

AGA0100

8.1 De onde vem a energia das estrelas?

- De onde vem os átomos dos elementos químicos como C, N, O, Fe etc?
- De onde vem a energia das estrelas?

*São duas faces da mesma moeda*

*São duas versões da mesma história*

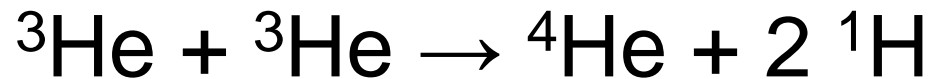
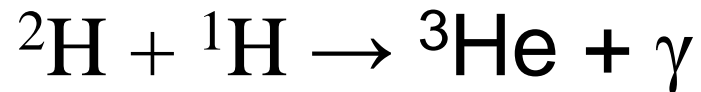
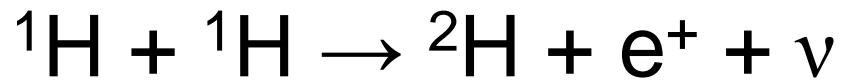
- **Cadeia p-p**

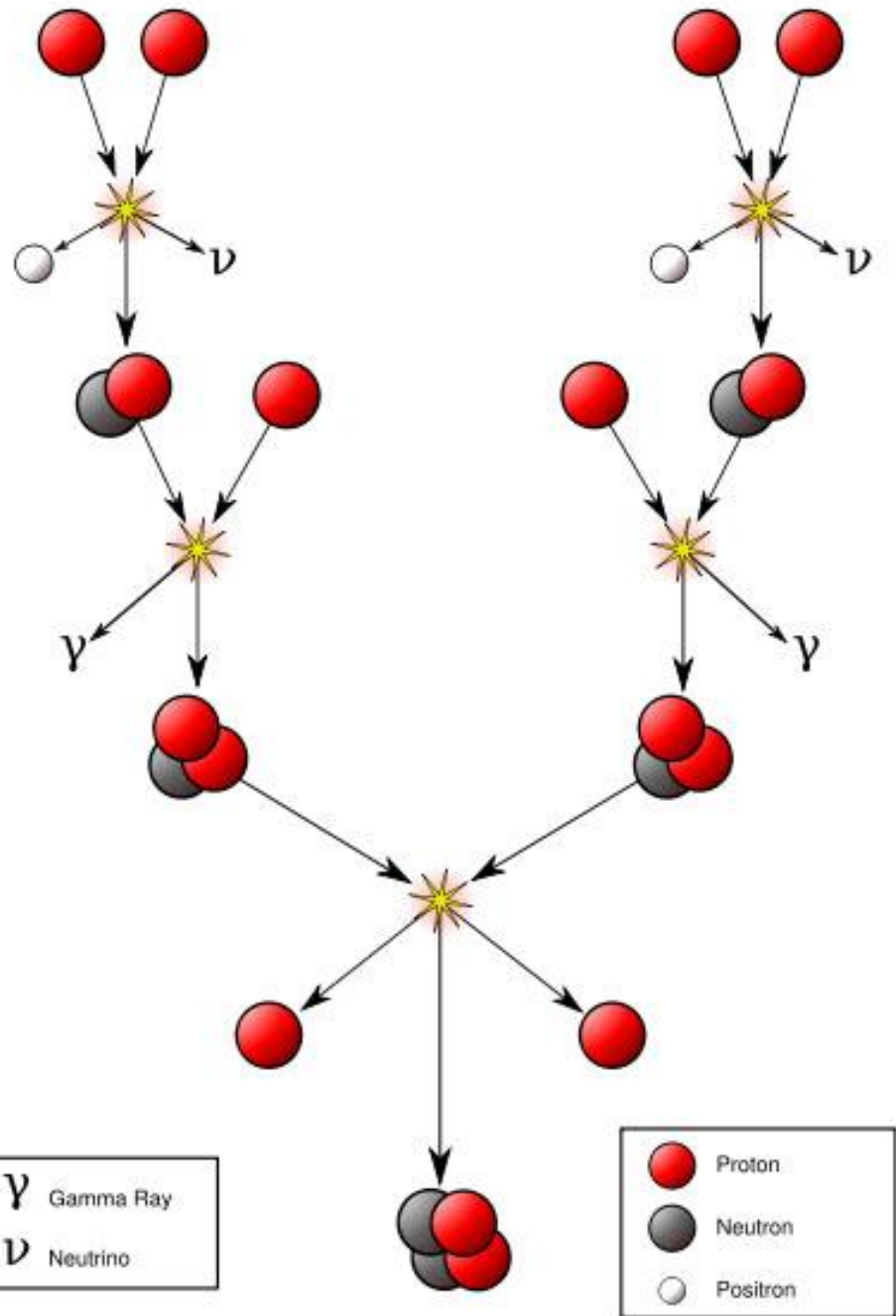
Proposta por Hans Bethe em 1939 (Prêmio Nobel de Física em 1967)

