

별의 진화



학습 목표

1. 질량에 따른 별의 진화 과정을 비교할 수 있다.
2. 질량에 따른 별의 종말의 차이를 설명할 수 있다.

오늘의 키워드

- 원시별과 주계열성
- 거성과 초거성
- 별의 종말

별의 일생은??



별은 어떠한 일생을 겪을까?

1. 원시별에서 주계열성 전까지

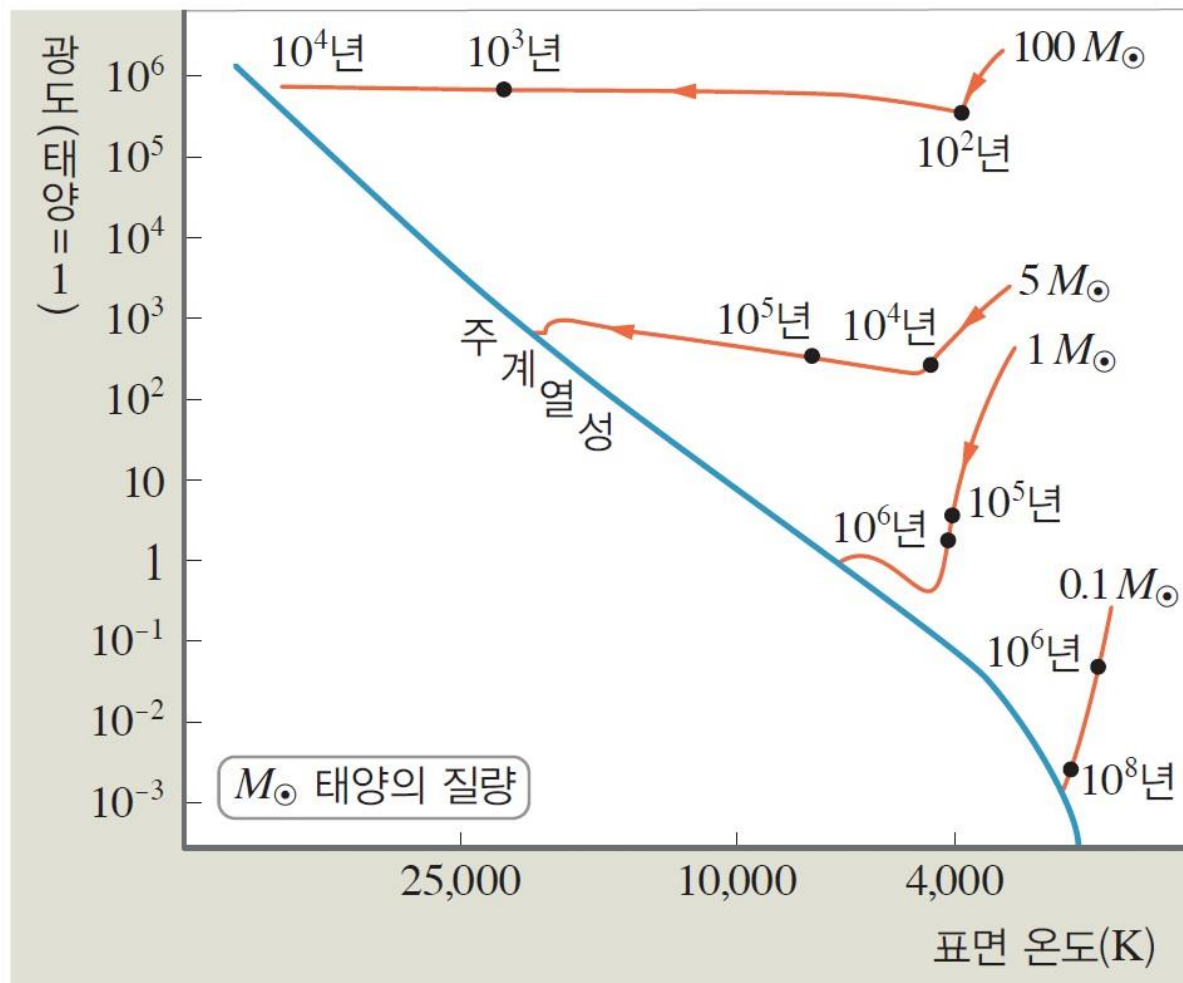
- 성간 티끌이 모여있는 구름
 - > 밀도가 높아진 성운의 **중력 수축**으로 원시별 탄생
 - > 지속적인 중력 수축에 의해 반지름이 줄어들면서
온도 증가, 광도 감소
 - > 원시별이 중력 수축하여 내부 온도가 높아져 표면 온도가 1000K에 이르면 가시광선을 발생 → **전주계열성**

$$0^{\circ}\text{C} = 273.15\text{K}$$

1. 원시별에서 주계열성 전까지

- 원시별이 중력 수축을 계속해 중심부 온도가 **1000만K**
도달(10^7K)
-> 수소 핵융합 반응 일어나면서 주계열성 진입
- 원시별이 H-R도의 오른쪽에서 왼쪽으로 진화하면 주계열성
도달
-> **질량이 클수록** 주계열성에 빨리 도달하고, **광도가 크고**,
표면온도가 높다.

