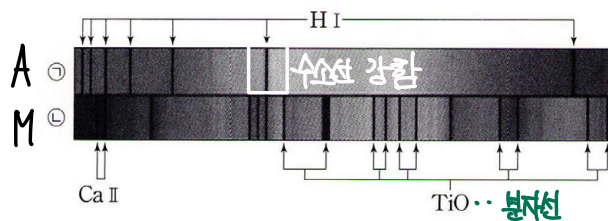
- ① ㉠, ㉡      ② ㉡, ㉢      ③ ㉠, ㉢  
 ④ ㉡, ㉢      ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

## 02

복사 + 분자선

▶24069-0157

그림은 별 ㉠, ㉡의 스펙트럼과 흡수선의 종류를 나타낸 것이다. ㉠, ㉡의 분광형은 각각 A형, M형 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

③

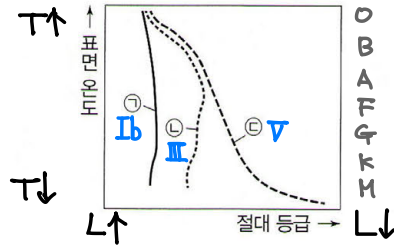
- 보기
- ✓ 1. ㉠은 흰색 별이다. ○
  - ✓ 2. ㉡은 태양보다 표면 온도가 낮다. ○ 태양  $G_2$
  - ✗ 3. Fe I 흡수선의 상대적 세기는 ㉠이 ㉡보다 강하다. ✗
- 금속선 고온 < 저온

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

## 03

▶24069-0158

그림은 광도 계급이 서로 다른 별의 세 집단 ㉠, ㉡, ㉢의 절대 등급과 표면 온도를 비교하여 나타낸 것이다. ㉠, ㉡, ㉢의 광도 계급은 각각 Ib, III, V 중 하나이다. HR도 회전시킨 자료



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

⑤

- 보기
- ✓ 1. ㉠의 광도 계급은 Ib이다. ○ RL
  - ✓ 2. 분광형이 같을 때, 광도 계급의 숫자가 클수록 절대 등급이 크다. ○ T·RL·LL
  - ✓ 3. 가장 많은 별들이 속해 있는 광도 계급은 ㉢의 광도 계급과 같다. ○

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

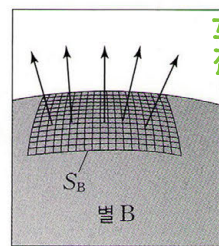
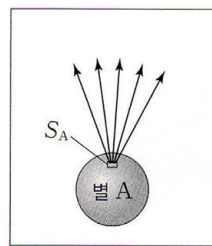
## 04

L Same

T<sup>4</sup>

▶24069-0159

그림은 절대 등급이 같은 두 별 A와 B에서 단위 시간당 동일한 양의 복사 에너지를 방출하는 면적  $S_A$ 와  $S_B$ 를 나타낸 것이다.  $S_B = 625 \times S_A$ 이고, A와 B의 광도 계급은 각각 III, V 중 하나이다.



	V	III
A	1	1
B	5 <sup>4</sup>	5 <sup>4</sup>
L	1	1
T <sup>4</sup>	5 <sup>4</sup>	1
T	5	1
$\lambda$	1	5 <sup>4</sup>
R <sup>2</sup>	1	5 <sup>4</sup>
R	1	5 <sup>2</sup>

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

⑤

- 보기
- ✓ 1. A는 주계열성이다. ○
  - ✓ 2. 표면 온도는 A가 B의 5배이다. ○
  - ✓ 3. 반지름은 B가 A의 25배이다. ○

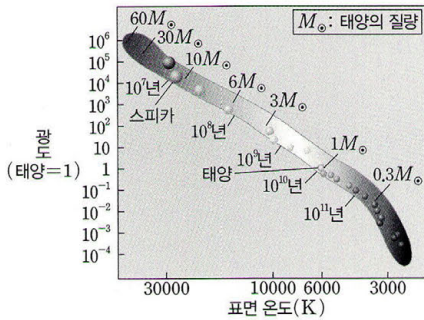
- ① ㉠      ② ㉡      ③ ㉠, ㉢  
 ④ ㉡, ㉢      ⑤ ㉠, ㉡, ㉢



05

▶24069-0160

그림은 H-R도에 주계열성의 질량과 수명을 나타낸 것이다.



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

④

보기

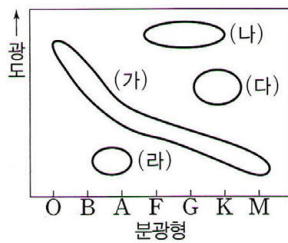
- ✓ 절대 등급이 작을수록 수명이 짧다. O L A ... H ... D
- 나. 반지름이 클수록 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 길다. X 짧다.  $\lambda \propto T^{-1}$
- ✓ 질량이 클수록 단위 시간 동안 수소 핵융합 반응에 의한 에너지 생성량이 많다. O

- ① 가
- ② 다
- ③ 가, 나
- ✓ ④ 가, 다
- ⑤ 나, 다

06

▶24069-0161

그림은 별의 종류 (가)~(라)를 H-R도에 나타낸 것이다. (가)~(라)는 각각 주계열성, 거성, 초거성, 백색 왜성 중 하나이다.



(가)~(라)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

①

보기

- ✓ 태양은 (가)에 속한다. O
- ✗ 별의 진화 속도는 (나)가 (다)보다 느리다. X
- ✗ 별 전체에서 수소가 차지하는 비율은 (라)가 가장 높다. X

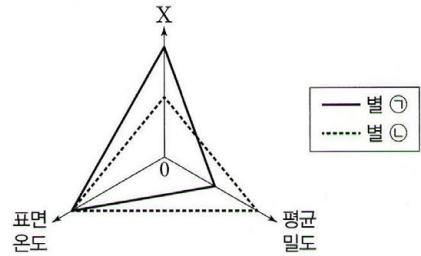
$(C+O) 100\%$

- ✓ ① 가
- ② 다
- ③ 가, 나
- ④ 나, 다
- ⑤ 가, 나, 다

07

▶24069-0162

그림은 별 ㉠과 ㉡의 특징을 물리량 X, 표면 온도, 평균 밀도에 따라 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡ 중 ㉠만 주계열성에 속한다.



반비례!

	주	비례
T	=	L
ρ	<	L
R	>	L
L	>	L

㉠과 ㉡에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

④

보기

- 가. ㉠은 거성 또는 초거성이다. X 거성이면 R 커야 함
- ✓ 분광형은 ㉠과 ㉡이 같다. O T same
- ✓ 광도는 물리량 X에 해당한다. O

- ① 가
- ② 나
- ③ 가, 다
- ✓ ④ 가, 다
- ⑤ 가, 나, 다

08

▶24069-0163

다음은 밤하늘에서 가장 밝게 보이는 시리우스 A에 대한 설명이다.

- (가) 시리우스 A는 겉보기 등급이 -1.5등급으로 태양을 제외하고 가장 밝게 보이는 별이다. 시리우스 A까지의 거리는 약 2.5 pc이고, 현재 태양계에 천천히 다가오고 있으며 앞으로 6만 년 후까지 점점 밝아질 것이다.  $M(겉.등) = -1.5 + 3 = +1.5$
- (나) 시리우스 A는 주변에 있는 시리우스 B와 함께 쌍성을 이루고 있다. 시리우스 A는 주계열성이고 시리우스 B는 백색 왜성이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

$(2.5)^3 = 16$

④

보기

- ✓ 시리우스 A의 절대 등급은 0.0등급보다 크다. O
- ✓ 시리우스 A의 스펙트럼에서 청색 편이가 관측된다. O
- ✗ 광도 계급의 숫자는 시리우스 B가 시리우스 A보다 작다. X 크다

$\frac{M(가)}{M(나)} = \frac{V(가)}{V(나)}$

- ① 가
- ② 나
- ③ 다
- ✓ ④ 가, 나
- ⑤ 가, 다



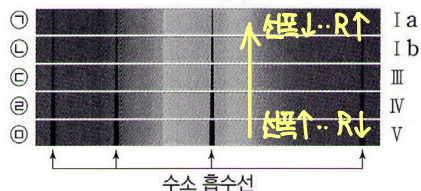
01

▶24069-0164

그림은 분광형이 A0형이고, 광도 계급이 다른 별 ㉠~㉤의 스펙트럼을 나타낸 것이다.

$R \downarrow \rightarrow P \uparrow \rightarrow \text{중심부} \rightarrow \text{선풍} \uparrow$

$R \uparrow \rightarrow P \downarrow \rightarrow \text{중심부} \rightarrow \text{선풍} \downarrow$



자  
요

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

3

- 보기
- ✓ ㉠~㉤은 모두 표면 온도가 같다. ○ 분광형 A0
  - ✓ 절대 등급은 ㉠이 가장 크다. X L > K
  - ✓ 광도 계급의 숫자가 작을수록 흡수선의 폭이 좁아지는 경향이 나타난다. ○

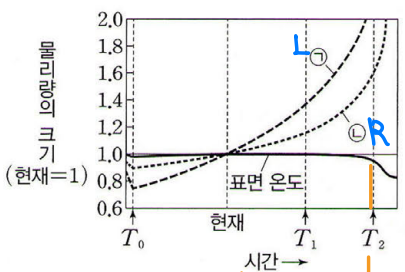
- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 자료 + 자료해석

▶24069-0165

그림은 질량이 태양과 비슷한 어느 별이 진화하는 동안 시간에 따른 물리량의 크기 변화를 현저값과 비교하여 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 광도와 반지름 중 하나이다.

자  
요

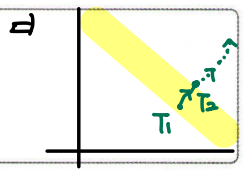


T · 주계열 일정  
 ⇒ 이후 수소각연소 때 팽창하면서 T drop  
 $R, L \sim \text{조금씩 증가}$   
 here,  $L = R^2 \cdot T^4$  이므로  
 $L$  변동성 >  $R$  변동성

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

4

- 보기
- ㄱ. ㉠은 반지름, ㉡은 광도이다. X 반대
  - ✓  $T_0 \sim T_1$  동안 별의 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. ○ T 주계열
  - ✓  $T_1$ 일 때는  $T_2$ 일 때보다 H-R도에서 왼쪽 아래에 위치한다. ○ T ↑ L ↓



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

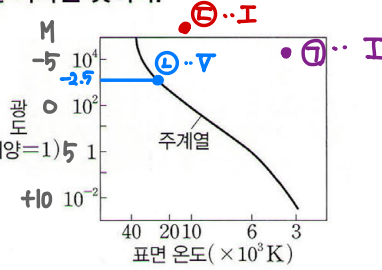


03

▶24069-0166

표는 세 별 ㉠, ㉡, ㉢의 물리량을, 그림은 H-R도에 주계열을 나타낸 것이다.

㉠	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표면 온도: 3600 K</li> <li>• 절대 등급: -5.9등급</li> </ul>
㉡	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광도 계급: V</li> <li>• 광도: 태양의 1000배 (태양=1)</li> </ul>
㉢	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표면 온도: 12000 K</li> <li>• 절대 등급: -7.8등급</li> </ul>



㉠, ㉡, ㉢에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 태양의 절대 등급은 +4.8등급이다.)

보기

- ✓ ㉠은 적색 초거성이다. ○
- ✓ 별의 표면 온도는 ㉡가 가장 높다. ○
- ✓ 별의 반지름은 ㉢이 ㉡보다 크다. ○

㉣

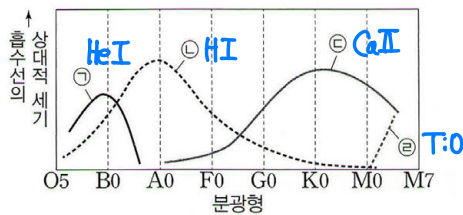
- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶24069-0167

그림은 별의 분광형에 따른 흡수선 ㉠~㉣의 상대적 세기를, 표는 별 X, Y, Z가 속한 별의 종류를 나타낸 것이다.

㉠~㉣은 각각 H I, He I, Ca II, TiO 흡수선 중 하나이다.



별	별의 종류
X	적색 거성
Y	청색 초거성
Z	백색 왜성

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? ④

보기

- ✓ Ca II 흡수선은 ㉢이다. ○
- ✓ He I 흡수선의 상대적 세기는 X보다 Y에서 강하다. ○
- ✗ Z에서는 H I 흡수선보다 TiO 흡수선이 더 강하게 나타난다. ✗

백색 왜성

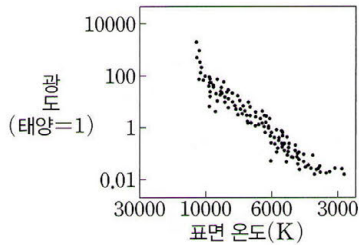
- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄴ      ⑤ ㄱ, ㄷ



05

▶24069-0168

그림은 어느 성단의 별들을 H-R도에 나타낸 것이고, 표는 이 성단에 속한 세 별 ㉠, ㉡, ㉢의 질량과 반지름을 나타낸 것이다.



별	질량 (태양=1)	반지름 (태양=1)
㉠	2.10	1.70
㉡	1.03	1.05
㉢	0.45	0.63

이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 성단을 구성하는 별들은 거의 동시에 탄생하였다.)

ㄷ

보기

- ✓ 이 성단은 대부분 주계열성으로 이루어져 있다. ○ 대각선 방향
- ✓ 별의 평균 밀도는 ㉠이 ㉡보다 작다. ○ 질량 약 2배지만 반지름<sup>3</sup>의 함수이므로
- ✓ 별의 절대 등급은 ㉠이 ㉢보다 작다. ○ 질량)  $\gamma > \delta \dots L_\gamma > L_\delta$

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

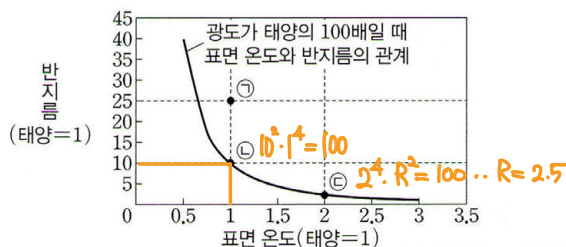
06

자료해석

▶24069-0169

그림은 별 ㉠, ㉡, ㉢의 표면 온도와 반지름을 나타낸 것이다. 그림에서 곡선은 광도가 태양의 100배일 때 표면 온도와 반지름의 관계이며, ㉠, ㉡, ㉢ 중 주계열성은 1개이다.

자료



㉠, ㉡, ㉢에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

㉢

보기

- ✓ ㉢은 주계열성이다. ○  $\gamma, \delta$ 은  $T$  안데  $R \uparrow$  이므로 주계열 x
- ✗ 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지량은 ㉡이 태양의 100배이다. ✗ 같다.  $T$
- ✓ 절대 등급은 ㉢이 ㉠보다 약 2등급 크다. ○  $M_\gamma = 0$  (태양 100배)

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

$L_\gamma = 2.5^2 \cdot 1^4 = 6.25$  배  $\rightarrow -7$  등급  $\therefore M_\gamma = -2$   
 $(2.5^2 \times 10^2)$



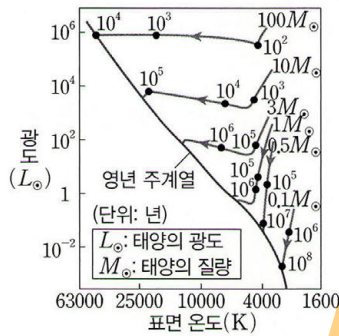
# 12 별의 진화와 내부 구조

## 1 별의 진화

### (1) 원시별의 탄생

분자운

- 원시별은 밀도가 크고 온도가 낮은 성운에서 생성된다. 거대한 성운이 중력 수축하면 중심부에서는 온도가 높아지고 밀도가 커짐에 따라 원시별이 생성된다.
- 원시별이 중력 수축하여 내부 온도가 높아지고, 표면 온도가 약 1000 K에 도달하면 가시광선 영역에서 관측이 가능해진다.
- 원시별은 중력 수축에 의해 반지름이 점점 작아지면서 광도가 작아진다.
- 원시별의 질량이 클수록 중력 수축이 빠르게 일어나 주계열 단계에 빨리 도달한다.
- 질량이 태양 질량의 약 0.08배보다 작은 원시별은 중심부의 온도가 낮아서 핵융합 반응을 일으키지 못하여 갈색 왜성이 된다.



▲ 원시별의 진화

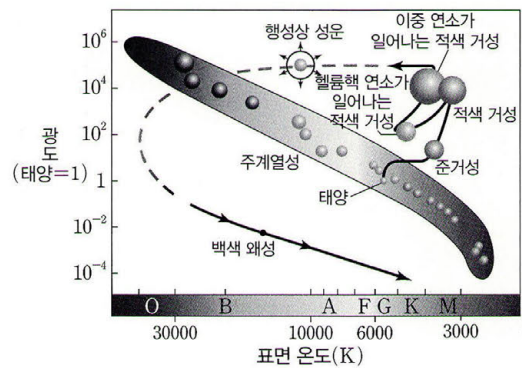
### (2) 주계열 단계

- 주계열 이전 단계에서 중력 수축으로 중심부 온도가 약 1000만 K에 도달하면 수소 핵융합 반응이 일어나 주계열성이 된다.
- 수소 핵융합 반응으로 내부 온도가 상승하여 기체 압력 차에 의한 힘이 커지면 별의 중심 쪽으로 향하는 중력과 바깥쪽으로 향하는 기체 압력 차에 의한 힘이 평형을 이루어 반지름이 거의 일정하게 유지된다. **but 조금씩 증가**
- 질량이 큰 별은 중심부의 온도가 높고 생성되는 에너지가 많아서 표면 온도가 높고 광도가 크므로 H-R도에서 왼쪽 상단에 위치하고, 질량이 작은 별은 오른쪽 하단에 위치한다.
- 대부분의 별들은 인생의 90% 정도를 주계열 단계에서 머무르며, 질량이 큰 별일수록 수명이 짧다.
- 주계열 이후 단계: 주계열 단계 이후에는 별의 질량에 따라 진화 경로가 달라진다.

