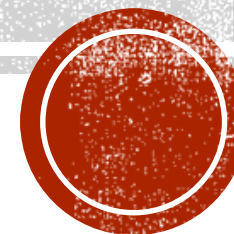


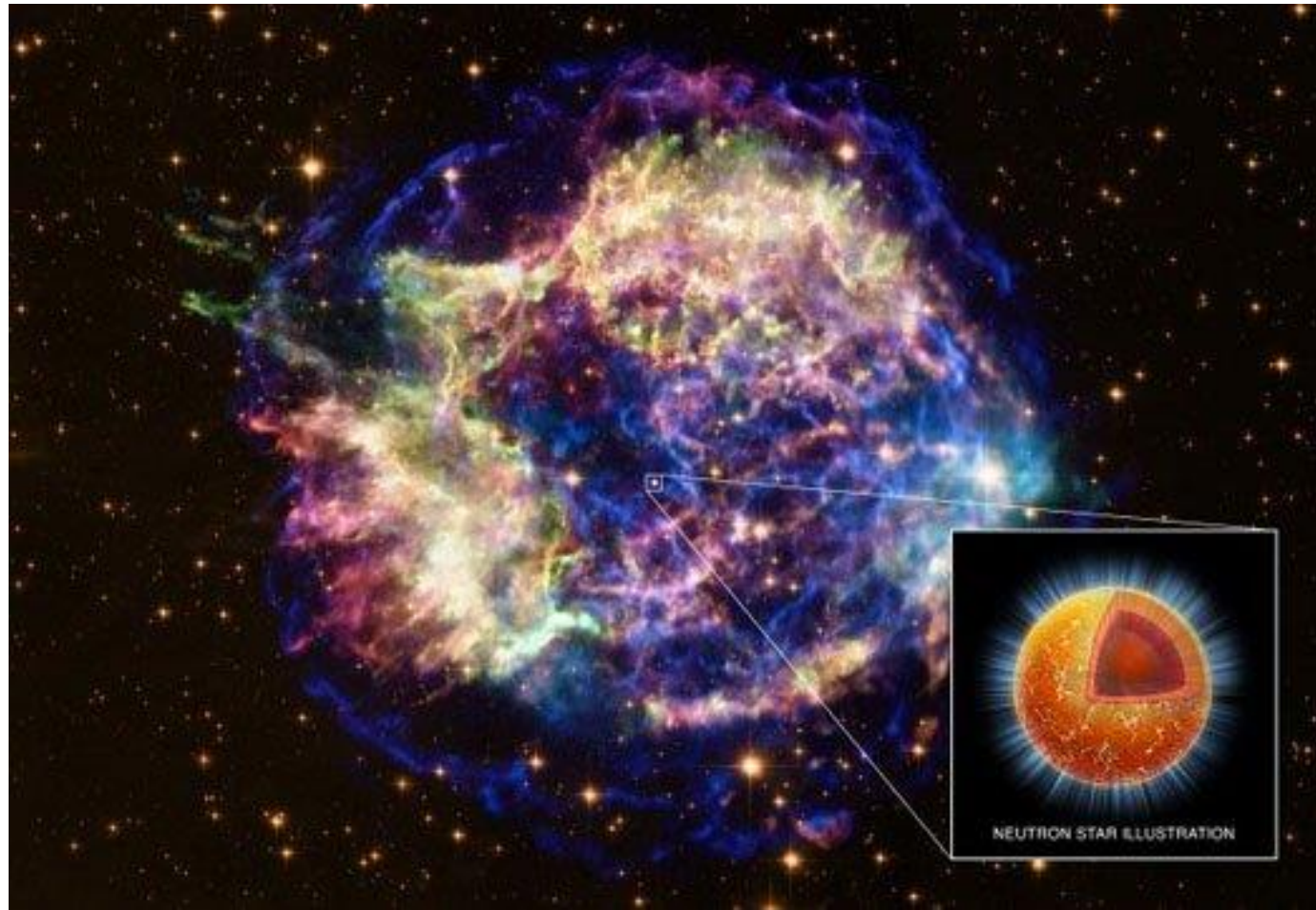
FÍSICA DE ESTRELAS DE NÊUTRONS

Rodrigo Picanço Negreiros – Universidade Federal
Fluminense



INTRODUÇÃO

- Vamos discutir os mais recentes avanços no estudo da evolução térmica de estrelas compactas.
- Os mais recentes dados observacionais também serão discutidos.



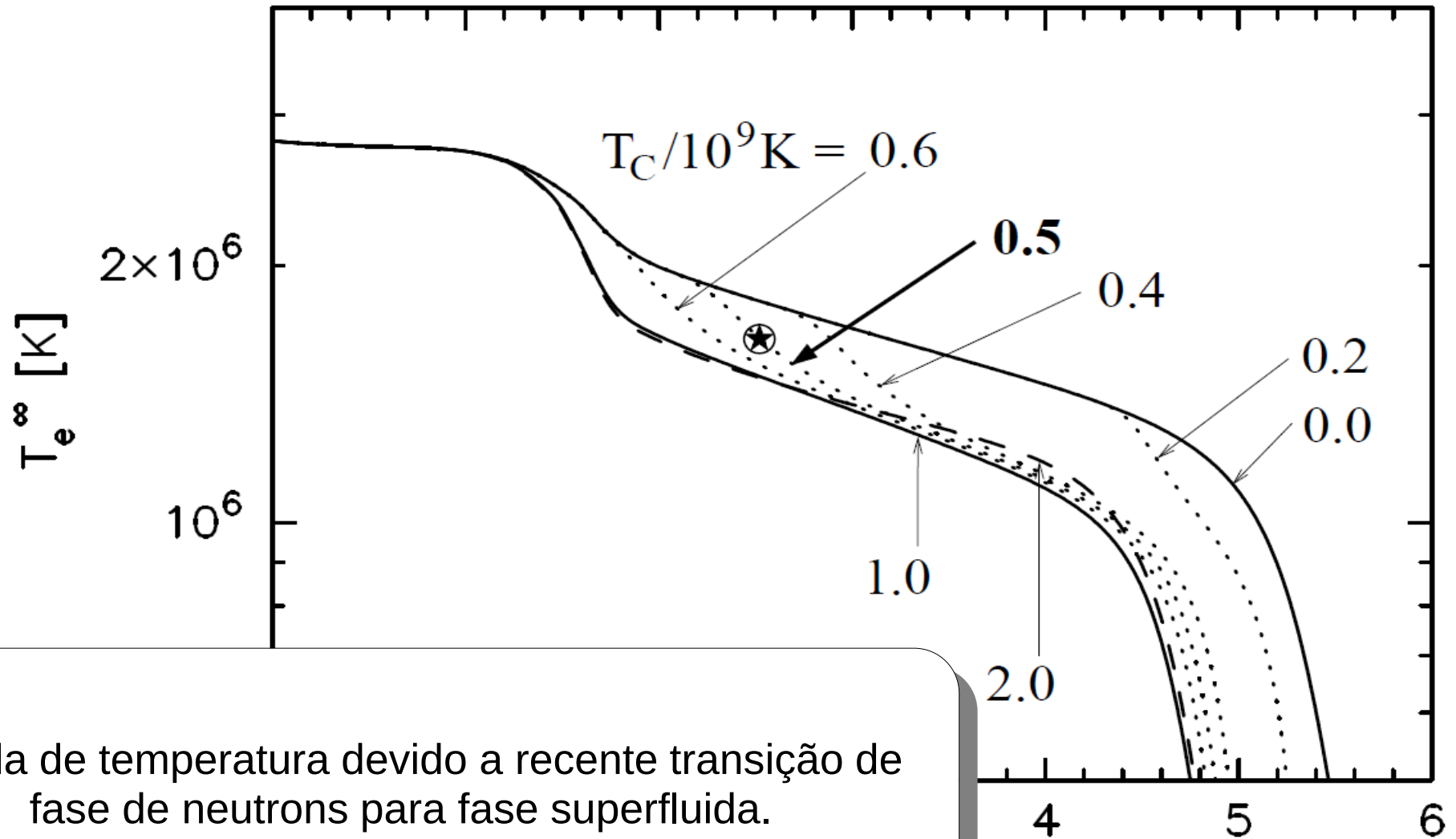
CASSIOPEIA A

- Supernova ocorreu ~ 300 anos atrás.
- Fonte de radio mais forte no céu.
- Extremamente fraca opticamente.
- Em 1999, Chandra detectou uma fonte quente de raios-X.
- A evolução quente desta fonte foi acompanhada por 10 anos.

Cas A está resfriando muito rapidamente!