1. 원시별에서 주계열성 전까지



2. 주계열 단계

에너지원: 중심핵의 수소 핵융합 반응

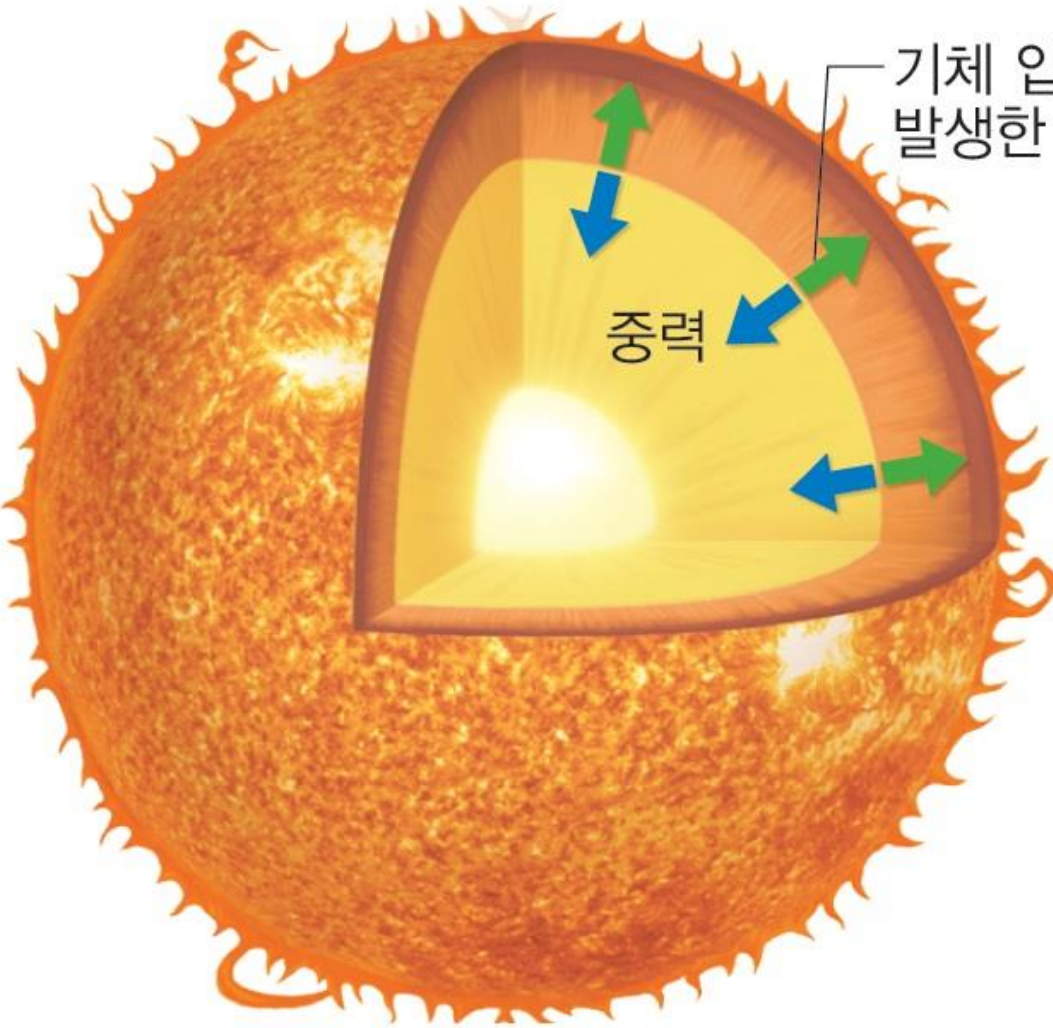
별의 일생 중 약 90%를 머무르는 단계로, **수소 핵융합 반응**으로 에너지를 방출하고 **크기가 일정**하게 유지되는 별