### ① 질량이 태양과 비슷한 별의 진화

- 적색 거성:** 중심부의 수소가 고갈되면 중심부에서는 중력이 기체 압력 차에 의한 힘보다 커서 중심부는 수축하고, 별의 외곽은 팽창하여 적색 거성이 된다. **He핵 수축**
- 맥동 변광성:** 적색 거성 이후 별은 수축과 팽창을 반복하여 반지름과 광도가 주기적으로 변하는 맥동 변광성이 된다. **L.R.T 변화**
- 행성상 성운과 백색 왜성:** 맥동 변광성 단계에서 별의 바깥층 물질이 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운이 되고, 중심부는 수축하여 백색 왜성이 된다.

자료 check



▲ 태양의 진화 경로

자료 check

### ② 질량이 매우 큰 별의 진화

- 초거성:** 주계열 단계 이후 질량이 매우 큰 별의 경우 수소의 연소 효율이 높아 진화 속도가 매우 빠르며, 적색 거성보다 훨씬 크고 밝은 초거성이 된다.
- 초신성 폭발:** 별 중심부에서 계속적인 핵융합 반응이 일어나 탄소, 규소, 철 등의 무거운 원소가 만들어진다. 중심부에서 핵융합 반응이 멈추면 별은 빠르게 중력 수축하다가 결국 엄청난 에너지와 무거운 원소를 우주 공간으로 방출하는 초신성 폭발을 일으킨다.
- 중성자별과 블랙홀:** 초신성 폭발이 일어나면 외곽층은 초신성 잔해를 남기고 중심부는 더욱 수축하여 밀도가 매우 큰 중성자별이 생성되고, 별의 중심부 질량이 더 큰 경우 블랙홀이 생성된다. **8M\_sun ~ 25M\_sun, 1.4M\_sun ~ 3M\_sun 암기**

## 더 알기

### 질량에 따른 별의 최후

#### 1. 질량이 태양과 비슷한 별

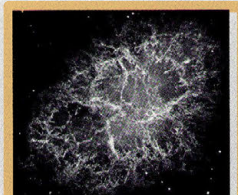
- 행성상 성운:** 별이 거성의 마지막 단계에서 별의 외곽 물질을 우주 공간으로 방출하여 만들어진 주로 기체로 이루어진 성운이다.
- 백색 왜성:** 행성상 성운의 중심에는 백색 왜성이 존재한다. 백색 왜성의 크기는 지구 정도이며, 대부분 탄소(일부 산소)로 이루어져 있다.



▲ 행성상 성운

#### 2. 질량이 태양보다 훨씬 큰 별

- 초신성 잔해:** 초신성(supernova) 폭발로 인해 생성된 별의 잔해이다. 초신성 잔해는 별에서 방출되는 물질로 이루어져 있으며 점차 바깥으로 퍼져나간다.
- 초신성 폭발이 일어나면 별의 외곽층은 우주 공간으로 흩어지고, 중심부는 심하게 수축하여 중성자별 또는 블랙홀이 생성된다.



▲ 초신성 잔해



## ② 별의 에너지원

### (1) 원시별의 에너지원: 중력 수축 에너지

- ① 저온 고밀도의 원시 성운이 중력 수축하면서 중력 수축 에너지의 일부가 복사 에너지로 전환된다.
- ② 원시별의 내부 온도를 상승시키는 역할을 한다.

### (2) 주계열성의 에너지원: 수소 핵융합 반응

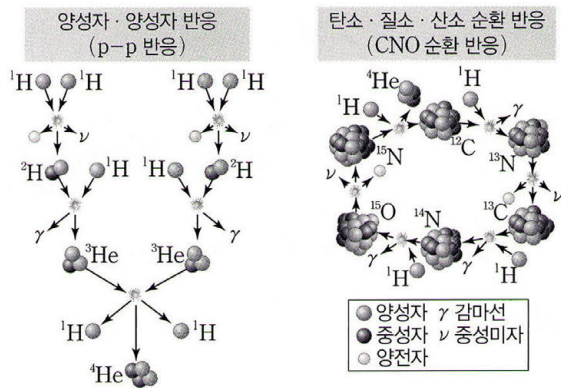
- ① 4개의 수소 원자핵이 반응하여 1개의 헬륨 원자핵이 생성되는 반응으로, 양성자·양성자 반응(p-p 반응)과 탄소·질소·산소 순환 반응(CNO 순환 반응)이 있다.

#### ② 양성자·양성자 반응(p-p 반응)

- 수소 원자핵 6개가 여러 반응 단계를 거치는 동안 헬륨 원자핵 1개와 수소 원자핵 2개로 바뀌면서 에너지를 생성하는 반응이다.
- **중심부 온도가 약 1800만 K 이하인 주계열성에서** 우세하게 일어난다.
- 태양은 중심부 온도가 약 1500만 K이므로 양성자·양성자 반응(p-p 반응)이 우세하게 일어난다.

#### ③ 탄소·질소·산소 순환 반응(CNO 순환 반응)

- **탄소, 질소, 산소가 촉매 역할** 하여 수소 원자핵을 융합시켜 헬륨 원자핵이 되는 반응이다.
- 중심부 온도가 약 1800만 K보다 높은 주계열성에서 우세하게 일어난다.



### (3) 적색 거성과 초거성의 에너지원

- ① 헬륨 핵융합 반응: 온도가 약 1억 K 이상인 적색 거성의 중심부에서는 3개의 헬륨 원자핵이 융합하여 1개의 탄소 원자핵을 만드는 헬륨 핵융합 반응이 일어난다.

- ② 헬륨보다 무거운 원소의 핵융합 반응: 질량이 큰 별은 중력 수축에 의해 중심부의 온도가 더 높아지기 때문에 헬륨보다 더 무거운 원소들(탄소, 산소, 네온, 마그네슘, 규소 등)의 핵융합 반응이 일어날 수 있다. ~ up to Fe

### ③ 별의 내부 구조

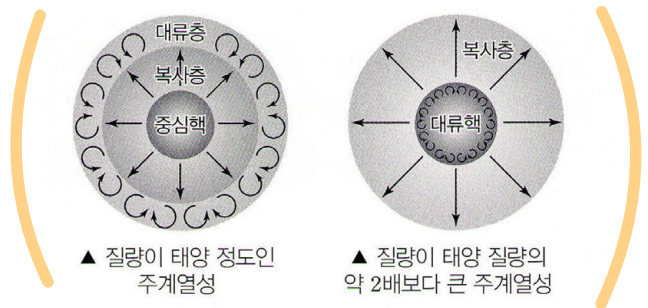
#### (1) 주계열성

##### ① 질량이 태양 정도인 주계열성의 내부 구조 3 layer

- 중심부의 핵에서 생성한 에너지를 복사로 전달한다.
- 복사층은 대류층에 둘러싸여 있다.

##### ② 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 주계열성의 내부 구조 2 layer

- 중심부에 대류가 일어나는 대류핵이 있다.
- 대류핵을 복사층이 둘러싸고 있다.



#### (2) 적색 거성으로 진화하는 단계

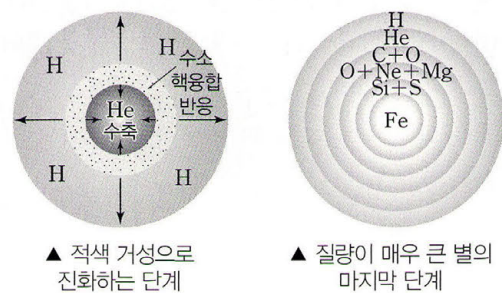
##### ① 헬륨핵은 수축하고, 수소 껍질이 연소된다.

- ② 별의 외곽이 팽창하고 중심부에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어나는 적색 거성이 된다.

#### (3) 질량이 매우 큰 별의 마지막 단계

- ① 중심부의 온도가 매우 높기 때문에 더 높은 단계의 핵융합 반응이 일어나며, 최종적으로 철로 이루어진 중심핵이 만들어진다.

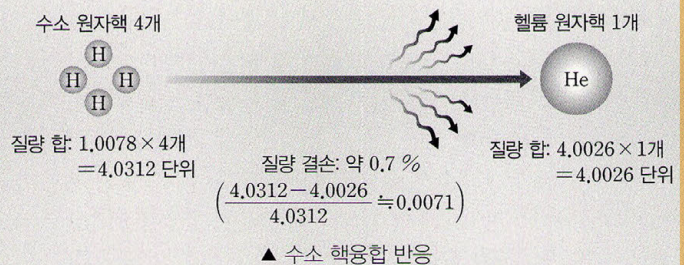
- ② 중심으로 갈수록 더 무거운 원소로 이루어진 **양파 껍질 같은 구조를 이룬다.**



## 더 알기

### 태양의 수명 계산

1. 수소 핵융합 반응을 일으킬 수 있는 핵의 질량: 현재 태양 질량의 약 10%  $\Rightarrow 2 \times 10^{30} \text{ kg} \times 0.1 = 2 \times 10^{29} \text{ kg}$  **핵 비율 = 10%**
2. 수소 핵융합 반응에서 수소의 질량 결손 비율: 약 0.7%  
결손된 질량 =  $2 \times 10^{29} \text{ kg} \times 0.007 = 1.4 \times 10^{27} \text{ kg}$
3. 태양이 수소 핵융합 반응으로 방출할 수 있는 총 에너지  
 $E = \Delta mc^2 = 1.4 \times 10^{27} \text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 1.26 \times 10^{44} \text{ J}$
4. 태양의 수명 =  $\frac{\text{총 에너지}}{\text{현재 태양의 광도}} = \frac{1.26 \times 10^{44} \text{ J}}{4 \times 10^{26} \text{ J/s}} \approx 100 \text{ 억 년}$

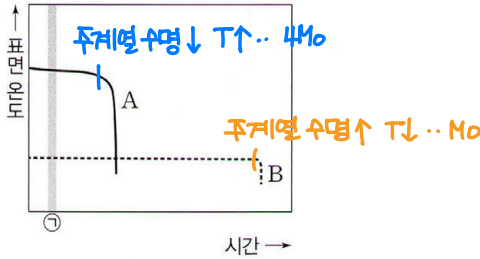




# 테마 대표 문제

| 2024학년도 9월 모의평가 |

그림은 주계열 단계가 시작한 직후부터 별 A와 B가 진화하는 동안의 표면 온도를 시간에 따라 나타낸 것이다. A와 B의 질량은 각각 태양 질량의 1배와 4배 중 하나이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? **(2)**

- 보기**
- ㉠ B는 중성자별로 진화한다. **X** ~~백색 왜성~~
  - ㉡ ㉠ 시기일 때, 대류가 일어나는 영역의 평균 깊이는 A가 B보다 깊다. **O** A: 대류층 B: 대류층
  - ㉢ ㉠ 시기일 때, 핵에서의 p-p 반응에 의한 에너지 생성량은 CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성량보다 크다. **X**
- ① ㉠      ② ㉡      ③ ㉢      ④ ㉠, ㉡      ⑤ ㉡, ㉢

## 접근 전략

별의 표면 온도가 비교적 일정하게 유지되는 시간을 비교하여 주계열성 A와 B의 질량을 알아내야 한다.

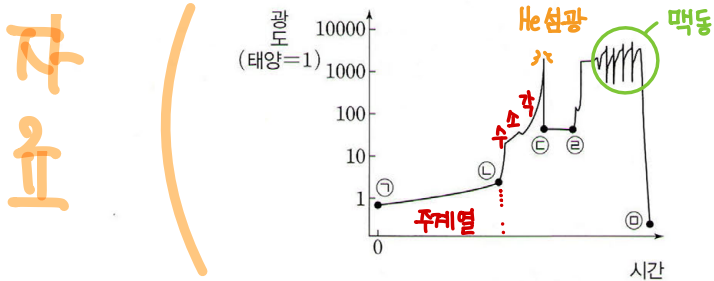
## 간략 풀이

- ㉠ 시기에 A와 B는 모두 표면 온도가 거의 일정하게 유지된다. 따라서 ㉠ 시기는 주계열 단계에 해당한다.
  - X** B는 A보다 주계열 단계에 오래 머무르는 별이므로 질량이 태양 질량의 1배이며, 백색 왜성으로 진화한다.
  - O** ㉠ 시기일 때, 질량이 태양 질량의 4배인 A는 대류핵과 복사층으로 이루어져 있고, B는 중심핵(복사핵), 복사층, 대류층으로 이루어져 있다. 따라서 대류가 일어나는 영역의 평균 깊이는 A가 B보다 깊다.
  - X** ㉠ 시기일 때, A는 p-p 반응보다 CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성량이 많고, B는 CNO 순환 반응보다 p-p 반응에 의한 에너지 생성량이 많다.
- 정답 | ②

# 짧은 풀이 문제로 유형 익히기

정답과 해설 30쪽

그림은 질량이 태양과 비슷한 어느 별이 영년 주계열성에서 백색 왜성이 되기까지 시간에 따른 광도 변화를 나타낸 것이다. ㉠~㉣과 ㉥~㉦ 기간 동안 중심부에서 핵융합 반응이 일어난다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? **(1)**

- 보기**
- ㉠ ㉠~㉣ 기간 동안 p-p 반응에 의한 에너지 생성량은 CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성량보다 많다. **O** PP 비율 ↑
  - ㉡ ㉥~㉦ 기간 동안 별의 중심부에서는 탄소 핵융합 반응이 일어난다. **X** No  $M = M_{\odot}$
  - ㉢ 행성상 성운은 ㉦ 이후에 형성된다. **X** O 이전
- ① ㉠      ② ㉡      ③ ㉠, ㉢      ④ ㉡, ㉢      ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

## 유사점과 차이점

별의 진화 과정에서 나타나는 물리량 변화를 비교한다는 점에서 대표 문제와 유사하지만, 주계열 단계에서부터 백색 왜성이 되기까지 진화의 전체 단계를 다룬다는 점에서 대표 문제와 다르다.

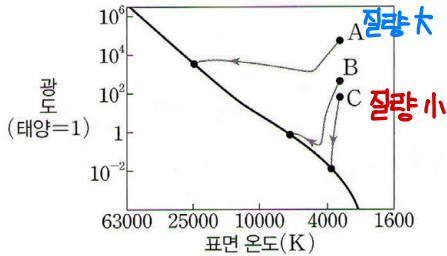
## 배경 지식

- 질량이 태양과 비슷한 별은 주계열성 → 적색 거성 → 맥동 변광성 → 행성상 성운 → 백색 왜성으로 진화한다.
- 질량이 태양과 비슷한 별은 중심부에서 헬륨 핵융합 반응이 끝난 이후 별의 외곽층 물질이 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운이 만들어지고, 중심부는 수축하여 백색 왜성이 된다.

01

▶24069-0171

그림은 세 원시별 A, B, C가 진화하여 각각 주계열성이 되기까지의 경로를 H-R도에 나타낸 것이다.



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

ㄷ

보기

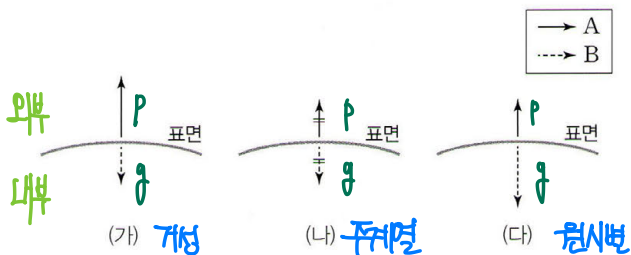
- ✓ 진화 과정에서 단위 시간당 중력 수축 에너지 생산량은 A가 B보다 많다. ○ 질량 대
- ✓ C는 주계열성으로 진화하는 동안 반지름이 계속 작아진다. ○
- ✓ 원시별에서 주계열성이 되는 데 걸리는 시간은 A < B < C이다. ○ 질량 ↓ ∴ 진화 속도 ↑

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

02

▶24069-0172

그림 (가), (나), (다)는 별의 표면에서 작용하는 두 힘의 크기와 방향을 화살표로 나타낸 것이다. A와 B는 각각 중력과 기체 압력 차에 의한 힘 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

ㄷ

보기

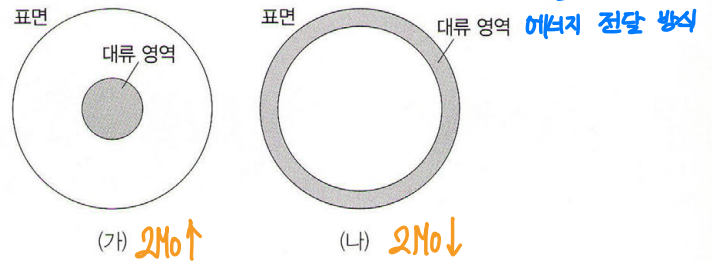
- ㄱ. A는 중력이다. X 기체압
- ✓ ㄴ. (나)는 정역학 평형 상태이다. ○
- ㄷ. 헬륨으로 이루어진 중심핵이 수축할 때, 별의 표면 상태는 (다)에 해당한다. X 중심: (ㄷ) 표면: (가)

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

03

▶24069-0173

그림은 질량이 서로 다른 두 주계열성 (가)와 (나)에서 대류가 우세하게 일어나는 영역을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

ㄷ

보기

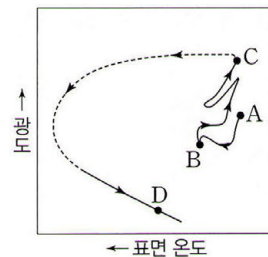
- ✓ ㄱ. 별의 중심부 온도는 (가)가 (나)보다 높다. ○
- ✓ ㄴ. (가)의 대류 영역에서는 수소 핵융합 반응이 일어난다. ○ 핵
- ✓ ㄷ. 별의 일생 중 주계열 단계에 머무르는 시간은 (가)가 (나)보다 길다. X 질량) 가 > 나

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ
- ⑤ ㄱ, ㄷ

04

▶24069-0174

그림은 어느 별의 진화 경로를 H-R도에 나타낸 것이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 고른 것은?

