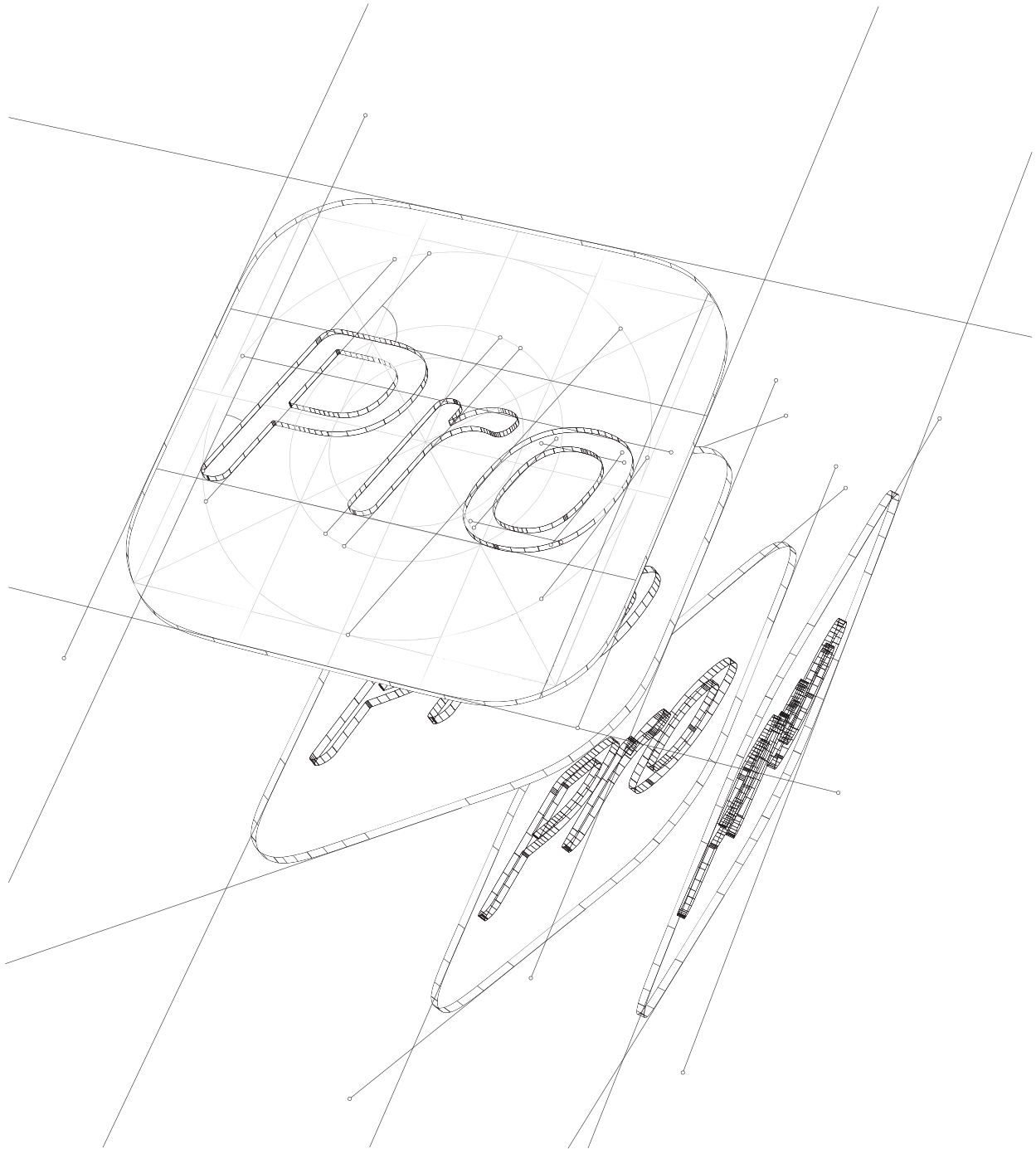


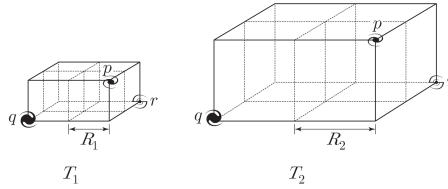
On The Field 26 간단 해설

2025. 11. 11.