- **Ciclo CNO**

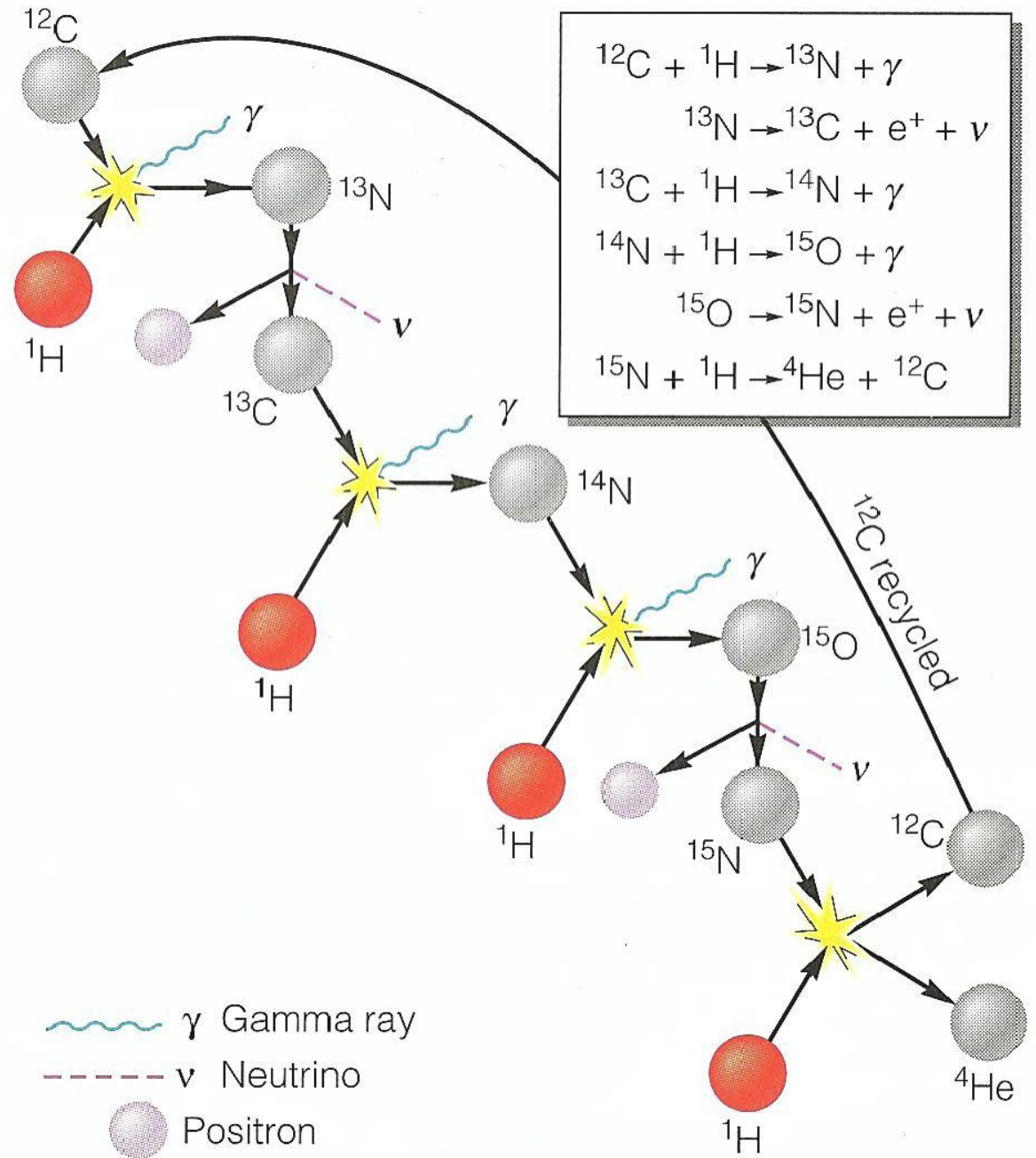
Proposto por Carl von Weizsäcker em 1938 e por Hans Bethe em 1939 de forma independente.