ㄷ

보기

- ㄱ. A일 때 별은 정역학 평형 상태를 유지한다. X No 수축
- ㄴ. B → C로 진화하는 동안 철 원자핵이 생성된다. X No
- ✓ ㄷ. C 이후 별의 바깥층 물질이 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운이 만들어진다. ○
- ✓ ㄹ. D 이후에는 별 중심부에서 핵융합 반응이 일어나지 않는다. ○

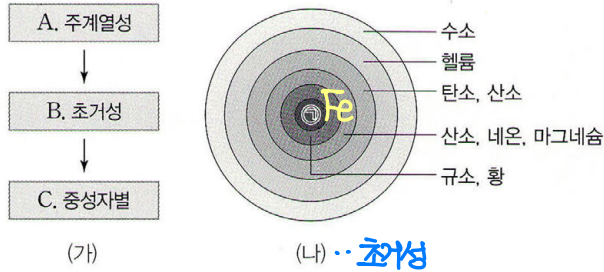
- ① ㄱ, ㄷ
- ② ㄱ, ㄹ
- ③ ㄴ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄹ
- ⑤ ㄷ, ㄹ



05

▶24069-0175

그림 (가)는 어느 별의 진화 단계를, (나)는 이 별의 진화 과정 중 어느 시기의 내부 구조를 나타낸 것이다. **질량 ↓ 진화**



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

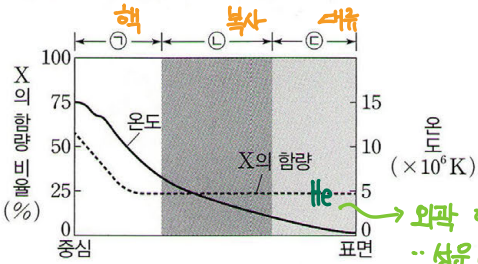
- 보기
- ㉠. A 단계에서 별의 중심핵에서 단위 시간당 생성되는 에너지 양은 태양보다 많다. **○**  $\uparrow$
  - ㉡. ㉠은 철보다 무거운 원자핵들로 이루어져 있다. **× up to Fe**
  - ㉢. (나)는 A 단계에서 B 단계로 진행하기 직전에 해당한다. **× at B**

- ㉠                      ㉡                      ㉢  
 ㉠, ㉢                ㉤                      ㉥

06

▶24069-0176

그림은 태양 중심으로부터의 거리에 따른 원소 X의 함량 비율(%)과 온도를 나타낸 것이다. X는 수소와 헬륨 중 하나이며, ㉠, ㉡, ㉢은 각각 중심핵, 대류층, 복사층 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

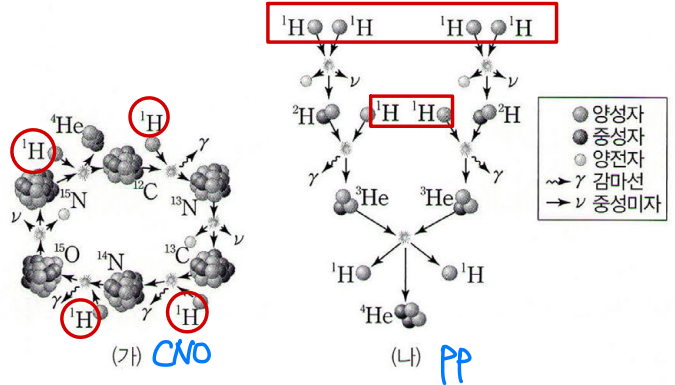
- 보기
- ㉠. X는 헬륨이다. **○**
  - ㉡. ㉠은 대류층, ㉢은 복사층이다. **× 반대**
  - ㉢. 주계열 단계에 머무르는 동안, ㉠에서 X의 함량은 계속 감소한다. **× H → He ∴ 증가**

- ㉠                      ㉡                      ㉢  
 ㉠, ㉢                ㉤                      ㉥

07

▶24069-0177

그림 (가)와 (나)는 서로 다른 종류의 핵융합 반응을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㉠. 대류핵이 있는 주계열성에서는 (가)보다 (나)가 우세하게 일어난다. **× (가)가 우세**                      **(가) : 4H (나) : 6H**
  - ㉡. 반응에 참여하는 수소 원자핵의 개수는 (가)보다 (나)가 적다. **×**
  - ㉢. (가)와 (나)에서 핵융합 반응을 거쳐 최종적으로 생성되는 원자핵은 동일하다. **○**  $4H \rightarrow 4He^{2+}$

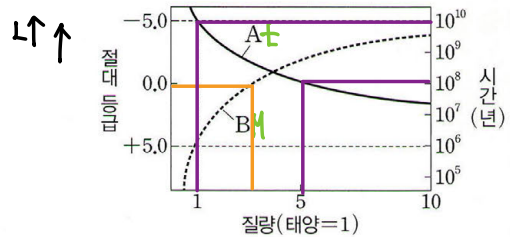
- ㉠                      ㉡                      ㉢  
 ㉠, ㉢                ㉤                      ㉥

**→ 그래도 순 반응  $4H^+ \rightarrow 4He^{2+} + \Delta m$**

08 **촉주의**

▶24069-0178

그림은 주계열성의 질량에 따른 절대 등급(영년 주계열 기준)과 주계열 단계에 머무르는 시간을 각각 A와 B로 순서 없이 나타낸 것이다. **M ↑ ∴ t (수명) ↓ L ↑ (질. 등 ↓)**



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

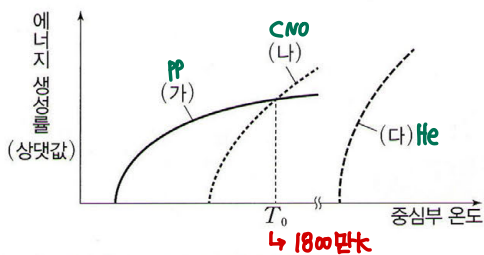
- 보기
- ㉠. A는 주계열 단계에 머무르는 시간이다. **○**
  - ㉡. 광도가 태양의 100배인 주계열성은 질량이 태양의 5배보다 작다. **○**                      **M = 0**
  - ㉢. 질량이 태양의 5배인 별은 주계열 단계에 머무르는 시간이 태양의 약  $\frac{1}{100}$  배이다. **○**                       **$10^8 \times \frac{1}{100} = 10^6$**

- ㉠                      ㉡                      ㉢  
 ㉠, ㉢                ㉤                      ㉥

01

▶24069-0179

그림은 별의 중심부 온도에 따른 핵융합 반응의 에너지 생성률을 나타낸 것이다. (가), (나), (다)는 각각 p-p 반응, CNO 순환 반응, 헬륨 핵융합 반응 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

2

보기

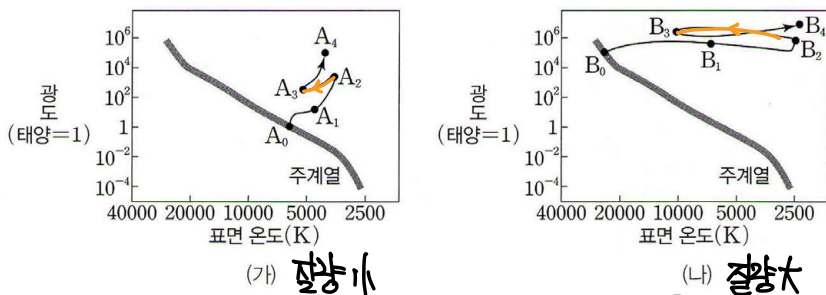
- 1. (가)는 CNO 순환 반응이다. X PP
- 2. 태양의 중심부 온도는  $T_0$ 보다 낮다. O  $T_{\text{태양 중심}} = 1500$ 만K <  $1800$ 만K
- 3. 태양과 질량이 같은 별이 진화할 때, 중심부에서 (나)가 일어나는 시간은 (다)가 일어나는 시간보다 짧다. X 같다

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

02

▶24069-0180

그림 (가)와 (나)는 질량이 다른 두 별의 진화에 따른 H-R도상의 위치 변화를 시간 순으로 나타낸 것이다.



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

3

보기

- 1. A<sub>0</sub> → A<sub>4</sub>까지 걸린 시간은 B<sub>0</sub> → B<sub>4</sub>까지 걸린 시간보다 길다. O 질량↓ .. 모든 게 같다
- 2. (가)와 (나)에서 모두 별의 반지름이 감소하는 구간이 존재한다. O 왼쪽으로 갈수록!
- 3. 두 별은 A<sub>4</sub>와 B<sub>4</sub> 단계 이후 초신성 폭발을 일으킨다. X A<sub>4</sub>는 X

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



03

▶24069-0181

다음은 어느 학생이 수소 핵융합 반응을 통해 생성되는 에너지를 계산하는 과정을 나타낸 것이다.

$1.0078 \times 4$  개 = 4.0312 단위  
 $4.0026 \times 4$  개 = 4.0026 단위  
 질량 차이:  $4.0312 - 4.0026 = 0.0286$  단위

- 단위 원자량:  $1.66 \times 10^{-27}$  kg
- 질량 결손량:  $0.0286 \times 1.66 \times 10^{-27}$  kg
- 에너지 생성량:  $0.0286 \times (1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \approx 4.3 \times 10^{-12}$  J

질량비율  $\approx \frac{0.0286}{4.0312} = 0.0070946616... \rightarrow 0.7\% = 0.007$

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

ㄱ

보기

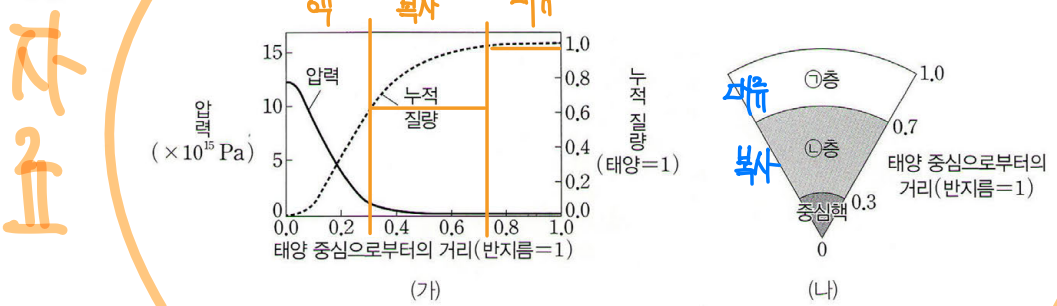
- 태양 복사 에너지의 근원이 되는 반응이다.  소핵융합
- 양성자 4개가 핵융합하여 헬륨 원자핵 1개를 생성한다.  ...순반응
- 반응 전과 후에 약 0.7%의 질량 결손이 나타난다.  압기해두기

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

04 자료 + 해석

▶24069-0182

그림 (가)는 태양 중심으로부터의 거리에 따른 기체 압력과 누적 질량 분포를, (나)는 태양의 내부 구조를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

①

보기

- 태양 내부의 각 층이 차지하는 질량비는 중심핵 > 복사층 > 대류층이다.
- 태양 내부에서 중력의 크기는 중심핵과 ㉡층의 경계보다 ㉠층과 ㉡층의 경계에서 크다.
- 태양 스펙트럼의 흡수선은 빛이 ㉠층과 ㉡층을 통과하는 동안 형성된다.

태양 내부 X ... 대류층 통과시 형성

by 장민환공형

$P_{\text{중심핵}} - \text{경계} > P_{\text{㉠-㉡}} \text{ 경계}$   
 $P_{\text{중심핵}} - \text{경계} > P_{\text{㉠-㉡}} \text{ 경계}$

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



05

▶24069-0183

다음은 질량이 태양과 비슷한 별의 주계열 단계 이후에 나타나는 특징을 순서 없이 설명한 것이다.

- (가) 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 급격하게 시작된다. .. **핵연소 작기 2**
- (나) 중심핵이 수축하면서 수소 껍질 연소가 시작된다. .. **수소껍질연소 1**
- (다) 중심핵이 수축하면서 헬륨 껍질 연소가 시작된다. .. **이중연소 작기 4**
- (라) 급격한 헬륨 껍질 연소가 반복되면서 별이 맥동한다. .. **맥동변광 5**
- (마) 크기가 비교적 일정하게 유지되면서 중심핵 연소와 껍질 연소가 동시에 일어난다. **3**

진화 순서를 옳게 나열한 것은?

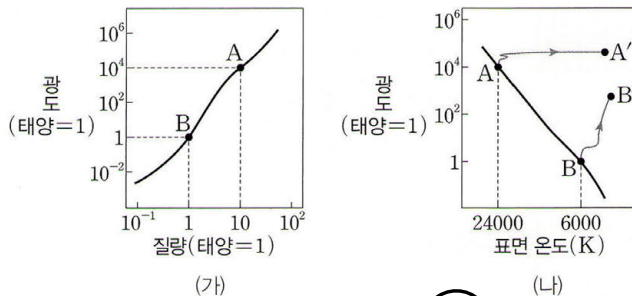
④

- ① (가) → (나) → (마) → (다) → (라)
- ② (가) → (라) → (나) → (마) → (다)
- ③ (나) → (가) → (다) → (마) → (라)
- ④ (나) → (가) → (마) → (다) → (라)
- ⑤ (나) → (다) → (가) → (마) → (라)

06

▶24069-0184

그림 (가)는 주계열성의 질량-광도 관계를, (나)는 (가)의 두 별 A와 B의 진화 경로 일부를 H-R도에 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

④

- 보기
- ✓ 별의 반지름은 A가 B의 6배보다 크다.  $10^4 = R^2 \cdot 4^4 \sim 10^2 = R \cdot 16 \rightarrow R = \frac{100}{16} > 6$
- ✓ A → A' 과정, B → B' 과정에서 모두 수소 껍질 연소가 일어난다.
- ✗ 광도 계급의 숫자 변화량은 A → A'이 B → B'보다 작다. **크다**

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ
- ⑤ ㄴ, ㄷ



# 13 외계 행성계와 생명체 탐사

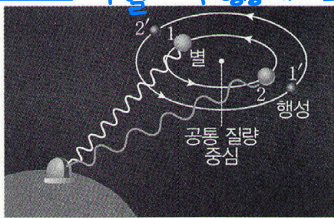
## ① 외계 행성계 탐사

(1) **도플러 효과 이용:** 별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전함에 따라 별이 지구 쪽으로 미세하게 접근하거나 멀어지므로 이때 나타나는 도플러 효과를 측정한다.

① 별이 지구에 접근하면 청색 편이가 관측되며, 이때 행성은 지구에서 멀어진다. 별이 지구로부터 멀어지면 적색 편이가 관측되며, 이때 행성은 지구에 가까워진다.

② 별의 적색 편이와 청색 편이의 주기를 관측하면 행성의 공전 주기를 알아낼 수 있다.

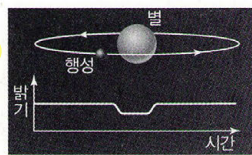
$$P_{\text{별}} = P_{\text{행성}} \times \text{단일행성계}$$



▲ 도플러 효과를 이용한 외계 행성계 탐사

## (2) 식 현상 이용

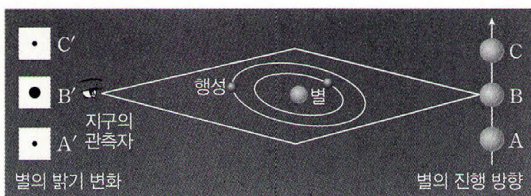
① 별 주위를 공전하는 행성이 별의 앞면을 지나갈 때 별의 밝기가 감소하는 식 현상을 이용한다.



▲ 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

② 식 현상이 발생하는 주기를 관측하면 행성의 공전 주기를 알아낼 수 있다.

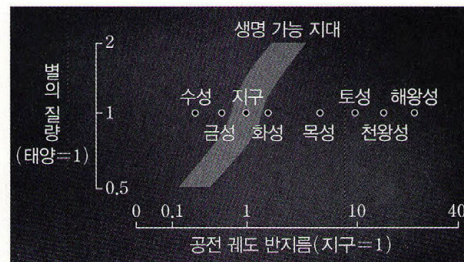
(3) **미세 중력 렌즈 현상 이용:** 뒤쪽 별에서 나온 빛이 앞쪽 별의 중력에 의해 굴절된다. 이때 앞쪽 별이 행성을 가지고 있을 경우 행성의 중력에 의해 뒤쪽 별빛의 굴절 정도에 추가적인 변화가 나타나는데, 이를 통해 앞쪽 별에 행성이 존재하는지 여부를 알 수 있다.



▲ 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

## ② 외계 생명체 탐사

(1) **생명 가능 지대:** 별의 주변에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 거리의 범위를 생명 가능 지대라고 한다. ➔ 중심별이 주계열성인 경우, 중심별의 질량이 클수록 광도가 커서 생명 가능 지대는 중심별에서 멀어지고 폭은 넓어진다.



▲ 생명 가능 지대

(2) 생명체가 존재할 수 있는 행성의 조건

① 액체 상태의 물

② 적당한 중심별의 질량

- 중심별이 주계열성이며, **중심별의 질량이 클 때:** 중심별에서 연료 소모율이 커서 별의 수명이 짧다. 중심별의 수명이 짧으면 행성에서 생명체가 탄생하여 진화할 수 있는 시간이 부족하다.
- 중심별이 주계열성이며, **중심별의 질량이 작을 때:** 생명 가능 지대가 중심별에 가깝고 폭도 좁다. 행성이 중심별에서 가까운 곳에 위치하여 자전 주기와 공전 주기가 같아지면 별빛을 전혀 받지 못하는 쪽이 생겨서 생명체가 존재하기 어렵다.