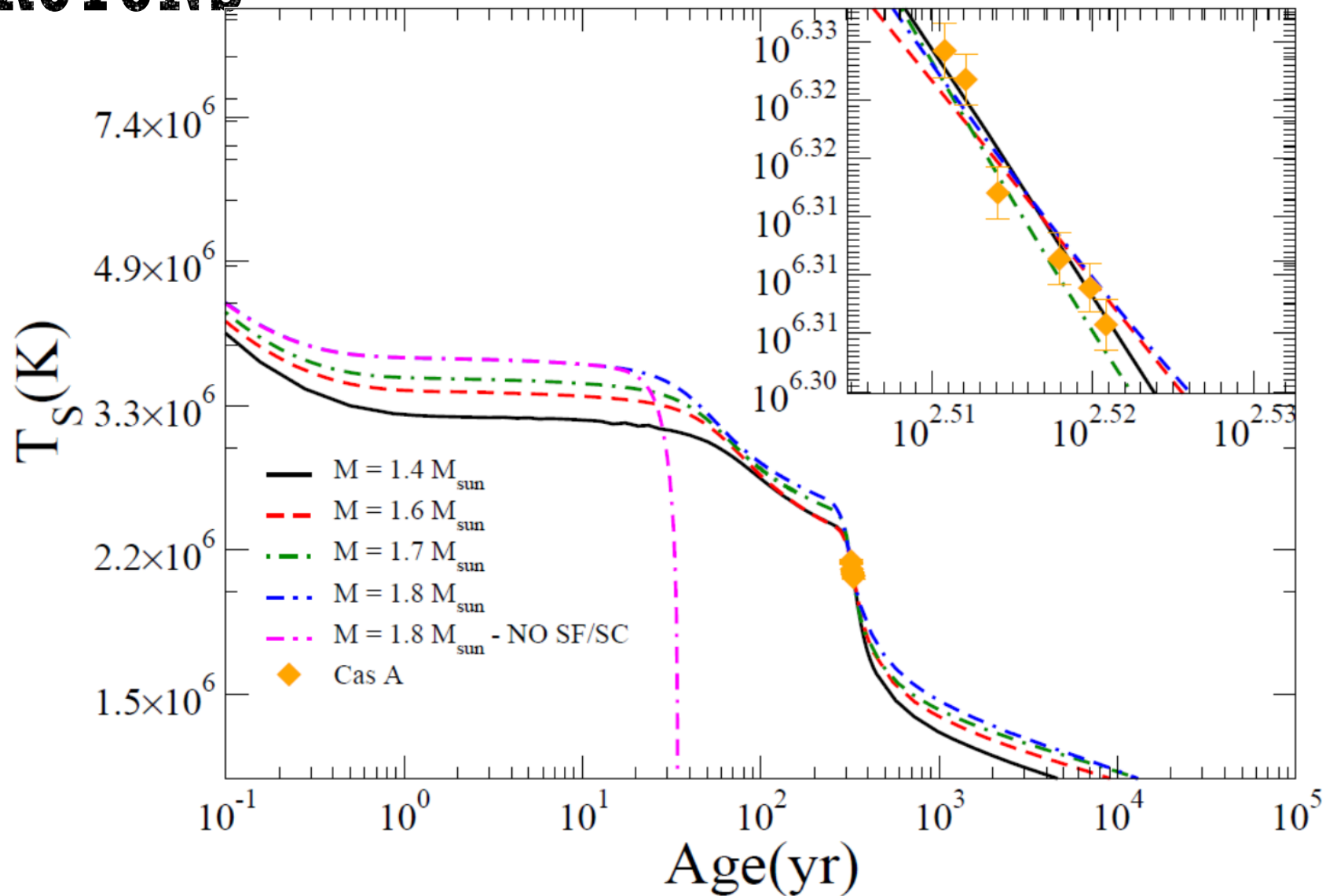
Cassiopeia A



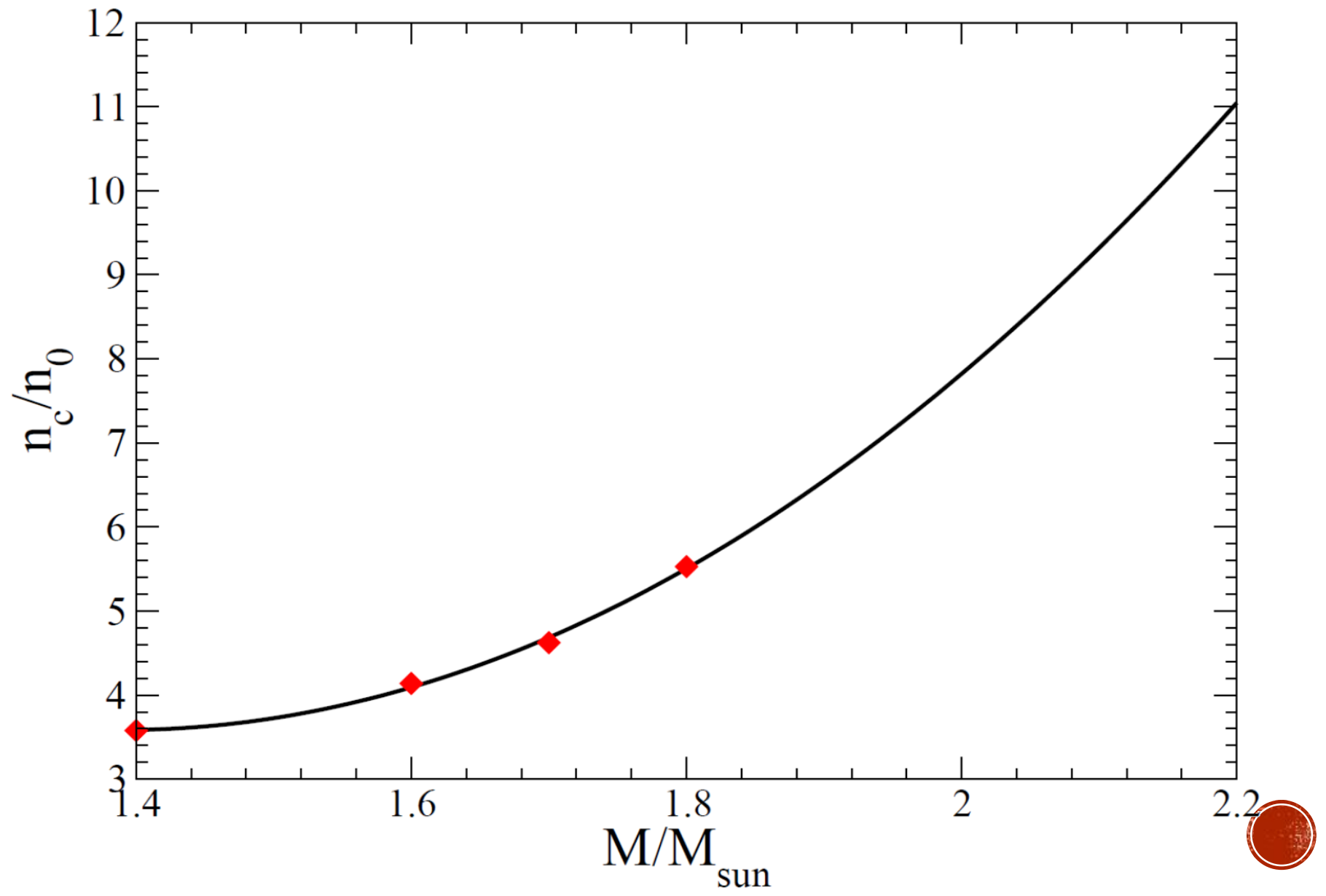
Queda de temperatura devido a recente transição de fase de neutrons para fase superfluida.



EXTENSÃO DA SUPERCONDUTIVIDADE DE PROTONS

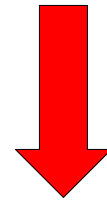


Extensão da supercondutividade de protons



Cassiopeia A

- Processos rápidos removidos *a priori*.
- Sem a possibilidade de híperons ou quarks em sua composição.
- Requer que próton/nêutron emparelhamento se estenda até altas densidades.



