

섬세한 세경쌤의 한 장에 개념노트

학번 : _____ 이름 : _____

PART 주제	PART 02. 별의 진화와 원소의 생성
PART 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 별이 진화하는 과정에서 무거운 원소가 생성된다는 것을 설명할 수 있다. - 태양계의 재료이면서 생명체를 구성하는 원소들이 만들어지는 과정을 통해 지구와 생명의 역사가 우주 역사의 일부분이라는 것을 해석할 수 있다.
소단원 주제	02. 별의 진화
수업 학습 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 질량이 태양 정도인 별의 진화 과정을 핵융합 반응과 내부 힘의 관계를 통해 설명할 수 있다. - 질량이 태양보다 무거운 별의 진화 과정을 초거성과 초신성 폭발을 통해 설명할 수 있다. - 별의 질량에 따라 달라지는 별의 종말 단계에 대해 구분 지어 설명할 수 있다.

수업 목차

PART 02. 별의 진화와 원소의 생성

02. 별의 진화

- (1) 주계열성의 진화($M_{\star} \approx M_{\odot}$)
- (2) 주계열성의 진화($M_{\star} \gg M_{\odot}$)
- (3) 별의 진화 최종 정리

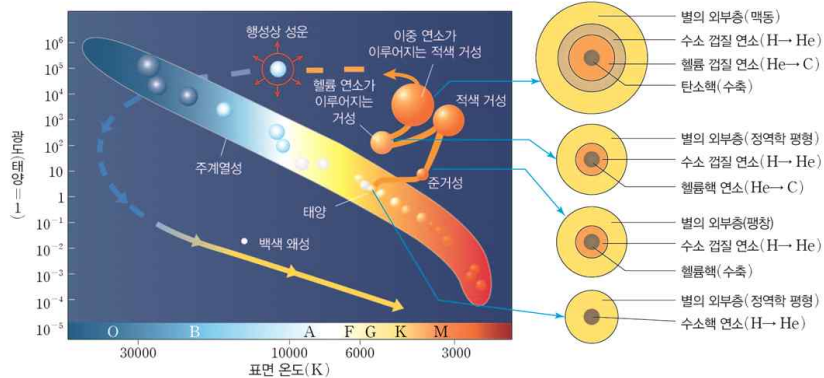
오늘의 핵심 개념

〈별의 진화〉

섬세한 세경쟁의 한 장에 개념노트

주계열성의 진화($M_* \approx M_\odot$)

주계열성의 진화($M_* \approx M_\odot$) : 주계열성 → 적색 거성 → 행성상 성운 → 백색 왜성

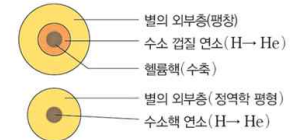


<1>

주계열성의 진화($M_* \approx M_\odot$)

주계열성 단계의 종료

- 중심핵에서 ()가 모두 소진되면 주계열성 단계 종료
- 힘의 관계 : (기체 압력 중력) → () 중심핵 수축



적색 거성의 탄생(수소 껍질 연소 단계)

- 주계열 이후 헬륨핵은 중력 수축에 따라 온도 ()
- 중심핵 주변 수소 껍질도 열에너지 전달에 따라 온도 ()
- 수소 껍질의 온도가 1,000만K에 도달하면 수소 껍질에서 () 개시
- 수소 껍질 연소로 별 외곽층에 에너지 전달 → 별의 외곽층이 급격히 ()
- 따라서 별의 광도는 ()하고, 표면 온도는 ()하여 적색 거성 탄생

<2>

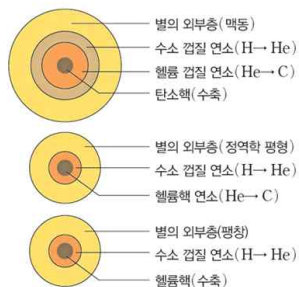
주계열성의 진화($M_* \approx M_\odot$)

적색 거성의 진화(헬륨핵 연소 단계)

- 헬륨 중심핵의 온도가 중력 수축에 따라 ()K에 도달
- 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응 개시

적색 거성의 진화(탄소핵 수축 단계)

- 별칭 : Double Shell Burning 단계
- 중심핵에서 ()이 모두 소진되면 헬륨핵 연소 단계 종료
- 힘의 관계 : (기체 압력 중력) → () 중심핵 수축
- 중심핵 주변 헬륨 껍질도 열에너지 전달에 따라 온도 ()
- 헬륨 껍질의 온도가 1억K에 도달하면 헬륨 껍질에서 () 개시
- 헬륨 껍질과 수소 껍질에서 동시에 핵융합 반응 발생 (Double Shell Burning)
- 탄소핵은 계속 수축하며 열에너지를 쌓아 나가지만, 탄소 핵융합 반응을 할 온도에는 도달 X
- 따라서 $M_* \approx M_\odot$ 의 질량을 갖는 주계열성은 중심핵에서 탄소(C)까지만 핵융합 가능