A. On The Field 26 #12 [문제] Pro

12. 그림은 빅뱅 우주론에 따라 팽창하는 우주에서 T_1 과 T_2 시기의 은하 p, q, r 의 위치를 나타낸 것이다. T_1 에 p 에서 방출된 빛이 T_2 에 q 로 도달한다. R_1 과 R_2 는 각 시기의 단위 정육면체 한 변의 길이이며, $T_1 - T_2 = 54$ 억 년, $R_2 = 2R_1$ 이고, 우주의 팽창 속도는 T_1 이 T_2 보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 은하들은 허블 법칙을 만족한다.) [3점]

—<보 기>—

ㄱ. T_1 에 p 에서 관측한 후퇴 속도는 q 와 r 이 같다.

ㄴ. 허블 상수는 T_1 이 T_2 보다 작다.

ㄷ. R_1 은 $\frac{27\sqrt{5}}{5}$ 억 광년보다 길다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A. On The Field 26 #12 [문제] Pro

- ㄱ. 모든 은하가 허블 법칙을 만족하므로 은하 간 거리가 같다면 서로의 후퇴 속도도 동일하다.(○)
- ㄴ. 허블 법칙은 우주의 팽창에 의한 은하의 후퇴 속도와 은하 사이의 거리 간의 관계를 다룬다.

$$H = \frac{\text{은하의 후퇴 속도}}{\text{은하 사이의 거리}}$$

우주의 크기와 은하 사이의 거리는 서로 비례하고, 속도는 위치(거리)를 미분함으로써 구할 수 있다. 이에 따라 은하의 후퇴 속도와 우주의 팽창 속도는 비례한다.

이러한 맥락에서, 허블 상수를 다음과 같이 정의할 수 있음이 알려져 있다. 이때 t 는 시간을, $R(t)$ 는 시간에 따른 우주의 크기를, $R'(t)$ 는 시간에 따른 우주의 팽창 속도를 의미한다.

$$H = \frac{R'(t)}{R(t)} = \frac{\text{우주의 팽창 속도}}{\text{우주의 크기}}$$

우주의 크기는 T_1 이 T_2 보다 작고, 우주의 팽창 속도는 T_1 이 T_2 보다 크다. 따라서 허블 상수는 T_1 이 T_2 보다 크다.(x)

ㄷ. T_1 일 때 p 와 q 사이의 거리는 $\sqrt{5}R_1$ 이고, T_2 일 때 p 와 q 사이의 거리는 $\sqrt{5}R_2$, 즉 $2\sqrt{5}R_1$ 이다.

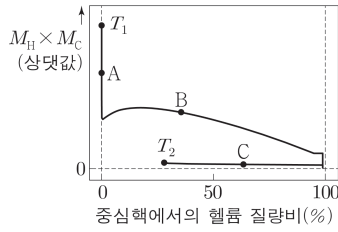
T_1 일 때 p 와 q 사이의 거리는 54억 광년보다 작고, T_2 일 때 p 와 q 사이의 거리는 54억 광년보다 크다.

$$54 < 2\sqrt{5}R_1$$

따라서 R_1 은 $\frac{27\sqrt{5}}{5}$ 억 광년보다 큰 값을 가진다.(○)

B. On The Field 26 #13 [문제] Pro

13. 그림은 질량이 태양 정도인 별이 주계열 단계 시작 직후부터 t_1 까지 진화하는 동안 별 전체에서의 수소 질량비(M_H)와 탄소 질량비(M_C)를 곱한 값과 중심핵에서의 헬륨 질량비 변화를 나타낸 것이다. A, B, C는 이 별이 진화하는 동안의 서로 다른 시기이고, t_1 은 T_1 과 T_2 중 하나이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

- <보 기>—
- ㄱ. M_H 는 A가 B보다 크다.
 - ㄴ. A에 별 내부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어난다.
 - ㄷ. 중심핵 온도는 B가 C보다 낮다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

B. On The Field 26 #13 [해설] Pro

주계열 단계 시작 직후 중심핵에서 헬륨이 차지하는 질량비는 0이 아니다. 따라서 이 그래프는 T_2 에서 시작하여 T_1 에서 마무리된다고 해석할 수 있다.(수소:헬륨이 약 3:1)

C일 때 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나 중심핵에서의 헬륨 질량비가 증가한다.