③ **적당한 두께와 성분의 대기:** 온실 효과를 일으켜 표면 온도를 알맞게 유지시켜 줄 수 있어야 하고, 유해한 자외선을 차단할 수 있어야 한다.

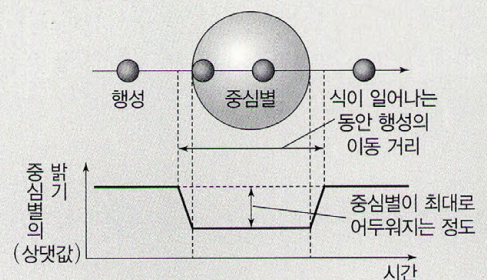
④ **자기장:** 중심별과 우주에서 날아오는 유해한 우주선과 고에너지 입자들을 차단할 수 있어야 한다.

(3) 외계 생명체 탐사: 지구와 환경이 비슷한 화성에 탐사선을 보내 물과 생명체의 존재 여부 조사, 외계에서 오는 전파 분석 등으로 외계 생명체를 탐사한다.

### 더 알기

#### 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

- 중심별이 최대로 어두워지는 정도를 이용해 중심별과 행성의 반지름 비를 구할 수 있다.
- 식 현상이 나타나지 않을 때 중심별의 밝기를 1이라 하고, 식 현상으로 중심별이 최대로 어두워졌을 때 관측되는 중심별의 밝기를 K라고 하면  $K$ 는  $1 - \left(\frac{\text{행성의 반지름}}{\text{중심별의 반지름}}\right)^2$ 이다.

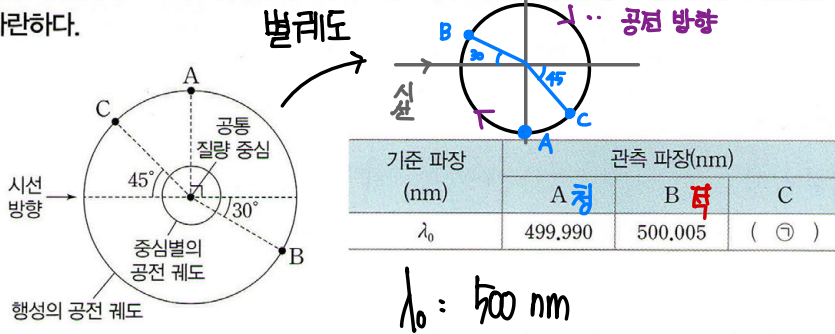




# 테마 대표 문제

| 2024학년도 수능 |

그림은 어느 외계 행성과 중심별이 공통 질량 중심을 중심으로 공전하는 원 궤도를, 표는 행성이 A, B, C에 위치할 때 중심별의 어느 흡수선 관측 결과를 나타낸 것이다. 행성의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 나란하다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속도는  $3 \times 10^5 \text{ km/s}$  이고, 중심별의 시선 속도 변화는 행성과의 공통 질량 중심에 대한 공전에 의해서만 나타난다.)

- 보기
- ✓ 행성이 B에 위치할 때, 중심별의 스펙트럼에서 적색 편이가 나타난다.
  - ✓ ①은 499.995보다 작다.
  - ✓ 중심별의 공전 속도는 6 km/s이다.  공전속도 = 최대시선속도 at A ..  $\frac{0.01}{500} \times c = 6$
- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4  $\theta_B = 30^\circ \xrightarrow{\sin} \frac{1}{2} \sim \frac{1}{2} : 0.005 = \frac{\sqrt{2}}{2} : x$   
 $\theta_C = 45^\circ \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} \sim \therefore x = 0.005\sqrt{2} \rightarrow 500 - 0.005\sqrt{2} < 499.995$

## 접근 전략

행성이 A와 B에 위치할 때 중심별의 어느 흡수선 관측 파장 변화를 보고 행성의 공전 방향을 파악해야 한다.

## 간략 풀이

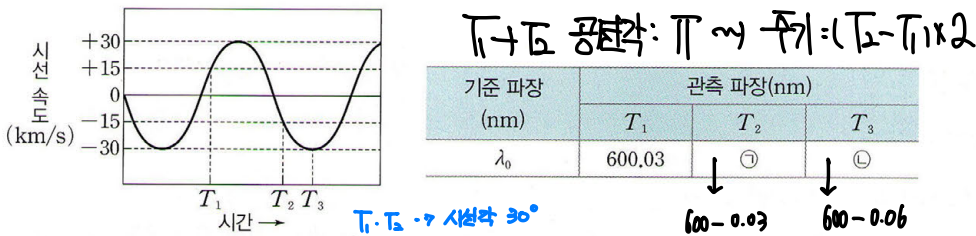
① 행성이 A에 위치할 때보다 B에 위치할 때 중심별의 어느 흡수선 관측 파장이 긴 것으로 보아 행성의 공전 방향은 A → B → C이고, 행성이 B에 위치할 때 중심별의 스펙트럼에서 적색 편이가 나타난다.  
 ② 행성이 A에 위치할 때 중심별의 시선 속도를  $v$ 라고 하면 B에 위치할 때 중심별의 시선 속도는  $v \cos 60^\circ$  이고 적색 편이가 나타난다. 중심별의 어느 흡수선의 기준 파장을  $\lambda_0$ , 파장 변화량을  $\Delta\lambda$ , 빛의 속도를  $c$ 라고 하면  $v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c$ 이고, 행성이 A에 위치할 때 중심별의 시선 속도가 B에 위치할 때 중심별의 시선 속도의 2배이므로  $\lambda_0$ 은 500 nm이다. 행성이 C에 위치할 때 중심별의 시선 속도는 B에 위치할 때보다  $\sqrt{2}$ 배  $\frac{500 - \ominus}{500} > \frac{0.005}{500}$ 이다.  
 ③ 행성이 A에 위치할 때 중심별의 시선 속도가 중심별의 공전 속도(6 km/s)이다. 정답 | ⑤

# 짧은 풀이 문제로 유형 익히기

정답과 해설 33쪽

▶24069-0185

그림은 어느 외계 행성계에서 관측된 중심별의 시선 속도 변화를, 표는  $T_1, T_2, T_3$ 일 때 관측된 중심별의 어느 흡수선 관측 결과를 나타낸 것이다. 행성의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 나란하고, 외계 행성과 중심별은 공통 질량 중심을 중심으로 원 궤도로 공전한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속도는  $3 \times 10^5 \text{ km/s}$  이고, 중심별의 시선 속도 변화는 행성과의 공통 질량 중심에 대한 공전에 의해서만 나타난다.)

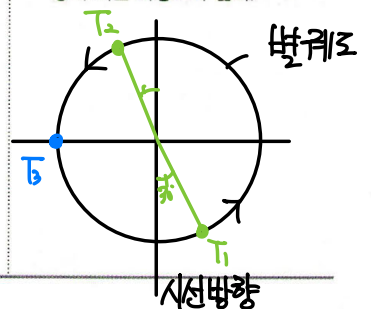
- 보기
- ✓  $T_1$ 일 때 행성은 지구에 가까워지고 있다.  별 속력 ~ 행성 질량
  - ✓  $\lambda_0$ 은 600이다.
  - ✓ ①과 ②의 차는 0.03이다.
- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 유사점과 차이점

외계 행성과 중심별이 공통 질량 중심을 중심으로 원 궤도로 공전할 때 중심별의 어느 흡수선 관측 파장 변화를 다룬다는 점에서 대표 문제와 유사하지만, 시선 속도 그래프를 다룬다는 점에서 대표 문제와 다르다.

## 배경 지식

- 시선 속도가 (+)일 때는 적색 편이가 나타나고, (-)일 때는 청색 편이가 나타난다.
- 청색 편이가 나타날 때는 관측 파장이 기준 파장보다 짧다.



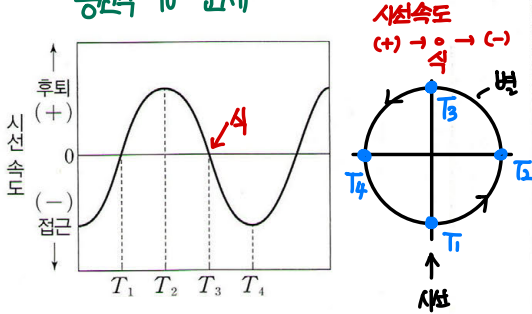


## 01

▶24069-0186

그림은 어느 외계 행성에 의한 중심별의 시선 속도 변화를 나타낸 것이다. 이 기간 동안 행성에 의해 중심별이 가려지는 식 현상이 관측된다.

공전 각도 90° 문제



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ✓ 지구로부터 행성까지의 거리는  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 멀다. ○
  - ✓  $T_4$ 일 때 행성은 지구로부터 멀어진다. ○ **별 침식 → 행성 침식**
  - ✓ 식 현상은  $T_2$ 에서  $T_4$  사이에 관측된다. ○

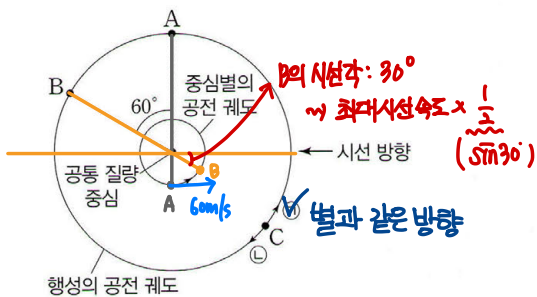
- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ  
④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶24069-0187

그림은 어느 외계 행성과 중심별이 공통 질량 중심을 중심으로 공전하는 모습을 나타낸 것이다. 행성이 A에 있을 때 중심별의 시선 속도 최댓값(60 m/s)이 관측된다. 행성은 원 궤도를 따라 공전하며, 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면은 나란하다.

공전 속도



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속도는  $3 \times 10^8$  m/s이다.)

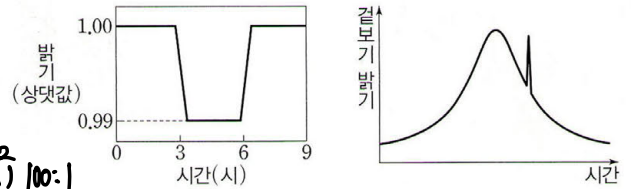
- 보기
- ✓ 공통 질량 중심에 대한 행성의 공전 방향은 ㉠이다. ○
  - ㄴ 행성이 C를 지날 때 중심별의 스펙트럼에서 청색 편이가 나타난다. **X 적 편**
  - ✓ 행성이 B에 위치할 때 중심별에서 관측되는 500 nm의 고유 파장을 갖는 흡수선의 파장 변화량은  $5 \times 10^{-5}$  nm이다. ○

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

## 03

▶24069-0188

그림 (가)는 어느 외계 행성에 의한 식 현상으로 나타나는 중심별의 밝기 변화를, (나)는 미세 중력 렌즈 현상에 의한 어느 별의 밝기 변화를 나타낸 것이다. (가)에서 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면은 나란하다.



R<sup>2</sup> 100:1  
R 10:1

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

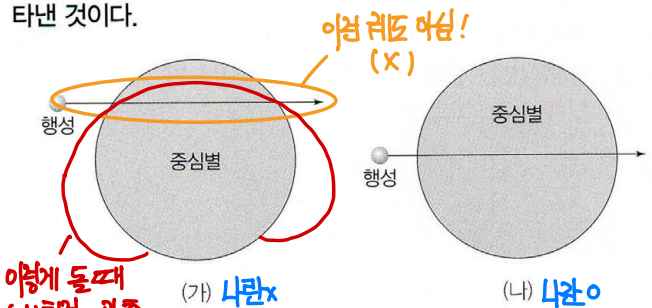
- 보기
- ✓ (가)에서 중심별의 반지름은 행성의 반지름은 10이다. ○
  - ㄴ (나)는 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면이 수직인 경우 관측이 불가능하다. **X 수직이므로 상관 X**
  - ✓ 주기적으로 관측이 가능한 것은 (나)이다. **X (가)**

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

## 04

▶24069-0189

그림 (가)와 (나)는 행성이 하나인 동일한 외계 행성계를 서로 다른 두 관측자가 볼 때 행성이 중심별 앞을 지나가는 경로를 각각 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면이 이루는 각은 (나)가 (가)보다 작다. ○
  - ㄴ 행성에 의한 중심별의 최대 시선 속도는 (가)가 (나)보다 크다. **X (가) 최대 속도는 cosθ 만큼 감소**
  - ㄷ 식 현상이 나타나는 주기는 (가)와 (나)에서 같다. ○ **동일행성계**

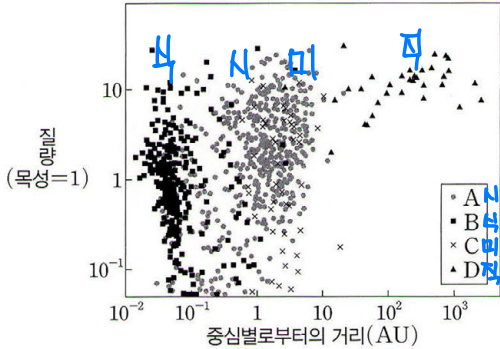
- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ  
④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



05

▶24069-0190

그림은 서로 다른 외계 행성 탐사 방법 A~D로 발견한 외계 행성의 물리량을 나타낸 것이다. A~D는 각각 시선 속도 변화, 식 현상, 미세 중력 렌즈 현상, 직접 관측을 이용한 방법 중 하나이다.



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

①

- 보기
- 가. B는 식 현상을 이용한 방법이다. ○
  - 나. 직접 관측법으로 관측한 행성들은 중심별로부터의 거리 대부분 10 AU보다 가깝다. X **멀다**
  - 다. A와 C는 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면이 수직인 경우에도 관측이 가능하다. X **A 멀다**

- ① 가
- ② 나
- ③ 다
- ④ 가, 나
- ⑤ 가, 다

06

▶24069-0191

표는 주계열성 (가)와 (나), 태양의 생명 가능 지대 바깥쪽 경계, 안쪽 경계의 중심별로부터의 거리, 생명 가능 지대에 위치한 행성에서 중심별로부터 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지를 A, B, C로 각각 나타낸 것이다.

	A(AU) out	B(AU) in	C(지구=1.00) E <sub>m</sub>
(가)	1.35	0.70	1.00
태양	1.25	0.70	1.00
(나)	0.85	0.60	0.75

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

②

- 보기
- 가. ①은 0.70보다 작다. X **0.7보다 멀다**
  - 나. (가)의 생명 가능 지대에 위치한 행성과 중심별 사이의 거리는 1 AU보다 가깝다. X **멀다. 나 상공에서 서로 같은 거**
  - 다. 중심별의 질량은 (가)가 (나)보다 크다. ○ **주계열에 가까우**

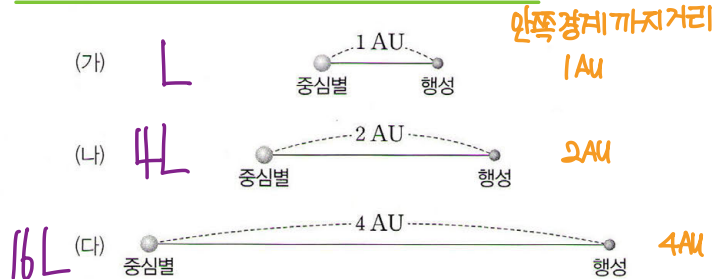
- ① 가
- ② 나
- ③ 가, 나
- ④ 나, 다
- ⑤ 가, 나, 다

07

영년주계열

▶24069-0192

그림 (가), (나), (다)는 주계열에 막 도달한 중심별과 생명 가능 지대에 위치한 행성의 중심별로부터의 거리를 나타낸 것이다. 행성은 각 행성계의 생명 가능 지대 안쪽 경계선에 위치한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

②

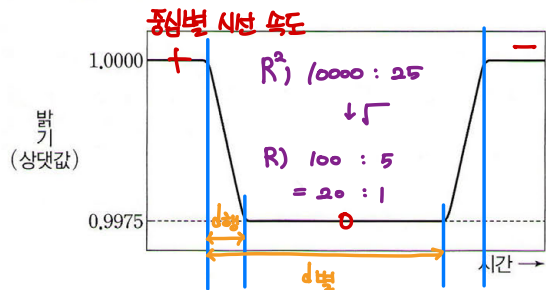
- 보기
- 가. 중심별의 광도는 (가)가 (다)보다 크다. X **안쪽경계상. 나**
  - 나. (가), (나), (다) 중 생명 가능 지대의 폭은 (다)가 가장 좁다. X **가장 넓은**
  - 다. 주계열 단계에 머무르는 시간은 (가)의 중심별이 (다)의 중심별보다 길다. ○ **질량↓**

- ① 가
- ② 나
- ③ 가, 나
- ④ 나, 다
- ⑤ 가, 나, 다

08 드보기

▶24069-0193

그림은 어느 외계 행성계에서 행성에 의한 식 현상이 일어날 때, 중심별의 상대적 밝기 변화를 나타낸 것이다. 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면은 나란하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

①

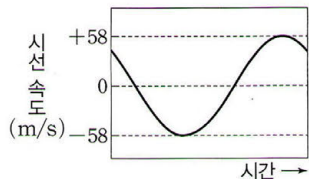
- 보기
- 가. 중심별의 반지름은 행성 반지름의 20배이다. ○
  - 나. 식 현상이 일어날 때 식 현상이 지속되는 시간은 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면이 나란하지 않을 때가 나란할 때보다 길다. X **시각할 때가 더 길다**
  - 다. 식 현상이 일어나는 동안 행성이 이동한 거리는 행성 반지름의 42배보다 작다. X **42R↑**
- (별+행성)지름 = (별+행)반지름 x 2 = 42R

- ① 가
  - ② 나
  - ③ 가, 다
  - ④ 나, 다
  - ⑤ 가, 나, 다
- 직선으로 움직일 때가 42R but 실제로는 궤도 움직임!