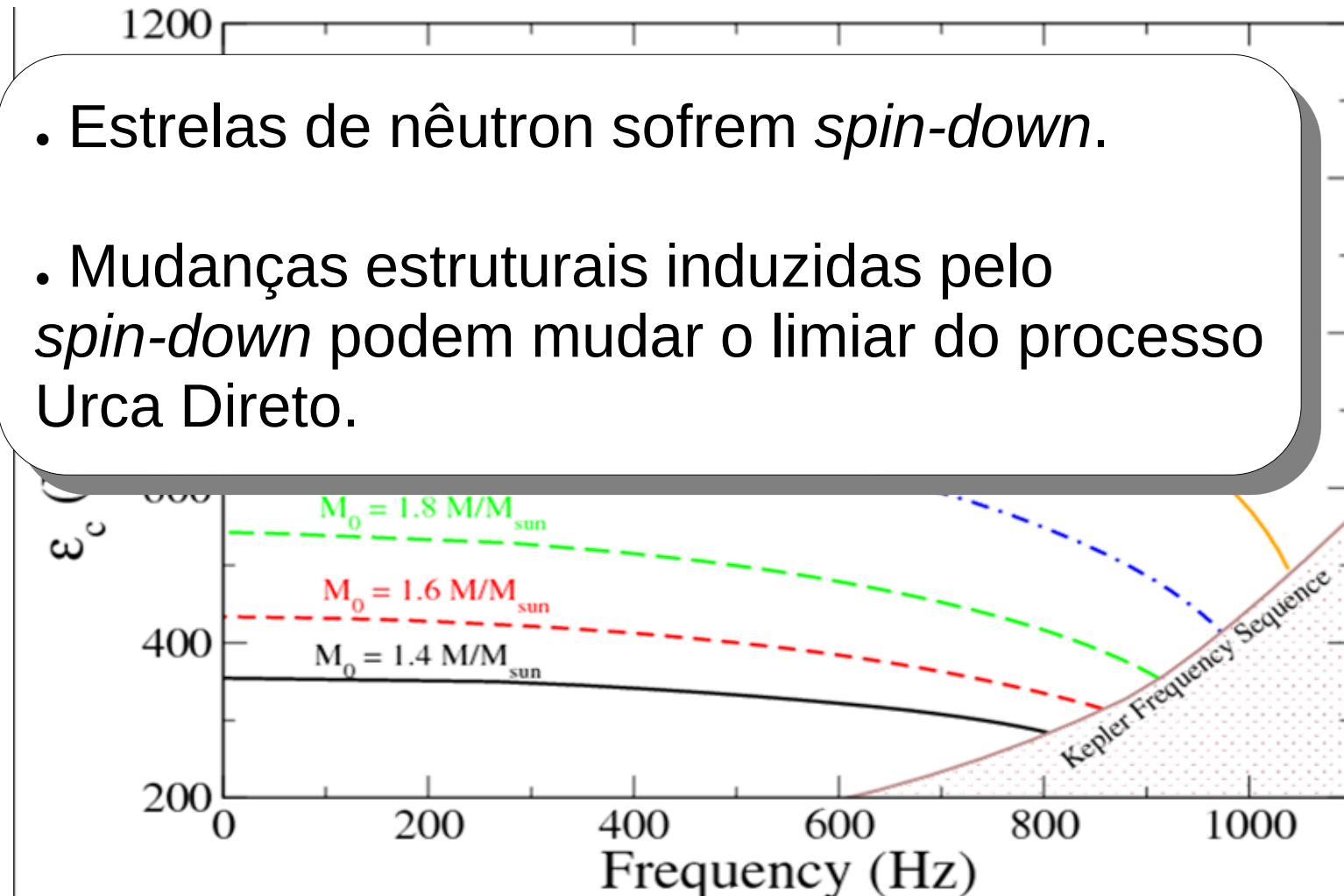
Desafio para estrelas de alta massa!



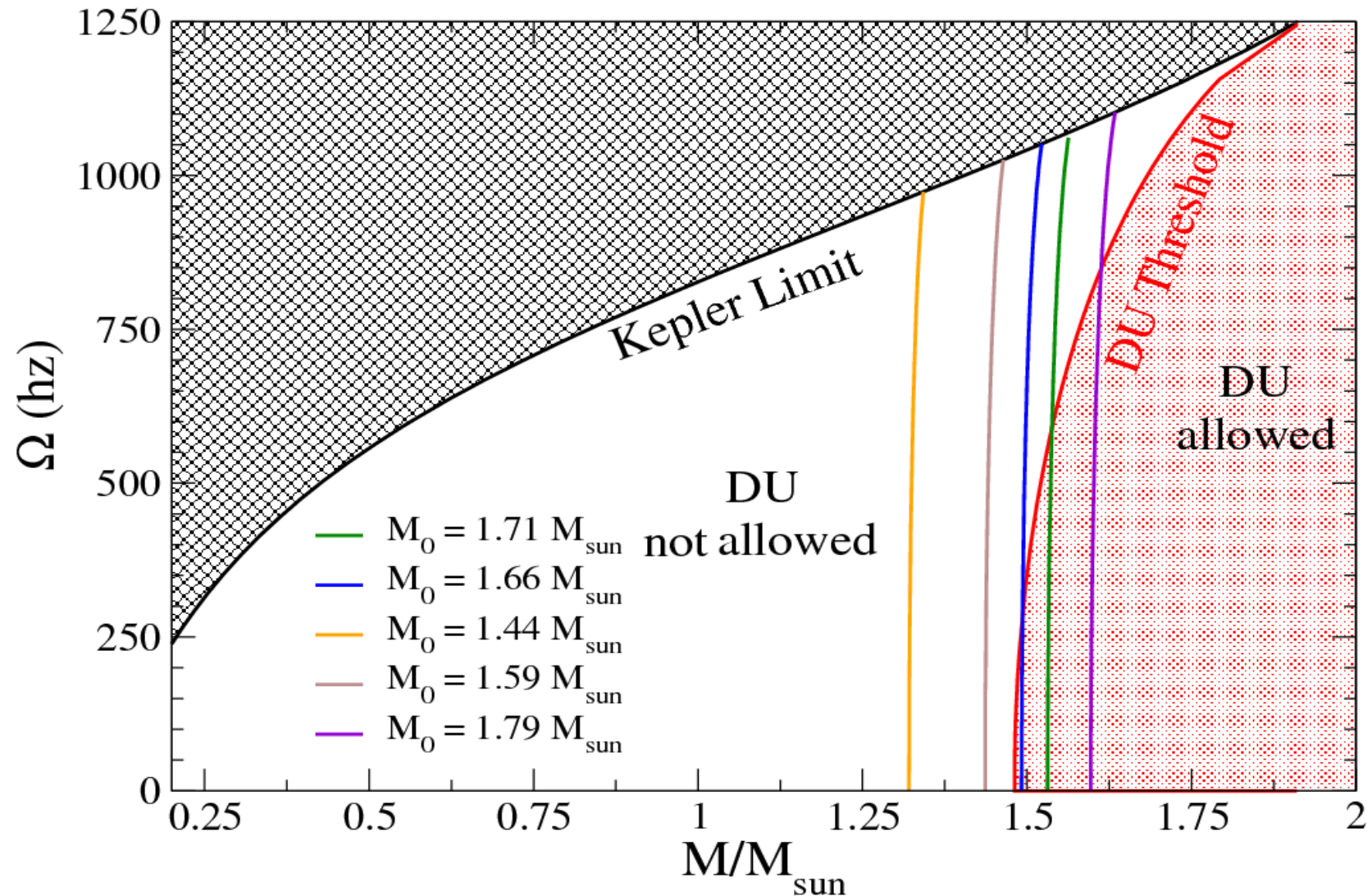
INCLUINDO ROTAÇÃO

- Rotação é extremamente importante para a composição e estrutura estelar.

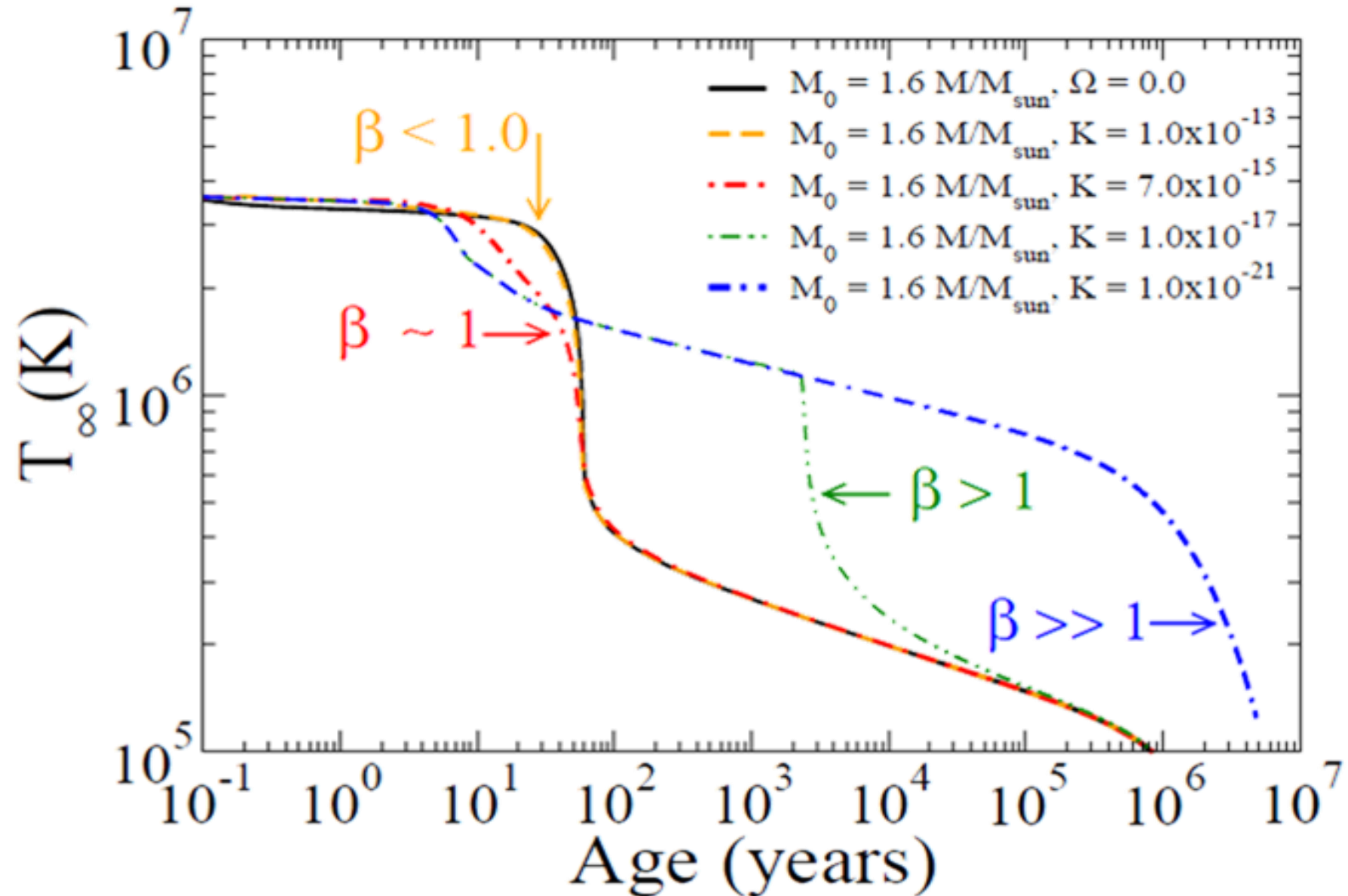
- Estrelas de nêutron sofrem *spin-down*.
- Mudanças estruturais induzidas pelo *spin-down* podem mudar o limiar do processo Urca Direto.