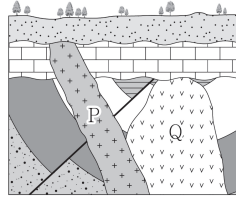
B일 때 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나 중심핵에서의 헬륨 질량비가 감소한다. 또한, B를 지나는 동안 수소 껍질 연소로 M_H 는 감소할 수 있지만, 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나므로 M_C 가 증가하여 전체적으로 $M_H \times M_C$ 의 값이 증가한다고 해석할 수 있다.

A일 때 중심핵에서의 헬륨 질량비가 0에 가까워 탄소핵이 형성되었음을 알 수 있다. 또한, A를 지나는 동안 $M_H \times M_C$ 의 값이 증가하는 것을 보아 헬륨 껍질 연소에 의한 탄소 생성이 계속적으로 일어나고 있음을 알 수 있다.

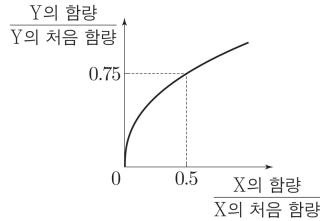
- ㄱ. 별 전체에서 수소가 차지하는 질량은 별이 진화함에 따라 줄곧 감소한다.(x)
- ㄴ. A일 때 별 내부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어난다.(○)
- ㄷ. 중심핵 온도는 헬륨 핵융합 반응이 일어나는 B가 수소 핵융합 반응이 일어나는 C보다 높다.(x)

C. On The Field 26 #15 [문제] Pro

15. 그림 (가)는 어느 지역의 지질 단면을, (나)는 방사성 원소 X와 Y에 대하여 $\frac{X \text{의 함량}}{X \text{의 처음 함량}}$ 에 따른 $\frac{Y \text{의 함량}}{Y \text{의 처음 함량}}$ 을 나타낸 것이다. 현재 화성암 P와 Q에 포함된 방사성 원소의 함량은 각각 처음 양의 0.5배와 0.75배 중 하나이고, P와 Q는 X와 Y 중 서로 다른 한 종류만 포함한다.



(가)



(나)

이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

- ㄱ. P는 X를 포함하고 있다.
- ㄴ. $\frac{Q \text{의 절대 연령}}{P \text{의 절대 연령}}$ 은 9보다 작다.
- ㄷ. 현재로부터 X의 반감기가 1회 지났을 때, Y를 포함한 암석에 존재하는 $\frac{Y \text{의 함량}}{Y \text{의 처음 함량}}$ 은 0.375이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

C. On The Field 26 #15 [해설] **Pro**

(가)를 통해 Q 형성 이후 P가 형성되었음을 알 수 있다. 두 화성암이 형성된 시기 사이에 시간 간극이 존재하므로 X가 포함된 암석의 현재 X 함량은 처음 양의 0.5배가 될 수 없고, Y가 포함된 암석의 현재 Y 함량은 처음 양의 0.75배가 될 수 없다.

$\frac{\text{모원소의 함량}}{\text{모원소의 처음 함량}}$ 은 1에서부터 시작하여 시간이 지남에 따라 감소한다. 우리는 이미 Q 형성 이후 P가 형성되었음을 알고 있다. 따라서 P에는 X, Q에는 Y가 포함되어 있음을 알 수 있다.