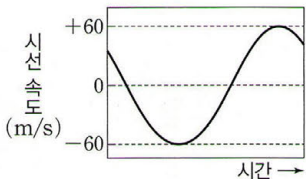
이 편각을 이루는 경우 최대시선속과 4관할때 대비  $\cos\theta$  줄어든다

▶24069-0194

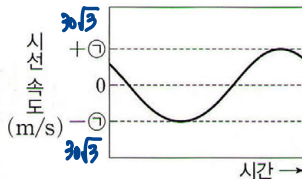
그림 (가), (나), (다)는 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 원 궤도로 공전하는 동일한 외계 행성계를 서로 다른 시선 방향에서 관측했을 때 중심별의 시선 속도 변화를 나타낸 것이다. (가), (나), (다)에서 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면이 이루는 각은 각각  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  중 하나이다.



(가)  $\theta = 15^\circ$



(나)  $\theta = 0^\circ$



(다)  $\theta = 90^\circ \dots \cos\theta = \frac{\sqrt{3}}{2}$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, ㉠은 58보다 작다.)

2

- 보기
- ㉠. 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면이 나란한 것은 (가)이다. X (4)
  - ㉡. 중심별이 중심별과 행성의 공통 질량 중심을 중심으로 공전하는 속도는 60 m/s이다. O
  - ㉢. (다)에서 시선 속도 크기의 최댓값인 ㉠은 30이다. X **잘못 계산!  $\therefore T = 30\sqrt{3}$**

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

$V_{\max. \text{편각}} = V_{\max. \text{4관}} \times \cos\theta$

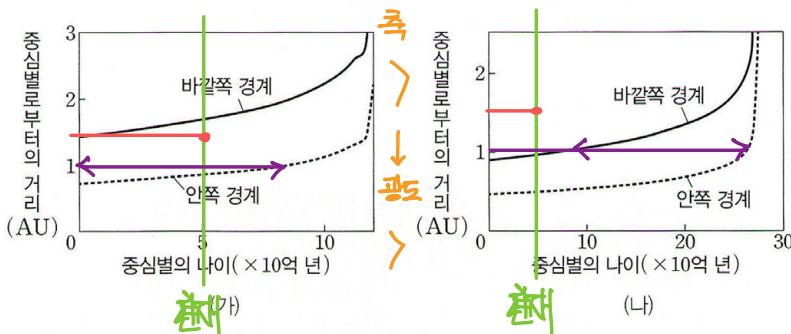
편각을 이룰때 최대시선속 = 4관할 때 최대시선속 (공전 속도)

4관,  $\theta = 0 \rightsquigarrow V_{\max. \text{편각}} = V_{\max. \text{4관}}$   
 수직,  $\theta = 90^\circ \rightsquigarrow V_{\max. \text{편각}} = 0$   
 .. 시선속도 변화 X

02 축 스케일 변형은 항상 체크하기

▶24069-0195

그림 (가)와 (나)는 현재 나이가 50억 년으로 서로 같은 두 별이 주계열 단계에 도달한 직후부터 시간에 따른 중심별로부터 생명 가능 지대 안쪽 경계와 바깥쪽 경계까지의 거리를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

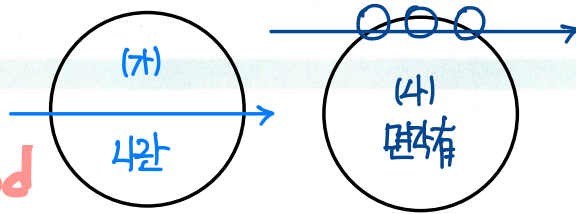
5

- 보기
- ㉠. 중심별이 주계열 단계에 머무르는 시간은 (가)가 (나)보다 짧다. O  $L_g > L_n \rightsquigarrow M_g > M_n$
  - ㉡. 현재 중심별로부터 1.5 AU 거리에 있는 행성이 생명 가능 지대에 속하는 것은 (가)이다. O
  - ㉢. 중심별로부터 1 AU 거리에 있는 행성이 생명 가능 지대에 머무르는 시간은 (가)가 (나)보다 짧다. O **자유허석**

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

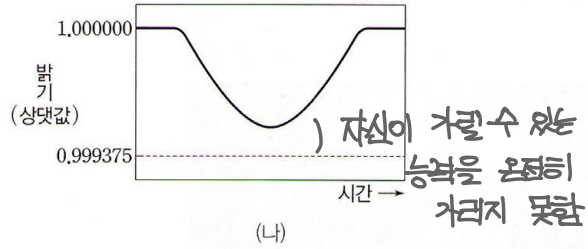
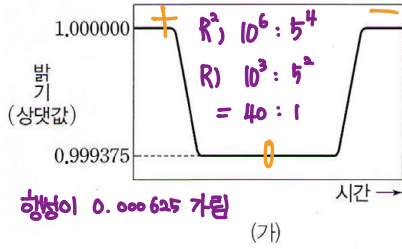


03 **도 매우 good**



▶24069-0196

그림 (가)와 (나)는 동일한 외계 행성계를 서로 다른 시선 방향에서 관측했을 때 행성에 의한 식 현상으로 나타나는 중심별의 밝기 변화를 나타낸 것이다. (가)에서 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면은 나란하며, 중심별의 중심과 행성의 중심 사이의 거리는 행성 반지름의 100배이다.



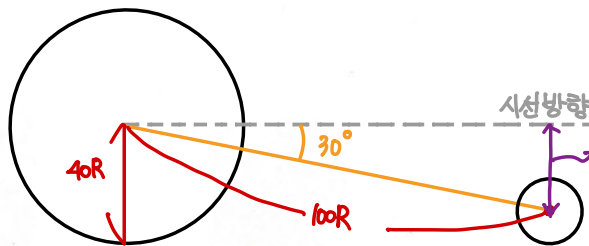
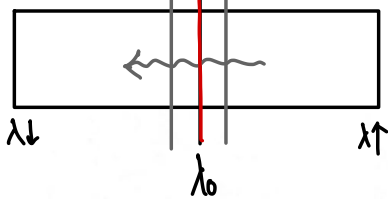
이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ✓ V. 중심별의 반지름은 행성 반지름의 40배이다. **0** **계산!** **뒤.편** **중.편**
  - ✗ N. (가)에서 중심별 스펙트럼의 흡수선 파장은 식 현상이 시작되기 직전이 식 현상이 끝난 직후보다 짧다. **X**
  - ✗ D. (나)에서 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면이 이루는 각은 30°보다 크다. **X**

- ① 가      ② 나      ③ 가, 나      ④ 나, 나      ⑤ 가, 나, 나

나) **40배! 30도**

다) 30°의 면적을 가정하자.



이게 50R임  
~ 따라서 그림이 아래처럼 바뀜  
← 시선  
즉, 30° 면  
아예 행성이 볼 못가림!

04

▶24069-0197

표는 주계열성 A, B, C를 각각 원 궤도로 공전하는 외계 행성 a, b, c의 공전 궤도 반지름, 반지름, 중심별의 생명 가능 지대 범위, a, b, c에 의한 식 현상으로 중심별의 밝기가 최대로 어두워졌을 때 중심별의 상대적 밝기를 나타낸 것이다. a, b, c의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향은 나란하다.

외계 행성	행성의 공전 궤도 반지름 (AU)	반지름 (a=1)	중심별의 생명 가능 지대 범위 (AU)	중심별의 밝기가 최대로 어두워졌을 때 중심별의 상대적 밝기 (중심별의 원래 밝기=1)
a	1.3	1	1.2~2.0	0.9975 $R^2$ 1000 : 25 → R) 100 : 5 = 20 : 1
b	1.5	2	1.2~2.0	0.9900 $R^2$ 100 : 1 → R) 10 : 1 ~ 20 : 2
c	0.4	( ① <b>2</b> ↓ )	0.3~0.5	0.9900 $R^2$ 100 : 1 → R) 10 : 1

L Same  
|| 주계열 별 반지름 Same

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

3

- 보기
- ✓ V. b는 생명 가능 지대에 위치한다. **0**
  - ✗ N. 생명 가능 지대에 머무르는 시간은 a가 c보다 길다. **X** 생.가.대 루트.. 나
  - ✓ V. ①은 2보다 작다. **0**

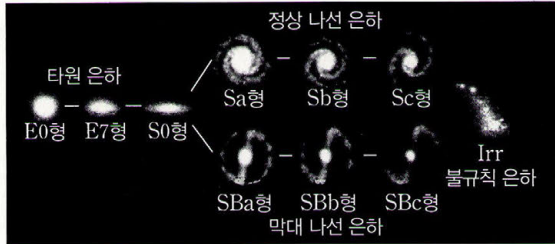
- ① 가      ② 나      ③ 가, 나      ④ 나, 나      ⑤ 가, 나, 나



# 14 외부 은하

## ① 외부 은하의 분류

- (1) 외부 은하: 우리은하 바깥에 존재하는 은하
- (2) 허블의 은하 분류: 외부 은하를 가시광선 영역에서 관측되는 형태에 따라 타원 은하, 나선 은하, 불규칙 은하로 분류하였다.



▲ 형태에 따른 외부 은하의 분류

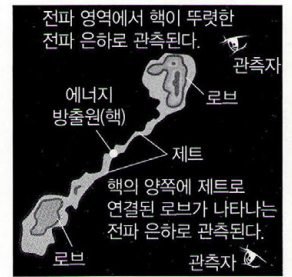
## (3) 은하의 종류

구분	특성	이미지
타원 은하	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 성간 물질이 거의 없다.</li> <li>• 대부분의 별들이 나이가 많아서 대체로 붉은색을 띤다.</li> <li>• E0에서 E7로 갈수록 편평도가 커진다.</li> </ul>	
나선 은하	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 은하핵과 나선팔로 구성되어 있다.</li> <li>• 나선팔에는 별과 성운들이 모여 있고, 중심부에는 중앙 팽대부라고 하는 밀도가 큰 부분이 위치한다.</li> <li>• 은하핵을 가로지르는 막대 모양 구조의 유무에 따라 정상 나선 은하와 막대 나선 은하로 구분한다.</li> <li>• 나선팔에는 성간 물질과 젊은 별들이 많다.</li> <li>• 중앙 팽대부와 헤일로에는 늙은 별들과 구상 성단이 주로 분포한다.</li> <li>• 나선팔이 감긴 정도와 은하핵의 상대적인 크기에 따라 Sa, Sb, Sc 또는 SBa, SBb, SBc로 구분한다.</li> </ul>	
불규칙 은하	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 규칙적인 모양을 보이지 않거나 비대칭적인 은하이다.</li> <li>• 성간 물질이 많이 분포하고 있어서 새로운 별의 탄생 비율이 높다.</li> <li>• 젊은 별들이 많이 분포한다.</li> </ul>	

## ② 특이 은하

### (1) 전파 은하

- ① 일반 은하에 비해 전파 영역에서 매우 높은 에너지를 방출하는 은하이다.
- ② 전파 은하에서는 중심부를 기준으로 강력한 물질의 흐름인 제트가 관측된다. **jet 속 ≈ c(광속)**



▲ 전파 은하

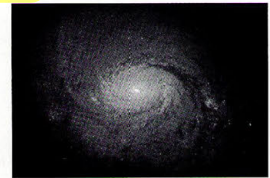
- (2) 퀘이사: 수많은 별들로 이루어져 있지만 너무 멀리 있어서 하나의 별처럼 보이는 은하이다.
- ① 적색 편이가 매우 크며, 이를 이용하여 거리를 측정해 보면 100억 광년 이상인 것도 관측된다.
- ② 보통 은하에 비해 수백 배의 에너지를 방출하고 있으며, 태양계 정도의 작은 공간에서 엄청난 양의 에너지를 방출하는 것으로 보아 퀘이사의 중심에는 질량이 매우 큰 블랙홀이 있을 것으로 추정된다. **+ 폭 넓은 방출선**

### (3) 세이퍼트 은하

- ① 일반적인 은하에 비해 핵이 다른 부분보다 상대적으로 밝고, 스펙트럼상에서 넓은 방출선이 보인다.
- ② 대부분 나선 은하의 형태로 관측된다.



▲ 퀘이사



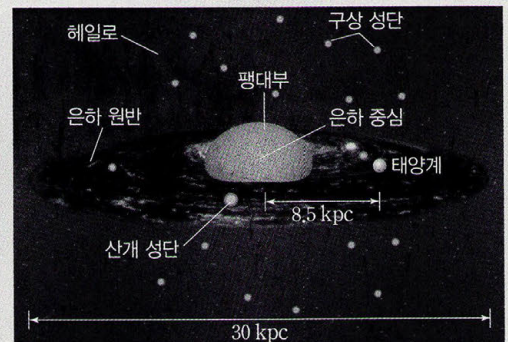
▲ 세이퍼트 은하

### (4) 충돌 은하

- 은하와 은하가 충돌하여 생긴 은하이다.
- ① 은하가 충돌할 때 별들은 거의 충돌하지 않으며, 은하의 상호 작용으로 성간 물질(가스과 티끌 등)의 밀도가 커지면서 별이 생성되기도 한다.
- ② 크기가 매우 큰 은하는 서로 다른 은하가 충돌하는 과정에서 생성되었을 것으로 추정된다. **예) 와드로메다 은하**

## 더 알기 우리은하

- 우리은하는 은하핵을 가로지르는 막대 모양의 구조와 나선팔을 가지고 있는 막대 나선 은하이다.
- 우리은하는 중심부에 해당하는 은하핵, 은하면을 포함하는 둥근 은하 원반, 이를 둘러싸고 있는 헤일로로 구성된다.
  - 은하핵:** 볼록하게 부풀어 오른 중앙 팽대부가 있고, 중앙 팽대부를 막대 모양의 구조가 가로지르고 있다. 나이가 많은 붉은색 별들이 많이 모여 있다.
  - 은하 원반:** 막대 구조의 양끝에서 나선팔이 뻗어 있는 구조이다. 나선팔에는 나이가 적은 파란색 별들이 많고, 성간 물질이 많이 분포한다.
  - 헤일로:** 나이가 많은 붉은색 별들로 이루어진 구상 성단이 분포한다.





## 테마 대표 문제

| 2024학년도 수능 |

표는 허블의 은하 분류 기준과 이에 따라 분류한 은하의 종류를 나타낸 것이다. (가), (나), (다)는 각각 막대 나선 은하, 불규칙 은하, 타원 은하 중 하나이다.

분류 기준	← 규칙은하		→ 불규칙은하
	(가) S	(나) E	(다) Ir
( ㉠ )	○	○	×
나선팔이 있는가?	○	×	×
편평도에 따라 세분할 수 있는가?	×	○	×

(○: 있다, ×: 없다)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

②

보기

- ㄱ. '중심부에 막대 구조가 있는가?'는 ㉠에 해당한다. ~~×~~ 규칙성이 있는가.
- ㄴ. 주계열성의 평균 광도는 (가)가 (나)보다 크다. ~~○~~ 내성 높은 주계열성
- ㄷ. 은하의 질량에 대한 성간 물질의 질량비는 (나)가 (다)보다 크다. ~~×~~

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

### 접근 전략

타원 은하는 편평도에 따라 세분할 수 있지만 불규칙 은하는 편평도에 따라 세분할 수 없다는 것을 파악해야 한다.

### 간략 풀이

타원 은하와 불규칙 은하는 나선팔이 없고, 중심부 막대 구조의 유무는 나선 은하를 구분할 때 이용한다.

✗ 나선팔이 존재하지 않고 편평도에 따라 세분할 수 없는 (다)는 불규칙 은하이다. 타원 은하는 중심부에 막대 구조가 없다.

○ (가)는 나선팔이 있는 것으로 보아 막대 나선 은하이고, (나)는 타원 은하이다. 주계열성의 평균 광도는 젊고 질량이 큰 주계열성이 많은 (가)가 (나)보다 크다.

✗ 타원 은하에는 성간 물질이 적고, 불규칙 은하에는 성간 물질이 많다.

정답 | ②

## 짧은 끝 문제로 유형 익히기

정답과 해설 35쪽

▶24069-0198

그림 (가), (나), (다)는 가시광선으로 관측한 서로 다른 세 은하의 모습을 나타낸 것이다. (가), (나), (다)는 각각 정상 나선 은하, 불규칙 은하, 타원 은하 중 하나이다.



(가) E (타원 은하)



(나) S (정상 나선)



(다) Ir

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

②

보기

- ㄱ. 허블의 은하 분류에 따르면 (가)는 E0에 해당한다. ~~×~~ E: 원
- ㄴ. 은하를 구성하는 별들의 평균 나이는 (가)가 (다)보다 많다. ~~○~~
- ㄷ. (가), (나), (다) 중 은하의 질량에 대한 성간 물질의 질량비는 (가)가 가장 크다. ~~×~~ 가장 적다

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

### 유사점과 차이점

허블의 은하 분류와 그에 따른 은하의 특징에 대해 다룬다는 점에서 대표 문제와 유사하지만, 은하의 사진을 제시하고 은하를 분류한다는 점에서 대표 문제와 다르다.

### 배경 지식

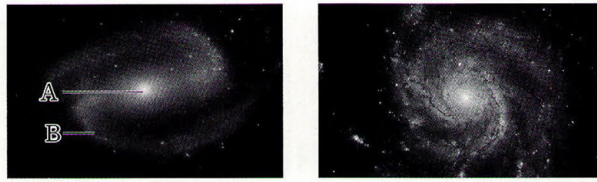
- 타원 은하는 타원의 납작한 정도에 따라 E0~E7로 세분하는데, 모양이 가장 원에 가까운 것이 E0이다.
- 불규칙 은하에는 성간 물질과 젊은 별들이 많이 분포한다.