A cadeia p-p (dominante em estrelas de baixa massa; ver aula sobre interior do Sol)

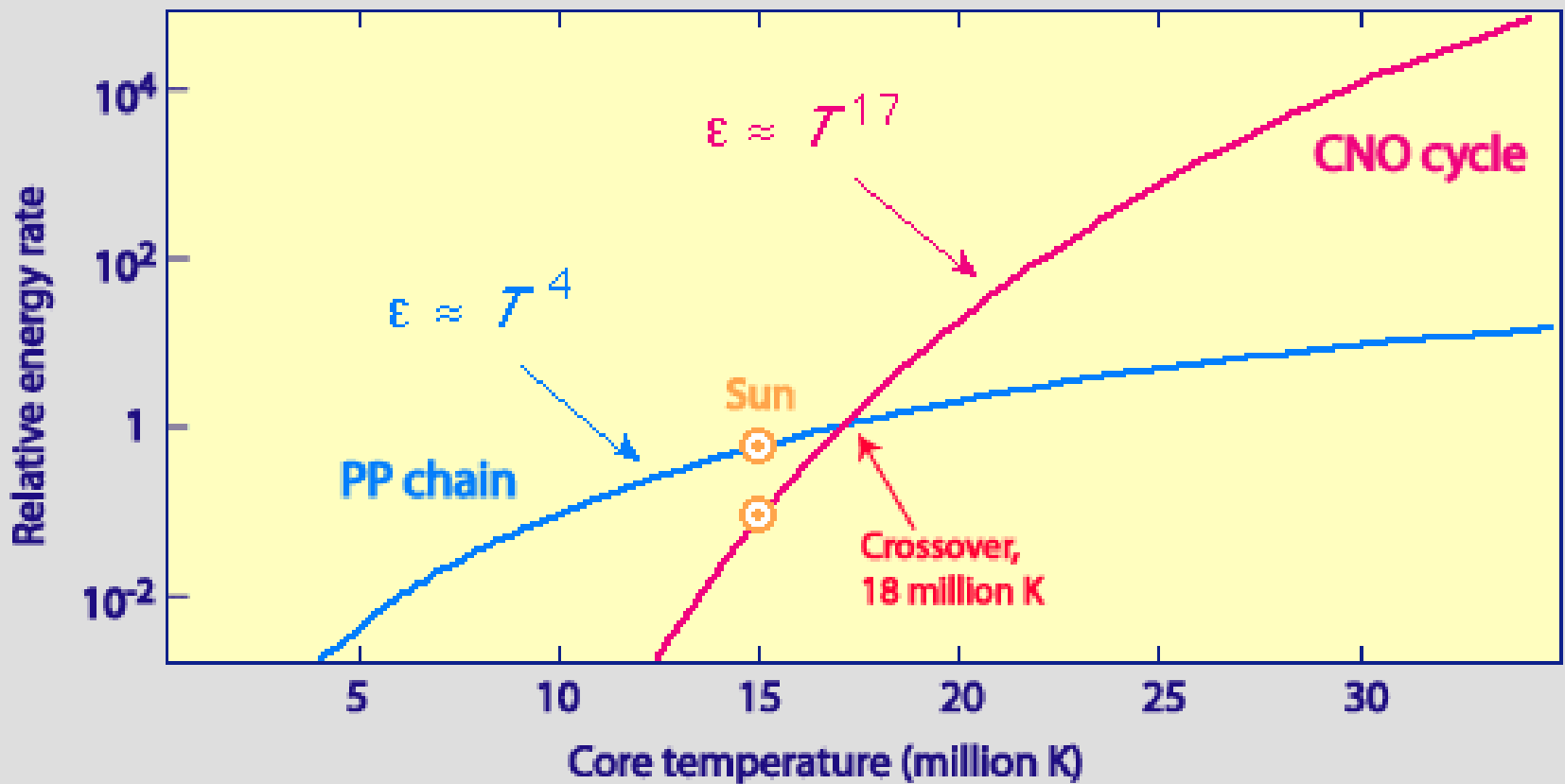




# O Ciclo CNO (dominante em estrelas massivas)



