

별의 에너지원과 내부 구조



학습 목표

1. 주계열성의 에너지 생성 과정을 설명할 수 있다.
2. 정역학 평형 상태인 별의 내부 구조를 별의 질량에 따른 에너지 전달 방식과 관련지어 설명할 수 있다.

오늘의 키워드

- 원시별의 에너지원
- 주계열성의 에너지원
- 거성과 초거성의 에너지원
- 별의 내부 구조

1. 원시별의 에너지원 = 중력 수축 에너지

질량을 가진 성운



중력에 의한 수축



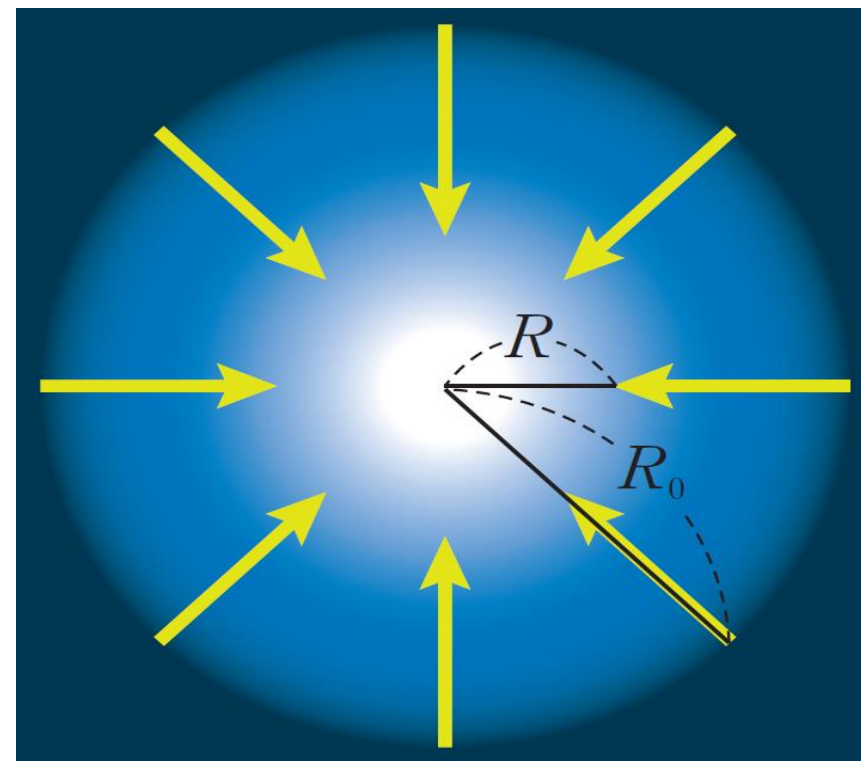
위치 에너지 감소



운동 에너지와 복사 에너지로 전환



운동 에너지 → 별의 내부가 뜨거워짐
복사 에너지 → 별이 밝게 빛나기 시작



2. 주계열성의 에너지원

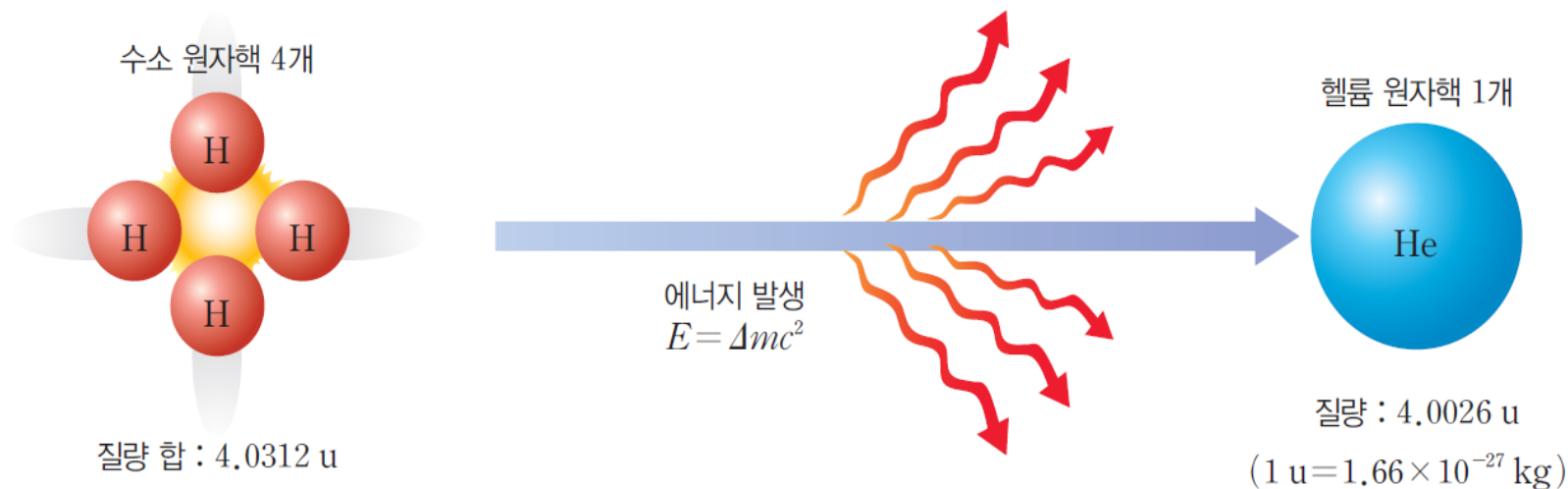
- 질량 - 에너지 등가 원리

: 질량과 에너지는 전환 가능하다.