<3>

주계열성의 진화($M_* \approx M_\odot$)

행성상 성운

- 헬륨 껍질 연소의 특성에 따라 별의 외곽층이 빠르게 우주 공간으로 방출되어 중심부에는 탄소핵, 주변에는 얇은 성운이 감싼 듯한 모양을 보이는 천체



※ 헬륨 껍질 연소의 특성

- 헬륨의 핵융합 반응(3α 과정)은 온도 변화에 매우 민감
- [별의 팽창] → [온도 감소] → [핵융합 반응 중지] → [별의 수축]
- [온도 증가] → [핵융합 반응 개시] → [별의 팽창] → ... 반복

백색 왜성

- 별의 외곽층이 모두 우주 공간으로 방출되어 중심부의 탄소핵만 존재하는 천체 → 계속된 중력 수축 → 천체의 밀도 ()
- 탄소 핵융합 반응을 하지 못하는 주계열성의 마지막 진화 단계



<4>

섬세한 세경쟁의 한 장에 개념노트

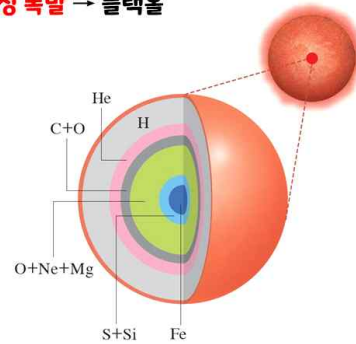
주계열성의 진화($M_* \gg M_\odot$)

주계열성의 진화($M_* \gg M_\odot$)

- 주계열성 질량($8 M_\odot$ 이상) : 주계열성 → 초거성 → 초신성 폭발 → 중성자별
- 주계열성 질량($25 M_\odot$ 이상) : 주계열성 → 초거성 → 초신성 폭발 → 블랙홀

질량이 크다 = 연료가 충분하다

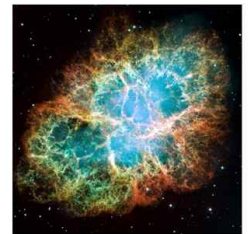
- 질량이 큰 주계열성은 중심핵의 온도가 계속해서 상승하며 <초거성 단계>로 진입
- 탄소 핵융합 반응을 넘어 그 이상의 원소를 생성
- 이로 인해 별은 양파 껍질 모양의 내부 구조를 가지게 되며, 중심으로 갈수록 무거운 원소가 쌓여가지만, 핵융합 반응만으로는 철(Fe)까지만 생성 가능



주계열성의 진화($M_* \gg M_\odot$)

초신성 폭발

- 핵융합 반응만으로는 철(Fe)까지만 생성 가능
- 철(Fe) 중심핵은 중력 수축에 따라 중심핵 밀도 점점 (상승 / 하강)
- 중심핵의 밀도가 너무 높아져 물리적 한계점에 도달하면 중심핵은 끝내 폭발
- 이때 엄청난 에너지가 생성되며 광도가 매우 높아지고, 철(Fe)보다 무거운 원소 합성 및 방출
- 폭발에 따른 충격파가 성간 물질을 압축하여 별 탄생을 촉진하기도 함



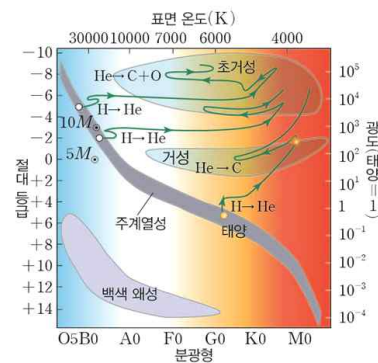
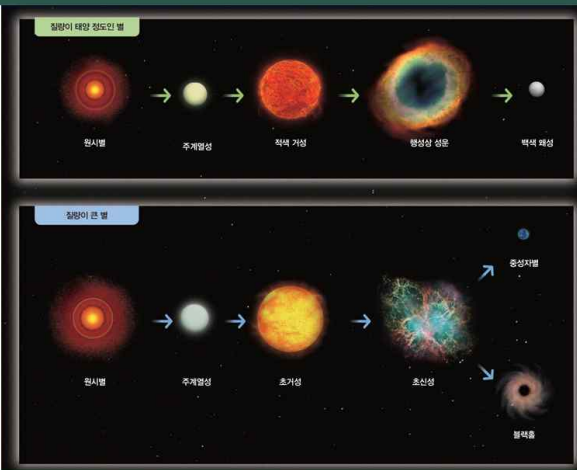
중심핵의 질량에 따른 별의 최후

- 중심핵 질량 : $1.4 M_\odot$ 미만 → 백색 왜성
- 중심핵 질량 : $1.4 M_\odot \sim 3 M_\odot$ → 중성자별
- 중심핵 질량 : $3 M_\odot$ 초과 → 블랙홀

<5>

<6>

별의 진화 최종 정리



<7>

<8>