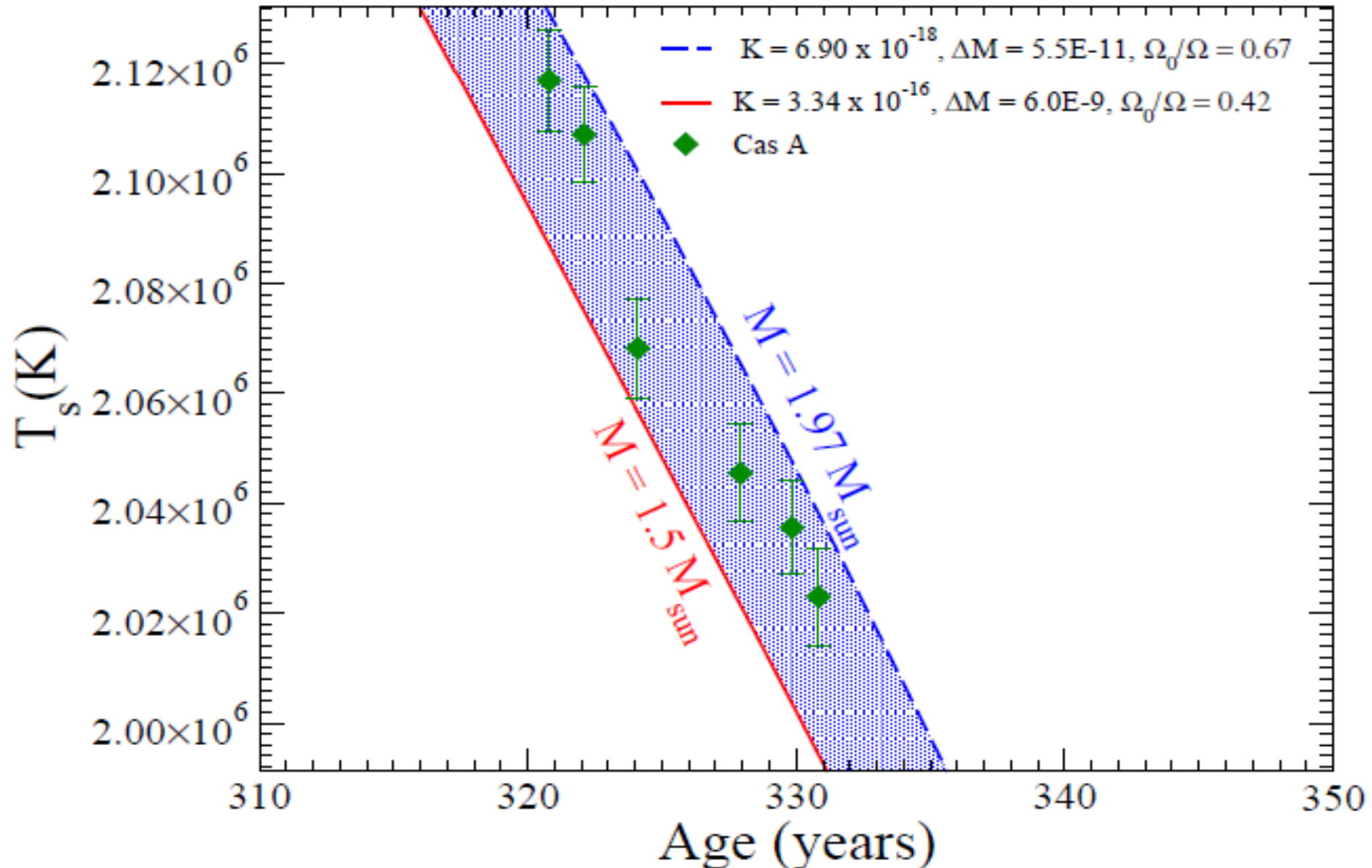
“DIAGRAMA DE FASE” DO PROCESSO URCA



Resfriamento Cas A



Resfriamento Cas A



EVOLUÇÃO TÉRMICA DE ESTRELAS COM ROTAÇÃO NÃO-NULA

- Evolução Térmica de Estrelas de Nêutrons

Esfericamente simétricas

Composição “congelada”

- Nós introduzimos uma composição dinâmica.

- Para sermos consistentes precisamos levar em conta a quebra de simetria esférica devido a rotação.



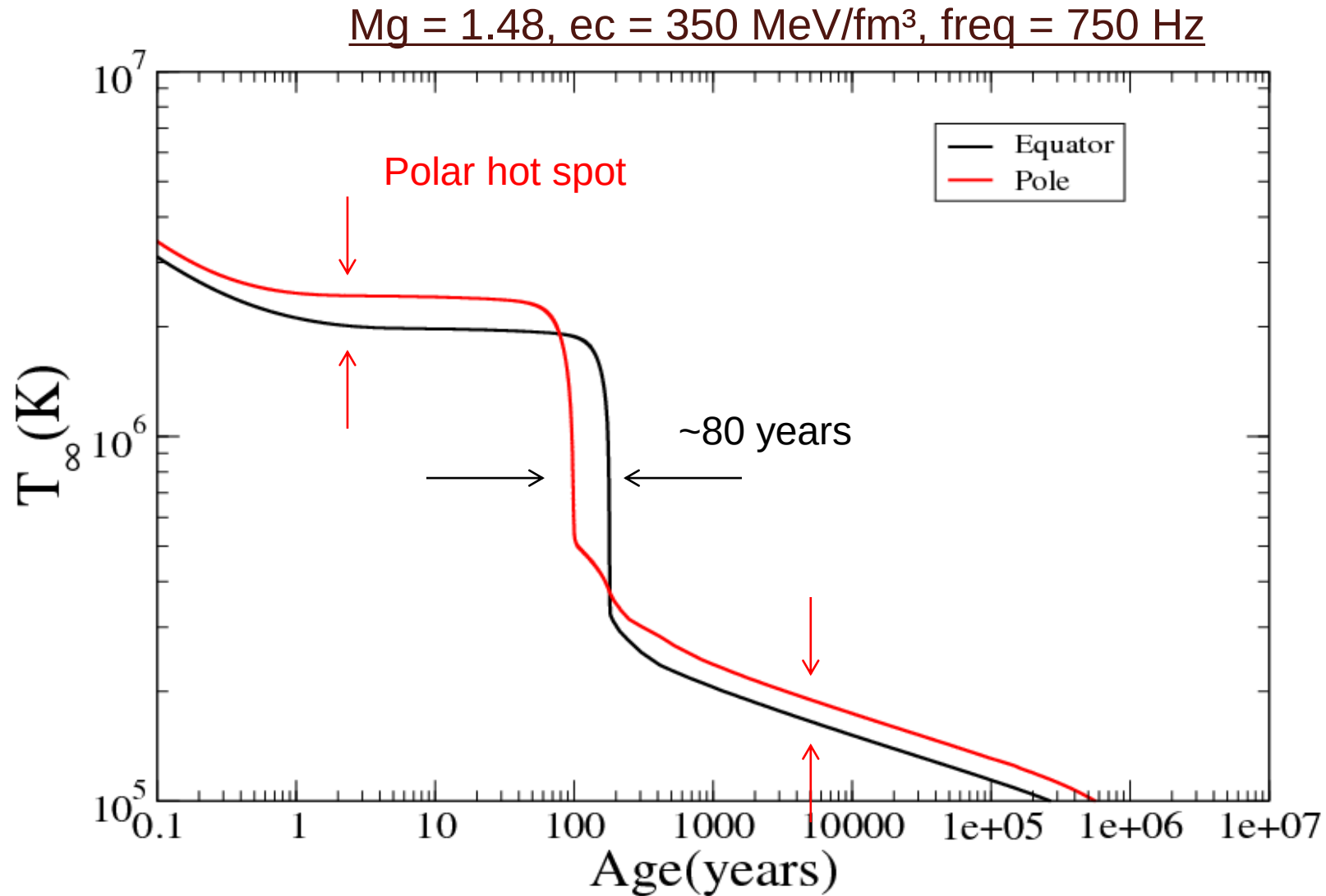
Evolução Térmica de Estrelas com Rotação Não-Nula

- Equações de evolução térmica.