$$E = \Delta m c^2$$

(E :에너지, Δm :감소한 질량, c :광속)

2. 주계열성의 에너지원 = 수소 핵융합 반응



① $4\text{H} \rightarrow 1\text{He}$

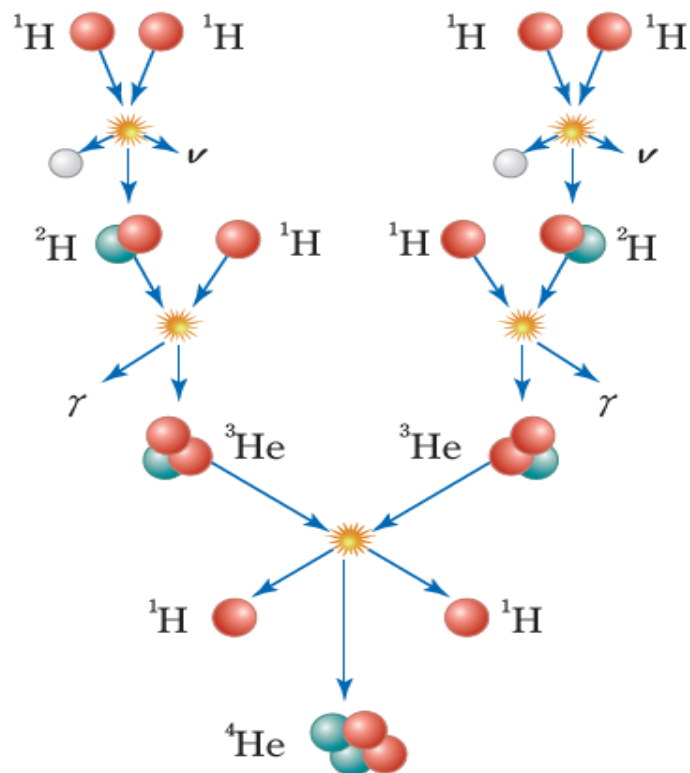
: 수소 원자핵 4개보다 헬륨 원자핵 1개의 질량이 작다. 핵융합 반응에서 줄어든 질량은 질량-에너지 등가 원리에 의해 에너지로 전환된다.

② 반응 온도 : 1000만 K 이상

③ 주계열 단계에서 별의 중심부에서 일어난다.

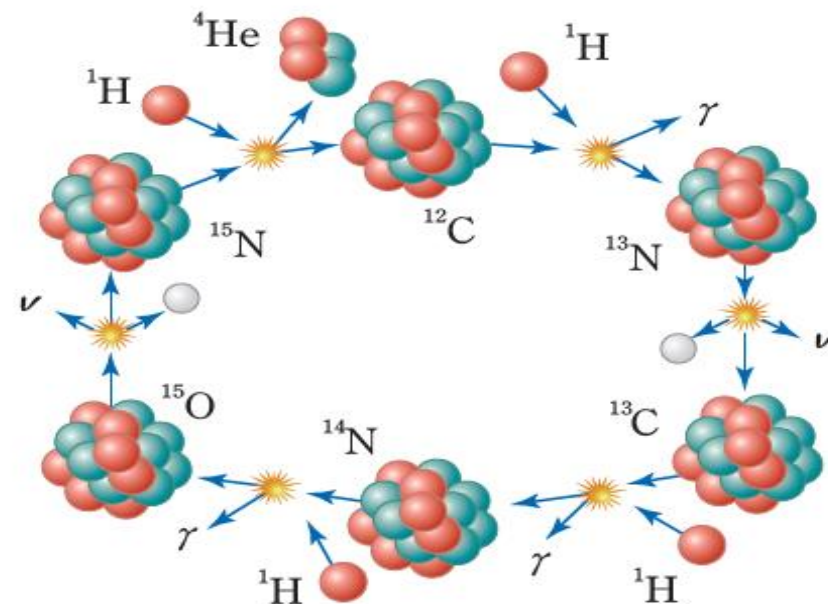
2. 주계열성의 에너지원 ④ 수소 핵융합 반응의 종류

양성자 * 양성자 반응 (P-P반응)



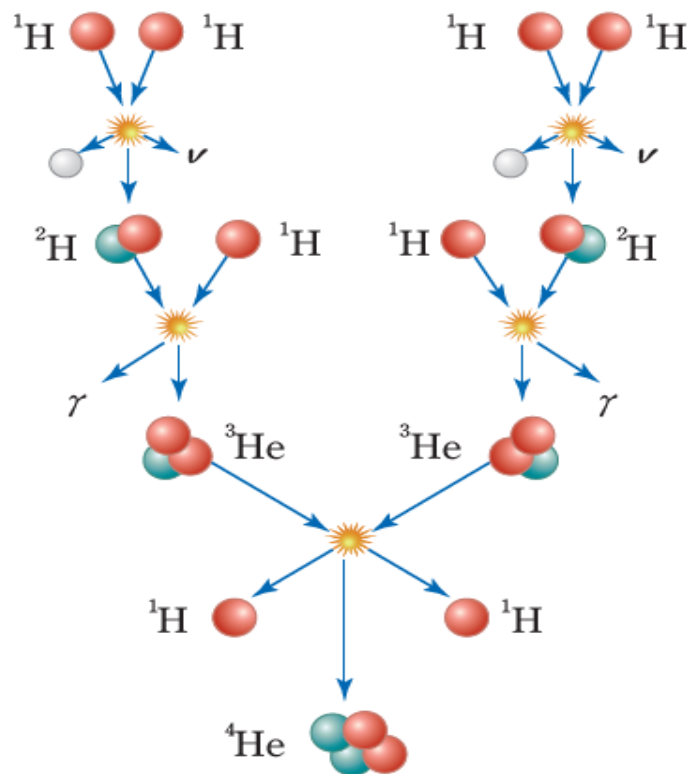
● 양성자	γ 감마선
● 중성자	ν 뉴트리노
○ 양전자	

탄소, 질소, 산소 순환 반응 (CNO 순환 반응)