정역학 평형 상태 : 별의 중력과 내부 기체 압력 차에 의한 힘이
평형을 이뤄 반지름 일정

2. 주계열 단계

별의 일생 중 약 90% 동안
에너지를 방출하고

정역학 평형 : 별
차에 의한 힘이



기체 압력 차로
발생한 힘

합 반응으로

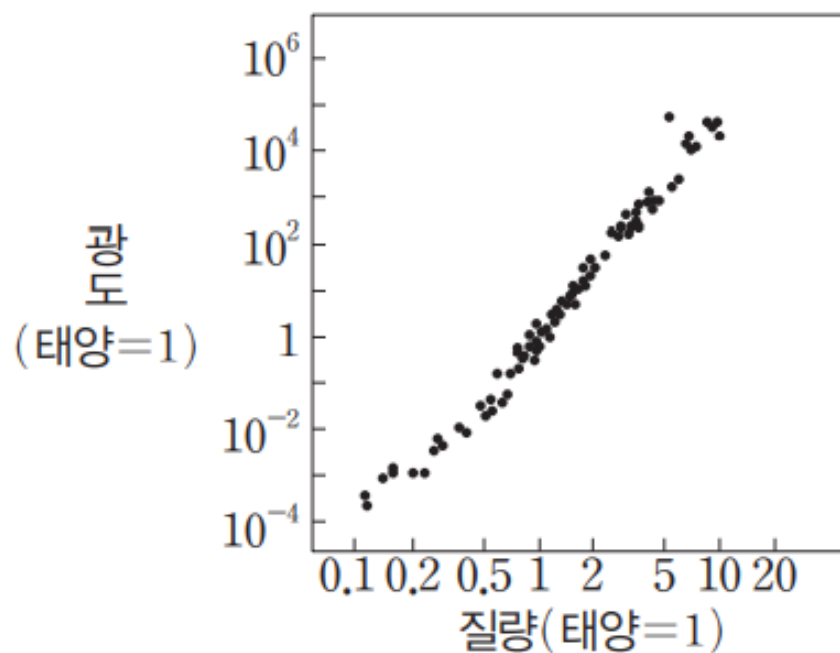
2. 주계열 단계

- 주계열성의 물리량 비교

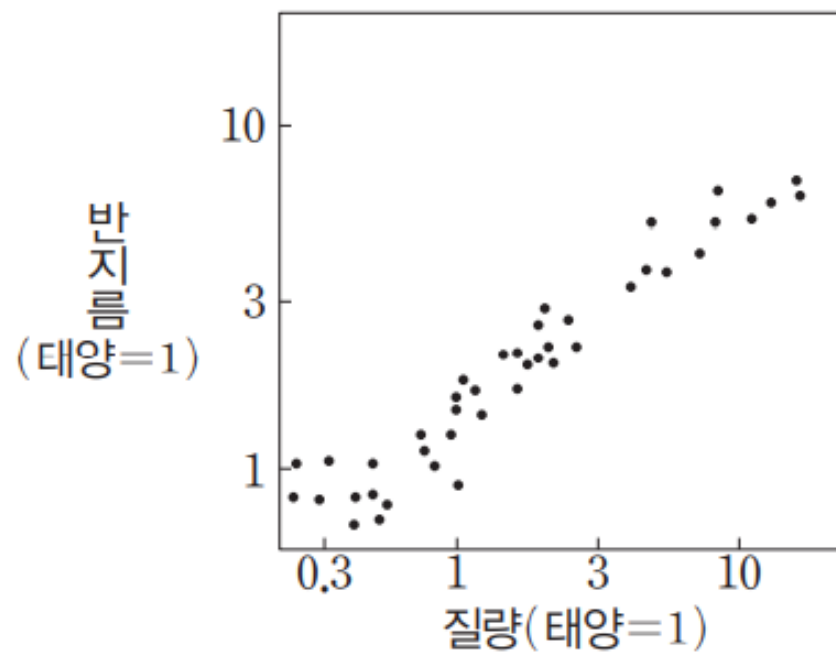
분광형	색지수 (B-V)	표면 온도 (K)	반지름 (태양 반지름=1)	질량 (태양 질량=1)	광도 (태양 광도=1)	주계열성의 수명(년)
O5V	-0.33	40000	12	40	500000	100만
B0V	-0.30	28000	7	18	20000	1000만
A0V	0.0	10000	2.5	3.2	80	5억
F0V	+0.30	7400	1.3	1.7	6	27억
G0V	+0.58	6000	1.05	1.1	1.2	90억
K0V	+0.81	4900	0.85	0.8	0.4	140억
M0V	+1.40	3500	0.6	0.5	0.06	2000억