## 01

▶24069-0199

그림 (가)와 (나)는 두 은하의 모습을 나타낸 것이다.



(가) SB (나) S

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ✓ (가)는 막대 나선 은하이다. ○
  - ✗ 붉은색 별의 비율은 A보다 B에서 높다. X A: 구상 별 B: 산개 별
  - ✗ (가)는 (나)로 진화한다. X

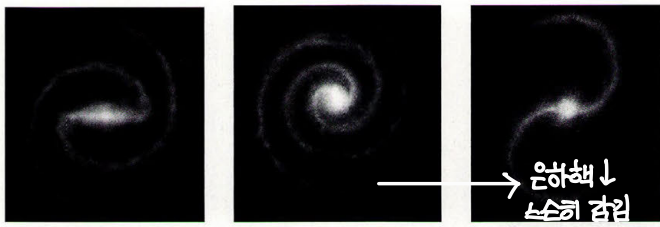
- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ  
 ④ ㄱ, ㄴ                ⑤ ㄴ, ㄷ

ㄱ) 은하의 진화는 은하 충돌을 수반하며, 교차 과정 사용 X  
 ㄴ) 은하의 형태학적 진화는 다수지 않는다.

## 02

▶24069-0200

그림은 나선 은하 (가), (나), (다)의 모습을 나타낸 것이다. (가), (나), (다)는 허블의 은하 분류에 따라 각각 Sa, Sc, SBb형 중 하나이다.



(가) SBb (나) Sa (다) Sc

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ✓ (가)와 (나)는 은하핵을 가로지르는 막대 모양 구조의 유무로 구분할 수 있다. ○
  - ✓ (다)는 (나)보다 나선팔이 느슨하게 감겨 있다. ○
  - ✓ (다)는 Sc형이다. ○

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

## 03

▶24069-0201

그림 (가)와 (나)는 전파 은하 센타우루스 A의 가시광선 영상과 전파 영상을 순서 없이 나타낸 것이다.

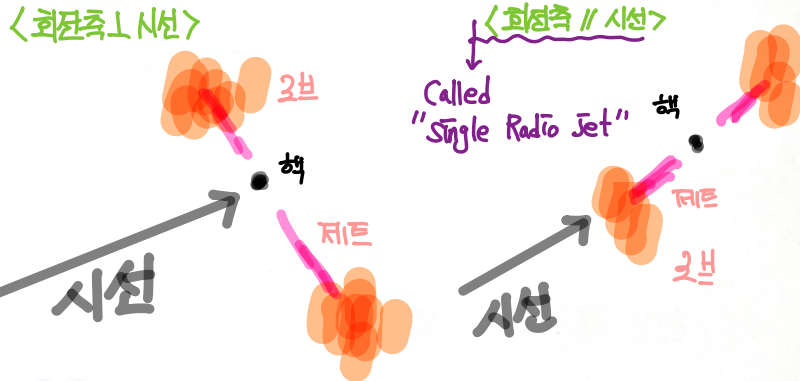


(가) 전파 (나) 가시

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ✓ 허블의 은하 분류에서 센타우루스 A는 타원 은하이다. ○
  - ✓ (가)에서 제트가 관측된다. ○
  - ✗ 은하 중심부 별들의 회전축은 관측자의 시선 방향과 나란하다. X 이려면 제트, 로브가 한꺼번에 보임

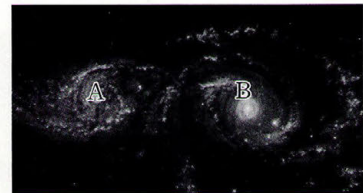
- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ  
 ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



## 04

▶24069-0202

그림은 충돌하고 있는 은하 A와 B의 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ✓ A와 B는 나선 은하이다. ○
  - ✓ A에서 관측할 때 B에 속한 별 중 스펙트럼에서 청색 편이가 나타나는 별이 있다. ○
  - ✗ 은하 충돌 과정에서 A와 B에 속한 대부분의 별들은 충돌한다. X 별 충돌 개수 X

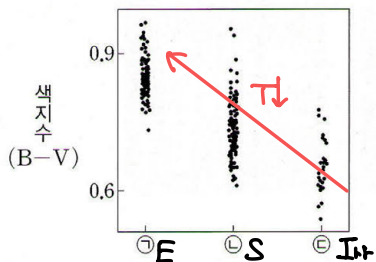
- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ  
 ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



05

▶24069-0203

그림은 형태가 다른 은하 ㉠, ㉡, ㉢의 색지수 분포를 나타낸 것이다. ㉠, ㉡, ㉢은 각각 정상 나선 은하(Sb형), 타원 은하, 불규칙 은하 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. ㉢은 타원 은하이다. X S

ㄴ. 은하를 구성하는 별들의 평균 나이는 ㉠이 ㉢보다 많다. O

ㄷ. 평균 색지수는 타원 은하가 정상 나선 은하보다 크다. O

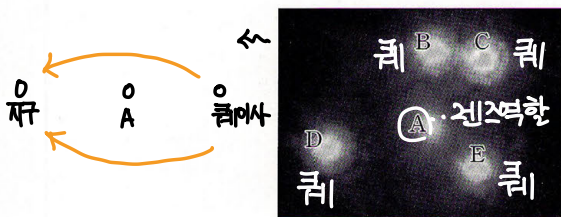
4

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

06

▶24069-0204

그림은 어느 일반 은하 A에 의한 중력 렌즈 효과로 하나의 퀘이사가 4개(B~E)로 관측된 모습이다. 아인슈타인 십자가



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 적색 편이는 A가 B보다 크다. X A: 퀘이사

ㄴ. 고유 파장이 같은 흡수선의 관측 파장은 B~E에서 같다. O

ㄷ. 후퇴 속도는 A가 C보다 빠르다. X 느림

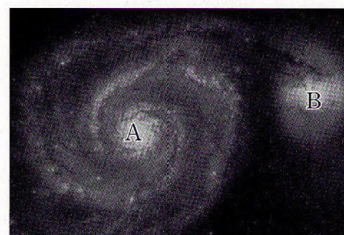
2

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

07

▶24069-0205

그림은 충돌하고 있는 은하 A와 B의 모습을 나타낸 것이다. A는 세이퍼트 은하이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 막대 나선 은하이다. X 정상 나선

ㄴ. 두 은하가 충돌할 때 많은 별들이 탄생할 수 있다. O 성운 밀도 ↑

ㄷ. A의 중심부에는 거대 질량의 블랙홀이 있다. O

4

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

(4) 충돌 은하

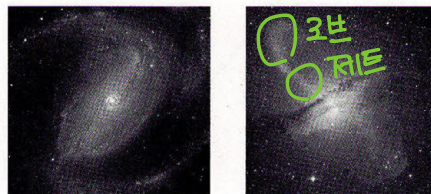


- ① 두 은하의 충돌  
 → 별끼리는 충돌하지 않음
- ② 성운 밀도 ↑ → 별이 탄생하기 좋은 조건 형성  
 → 서로에게서 정식 판어-관측!  
 예) 안드로메다 은하                      A 은하                      B 은하

08

▶24069-0206

그림 (가)와 (나)는 각각 세이퍼트 은하와 전파 은하를 나타낸 것이다. (가)는 가시광선 영상이고, (나)는 가시광선과 전파로 관측하여 합성한 영상이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)는 허블의 은하 분류에 따르면 나선 은하이다. O

ㄴ. (나)의 제트에서는 X선이 방출된다. O X선 + 전파

ㄷ. (가)와 (나)의 중심부에는 거대 질량의 블랙홀이 있다. O

5

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



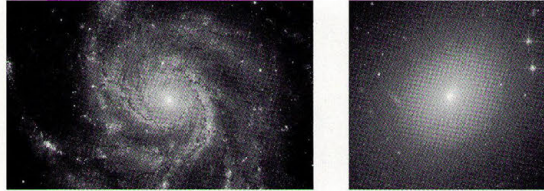
# 이 자료해석

▶ 24069-0207

표는 허블의 은하 분류 기준과 이에 따라 분류한 은하의 종류를 나타낸 것이고, 그림 A와 B는 각각 (가), (나), (다) 중 하나에 속하는 은하의 가시광선 영상이다. ㉠, ㉡, ㉢은 각각 '규칙적인 구조가 있는가?', '나선팔이 있는가?', '중심부에 막대 구조가 있는가?' 중 하나이고 (가), (나), (다)는 각각 타원 은하, 불규칙 은하, 정상 나선 은하 중 하나이다. **좌정 그리는게 빠르다!**

분류 기준	(가) S	(나) E	(다) Ir
규칙 ㉠	○	○	×
막대? ㉡	×	×	×
나선팔 ㉢	○	×	×

(○: 있다, ×: 없다)



A .. (가)

B .. (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. B는 (가)에 속한다. **X**

ㄴ. 은하의 질량에 대한 공간 물질의 질량비는 (나)가 (다)보다 크다. **X**

ㄷ. '중심부에 막대 구조가 있는가?'는 ㉡에 해당한다. **○**

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

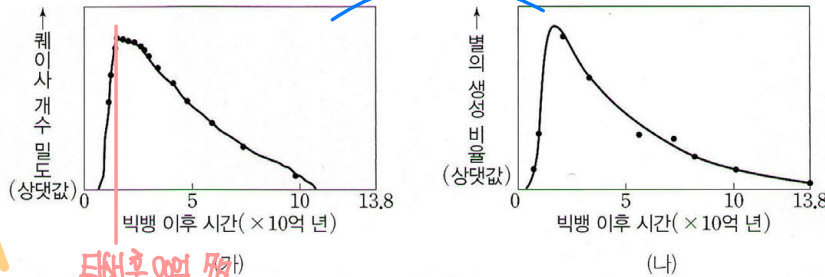
	E	S(행)	Ir	
규칙?	○	○	×	.. 동그아미 2개
나선팔?	×	○	×	.. " 1개
막대?	×	×	×	.. all x
	동그아미 1개	동그아미 2개	세 x	

# 02

▶ 24069-0208

그림 (가)와 (나)는 우주의 탄생부터 현재까지 퀘이사의 시간에 따른 개수 밀도와 우주 전체에서 별의 생성 비율 변화를 나타낸 것이다.

**비율! ~ 별 생성 비율이 클 때 퀘이사 많이 생성**



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

보기

ㄱ. 퀘이사의 개수 밀도는 퀘이사의 적색 편이가 클수록 크다. **X Not always**

ㄴ. 별의 생성 비율은 우리은하로부터 관측 거리가 먼 은하일수록 작다. **X 크다 작아짐**

ㄷ. 퀘이사의 개수 밀도와 별의 생성 비율이 가장 높을 때 우주의 크기는 현재보다 작았다. **○**

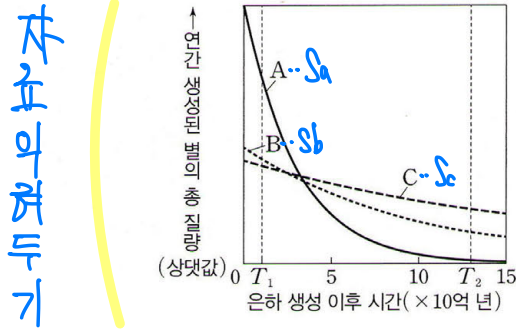
- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



03

▶24069-0209

그림은 서로 다른 나선 은하 A, B, C가 탄생한 후, 연간 생성된 별의 총 질량의 상대값 변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. A, B, C는 질량이 같고, 허블의 은하 분류에 따르면 각각 Sa, Sb, Sc형이며, 현재 나이는 100억 년이다.



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

5

보기

- ✓ T<sub>1</sub>일 때 연간 생성된 별의 총 질량은 A가 B보다 크다. ○ **자간 해석**
- ✓ T<sub>2</sub>일 때 별의 평균 나이는 A가 C보다 많다. ○ **A는 C보다 최 생성**
- ✓ A, B, C에서 연간 생성된 별의 총 질량은 은하 생성 초기가 현재보다 크다. ○

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

04

▶24069-0210

표는 서로 다른 종류의 은하 (가)와 (나)의 특징을, 그림은 은하 A의 모습을 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 각각 퀘이사 와 세이퍼트 은하 중 하나이고, A는 (가)와 (나) 중 하나에 해당한다.

은하	광도 (우리은하=1)	형태
세이퍼트 (가)	0.1~10	대부분 나선 은하
퀘이사 (나)	10~100	대부분 타원 은하



?? 퀘이사는 점 모양이고 A는 세이퍼트 (가)

형태 별개 경험이다

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

3

보기

- ✓ 관측되는 은하들의 적색 편이는 대체로 (가)가 (나)보다 작다. ○
- ✗ 은하의 중심부의 밝기는 (가)가 (나)보다 크다. X **(가)가 더 크다**
- ✓ A는 세이퍼트 은하이다. ○

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



# 15 우주 팽창

## ① 허블 법칙과 우주론

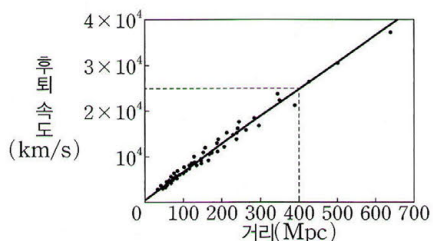
### (1) 외부 은하의 관측

- ① 외부 은하의 스펙트럼 관측: 멀리 있는 외부 은하들의 스펙트럼을 관측하면 대부분 흡수선들의 위치가 원래 위치보다 파장이 긴 적색 쪽으로 이동하는 **적색 편이**가 나타난다. → 적색 편이는 외부 은하가 우리 은하로부터 멀어질 때 나타난다.
- ② 외부 은하의 스펙트럼 관측과 후퇴 속도: 외부 은하의 후퇴 속도( $v$ )와 흡수선의 파장 변화량( $\Delta\lambda = \text{관측 파장} - \text{원래 파장}$ ) 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad \dots \text{작은 경우에만 사용}$$

( $c$ : 빛의 속도,  $\lambda$ : 원래의 흡수선 파장,  $\Delta\lambda$ : 흡수선의 파장 변화량)

### (2) 허블 법칙과 우주 팽창



▲ 외부 은하들의 거리에 따른 후퇴 속도

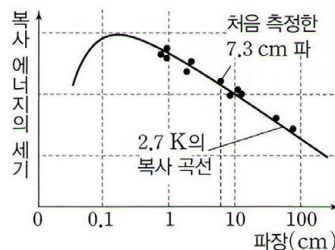
- ① 허블 법칙: 외부 은하의 후퇴 속도는 거리에 비례하여 증가한다.  
 $v = H \cdot r$  ( $v$ : 후퇴 속도,  $H$ : 허블 상수,  $r$ : 거리)
- ② 허블 상수: 1 Mpc당 우주가 팽창하는 속도(km/s)를 나타내는 값이다.
- ③ 우주의 나이: 우주의 팽창 속도가 일정하다고 가정하면, 허블 상수의 역수로 우주의 나이를 구할 수 있다.
- ④ 멀리 있는 은하일수록 빠르게 멀어지는 현상은 우주가 팽창한다는 것을 의미한다.

$$\text{나이} = \frac{1}{H} \quad / \quad \text{크기} = \frac{c}{H}$$

- ③ 빅뱅 우주론(대폭발 우주론): 우주의 모든 물질과 에너지가 매우 작고 뜨거운 한 점에 모여 있다가 대폭발이 일어난 후 팽창하면서 냉각되어 현재와 같은 우주가 생성되었다는 이론이다.
- ④ 빅뱅 우주론의 근거: 우주가 팽창하는 것은 과거에는 우주의 크기가 매우 작고 뜨거웠다는 사실을 암시하기 때문에 빅뱅 우주론의 가정과 잘 들어맞는다.

① 가벼운 원소의 비율: 빅뱅 우주론에 따르면 수소와 헬륨의 질량 비가 약 3 : 1이 되어야 하는데, 이 예측은 관측 결과와 잘 들어맞는다. **+ 개수비 12:1**

② 우주 배경 복사: 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출되었던 복사로, 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아지고 파장이 길어져 현재는 약 2.7 K 복사로 관측된다.



▲ 우주 배경 복사의 세기 분포

### .. 전파영역

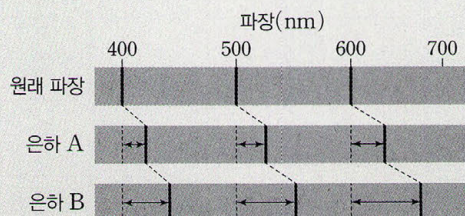
### (5) 빅뱅 우주론의 한계와 급팽창 우주론

#### ① 빅뱅 우주론의 문제점

- 우주의 평탄성 문제: 현재 관측 결과 우주는 완벽할 정도로 평탄하지만 빅뱅 우주론에서는 그 까닭을 설명하지 못하였다.
- 우주의 지평선 문제: 현재 관측 결과 우주의 모든 영역에서 물질이나 우주 배경 복사가 거의 균일한데, 이는 멀리 떨어진 두 지역이 과거에는 정보 교환이 있었다는 것을 의미한다. 그러나 빅뱅 우주론에서는 빛이 이동할 수 있는 시간보다 우주의 나이가 더 적기 때문에 이를 설명하지 못하였다.
- 우주의 자기 홀극 문제: 빅뱅 우주론에 따르면 현재 우주에는 초기 우주 때 생성된 자기 홀극이 많이 존재해야 한다. 하지만 다양한 실험을 통해 자기 홀극을 발견하기 위해 노력하였으나 지금까지 발견되지 않았다.