2. 주계열성의 에너지원 ④ 수소 핵융합 반응의 종류

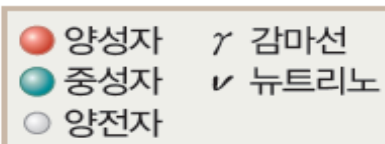
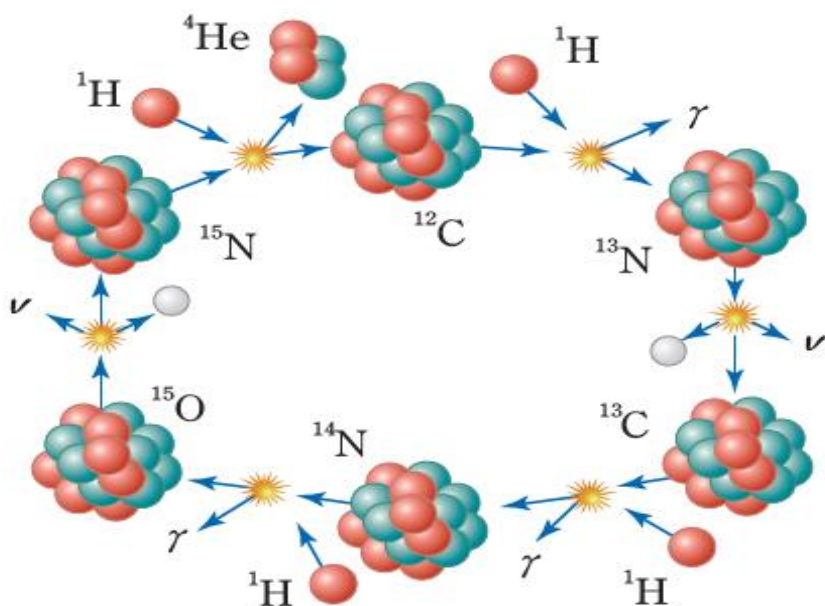
양성자 * 양성자 반응 (P-P반응)



- 질량이 태양의 2배보다 작은 주계열 하단부의 별들에서 우세한 반응
- 중심부 온도가 약 2000만 K보다 낮은 별에서 우세한 반응
- 6개의 수소 원자핵이 차례로 반응하여 1개의 헬륨 원자핵이 형성되고 2개의 수소 원자핵이 방출된다.