2. 주계열 단계

- 주계열성의 물리량 비교



질량-광도 관계

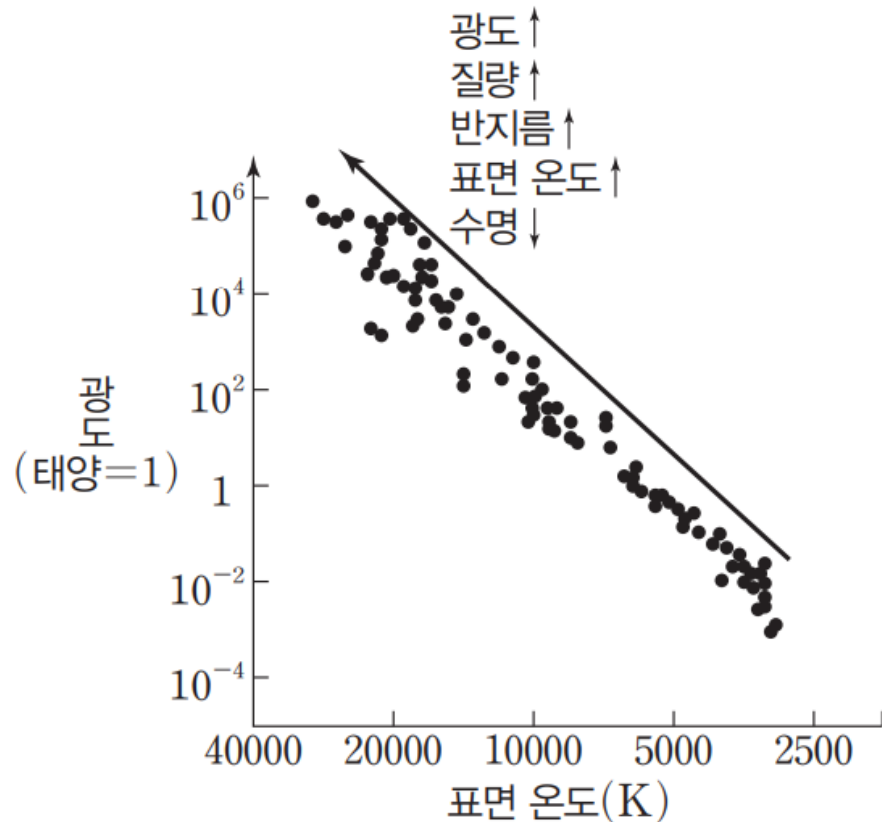


질량-반지름 관계

$$t \propto \frac{M}{L} \propto \frac{1}{M^{1.3 \sim 3}}$$

2. 주계열 단계

• 주계열성의 물리량 비교



* 주계열에서 **왼쪽 위로 갈수록**

⇒ 광도가 크다

⇒ 절대 등급이 작다