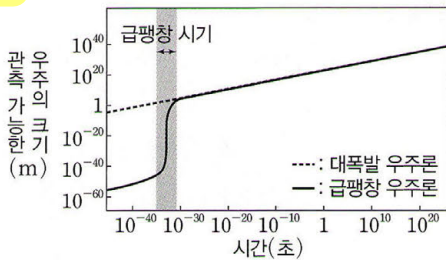
## 더 알기 외부 은하의 흡수선 파장 변화

- 세 흡수선의 원래 파장은 각각 400 nm, 500 nm, 600 nm이다.
- 은하 A와 B의 스펙트럼에서 관측되는 세 흡수선의 파장은 원래 파장보다 길다. → 흡수선의 파장이 원래 파장보다 길어진 적색 편이가 나타난다.
- 각각의 은하에서 흡수선의 파장 변화량은 원래 파장이 길수록 크다.
- 세 흡수선의 파장 변화량은 B가 A보다 크다. → 은하의 후퇴 속도는 B가 A보다 빠르다.





② 급팽창 우주론(인플레이션 이론): 빅뱅 이후 우주가 급격히 팽창했다는 이론으로, 빅뱅 우주론에서 설명할 수 없었던 여러 문제들을 해결하였다.

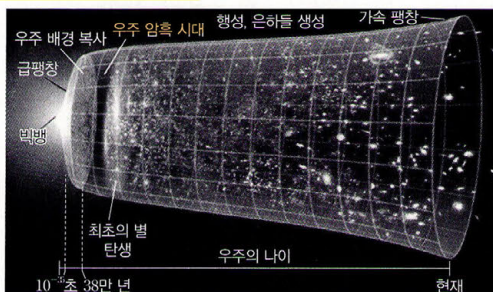


▲ 급팽창 우주론

- 우주가 전체적으로는 곡률을 가지고 있더라도 우주 생성 초기에 급격히 팽창하여 공간의 크기가 매우 커지게 되면 관측되는 우주의 영역은 평탄하게 보이게 된다고 주장함으로써 우주의 평탄성 문제를 해결하였다.
- 우주 생성 초기에 우주가 급팽창하였기 때문에 급팽창이 일어나기 이전에 가까이 있었던 두 지역은 서로 정보를 교환할 수 있었다고 주장함으로써 우주의 지평선 문제를 해결하였다.
- 우주가 생성 초기에 급격히 팽창하였기 때문에 자기 홀극의 밀도는 관측 가능량 미만으로 희박해졌다고 주장함으로써 우주의 자기 홀극 문제를 해결하였다.

(6) 우주의 가속 팽창

- 과거에는 우주를 구성하는 물질의 인력으로 인해 시간에 따라 우주의 팽창 속도가 감소할 것이라고 예상하였다. **.. 프리드만**
- 현재 우주는 평탄하지만, 1998년 수십 개의 Ia형 초신성 관측 자료를 분석한 결과 우주의 팽창 속도가 점점 증가하고 있다는 것을 알아냈다.
- 현재 우주가 가속 팽창하는 이유는 척력으로 작용하는 암흑 에너지 때문인 것으로 설명한다.



▲ 우주의 급팽창과 가속 팽창

② 암흑 물질과 암흑 에너지

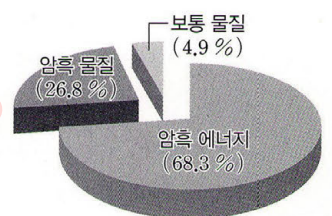
(1) 암흑 물질: 전자기파로 관측되지 않아 우리 눈에 보이지 않기 때문에 중력적인 방법으로만 존재를 추정할 수 있는 물질이다.

(2) 암흑 에너지

- 우주의 모든 물질들 사이에는 인력이 작용하므로 만약 우주를 팽창시키는 어떤 에너지가 없다면 우주는 물질들의 인력에 의해 팽창 속도가 감소하거나 수축할 것이다.
- 최근의 관측 결과 현재 우주는 팽창 속도가 계속 증가하는 것으로 밝혀졌다. 이것은 우주 안에 있는 물질들의 인력을 합친 것보다 더 큰 어떤 힘이 우주를 팽창시키고 있음을 의미한다. 과학자들은 이 힘을 발생시키는 에너지를 암흑 에너지라고 하는데, 암흑 에너지는 우주에 널리 퍼져 있으며 척력으로 작용해 우주를 가속 팽창시키는 역할을 하는 것으로 추정하고 있다.

(3) 우주의 구성

- 최근 초신성이나 우주 배경 복사를 플랑크 망원경으로 관측한 결과 과학자들은 약 4.9%의 보통 물질과 약 26.8%의 암흑 물질, 약 68.3%의 암흑 에너지가 우주를 구성하고 있다고 추정하고 있다.



▲ 현재 우주의 구성

- 과학자들은 현재 우주는 평탄하지만 많은 양의 암흑 에너지가 우주를 가속 팽창시키기 때문에 우주는 영원히 팽창할 것으로 예측하고 있다.
- 우주의 미래: 우주가 영원히 팽창할지, 팽창을 멈추게 될지는 우주 내부에 있는 물질과 에너지양에 의해 결정된다.

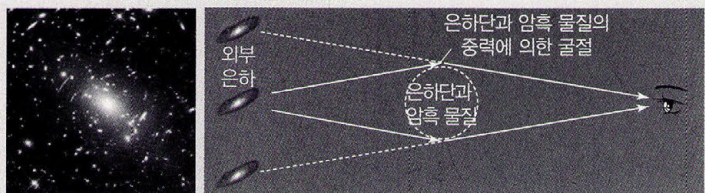
① 임계 밀도: 평탄 우주의 밀도이다.

② 우주의 미래 모형(암흑 에너지를 고려하지 않을 경우)

열린 우주	우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 작고, 곡률이 음(-)인 우주이다.	
평탄 우주	우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같고, 곡률이 0인 우주이다.	
닫힌 우주	우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 크고, 곡률이 양(+)인 우주이다.	

더 알기 **암흑 물질**

- 암흑 물질은 전자기파를 흡수하거나 방출하지 않으므로 일반적인 방법으로는 존재를 확인할 수 없는 물질이다. → 암흑 물질의 존재는 중력 렌즈 현상을 이용하여 확인하고 있다.
- 은하단과 암흑 물질에 의한 중력 렌즈 현상으로 외부 은하가 왜곡된 영상(여러 개의 영상, 길게 늘어난 영상 등)으로 관측된다. → 중력 렌즈 현상을 이용하여 은하단에서의 암흑 물질 분포를 알아낼 수 있다.



▲ 은하단과 암흑 물질에 의한 중력 렌즈 현상으로 외부 은하가 왜곡되어 보이는 모습

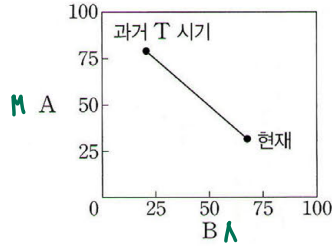


테마 대표 문제

↑↑↓↓

| 2024학년도 수능 |

그림은 빅뱅 우주론에 따라 우주가 팽창하는 동안 우주 구성 요소 A와 B의 상대적 비율(%)을 시간에 따라 나타낸 것이다. A와 B는 각각 암흑 에너지와 물질(보통 물질+암흑 물질) 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

①

- 보기
- ✓ A는 물질에 해당한다. ○
  - ✗ 우주 배경 복사의 온도는 과거 T 시기가 현재보다 낮다. ✗
  - ✗ 우주가 팽창하는 동안 B의 총량은 일정하다. ✗ **에너지 총량 증가**
- ① ㉠      ② ㉡      ③ ㉢      ④ ㉠, ㉡      ⑤ ㉠, ㉢

접근 전략

현재 우주는 약 68.3%의 암흑 에너지와 약 4.9%의 보통 물질, 약 26.8%의 암흑 물질로 구성된다. 우주는 암흑 에너지로 인해 가속 팽창하고 있다.

간략 풀이

현재 우주에서는 물질보다 암흑 에너지의 비율이 높다.

㉠ 현재 A는 B보다 비율이 낮은 것으로 보아 A는 물질에 해당한다.

✗ 우주 배경 복사의 온도는 우주가 팽창함에 따라 시간이 흐를수록 낮아진다.

✗ 암흑 에너지의 총량은 우주가 팽창함에 따라 증가한다.

정답 | ①

답은 짚 문제로 유형 익히기

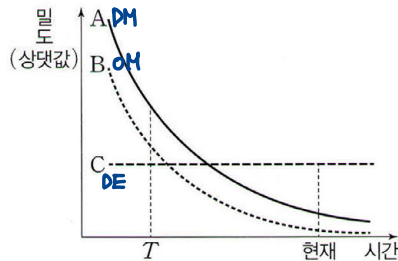
정답과 해설 37쪽

$\bar{\rho}_A, \rho_{DM} : \rho_{DM} = 5.5 : 1$

▶ 24069-0211

그림은 빅뱅 우주론에 따라 우주가 팽창하는 동안 우주 구성 요소 A, B, C의 상대적 밀도를 시간에 따라 나타낸 것이다. A, B, C는 각각 암흑 에너지, 보통 물질, 암흑 물질 중 하나이다.

DM : Dark Matter  
OM : Ordinary Matter  
DE : Dark Energy



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

②

- 보기
- ✗ A는 전자기파로 관측할 수 있다. ✗ **관측 불가. 중력적 방법으로 관측 가능**
  - ✗ 우주 배경 복사의 파장은 T 시기가 현재보다 길다. ✗ **짧다**
  - ✓ 현재 이후 우주가 팽창하는 동안  $\frac{(A+B) \text{의 비율}}{C \text{의 비율}}$ 은 감소한다. ○
- ① ㉠      ② ㉡      ③ ㉠, ㉡      ④ ㉡, ㉢      ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

유사점과 차이점

우주의 팽창에 따른 물질과 암흑 에너지의 변화를 다룬다는 점에서 대표 문제와 유사하지만, 물질을 암흑 물질과 보통 물질로 구분하여 시간에 따른 변화를 다룬다는 점에서 대표 문제와 다르다.

배경 지식

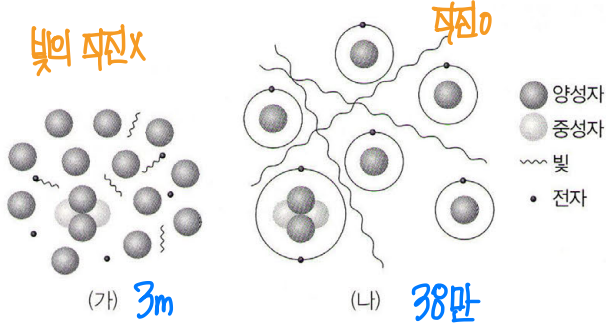
- 우주 배경 복사는 우주가 팽창함에 따라 파장이 점점 길어진다.
- 현재 우주는 가속 팽창하고 있으며, 가속 팽창하는 힘을 발생시키는 에너지가 암흑 에너지이다.



01

▶24069-0212

그림 (가)는 헬륨 원자핵이 생성된 직후 모습을, (나)는 우주 배경 복사가 방출된 시기의 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

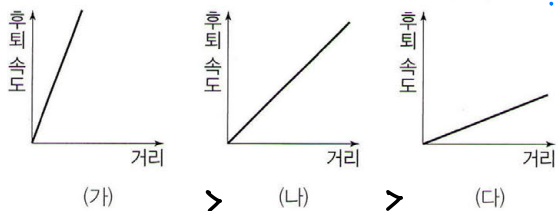
- 보기
- 가. (가) 시기에 수소와 헬륨의 질량비는 약 7:1이다. **3m이된 양: 중=7:1**
  - 나. (나) 시기에 우주 배경 복사의 파장은 현재보다 길다. **× 짧다**
  - 다. 우주의 온도는 (가) 시기가 (나) 시기보다 높다. **○**
- ① 가      ② **다**      ③ 가, 나  
 ④ 나, 다      ⑤ 가, 나, 다

$Z_{CMB} = 1089 \dots$  우주배경복사의 적색편이  
 $\rightarrow$  지평선에 위치 (465억 LY)  
 (특이속도: c, 우주속력 v = 1088c)

02

▶24069-0213

그림은 서로 다른 세 우주 (가), (나), (다)에서 외부 은하의 거리에 따른 후퇴 속도를 나타낸 것이다. (가), (나), (다)의 은하들은 각각 허블 법칙을 만족한다. (가), (나), (다)에서 현재 은하들의 평균 거리는 동일하고 현재 이후 세 우주의 허블 상수는 변하지 않는다.



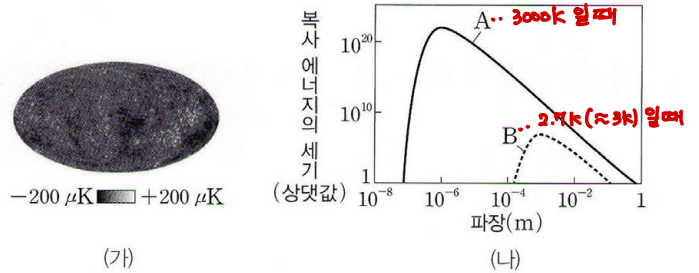
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 거리와 후퇴 속도 축의 간격은 일정하다.)

- 보기
- 가. 후퇴 속도가 같은 은하까지의 거리는 (가)에서 (다)에서보다 멀다. **×  $v = H \cdot r$  차가다**
  - 나. 허블 상수는 (가)가 (나)보다 크다. **○**
  - 다. (가), (나), (다)에서 20억 년 후 은하들 사이의 평균 거리는 (나)가 (다)보다 멀다. **○  $H \uparrow \dots$  공간팽창속도  $\uparrow$**
- ① 가      ② 나      ③ 가, 나  
 ④ 나, 다      ⑤ 가, 나, 다

03

▶24069-0214

그림 (가)는 WMAP 우주 망원경으로 관측한 우주의 온도 편차를, (나)는 빅뱅 후 38만 년일 때와 현재의 우주 배경 복사에 해당하는 흑체 복사 곡선을 나타낸 것이다.



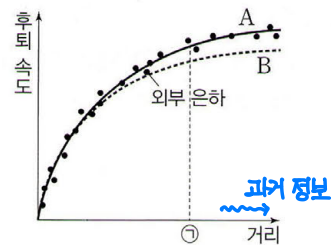
이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- 가. (가)에서 미세한 온도 편차는 우주 초기에 미세한 밀도 차이가 존재했다는 증거이다. **○ 별 탄생 관련 설명**
  - 나. 현재 관측되는 우주 배경 복사의 흑체 복사 곡선은 B이다. **○  $\lambda_{max} \uparrow$**
  - 다. (가)와 (나)는 모두 대폭발 이론으로 설명이 가능하다. **○  $\sim 1mm$  C 전파**
- ① 가      ② 나      ③ 가, 나  
 ④ 나, 다      ⑤ 가, 나, 다

04

▶24069-0215

그림은 우주 모형 A, B에서 외부 은하의 거리에 따른 후퇴 속도와 외부 은하에서 발견된 Ia형 초신성의 관측 자료를 나타낸 것이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 거리와 후퇴 속도 축의 간격은 일정하다.)

- 보기
- 가. 은하들의 후퇴 속도는 은하까지의 거리에 비례한다. **× 정비례하지 x**
  - 나. Ia형 초신성이 최대 밝기일 때의 절대 등급은 거리에 관계없이 거의 일정하다. **○**
  - 다. 거리가 ①인 은하의 스펙트럼 흡수선의 관측 파장 예측값은 A가 B보다 작다. **×  $\lambda$  차  $\uparrow$   $\lambda$   $\uparrow$  (B보다)**
- ① 가      ② 나      ③ 가, 나  
 ④ 나, 다      ⑤ 가, 나, 다



05

▶24069-0216

표는 허블 법칙을 만족하는 외부 은하 (가), (나), (다)에서 관측되는 고유 파장이 500 nm인 흡수선의 파장을 나타낸 것이다.

은하	거리비	(가) 1	(나) 2	(다) 4
흡수선 파장 (nm)		510	520	540

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ✓ (가)의 적색 편이는 0.02이다.  $\circ \frac{10}{500} = \frac{20}{1000} = 0.02$
- ✓ 은하의 후퇴 속도는 (다)가 (가)의 4배이다.  $\circ \Delta\lambda \ 4\text{배}$
- ✓ 지구로부터의 거리는 (나)가 (가)의 2배이다.  $\circ$

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

06

▶24069-0217

표는 우주의 구성 요소에 대한 설명이다. (가), (나), (다)는 각각 암흑 에너지, 암흑 물질, 보통 물질 중 하나이다.

구성 요소	설명
(가) 암	질량을 가지고 있지만 전자기파로 관측되지 않는다.
(나) 암	척력으로 작용해 우주를 가속 팽창시킨다.
(다) 보통	전자기파로 관측이 가능하다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

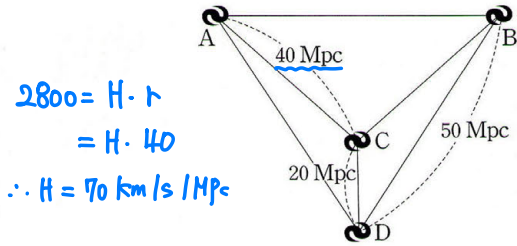
- ✗ (가)는 암흑 에너지이다.  $\times$
- ✓ 우주에 존재하는 (나)의 총량은 시간에 따라 증가한다.  $\circ$
- ✓ 현재 이후 시간에 따라 (가)의 비율 + (다)의 비율은 감소한다.  $\circ$

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

07

▶24069-0218

그림은 은하 A~D의 위치를 나타낸 것이다. A에서 관측한 C의 후퇴 속도는 2800 km/s이다. 은하 A~D는 동일 평면상에 위치하고 허블 법칙을 만족한다.