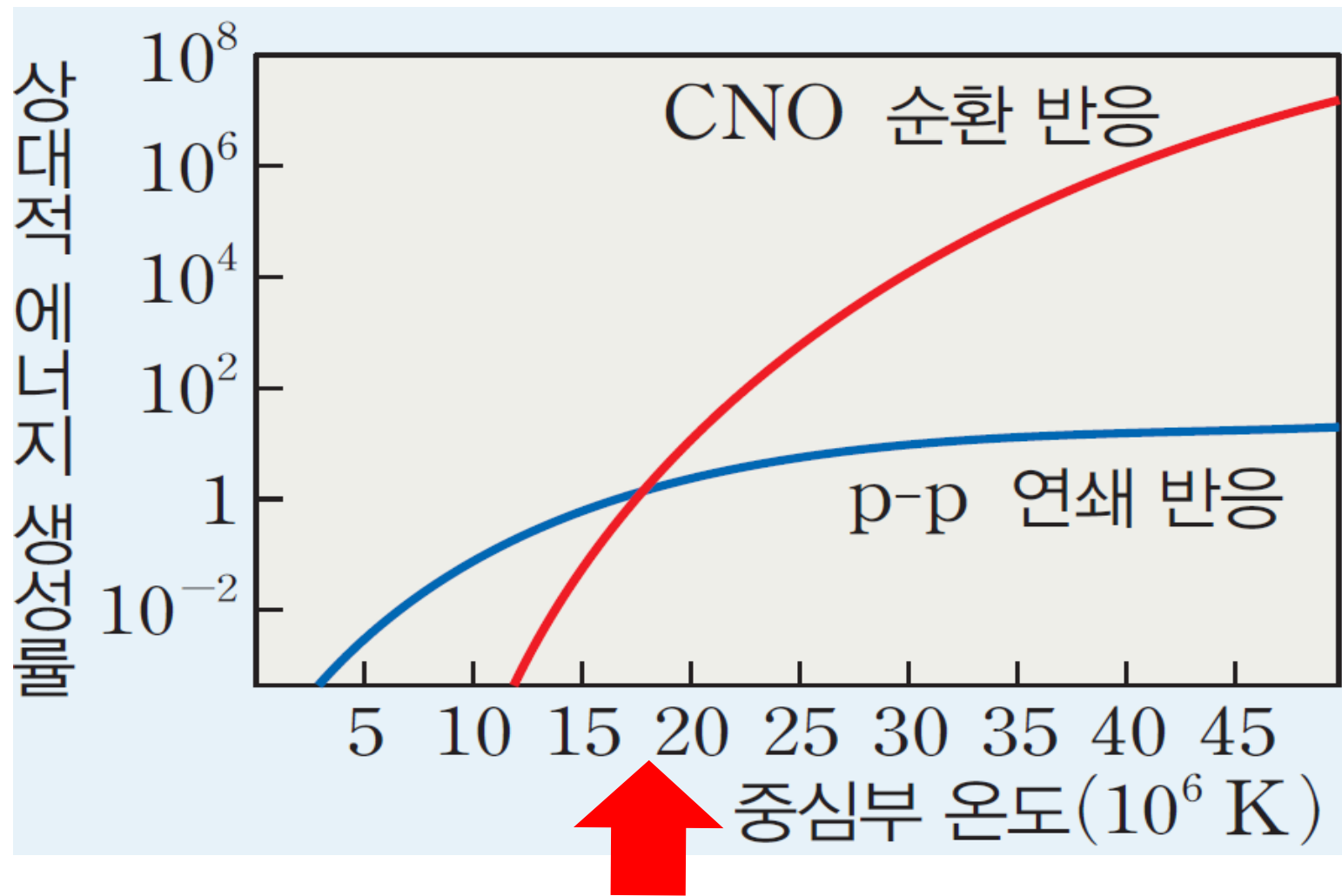
2. 주계열성의 에너지원 ④ 수소 핵융합 반응의 종류

탄소, 질소, 산소 순환 반응 (CNO 순환 반응)

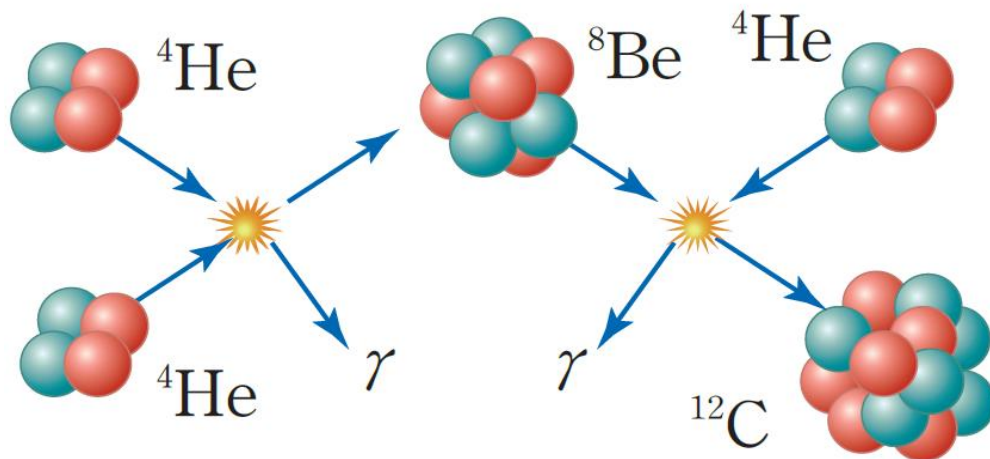


- 질량이 태양의 2배 이상인 주계열 상단의 별에서 우세한 반응
- 중심부 온도가 약 2000만 K보다 높은 별에서 우세한 반응
- 탄소, 질소, 산소가 촉매의 역할을 하여 수소 원자핵을 융합시켜 헬륨 원자핵이 되는 반응

2. 주계열성의 에너지원 ④ 수소 핵융합 반응의 종류



3. 거성의 에너지원 = 헬륨 핵융합 반응(3알파 반응)



① $3\text{He} \rightarrow 1\text{C}$

: 헬륨 원자핵 3개보다 탄소 원자핵 1개의 질량이 작다. 핵융합 반응에서 줄어든 질량은 질량-에너지 등가 원리에 의해 에너지로 전환된다.

② 반응 온도 : 1억 K 이상

③ 주계열 이후 단계에서 별의 중심부에서 수소가 모두 소진되고, 헬륨핵의 중력수축 이후 헬륨 핵융합 반응이 일어난다.

3. 적색 거성과 초거성의 에너지원

- 더 무거운 원소의 핵융합 반응



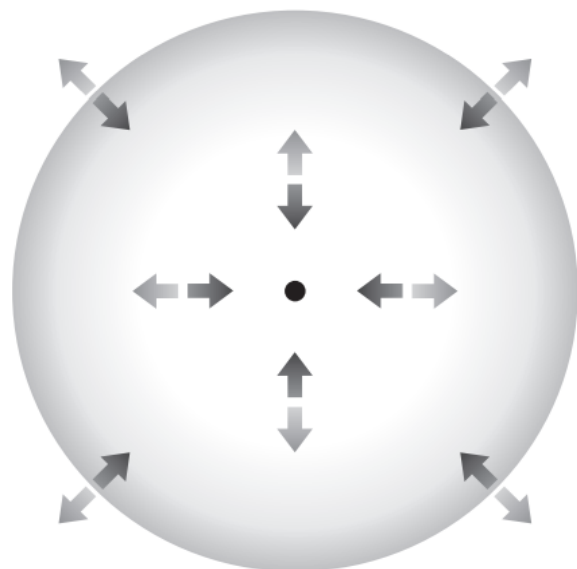
① 질량이 큰 별은 중력 수축에 의해 중심부의 온도가 더 높아지기 때문에 헬륨보다 더 무거운 원소들의 핵융합 반응이 일어난다.