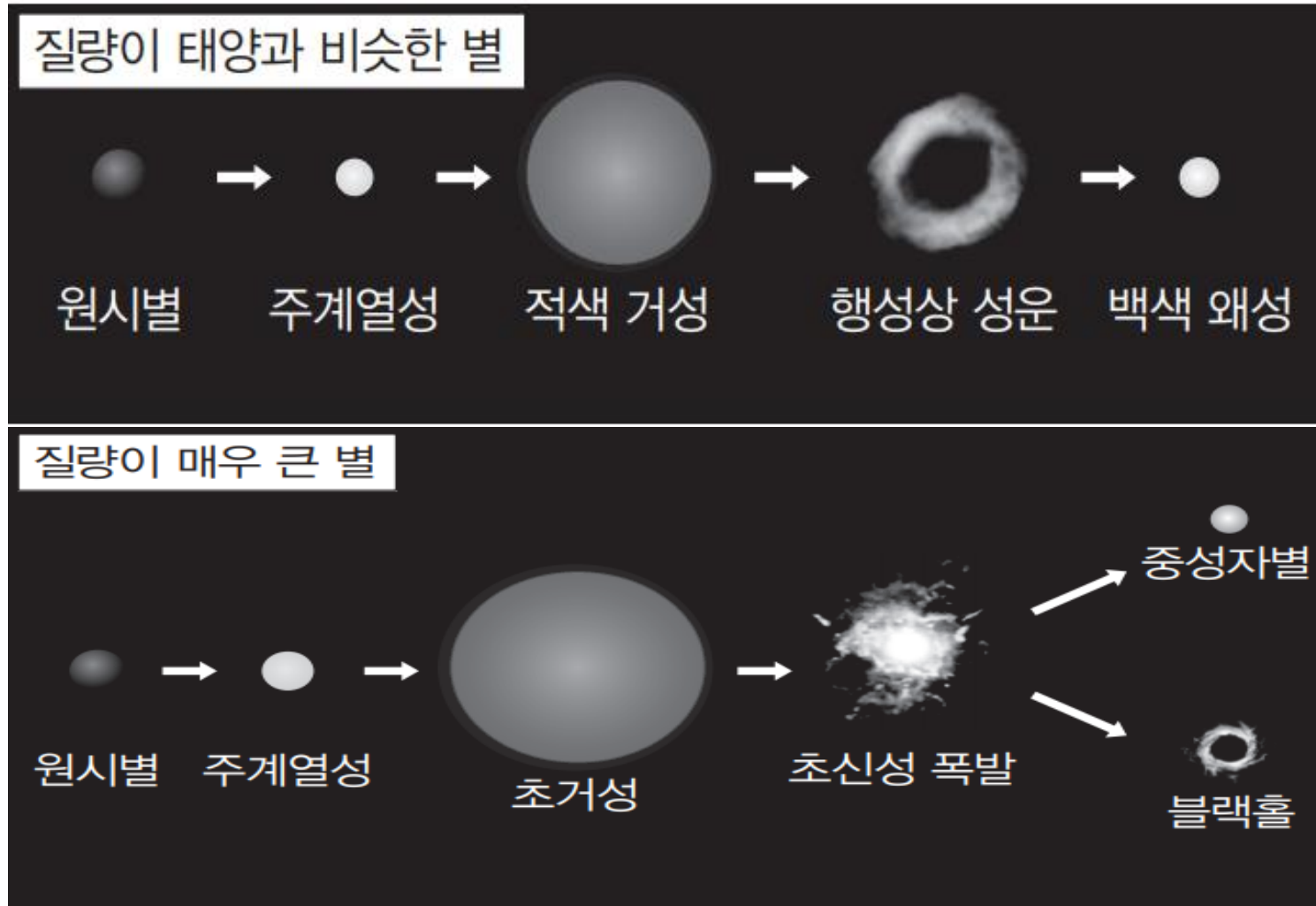
⇒ 질량이 크다

⇒ 반지름이 크다

⇒ 표면 온도가 높다

⇒ **수명이 짧다**

3. 주계열 이후 단계의 진화



3. 주계열 이후 단계의 진화



3. 주계열 이후 단계의 진화

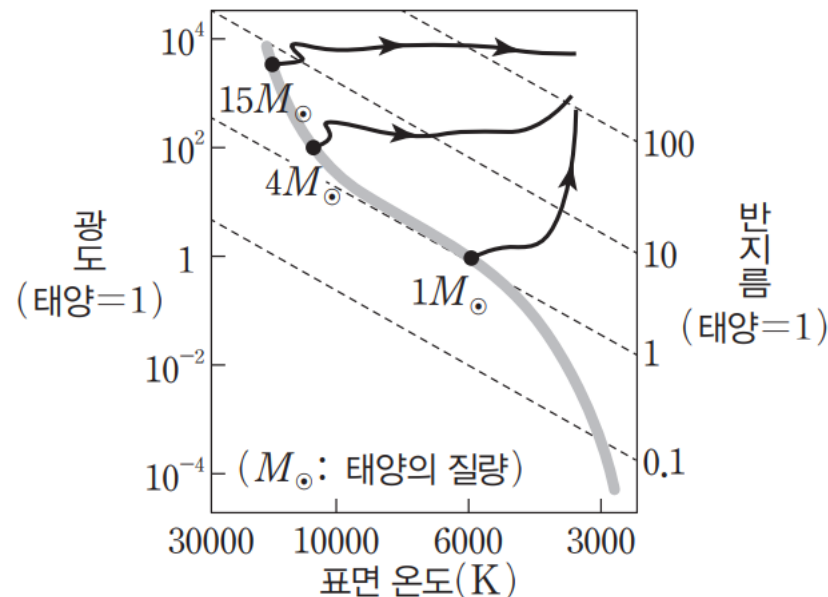
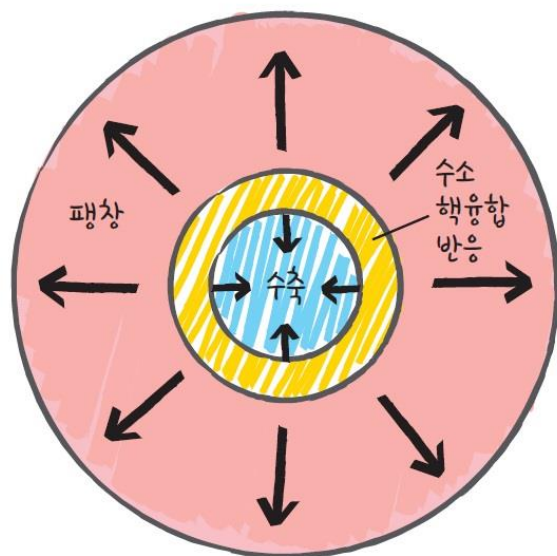
- 질량이 태양과 비슷한 별