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

보기

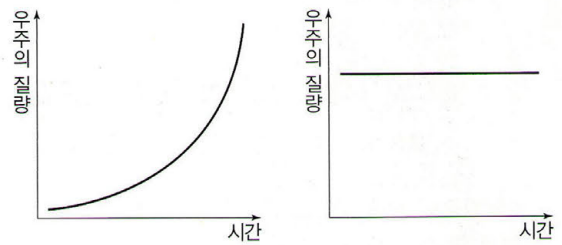
- ✓ 허블 상수는 70 km/s/Mpc이다.  $\circ$
- ✓ C에서 D를 관측하면, D의 스펙트럼에서 고유 파장이 600 nm인 흡수선은 602.8 nm로 관측된다.  $\circ$
- ✓ B에서 관측한 D의 후퇴 속도는 3500 km/s이다.  $\circ$

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

08

▶24069-0219

그림은 서로 다른 우주론 (가)와 (나)의 시간에 따른 우주의 질량 변화를 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 각각 정상 우주론과 빅뱅 우주론 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ✓ (가)에서 우주의 부피 변화는 질량 변화에 비례한다.  $\circ$
- ✓ 우주 배경 복사를 설명할 수 있는 우주론은 (나)이다.  $\circ$
- ✗ 우주의 온도 변화는 (가)가 (나)보다 크다.  $\times$   $(가) = \Delta T = 0$

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



09

▶24069-0220

표는 초기 빅뱅 우주론과 급팽창 이론의 내용을 (가)와 (나)로 순서 없이 나타낸 것이다.

초 빅뱅  
급팽창

이론	내용
(가)	①우주는 곡률이 0인 편평한 공간이 될 가능성이 거의 없다.
(나)	우주는 생성 초기에 급팽창하였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

✓ ①은 우주의 평탄성 문제이다. ③

✗ (가)는 우주의 자기 홀극 문제를 설명할 수 있다. X No

✓ (나)에서 우주가 급팽창하기 전에는 우주에서 서로 다른 반대편에 위치한 두 지역의 정보 교환이 가능했다. ④

- ① 가                      ② 나                      ✓ ③ 가, 다
- ④ 나, 다                    ⑤ 가, 나, 다

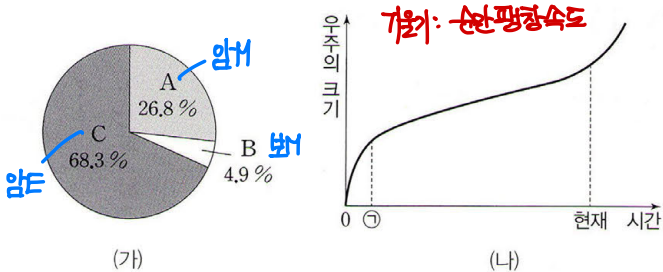
평탄성 문제 다른 표현

~ 초기 우주의 밀도 균일성을 설명할 수 없음.

10

▶24069-0221

그림 (가)는 현재 우주 구성 요소의 비율을, (나)는 팽창하는 우주 모형에서 시간에 따른 우주의 크기 변화를 나타낸 것이다. A, B, C는 각각 보통 물질, 암흑 물질, 암흑 에너지 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

✓ A는 암흑 물질이다. ⑤

✓ ① 시기에 우주는 감속 팽창했다. ② **가: ↓**

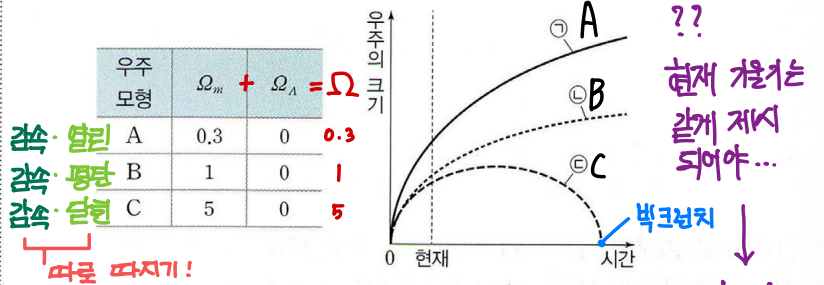
✓ ① 시기는 현재보다 B의 비율이 크다. ④ **가: ↑**

- ① 가                      ② 나                      ③ 가, 나
- ④ 나, 다                    ✓ ⑤ 가, 나, 다

11

▶24069-0222

표는 우주 모형 A, B, C의  $\Omega_m$ 과  $\Omega_\Lambda$ 를 나타낸 것이고, 그림은 이들 모형에서 시간에 따른 우주의 크기 변화를 나타낸 것이다. ㉠, ㉡, ㉢은 각각 A, B, C 중 하나이다.  $\Omega_m$ 과  $\Omega_\Lambda$ 는 각각 현재 우주의 물질 밀도와 암흑 에너지 밀도를 임계 밀도로 나눈 값이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

✗ 우주의 곡률이 음(-)인 것은 B이다. X **B곡률=0**

✗ ㉠은 A에 해당한다. X B

✓ 현재 C는 감속 팽창하고 있다. ② **모두다 감속**

- ① 가                      ✓ ② 나                      ③ 가, 나
- ④ 나, 다                    ⑤ 가, 나, 다

12

▶24069-0223

표는 빅뱅 이후 우주에서 일어난 사건 (가)~(라)에 대한 설명을 나타낸 것이다.

사건	설명
(가) 3m	헬륨 원자핵 생성
(나) 4억	최초의 별 탄생
(다) 38만	우주 배경 복사 출발
(라)	관측되는 가장 가까운 퀘이사에서 빛 출발

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? ①

보기

✓ 사건이 일어난 시간 순서는 (가)→(다)→(나)→(라)이다. ①

✗ (가)와 (나) 사이에 우주는 급팽창하였다. X **급팽창:  $10^{-33} \sim 10^{-32}$  크기**

✗ 빅뱅 이후 (가)까지 걸린 시간은 (가)에서 (다)까지 걸린 시간보다 길다. X

- ✓ ① 가                      ② 나                      ③ 다
- ④ 가, 나                    ⑤ 가, 다



## 이

▶24069-0224

표는 우리은하에서 관측한 은하 A, B, C의 스펙트럼의 흡수선 파장을 나타낸 것이다. 우리은하에서 A, B, C까지의 거리는 각각  $\frac{100}{7}$  Mpc,  $\frac{60}{7}$  Mpc,  $\frac{120}{7}$  Mpc이다. **A의 흡수선 관측 파장은 허블 법칙으로 예상되는 값과 다르고,**

**B와 C의 흡수선 관측 파장은 허블 법칙으로 예상되는 값과 같다.**

**A: 허블 법칙 만족x, B+C = 만족o**

고유 파장(nm)	관측된 파장(nm)		
	A	B	C
300	( )	( 301 )	301.2
600	601.4	601.2	602.4

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

보기

㉠은 300.6이다.  $\frac{1.2}{600} = \frac{0.6}{300} \sim \therefore \lambda = 300 + 0.6$  ㉡  
 허블 상수는 70 km/s/Mpc이다.  $\circ$   
 A의 후퇴 속도는 허블 법칙으로 예상한 값보다 300 km/s 작다.  $\circ$

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

㉡ by C를 이용하여

$$C \cdot z = H \cdot r \text{ 검증}$$

$$3 \times 10^5 \times \frac{1.2}{300} = 70 \times \frac{120}{7} = 1200$$

$$D. V_A = C \cdot z = 3 \times 10^5 \times \frac{1.4}{600}$$

$$= 700 \text{ km/s} \dots \text{실제값}$$

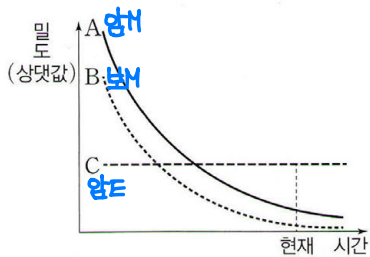
(혹은  $+2.4 : 1200 = +1.4 : z$ )  
( $z = 1700$ )

서서  $r_A = \frac{100}{7} \sim H \cdot r = 70 \times \frac{100}{7} = 1000 \dots \text{허블여상}$

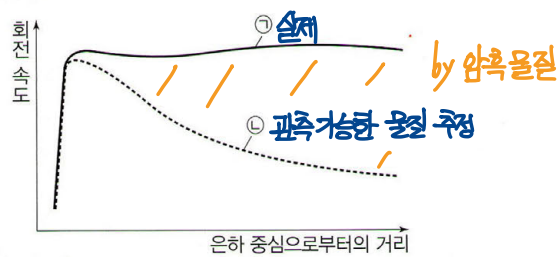
## 02 암흑 물질 발견 배경

▶24069-0225

그림 (가)는 빅뱅 우주론에서 시간에 따른 보통 물질, 암흑 물질, 암흑 에너지의 밀도 변화를 A, B, C로 순서 없이 나타낸 것이고, (나)는 우리은하의 회전 속도를 은하 중심으로부터의 거리에 따라 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 관측 가능한 물질로부터 추론한 우리은하의 회전 속도와 관측으로 알아낸 우리은하의 실제 회전 속도 중 하나이다.



(가)



(나)

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

보기

C로 인해 중력 렌즈 현상이 나타난다.  $\times$  by A+B      ㉡  
 우리은하의 실제 회전 속도는 ㉠이다.  $\circ$   
 ㉠과 ㉡의 차이는 B로 인해 나타난다.  $\times$  by A

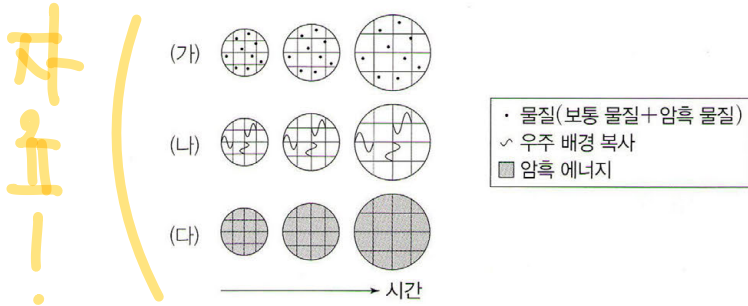
- ① ㉠      ② ㉡      ③ ㉠, ㉡      ④ ㉡, ㉢      ⑤ ㉠, ㉡, ㉢



03

▶ 24069-0226

그림 (가), (나), (다)는 각각 빅뱅 우주론에서 우주가 팽창함에 따라 물질, 우주 배경 복사, 암흑 에너지의 변화를 나타낸 것이다.



우주가 팽창함에 따라 증가하는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 우주의 질량 **X** 일정      ②

ㄴ. 우주 배경 복사의 파장 **○**

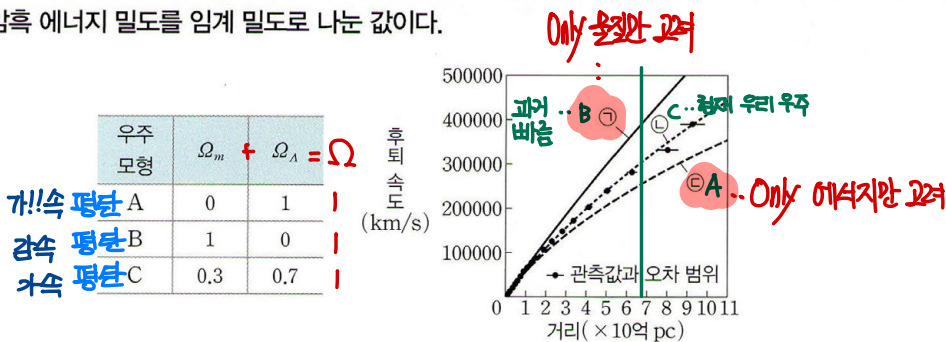
ㄷ. 암흑 에너지의 밀도 **X** 일정

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

04

▶ 24069-0227

표는 우주 모형 A, B, C의  $\Omega_m$ 과  $\Omega_\Lambda$ 를 나타낸 것이고, 그림은 이들 모형에서 은하들의 거리와 후퇴 속도의 관계를 Ia형 초신성 관측 자료와 함께 나타낸 것이다. ㉠, ㉡, ㉢은 각각 A, B, C 중 하나이다.  $\Omega_m$ 과  $\Omega_\Lambda$ 는 각각 현재 우주의 물질 밀도와 암흑 에너지 밀도를 임계 밀도로 나눈 값이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

㉠. A, B, C는 모두 평탄 우주이다. **○**  $\Omega = 1$

㉡. ㉢은 C이다. **○** 현재 우리 우주 **오차 범위**

㉢. 관측 자료에 나타난 우주의 팽창을 설명하기 위해서는 물질과 암흑 에너지를 모두 고려해야 한다. **○**

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



05

▶24069-0228

표는 은하 A, B, C의 겉보기 등급과 A, B, C의 스펙트럼에서 고유 파장이 500 nm인 흡수선이 관측되는 파장을 나타낸 것이다. A, B, C는 허블 법칙을 만족하고, A와 B의 절대 등급은 같다.

은하	겉보기 등급	관측 파장(nm)
A	8.0	( $\odot$ )
B	9.0	508
C	14.0	516

	A	B
L	1	1
$L \cdot t^2$	10	1
$t^{-2}$	10	1
t	1	$\sqrt{10}$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

④

보기

- ✓ ㉠은 508보다 작다. ○ A가 더 가까운 은하이다
- ✗ A, B, C 중 지구로부터의 거리는 B가 가장 가깝다. ✗ C는 B보다 2배 멀리, B는 A보다  $\sqrt{10}$ 배 멀리
- ✓ 절대 등급은 C가 B보다 크다. ○  $L_C < L_B$

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

㉢)

	B	C
t	1	2
$L \cdot t^2$	10 <sup>2</sup>	1
$t^{-2}$	1	2 <sup>-2</sup>
L	10 <sup>2</sup>	2 <sup>2</sup>

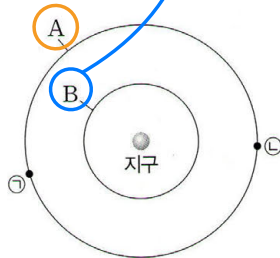
06 자유해석

▶24069-0229

그림의 A와 B는 우주 배경 복사가 출발한 위치와 관측되는 가장 가까이 있는 퀘이사에서 빛이 출발한 위치를 순서 없이 나타낸 것이다. 현재 우주의 나이는 약 138억 년이다.

우배.복 최초 관측 보다는 가까이

우주 나이 38만 일 때  
↓  
관측되는 빛 중 가장 멀리  
( $Z_{CMB} = 1089$ )



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

①

보기

- ✓ 처음 만들어진 별에서 빛이 출발한 위치는 B보다 멀다. ○ B는 퀘이사 C 은하. 최초 별 형성이 먼저!
- ✗ A까지의 거리는 약 138억 광년이다. ✗ 5초지 사이거리 > 광행거리  $\rightarrow$  465억 광년
- ✗ 지점 ㉠과 지점 ㉡은 전자기파를 통해 현재 상호 작용할 수 있다. ✗ B에게 지평선 바깥쪽 위치

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



07

▶ 24069-0230

표는 서로 다른 시기  $T_1, T_2, T_3$ 에 우주 구성 요소 A, B, C의 비율을 나타낸 것이다. A, B, C는 각각 암흑 물질, 암흑 에너지, 보통 물질 중 하나이고  $T_1, T_2, T_3$ 은 각각 과거, 현재, 미래 중 하나이다.

구성 요소		A <b>암</b>	B <b>흑</b>	C <b>암</b>
<b>현재</b> $T_1$ 2		68.3	4.9	26.8
<b>미래</b> $T_2$ 3		80.5	2.6	16.9
<b>과거</b> $T_3$ 1		10.5	67.1	22.4

.. 현재 비율 참고

(단위: %)

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

1:5.5의 비율 깨짐

+  $T_3$  재가 30이상량 (흑>암)  
.. 좀더 찾아보겠음

보기

- ✓ 현재 우주를 가속 팽창시키는 역할을 하는 것은 A이다. ○
- ✓ B는 전자기파로 관측이 가능하다. ○ B: 보통
- ✗ 암흑 에너지 밀도는  $T_2$ 가  $T_3$ 보다 작다 ✗ 암 밀도 = 일정, 물질 밀도  $\frac{\rho}{a^3} < \frac{\rho}{a^3}$   
물질 밀도

+ 아마  $T_3$  B, C 값을 바꿔

새것이 맞지 않을까

.. 그래도 1:5.5 비율은 유지됨.

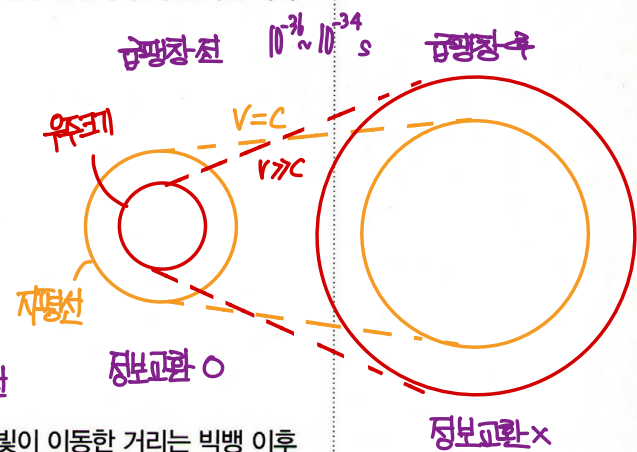
- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

▶ 24069-0231

그림 (가)와 (나)는 급팽창 이론에서 빅뱅 후 서로 다른 두 시기의 관측 가능한 우주의 크기와 실제 우주의 크기를 나타낸 것이다.

지평선 C 팽창. 우주크기 > C 팽창



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빅뱅 이후 빛이 이동한 거리는 빅뱅 이후 빛이 직진할 수 있다고 가정할 때의 거리이다.)

4

보기

- ✗ (가)에서 우주의 모든 지역은 서로 정보 교환이 가능하다 ✗ 불가
- ✓ 급팽창 이론은 우주의 평탄성 문제를 설명할 수 있다. ○ + 지평선 문제 + 재가열 문제
- ✓ 시간 순서는 (나) → (가)이다. ○

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