별의 질량이 클수록 중심부에서는 헬륨 이후에 탄소, 산소, 네온, 마그네슘, 규소 등의 핵융합 반응이 순차적으로 일어난다.

② 별의 중심에서 핵융합을 통해 만들어질 수 있는 **가장 무거운 원소는 철**₁₂

4. 별의 내부 구조

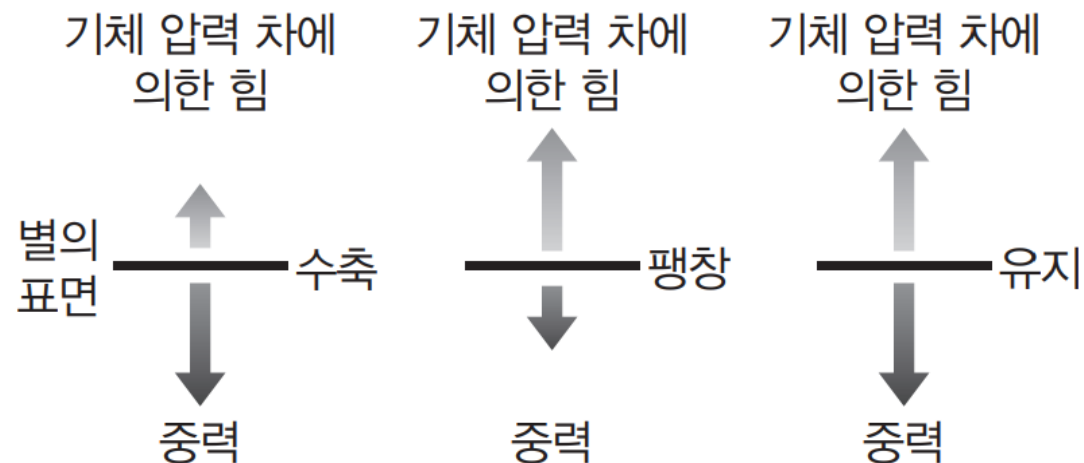
- 주계열성의 내부 구조



→ 기체 압력 차에 의한 힘
→ 중력

정역학 평형 상태

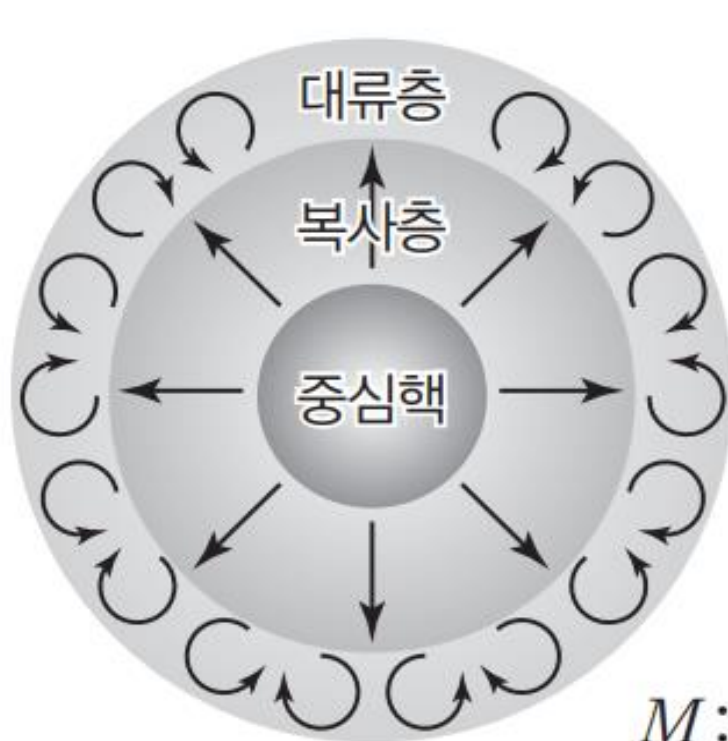
중력 = 내부압력 \Rightarrow 크기 일정!



수소 핵융합 반응으로 중심부 온도가 더욱 상승하면 내부 압력이 커져서 중력과 평형을 이루므로 더 수축하지 않는다.