주계열성 \Rightarrow **적색 거성**: 중심부에서 **수소 핵융합 반응이 멈춤** \rightarrow 헬륨 핵 수축

\rightarrow 중력 수축 에너지 발생 \rightarrow 핵 주변의 수소 껍질(각) 핵융합 반응

\rightarrow 별의 외곽부에 기체압 증가 \rightarrow **별의 외곽부 팽창** \rightarrow **광도 증가, 표면온도 감소**

\rightarrow 중심부 수축, 온도 상승 \rightarrow 중심부 : 헬륨 핵융합 반응 / 외곽부 : 팽창



3. 주계열 이후 단계의 진화

거성 단계

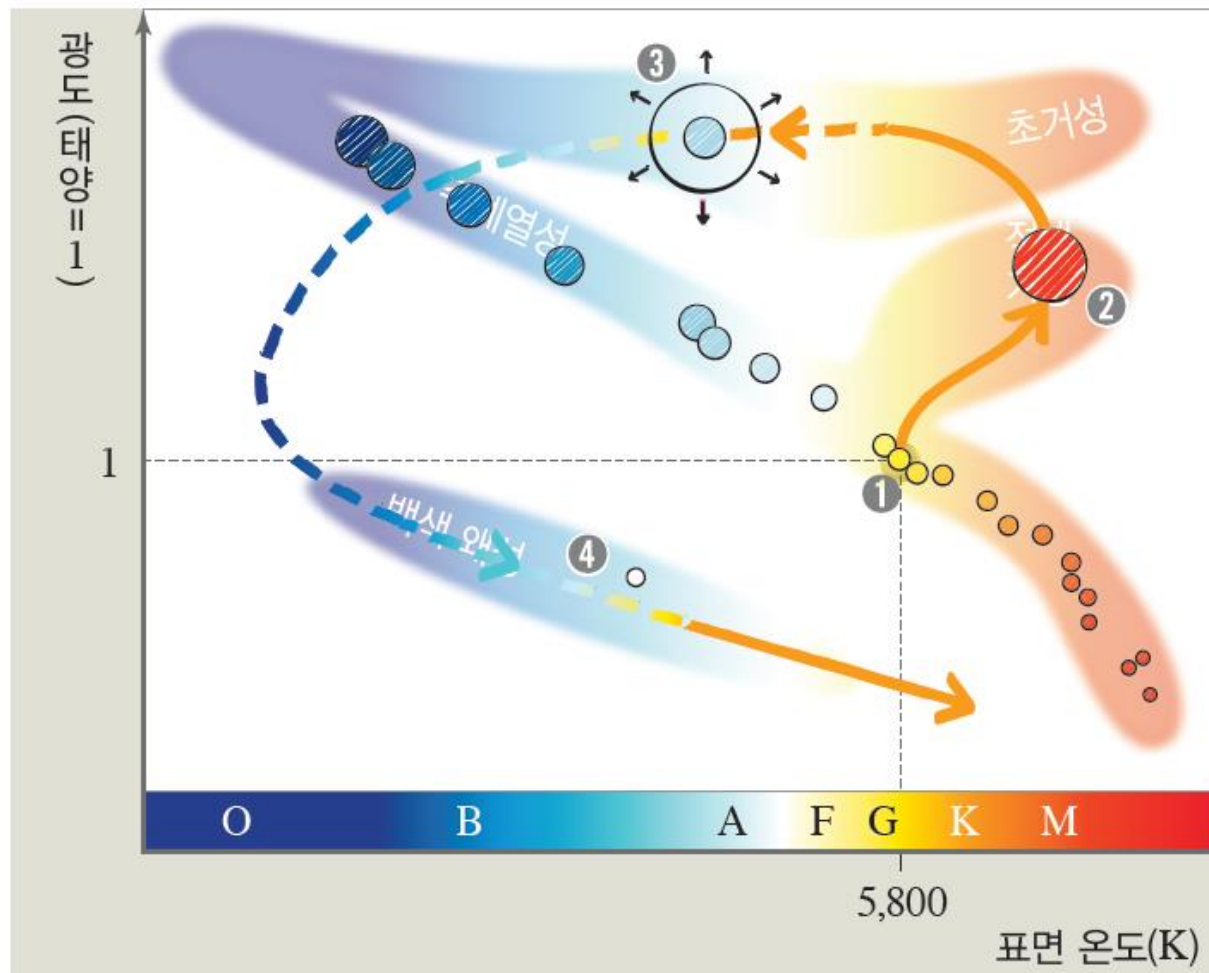


3. 주계열 이후 단계의 진화

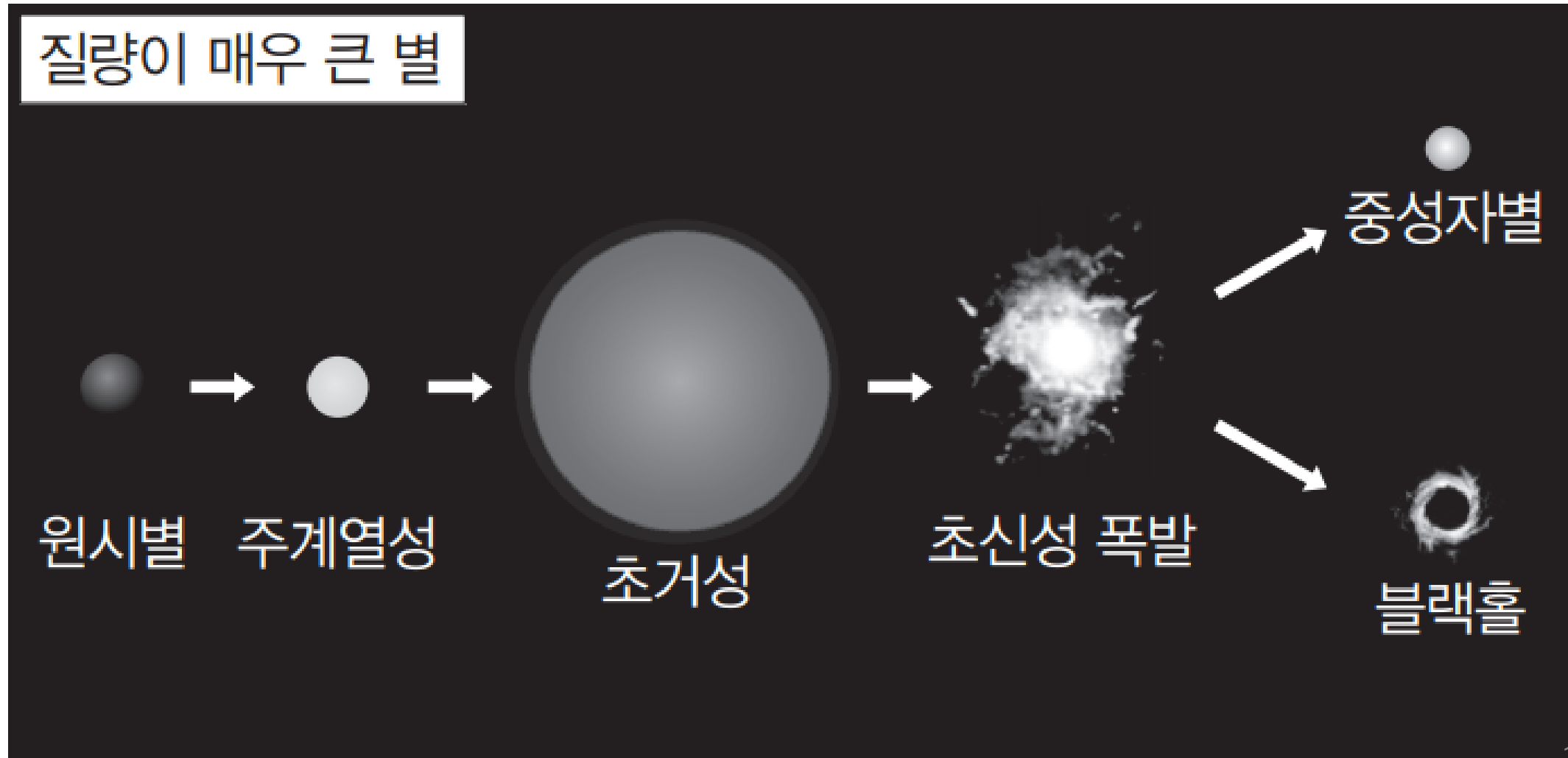
- 질량이 태양과 비슷한 별
- 적색 거성 \Rightarrow 변광성: 적색 거성 중심부의 헬륨 핵융합 반응이 멈춤 \rightarrow 중심부의 지속적 수축 \rightarrow 별의 외곽부는 정역학 평형 상태를 이루기 위한 팽창과 수축 반복 \rightarrow 크기와 표면 온도, 광도가 주기적으로 변함 \rightarrow 맥동 변광성
- 변광성 \Rightarrow 행성상 성운, 백색 왜성: 별의 팽창과 수축을 반복하는 과정에서 대기의 물질 일부가 우주 공간으로 방출 \rightarrow 행성상 성운 \rightarrow 별의 중심부는 지속적 수축 \rightarrow 백색 왜성으로 남음