암석	포함된 방사성 원소	현재 함량
P(나중)	X	0.75
Q(먼저)	Y	0.5

ㄱ. P는 X를 포함하고 있다.(○)

ㄴ. X 함량이 처음 양의 75%가 되는 데 걸리는 시간을 $X_{0.75}$, X의 반감기를 $X_{0.5}$ 라 하자. 이때 $X_{0.75}$ 는 $X_{0.5}$ 의 $\frac{1}{3}$ 보다 길며 $\frac{1}{2}$ 보다 짧다고 하였다. 이는 Y에서도 동일하다.

$$\frac{1}{3}(X_{0.5}) < X_{0.75} < \frac{1}{2}(X_{0.5})$$

현재 Q에서 $\frac{\text{Y의 함량}}{\text{Y의 처음 함량}}$ 이 0.5이다. 이는 Q의 절대 연령이 $Y_{0.75}$ 의 2배에서 3배 사이임을 의미한다.

또한, $\frac{\text{Y의 함량}}{\text{Y의 처음 함량}}$ 이 0.75일 때에는 $\frac{\text{X의 함량}}{\text{X의 처음 함량}}$ 이 0.5일 때와 같으므로 $Y_{0.75}$ 는 $X_{0.5}$ 와 동일하다.

결과적으로 Q의 절대 연령은 $X_{0.5}$ 의 2배에서 3배 사이의 값을 갖는다.

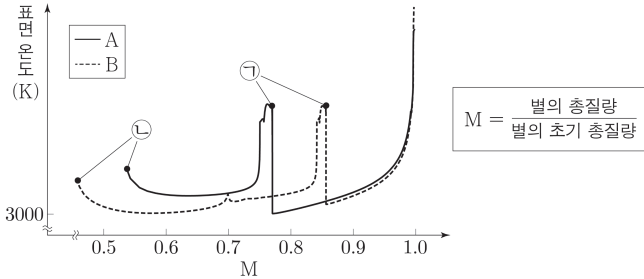
한편, 현재 P에서 $\frac{\text{X의 함량}}{\text{X의 처음 함량}}$ 이 0.75이다. 이는 P의 절대 연령이 $X_{0.5}$ 의 $\frac{1}{3}$ 배에서 $\frac{1}{2}$ 배 사이임을 의미한다.

따라서 $\frac{\text{Q의 절대 연령}}{\text{P의 절대 연령}}$ 은 9보다 작다.(○)

ㄷ. $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16}$ (○)

D. On The Field 26 #16 [문제] Pro

16. 그림은 별 A와 B가 주계열 단계가 시작한 직후부터 거성 단계가 끝날 때까지의 물리량 M과 표면 온도 변화를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 A와 B가 진화하는 동안의 서로 같은 진화 단계를 나타낸 것이고, A와 B의 초기 총질량은 각각 태양 질량의 1배와 1.2배 중 하나이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

< 보 기 >

- ㄱ. A는 태양 질량의 1.2배인 별이다.
- ㄴ. 주계열 단계 시작 직후부터 ㉡까지의 기간 동안 별 질량의 평균 감소 속도는 A가 B보다 느리다.
- ㄷ. 주계열 단계 시작 직후부터 ㉠까지의 질량 감소량은 태양 질량의 1배인 별이 1.2배인 별보다 적다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

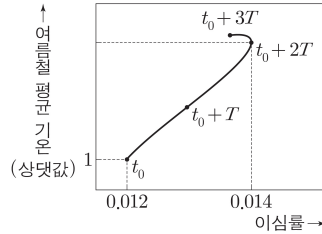
D. On The Field 26 #16 [해설] Pro

주계열성이려면 질량이 클수록 표면 온도가 높다. 따라서 M=1일 때의 표면 온도가 더 높은 B가 태양 질량의 1.2배인 별이고 A가 태양 질량의 1배인 별이다.