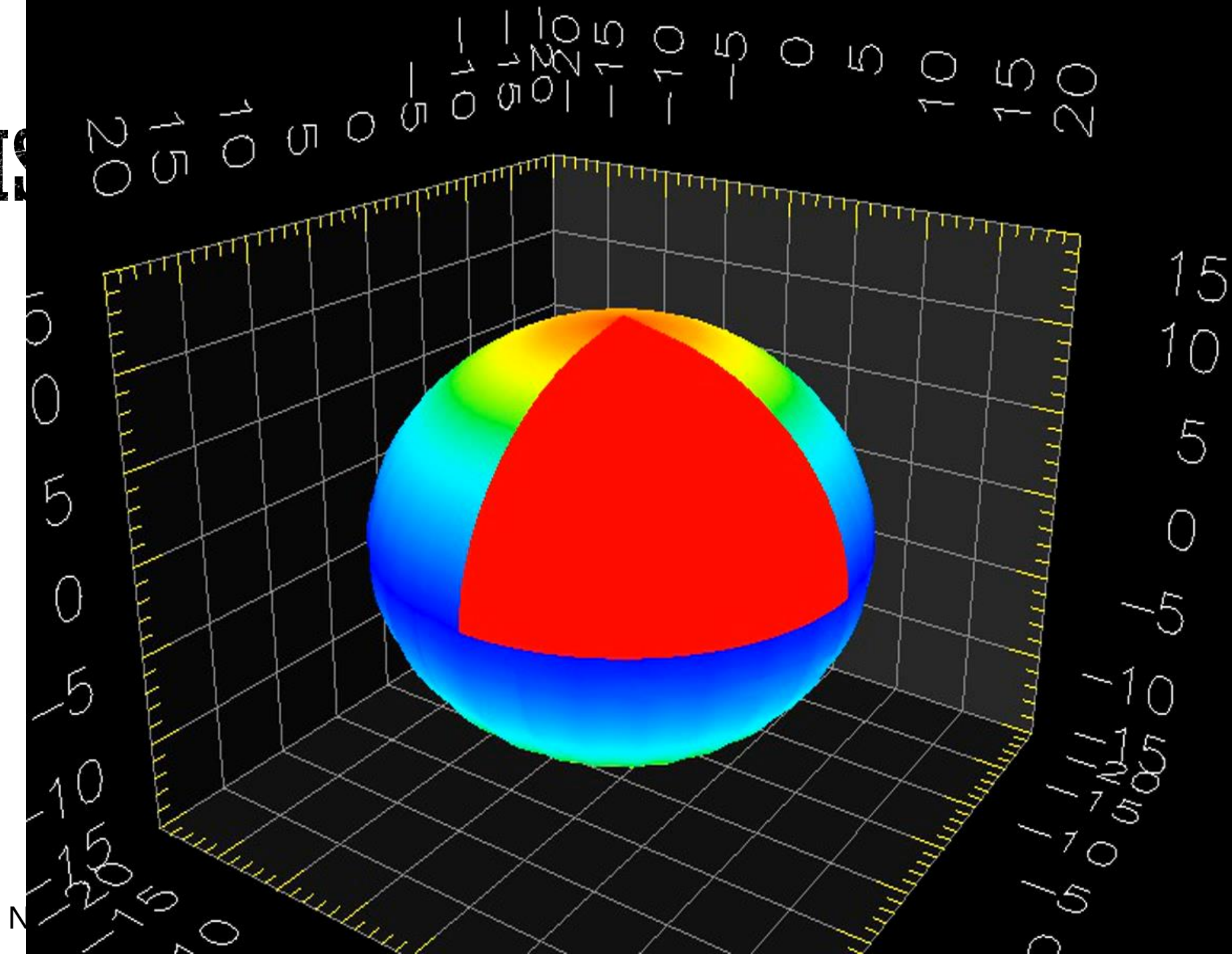
$$\begin{aligned}\partial_r \tilde{H}_{\bar{r}} + \frac{1}{r} \partial_\theta \tilde{H}_{\bar{\theta}} &= -r e^{\phi+2\omega} \left(\frac{1}{\Gamma} e^{2\nu} \epsilon + \Gamma C_V \partial_t \tilde{T} \right) \\ &\quad - r \Gamma U e^{\nu+2\phi+\omega} \left(\partial_r \Omega + \frac{1}{r} \partial_\theta \Omega \right), \\ \partial_r \tilde{T} &= -\frac{1}{r\kappa} e^{\nu-\phi} \tilde{H}_{\bar{r}} - \Gamma^2 U e^{-\nu+\phi} \tilde{T} \partial_r \Omega, \\ \frac{1}{r} \partial_\theta \tilde{T} &= -\frac{1}{r\kappa} e^{-\nu-\phi} \tilde{H}_{\bar{\theta}} - \Gamma^2 U e^{-\nu+\phi} \tilde{T} \frac{1}{r} \partial_\theta \Omega \\ \Gamma U \partial_t \tilde{T} &= -\frac{1}{r\kappa} e^{-\omega-\phi} \tilde{H}_{\bar{\varphi}},\end{aligned}$$



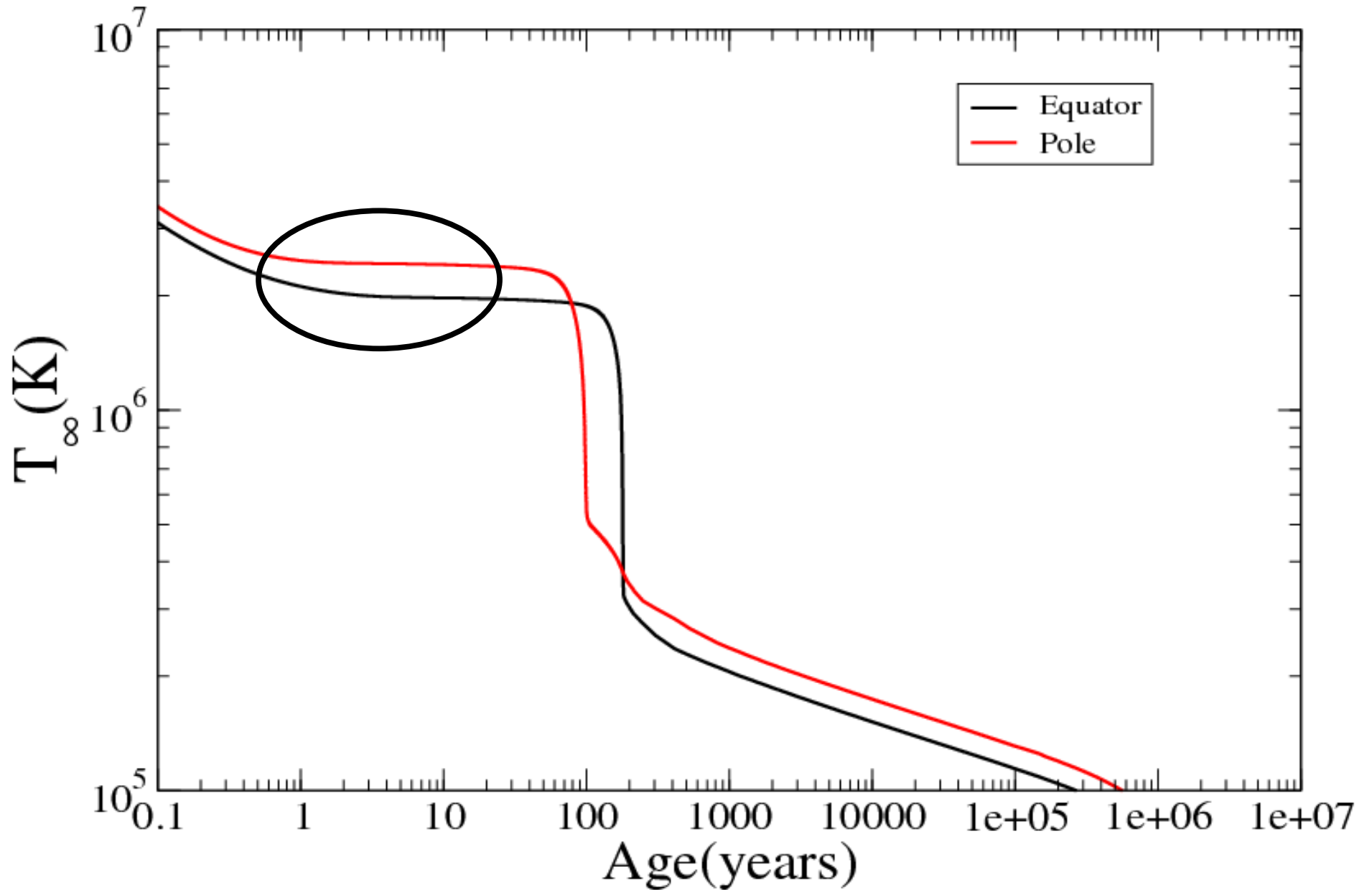
Evolução Térmica de Estrelas com Rotação Não-Nula