3. 주계열 이후 단계의 진화

- 질량이 태양과 비슷한 별



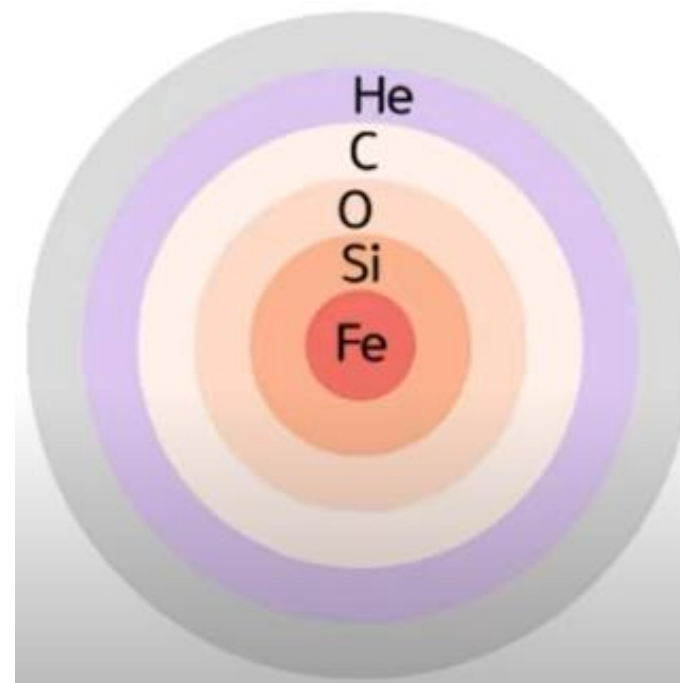
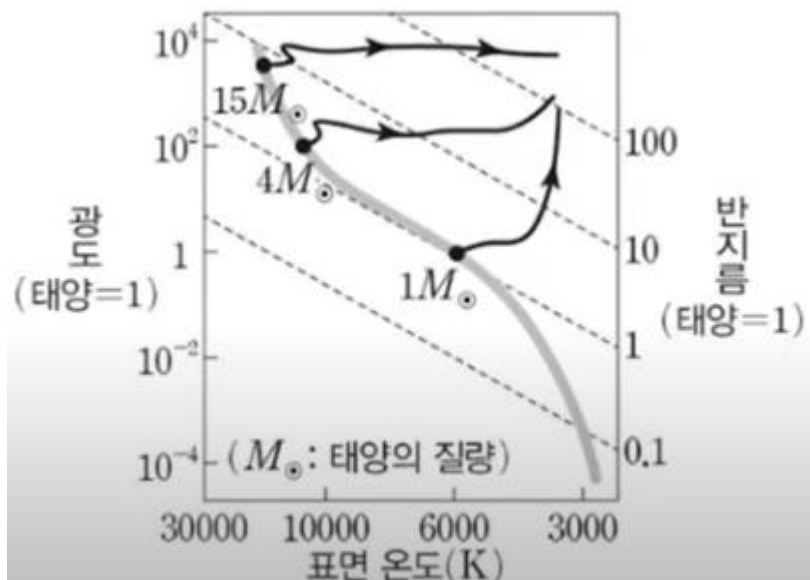
3. 주계열 이후 단계의 진화



3. 주계열 이후 단계의 진화

- **주계열성** \Rightarrow **초거성**: 질량이 큰 별은 주계열을 떠나면 **크기와 광도가 매우 증가**.

