

섬세한 세경쌤의 한 장에 개념노트

학번 : _____ 이름 : _____

PART 주제	PART 14. 별의 진화와 에너지원
PART 목표	<div><div>- 질량에 따른 별의 진화 과정을 비교할 수 있다.</div><div>- 질량에 따른 별의 종말의 차이를 설명할 수 있다.</div><div>- 주계열성의 에너지를 설명하고, 질량이 다른 주계열성의 내부 구조를 비교할 수 있다.</div></div>
소단원 주제	O3. 별의 에너지원과 내부 구조
수업 학습 목표	<div><div>- 중력 수축 에너지를 이해하고, 이를 통해 태양의 수명을 설명할 수 있다.</div><div>- 수소 핵융합 반응을 p-p 연쇄 반응과 CNO 순환 반응으로 구분하고 특징을 설명할 수 있다.</div><div>- 헬륨 핵융합 반응의 대략적인 과정을 설명할 수 있다.</div><div>- 질량에 따른 주계열성의 내부 열 전달 구조를 비교할 수 있다.</div></div>

수업 목차

오늘의 핵심 개념

- PART 14. 별의 진화와 에너지원
- O3. 별의 에너지원과 내부 구조
- (1) 중력 수축 에너지

(2) 수소 핵융합 반응

(3) 헬륨 핵융합 반응

(4) 질량에 따른 주계열성의 내부 구조

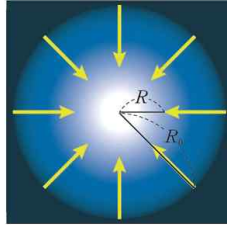
〈별의 에너지원과 내부 구조〉

섬세한 세경쟁의 한 장에 개념노트

중력 수축 에너지

중력 수축에 따른 에너지 생성

- 중력 수축에 따라 감소한 위치 에너지의 일부가 복사 에너지로 전환
- 중력 수축에 따라 복사 에너지(E)는 $E = \frac{1}{2} \frac{GM^2}{\Delta R}$ 만큼 형성됨
- 중력 수축이 일어나는 영역의 온도는 점차 (상승 / 하강)
- 형성된 복사 에너지는 천체 내부에서 표면을 거쳐 우주 공간으로 방출



중력 수축 에너지

“태양이 방출하는 에너지는 중력 수축에 의한 것일까?”에 대한 고민

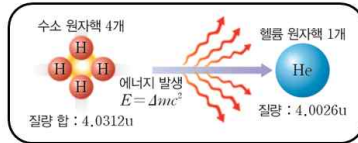
- 태양이 중력 수축으로 만들 수 있는 에너지 $E = \frac{1}{2} \frac{GM_{\odot}^2}{R_{\odot}} \approx 2 \times 10^{41} \text{ J}$
- 태양의 광도(태양이 1초에 방출하고 있는 에너지) $L \approx 4 \times 10^{26} \text{ J/s}$
- If, 태양의 광도를 오로지 중력 수축으로 설명한다면 태양의 수명이 최대 1600만년으로 계산됨
- But, 여러 관측 기법으로 알아낸 태양의 나이는 이미 50억년...!!
- ☞ 태양의 광도를 중력 수축으로 설명하는 것은 말이 안됨!!
- ☞ 태양이 방출하는 에너지는 중력 수축에 의한 것이 아니라 다른 과정에 의한 것이겠구나!!
- 그럼 이 상황을 어떻게 설명할 수 있지?? ☞ ()에 따른 에너지 생성 과정으로 설명

<1>

수소 핵융합 반응

기본 과정

- 4개의 수소 원자핵이 융합하여 1개의 헬륨 원자핵을 만들 때 생기는 질량 차이가 에너지로 방출
- 핵융합 온도 조건: ()K
- [질량-에너지 등가 원리]: $E = \Delta mc^2$
→ (질량 결손율: 수소 전체 질량의 약 0.7%), (광속: $3 \times 10^8 \text{ m/s}$)
- [질량-에너지 등가 원리]로 계산한 태양의 수명
→ 태양의 수명: 약 ()년으로 예상



수소 핵융합 반응의 종류

- 중심핵의 온도와 구성 원소의 특성에 따라 2가지의 다른 과정이 존재
- ① () 반응(양성자-양성자 연쇄 반응)
- ② () 반응(탄소-질소-산소 순환 반응)