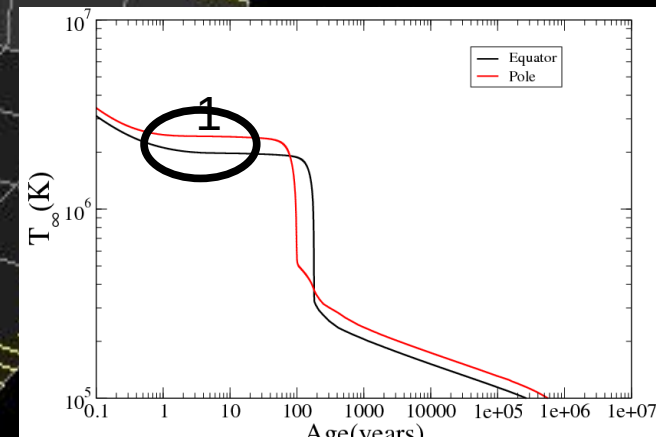
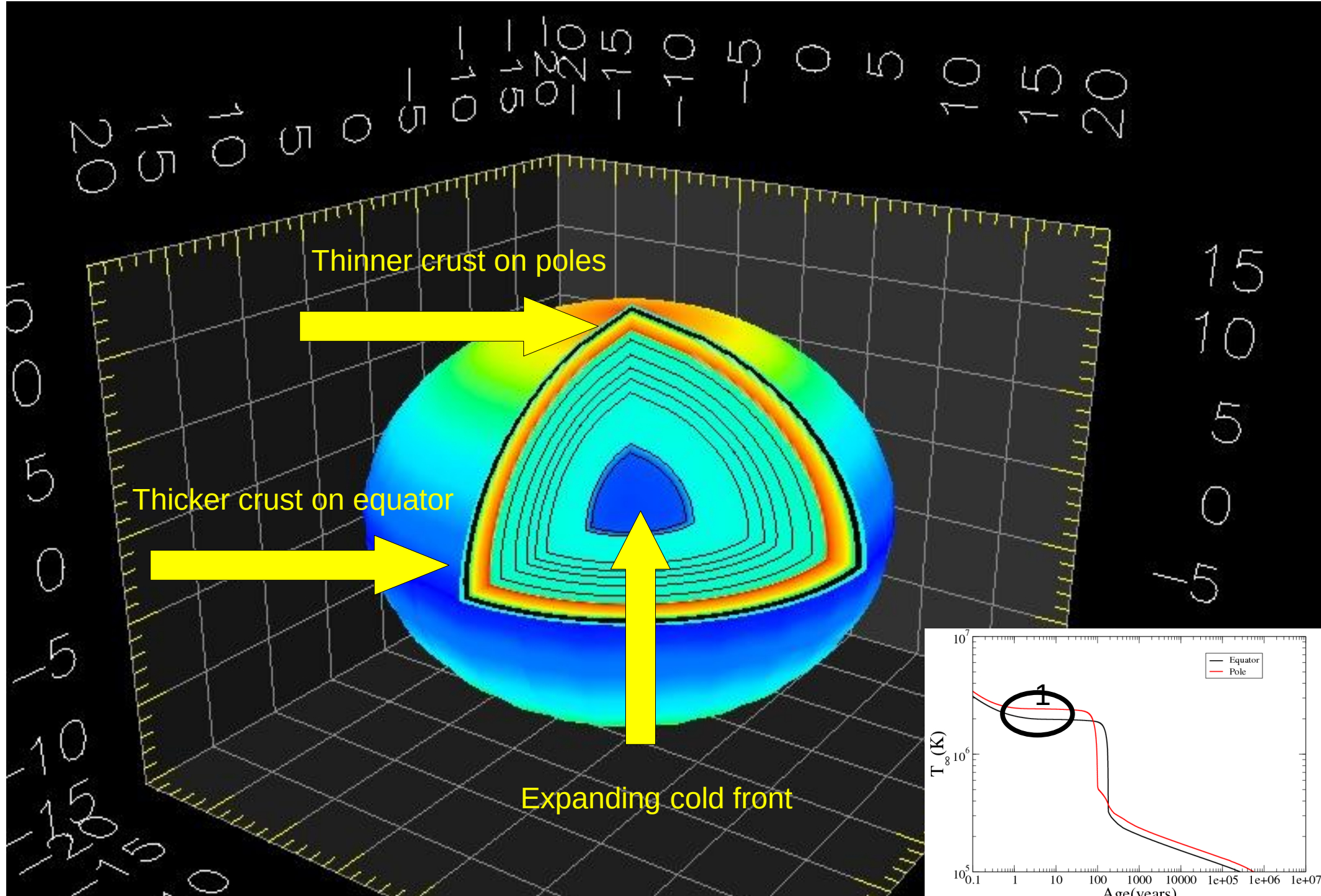