- ㄱ. A는 태양 질량의 1배인 별이다.(x)
- ㄴ. 주계열 단계 시작 직후부터 ㉡까지의 기간은 질량이 작은 A가 B보다 길고, 질량 감소량은 A가 B보다 적다. 따라서 해당 시기 동안 별 질량의 평균 감소 속도는 A가 B보다 느리다.(○)
- ㄷ. ㉠일 때 M의 감소량은 A가 0.2보다 크고, B가 0.15 가량이다. B의 질량이 A의 1.2배임을 고려하더라도 질량 감소량은 A가 태양 질량의 0.2보다 크고, B가 태양 질량의 0.2보다 적다.(x)

E. On The Field 26 #18 [문제] Pro

18. 그림은 t_0 부터 $t_0 + 3T$ 까지 지구 공전 궤도 이심률과 35°N 에서 여름철 평균 기온의 변화를 나타낸 것이다. t_0 일 때 근일점에서 35°N 의 계절은 봄이다. 세차 운동의 주기는 26000 년이고, $2T$ 와 $3T$ 중 하나는 6500 년이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 공전 궤도 이심률과 세차 운동 이외의 요인은 변하지 않는다고 가정한다.) [3점]

- <보 기>
- ㄱ. 35°S 에서 기온의 연교차는 $t_0 + 3T$ 가 t_0 보다 작다.
 - ㄴ. 태양과 원일점 사이의 거리 / 태양과 근일점 사이의 거리는 t_0 부터 $t_0 + 3T$ 까지 점차 증가한다.
 - ㄷ. $t_0 + 6T$ 일 때 원일점에서 35°S 의 계절은 가을이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

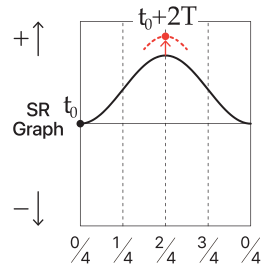
E. On The Field 26 #18 [해설] Pro

공전 궤도 이심률과 세차운동 이외의 요인은 변하지 않는다고 가정하므로 SR Graph만으로 문제를 해석할 수 있다.

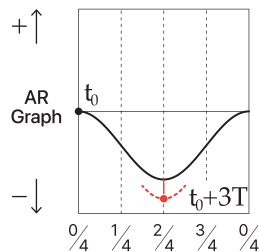
만약 $2T$ 가 6500 년이라면, 오른쪽 그림과 같이 북반구 여름철 SR Graph상에서 극댓값을 가지면서 이심률도 최댓값을 갖게 된다.

따라서 다른 어떤 시점보다 SR Graph가 위 아래로 가장 많이 늘어나므로 $t_0 + 2T$ 보다 여름철 평균 기온이 높은 시점은 존재할 수 없다.

그러나 이는 문제의 조건에 모순이므로 $3T$ 가 6500 년이다.



ㄱ. 이심률을 반영한 남반구 AR Graph를 나타내면 다음과 같다.(○)

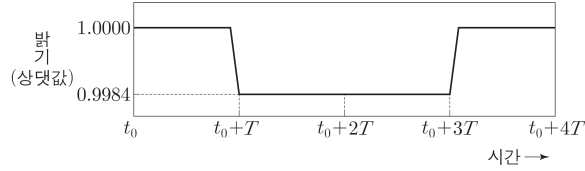


ㄴ. 태양과 원일점 사이의 거리 / 태양과 근일점 사이의 거리는 이심률이 커질수록 커진다. 그러나 해당 기간 동안 이심률이 계속 증가하는 것은 아니다.(×)

ㄷ. Season Location Finder에 따라 t_0 일 때 원일점에서의 남반구 계절인 봄을 [기준 계절]로 하자. 봄+[0+2]=가을이다.(○)

F. On The Field 26 #19 [문제] Pro

19. 그림은 어느 외계 행성계에서 식 현상을 일으키는 행성에 의한 중심별의 상대적 밝기 변화를, 표는 $t_0 + T$, $t_0 + 2T$ 시기 지구에서 관측한 중심별의 스펙트럼과 표면 온도가 12000K인 별 S에서 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장을 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡의 차는 144×10^{-15} 이고, 중심별의 공전 속도는 6000m/s이며, $t_0 + T$ 일 때 중심별의 시선 속도는 +360m/s이다. 빛의 속도는 3×10^8 m/s이다.