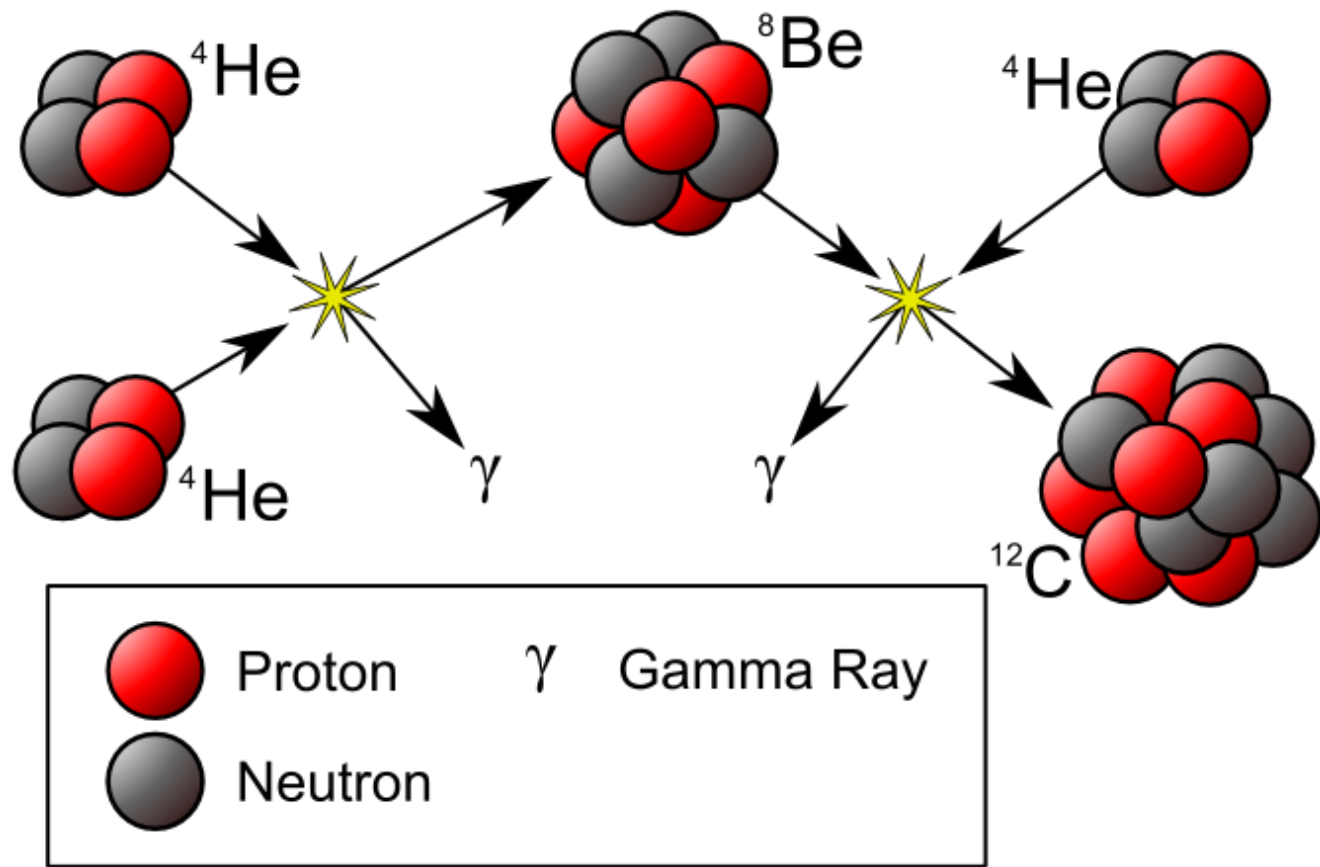
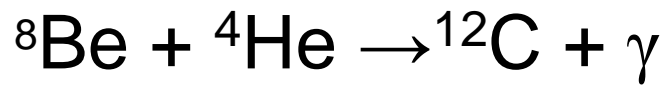
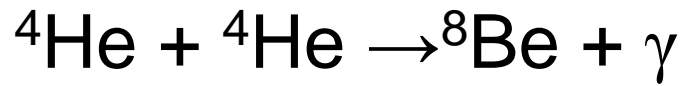
O ciclo CNO é muito mais sensível à temperatura do que a cadeia pp