H-R도의 **오른쪽 맨 위쪽**으로 이동. 중심부에 철까지 생성

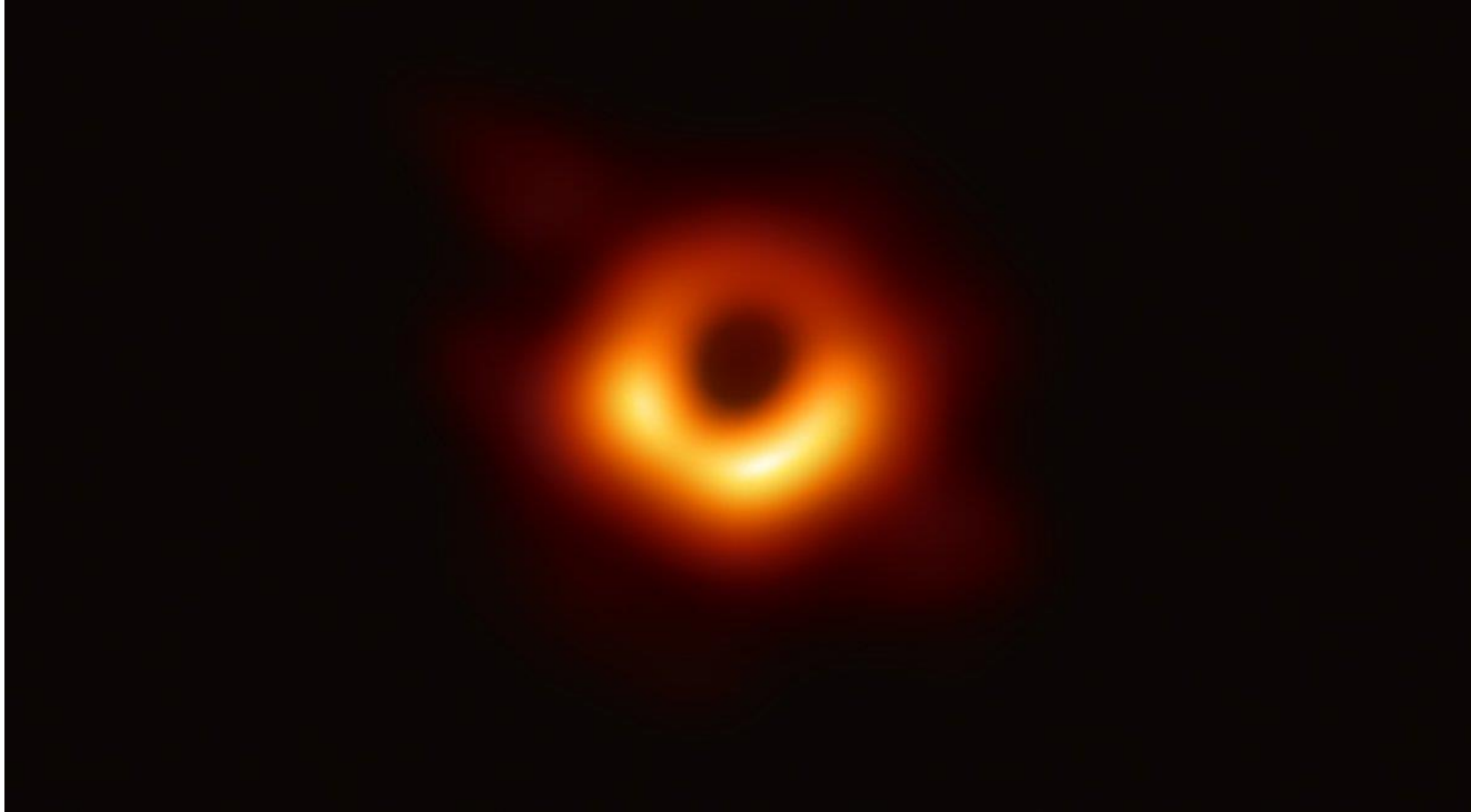


3. 주계열 이후 단계의 진화

- **초신성 폭발**: 별의 내부에서 매우 빠른 속도의 수축과 핵융합 반응이 반복.
- 철까지 핵융합으로 만들어지면 별은 매우 불안정한 상태가 됨.
- 중심부 수축 후 엄청난 에너지와 **철보다 무거운 원소**를 우주 공간으로 **방출하며 폭발**
- **중성자 별, 블랙홀**
- 중심부는 더욱 수축하여 밀도가 매우 큰 중성자 별이 됨.
- 별의 중심부 질량이 매우 큰 경우는 밀도와 표면 중력이 너무 커서 빛조차 빠져 나갈 수 없는 블랙홀로 수축





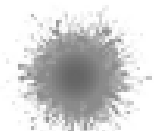





게성운 이라고 불리는 중성자별. 강한 자기장을 가지고 있음.



2019년 4월 10일 인류 최초로 공개된 블랙홀, 중심 블랙홀+그림자, 주변은 블랙홀 wddfur으로 휘어진 빛의 고리모양



8. 표는 질량이 서로 다른 별 (가)와 (나)의 진화 과정을 나타낸 것이다.

별	진화 과정						
(가)	 주계열성	→	 적색 초거성	→	 초신성 폭발	→	 중성자별
(나)	 주계열성	→	 적색 거성	→	 행성상 성운	→	 백색 왜성

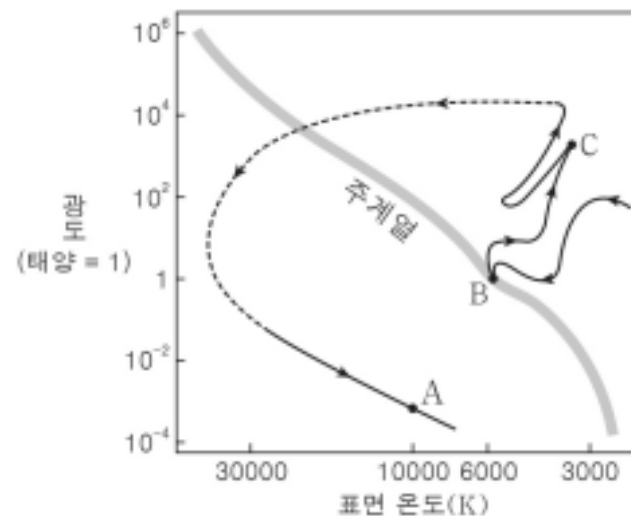
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

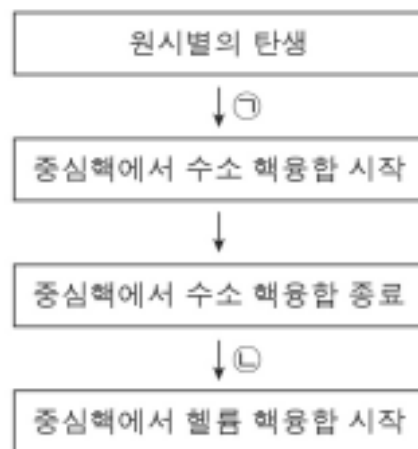
- ㄱ. 주계열 단계에 머무르는 기간은 (가)가 (나)보다 길다.
- ㄴ. 주계열 단계의 수소 핵융합 반응 중에서 CNO 순환 반응이 차지하는 비율은 (가)가 (나)보다 크다.
- ㄷ. (가)의 진화 과정에서 철보다 무거운 원소가 생성된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

15. 그림 (가)는 어느 별의 진화 경로를, (나)는 이 별의 진화 과정 일부를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

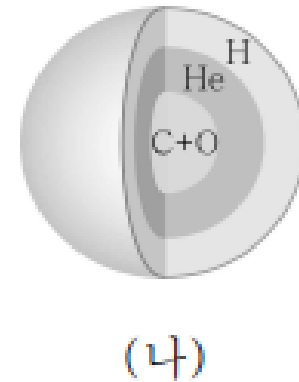
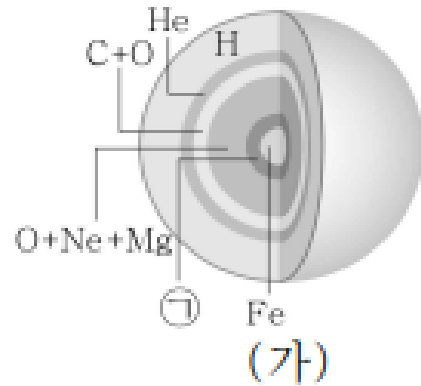
이 별에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

< 보 기 >

- ㄱ. 별의 평균 밀도는 A보다 B일 때 작다.
- ㄴ. C일 때는 ㉠ 과정에 해당한다.
- ㄷ. ㉡ 과정에서 별의 중심핵은 정역학 평형 상태이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

9. 그림은 중심부의 핵융합 반응이 끝난 별 (가)와 (나)의 내부 구조를 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 별의 크기는 고려하지 않는다.)

- < 보 기 > —
- ㄱ. ㉠은 Fe보다 무거운 원소이다.
 - ㄴ. 별의 질량은 (가)가 (나)보다 크다.
 - ㄷ. (가)는 이후의 진화 과정에서 초신성 폭발을 거친다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

수고하셨습니다.

별의 진화

-끝-