<3>

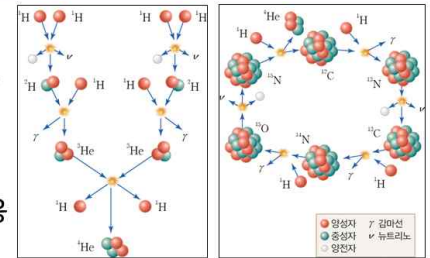
수소 핵융합 반응

p-p 연쇄 반응 : (높은 / 낮은) 온도에서 우세한 반응

- 양성자가 연쇄 융합하여 헬륨 원자핵을 생성하는 반응

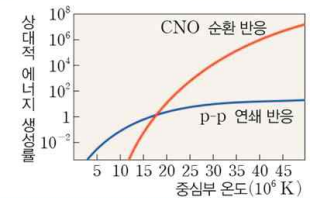
CNO 순환 반응 : (높은 / 낮은) 온도에서 우세한 반응

- 탄소 원자핵과 수소 원자핵의 결합을 시작으로 질소, 산소 원자핵을 거쳐 헬륨 원자핵을 생성하는 반응
→ 별이 (,) 원자를 갖고 있어야 가능한 반응



수소 핵융합 반응의 에너지 생성률

- 전환점: p-p 연쇄 반응보다 CNO 순환 반응이 우세해지는 온도
- 전환점의 온도: ()K
- 전환점의 주계열성 질량: () M_{\odot}
- 현재 태양의 중심부 온도: ()K → 우세한 반응:



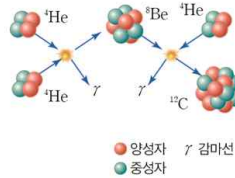
<4>

섬세한 세경쌤의 한 장에 개념노트

헬륨 핵융합 반응

기본 과정

- 헬륨 원자핵 3개가 융합하여 1개의 탄소 원자핵을 생성하는 반응
- 핵융합 온도 조건 : ()K
- 이 과정에서도 역시 질량 결손에 따라 복사 에너지 생성



핵융합 반응 Quiz

- 1) 수소 핵융합 반응은 ()과 ()으로 구분된다.
- 2) 수소 핵융합 반응 에너지를 전환점의 온도 조건은 ()K 이다.
- 3) 태양은 주로 ()을 이용하여 에너지를 생성한다.
- 4) 태양에서는 CNO 순환 반응이 일어나지 않는다. (O / X)
- 5) 태양은 특정 진화 단계에서 헬륨 핵융합 반응을 개시할 수 있다. (O / X)

<5>

질량에 따른 주계열성의 내부 구조

$[M_* < 2M_{\odot}]$ 조건의 주계열성

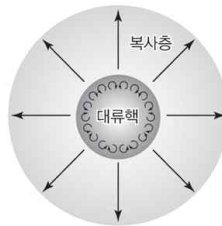
- 중심핵에서 생성되는 에너지량
→ 상대적으로 (많음 / 적음)
- 중심핵 주변에서 온도 정도 ()
- 중심핵 → () → ()

$[M_* > 2M_{\odot}]$ 조건의 주계열성

- 중심핵에서 생성되는 에너지량
→ 상대적으로 (많음 / 적음)
- 중심핵 주변에서 온도 정도 ()
- 중심핵 → () → ()

심화 개념(Bonus)

- 복사 영역과 대류 영역 크기 비교
- 영역 크기 : (복사층 대류층)



<7>

질량에 따른 주계열성의 내부 구조

열에너지의 전달 방식의 종류

- ① 전도(Conduction)
 - 물체가 접촉으로 열에너지를 전달하는 방법
 - 고체가 아닌 유체의 경우에는 전도의 효율 ↓
- ② 대류(Convection)
 - 온도 차이에 따른 유체의 움직임에 의해 열에너지를 전달하는 방법
 - 주로 불투명도가 높고, 온도 정도(기울기)가 (큰 / 작은) 상황에서 우세
- ③ 복사(Radiation)
 - 물체 자체에서 방출된 열에너지가 전자기파를 통해 직접 전달되는 방법
 - 주로 불투명도가 낮고, 온도 정도(기울기)가 (큰 / 작은) 상황에서 우세

<6>

<8>