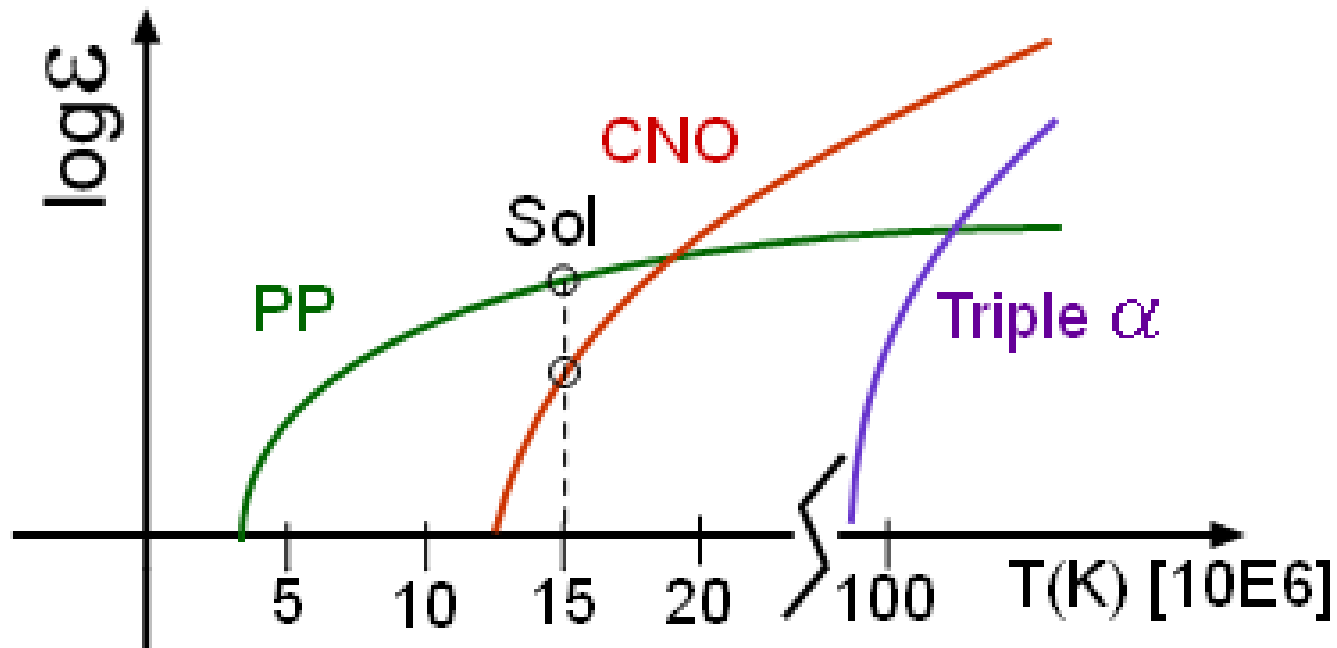
- Nos ciclos p-p e CNO o combustível é H e o He é a “cinza” que sobra da combustão.
- No ramo das gigantes, o núcleo de He se contrai e o H queima na casca desse núcleo.