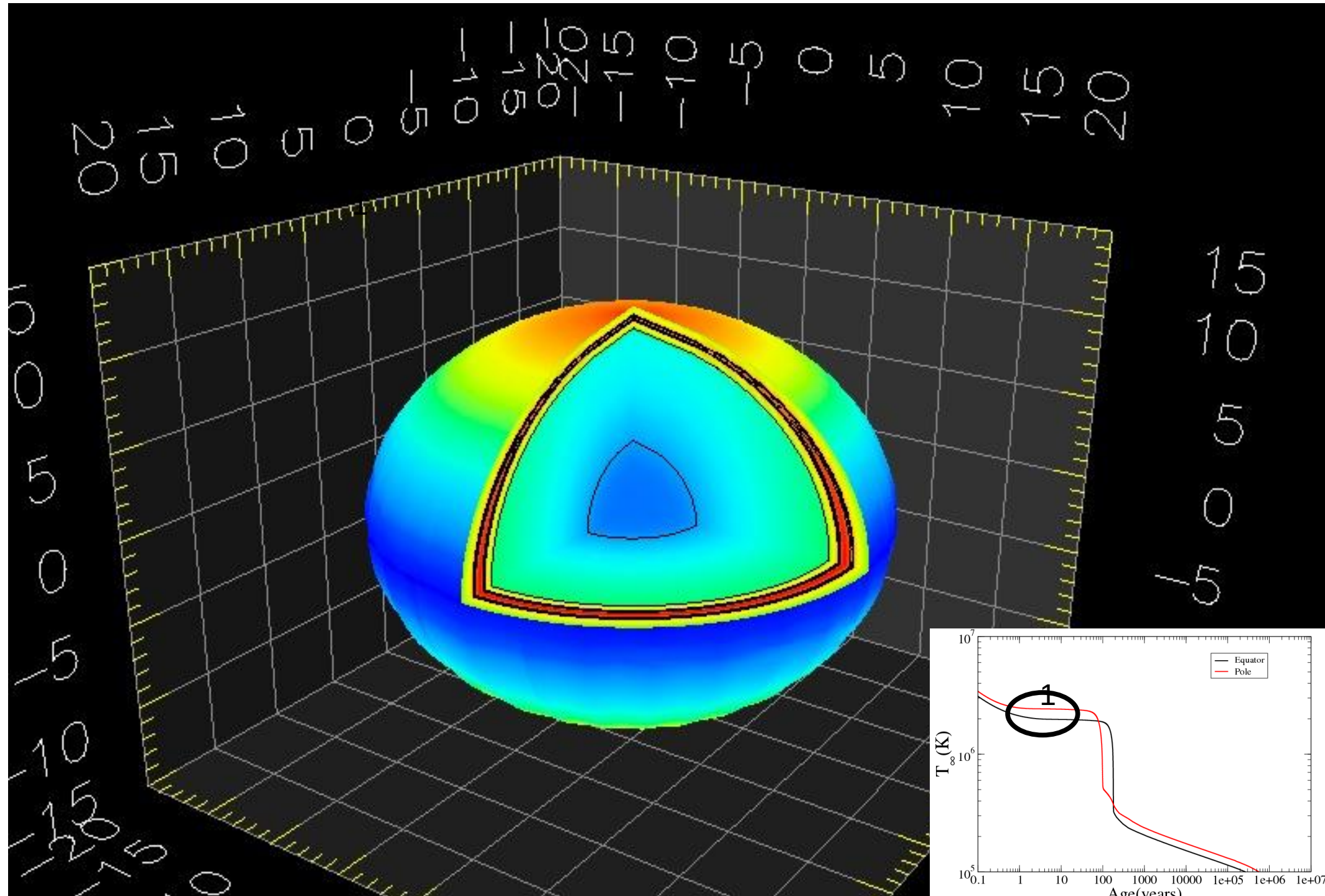
AXIS

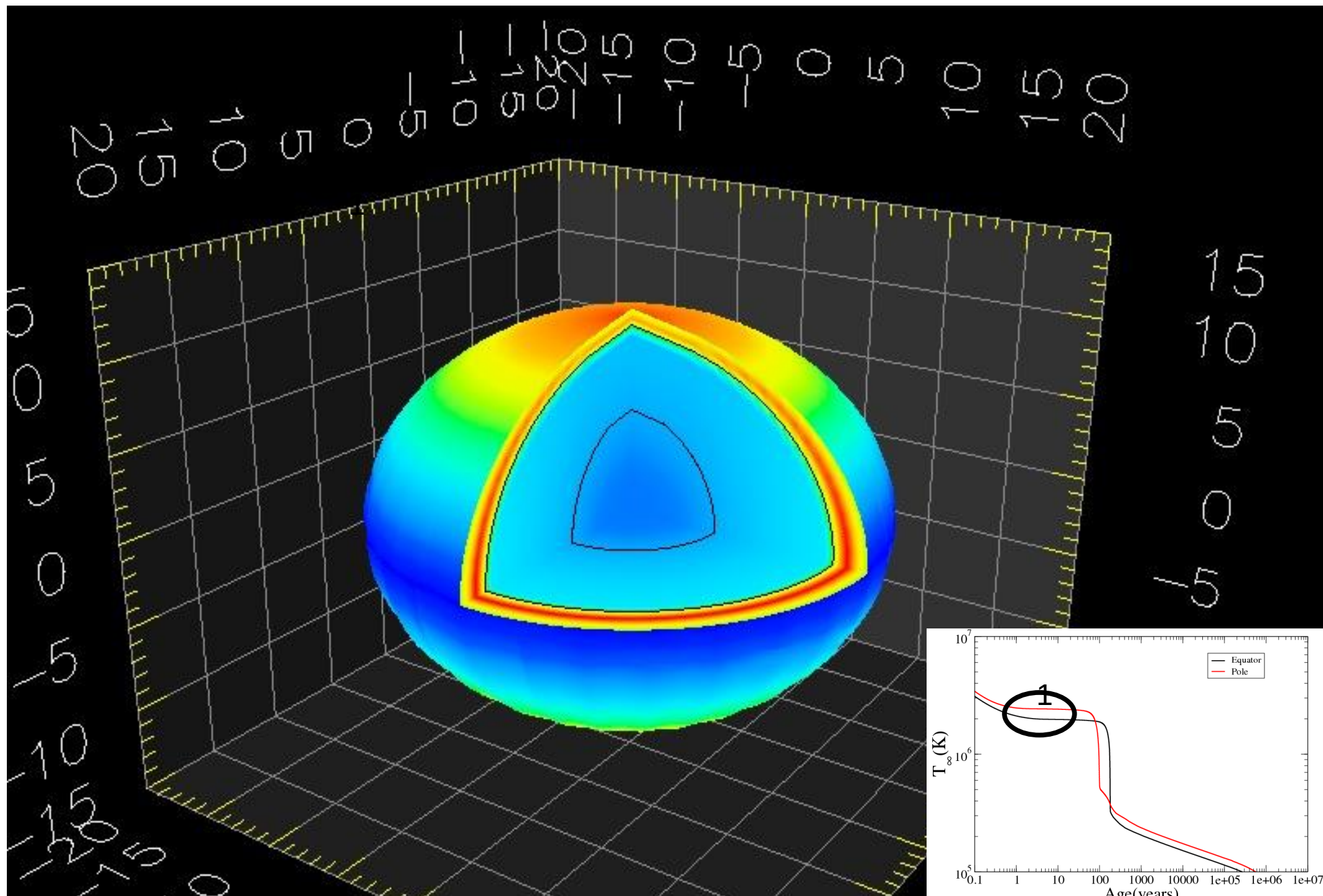


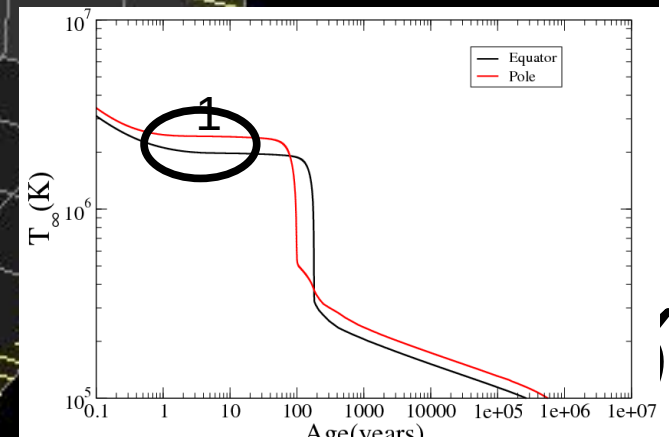
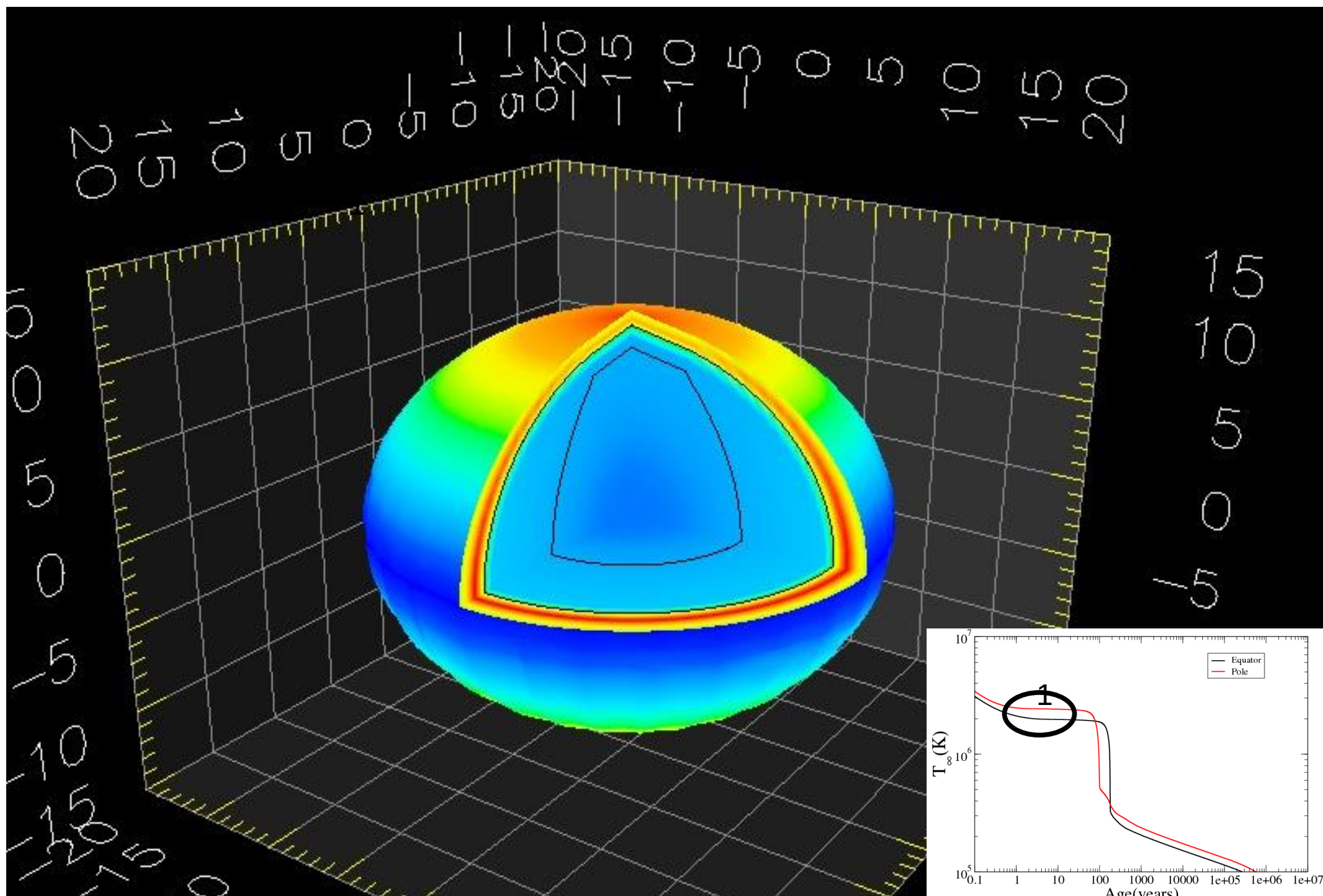
Evolução Térmica de Estrelas com Rotação Não-Nula