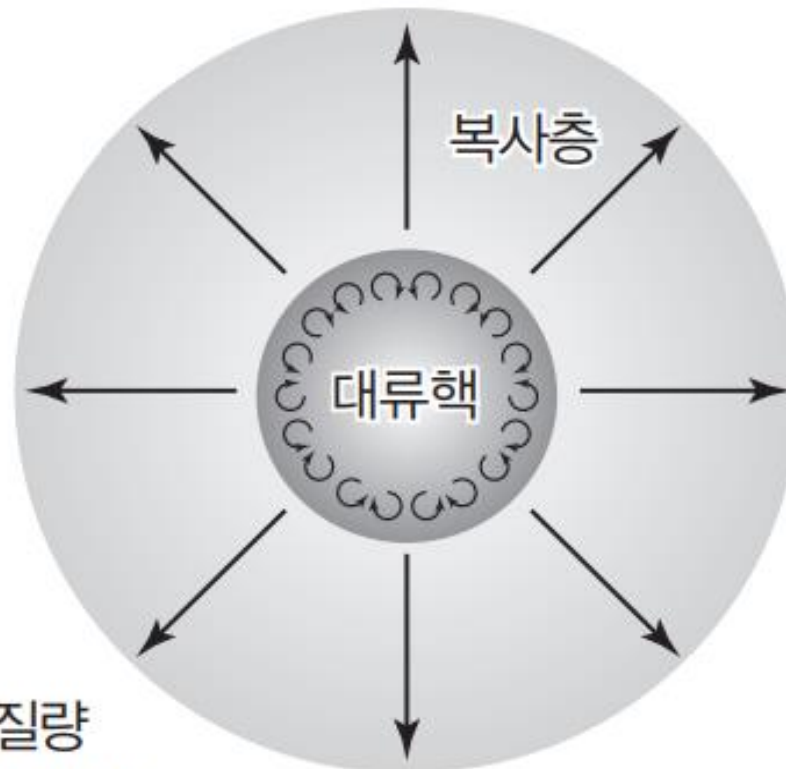
4. 별의 내부 구조

- 질량에 따른 에너지 전달 방식



$$M < 2M_{\odot}$$

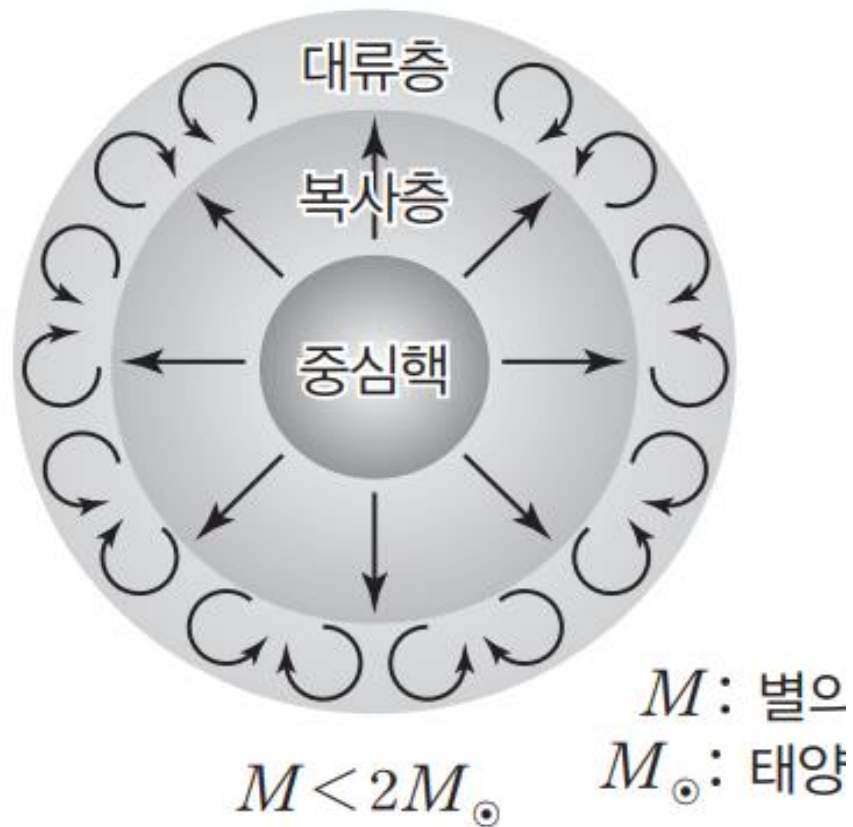
M : 별의 질량
 M_{\odot} : 태양의 질량



$$M > 2M_{\odot}$$

4. 별의 내부 구조

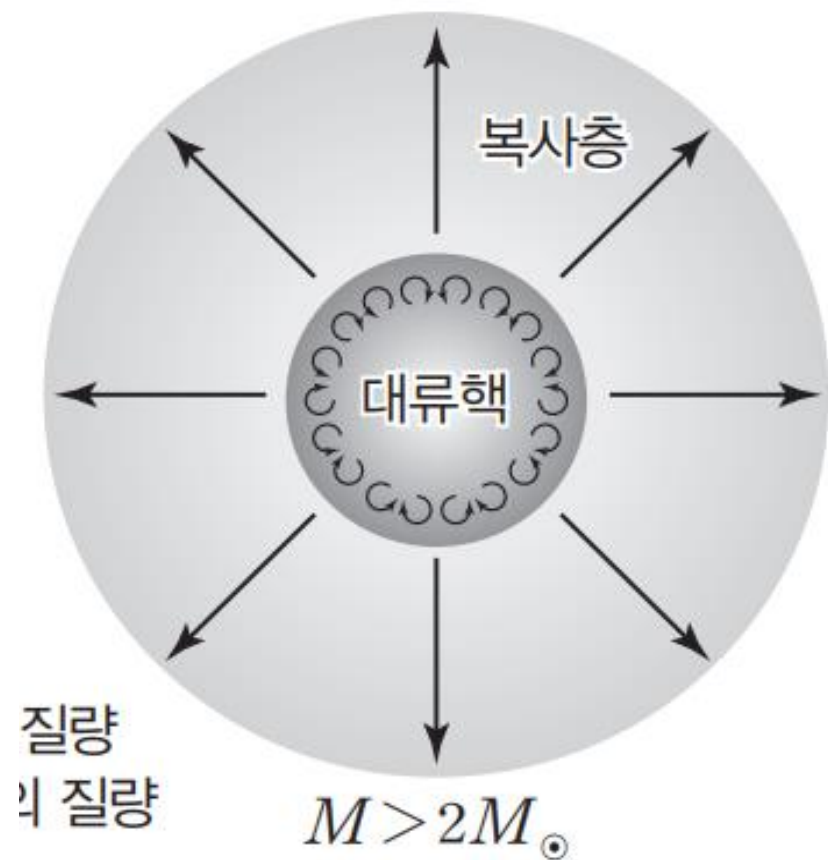
- 질량에 따른 에너지 전달 방식



- 태양과 질량이 비슷한 별
 - 중심부에서 생성된 에너지가 중심으로부터 약 70%에 이르는 거리까지 복사로 전달, 그 이후부터 대류로 별의 표면까지 전달
 - 표면 부근 외피부는 온도가 급격히 낮아지면서 온도 경사가 커지고 물질의 불투명도가 증가하므로 대류 일어남.