구분	$t_0 + T$ 의 중심별	$t_0 + 2T$ 의 중심별	별 S
복사 에너지를 최대로 방출하는 파장(m)	㉠	㉡	2.4×10^{-7}

이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 행성은 원 궤도를 따라 공전하며, $t_0 + 2T$ 일 때 행성의 중심과 중심별의 중심은 관측자의 시선과 동일한 방향에 위치하고, 중심별의 시선 속도 변화는 행성과의 공통 질량 중심에 대한 공전에 의해서만 나타난다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. $t_0 \rightarrow t_0 + T$ 동안 중심별의 스펙트럼에서 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 점차 짧아진다.

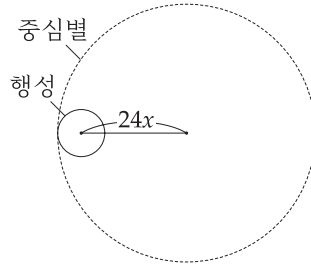
ㄴ. 중심별의 중심과 행성의 중심 사이의 거리는 행성 반지름의 400배이다.

ㄷ. 중심별의 표면 온도는 24000K이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

F. On The Field 26 #19 [해설] Pro

- ㄱ. 중심별의 흡수선 파장은 점차 짧아진다.(○)
- ㄴ. 행성의 반지름을 x 라 하면, t_0+T 일 때 중심별과 행성 사이의 겹보기 거리는 $24x$ 이다.



|시선 속도| = 공전 속도 $\times \frac{\text{겹보기 거리}}{\text{실제 거리}}$ 이므로 다음과 같이 식을 세울 수 있다.

$$360 \text{ (m/s)} = \frac{24x}{\text{실제 거리}} \times 6000 \text{ (m/s)}$$

실제 거리는 $400x$ 이므로 중심별의 중심과 행성의 중심 사이의 거리는 행성 반지름의 400배이다.(○)

- ㄷ. t_0+2T 는 기준 파장과 관측 파장이 동일한 시기이다. 따라서 (㉠) - (㉡)의 값은 (t_0+T 의 관측 파장 - 기준 파장)과 같다. 이를 토대로 다음과 같이 식을 세울 수 있다.

$$\frac{144 \times 10^{-15}}{\text{기준 파장}} \times 3 \times 10^8 \text{ (m/s)} = 360 \text{ (m/s)}$$

기준 파장은 $1.2 \times 10^{-7} \text{ m}$ 이다. 따라서 중심별의 표면 온도는 24000 K이다.(○)

G. On The Field 26 #20 [문제] **Pro**

20. 표는 별 A, B, C의 물리량을 나타낸 것이다. A, B, C 중 백색 왜성은 1개, 주계열성은 2개이다.

별	단위 시간당 단위 면적에서 방출하는 복사 에너지 (상댓값)	반지름 (상댓값)	겉보기 등급
A	1	0.4	()
B	100	0.004	+4
C	16	1	-1

이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. $\frac{\text{단위 시간당 B의 에너지 생성량}}{\text{단위 시간당 A의 에너지 생성량}}$ 은 0.01이다.

ㄴ. 지구로부터의 거리는 C가 B의 10배이다.

ㄷ. 질량은 A가 C보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

G. On The Field 26 #20 [해설] **Pro**

주계열성이라면 표면 온도와 반지름이 양의 상관관계에 있다. 이에 따라 A와 B 중 하나는 주계열성이 아니며, B와 C 중 하나는 주계열성이 아니다. 따라서 B가 백색 왜성이다.

ㄱ. 광도는 A가 B의 100배이다. 하지만 B는 백색 왜성이므로 내부에서 에너지가 생성되는 것이 아니라, 축적된 에너지를 복사의 형태로 외부로 방출하며 빛을 낸다.(x)

ㄴ. 지구로부터의 거리는 $\sqrt{\frac{\text{광도}}{\text{겉보기 밝기}}}$ 에 비례한다. 따라서 지구로부터의 거리는 C가 B의 10배이다.(○)

ㄷ. 주계열성이라면 반지름과 질량이 양의 상관관계에 있다. A와 C는 모두 주계열성이므로 반지름이 더 작은 A가 질량도 더 작다.(○)