# Ciclo do triplo alfa



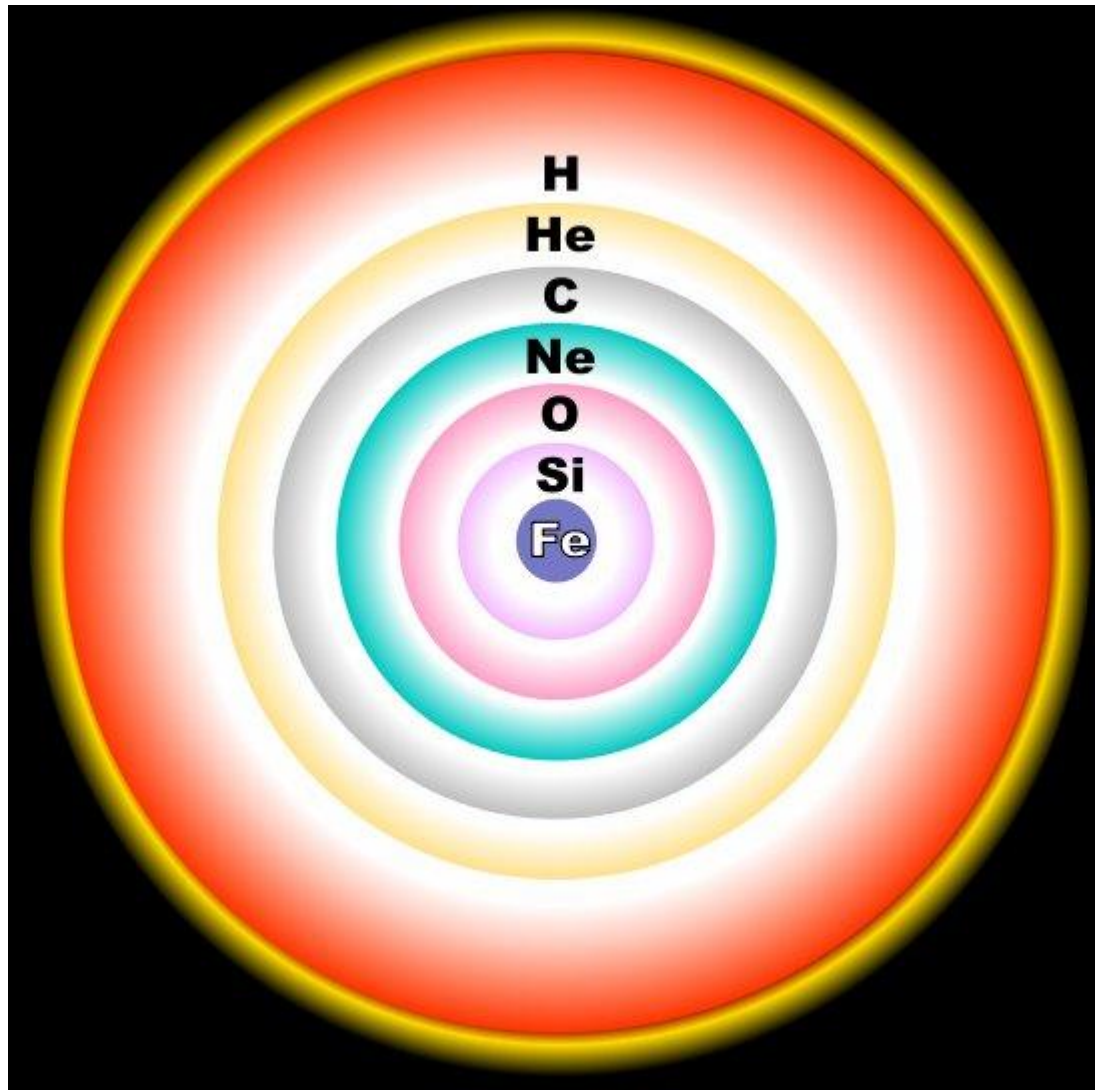
O ciclo triplo alfa só funciona a muito altas temperaturas: 100 milhões de °K



- Esta temperatura só é alcançada na fase avançada da gigante vermelha.
- Ocorre, então o *flash* do He
- Com isso o combustível passa a ser o He deixando o C (+ O) como “cinza”.

- Para estrelas com  $M < 5 M_{\text{sol}}$  a temperatura central não atinge valores mais altos
- Para estrelas de massa mais alta o ciclo pode continuar, queimando C e produzindo Si, Mg até Fe
- Estes são núcleos exo-energéticos. Só podem ser gerados cedendo energia, o que pode ocorrer na fase explosiva das supernovas.

# Alquimia cósmica: estrutura de uma supergigante vermelha



- Núcleos atômicos mais pesados do que Fe são endo-energéticos: são formados em explosões de supernovas.
- Nas nebulosas planetárias e supernovas, os elementos químicos gerados nas estrelas são expulsas para o espaço; “enriquecem” a próxima geração de estrelas.

Estrelas de massa inicial menor do que 8  $M_{\text{sol}}$  produzem nebulosas planetárias. Estrelas com massa maior produzem supernovas.