4. 별의 내부 구조

- 질량에 따른 에너지 전달 방식



- 별의 질량이 매우 커 핵융합 반응이 일어나는 부피가 크므로 **중심핵에서 온도 경사가 급격함.**
- 중심부에서 대류의 형태로 전달되고,
- 외피부에서 복사의 형태로 에너지가 전달됨.

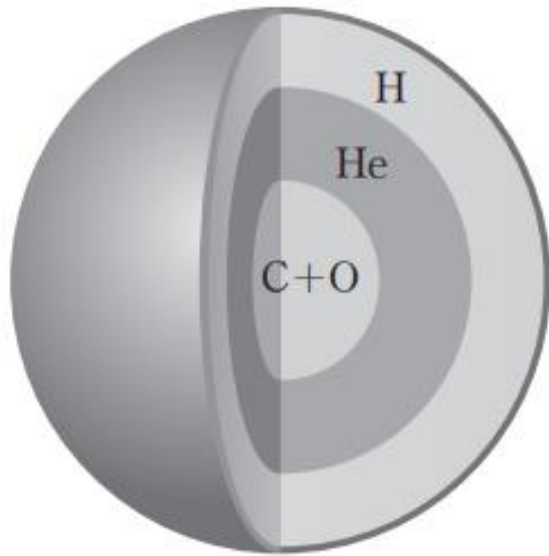
4. 별의 내부 구조

- 주계열 단계 이후 별의 내부 구조

중심으로 갈수록 더 무거운 원소로 이루어진 **양파 껍질 구조**를 이룬다.

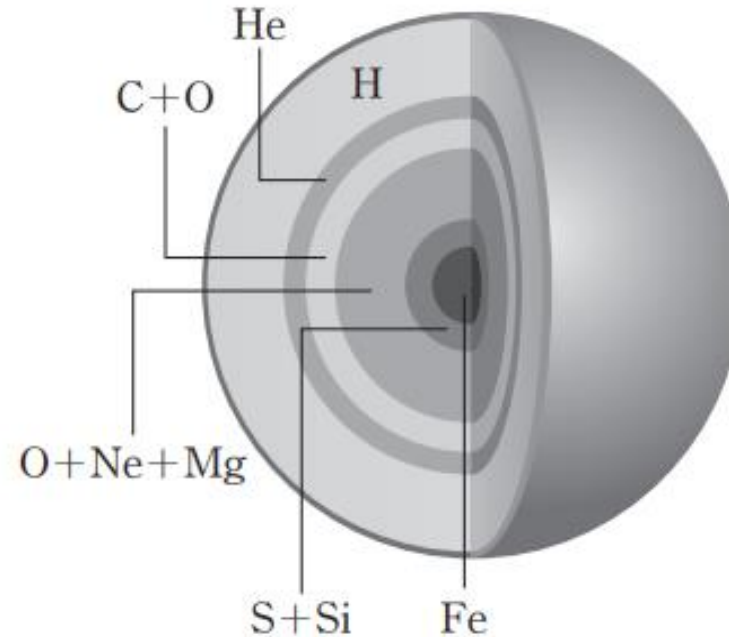
4. 별의 내부 구조

- 주계열 단계 이후 별의 내부 구조



질량이 태양 정도인 별

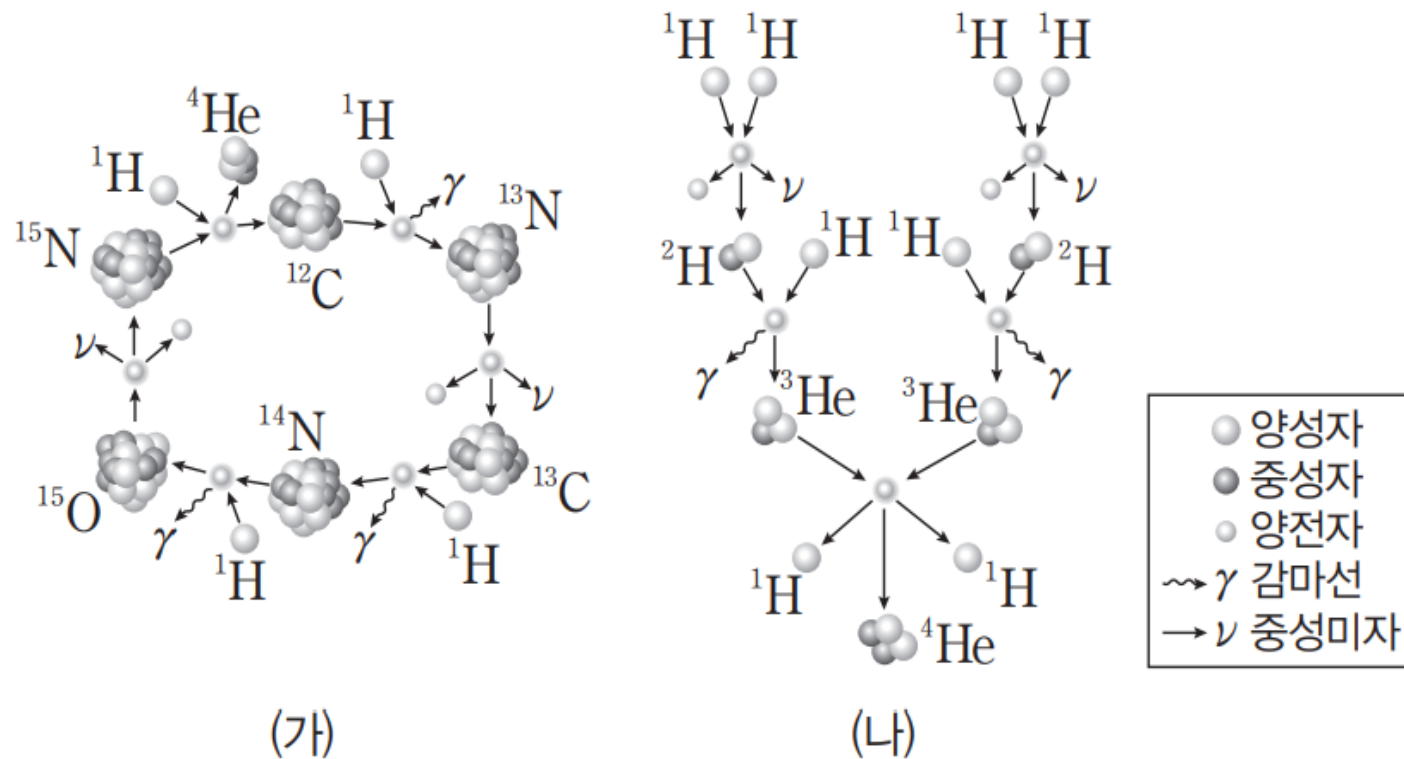
태양 질량의 8배보다 작은 별



질량이 매우 큰 별

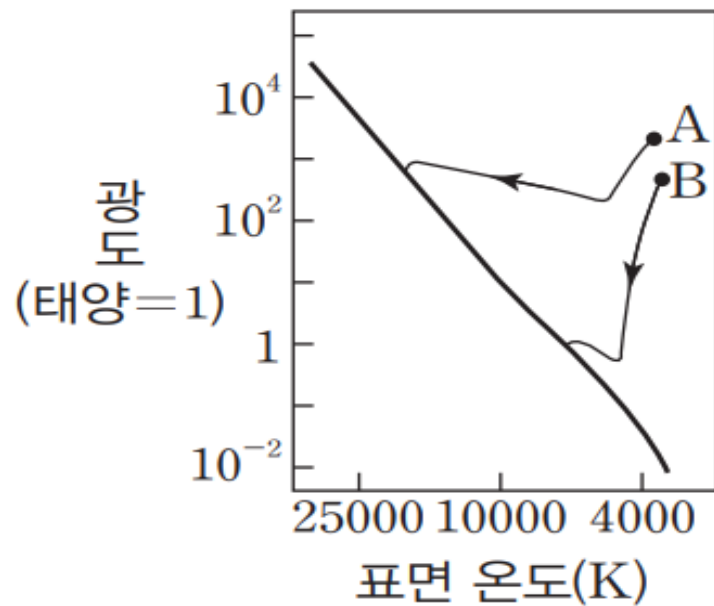
태양 질량의 8배보다 큰 별

2021학년도 6월 19번

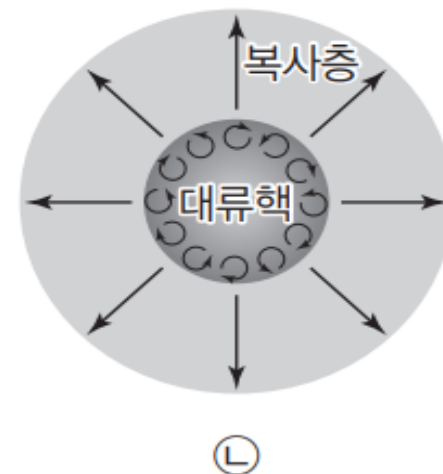
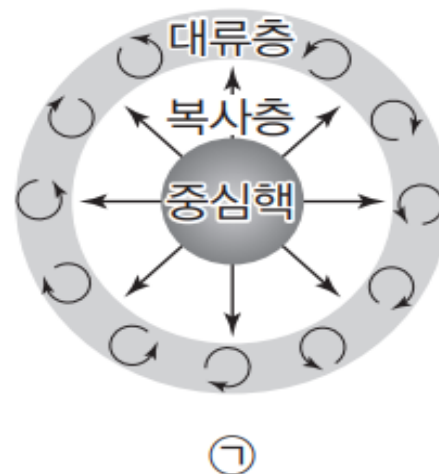


- ㄱ. 별의 내부 온도는 A가 B보다 높다.
- ㄴ. (가)에서는 C는 촉매이다.
- ㄷ. (가)와 (나)에 의해 별의 질량은 감소한다.

2019학년도 9월 지표 12번



(가)



(나)

- ㄱ. 주계열성이 되는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 길다.
- ㄴ. A가 주계열 단계에 있을 때의 내부 구조는 ㉡이다.
- ㄷ. 핵에서의 CNO 순환 반응은 ㉠이 ㉡보다 우세하다.

수고하셨습니다.

별의 에너지원과 내부 구조

-끝-