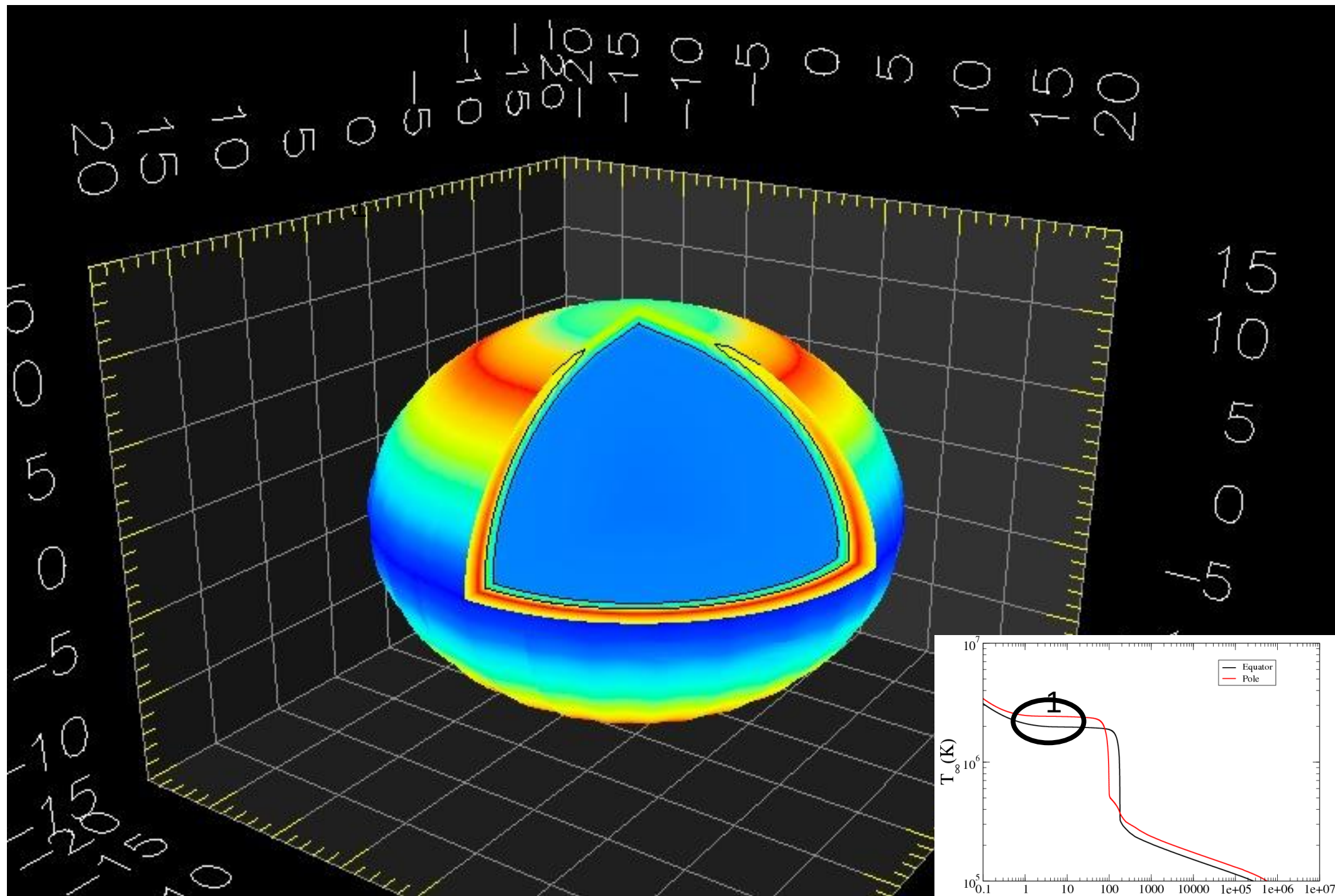




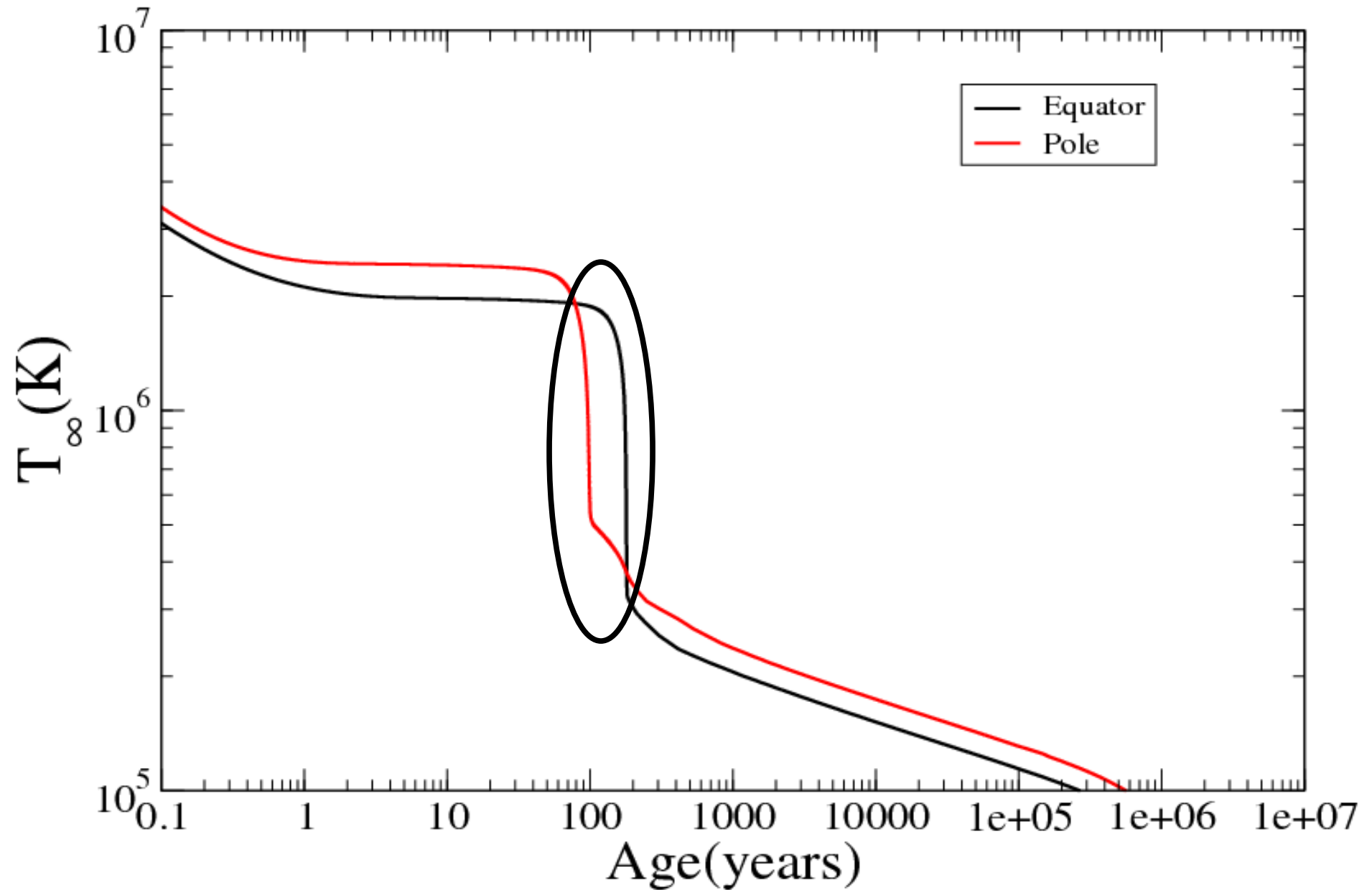


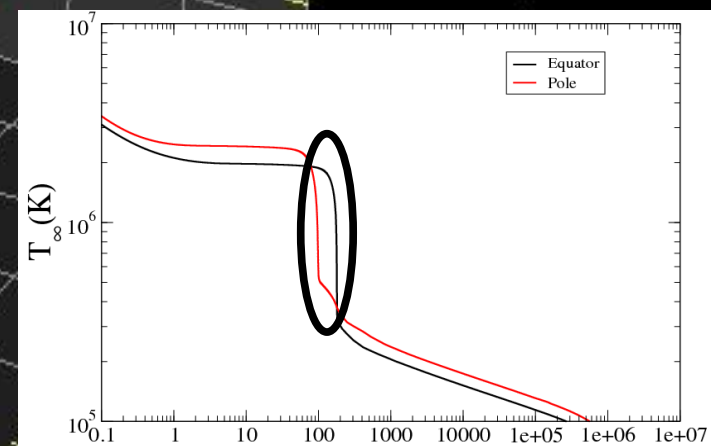
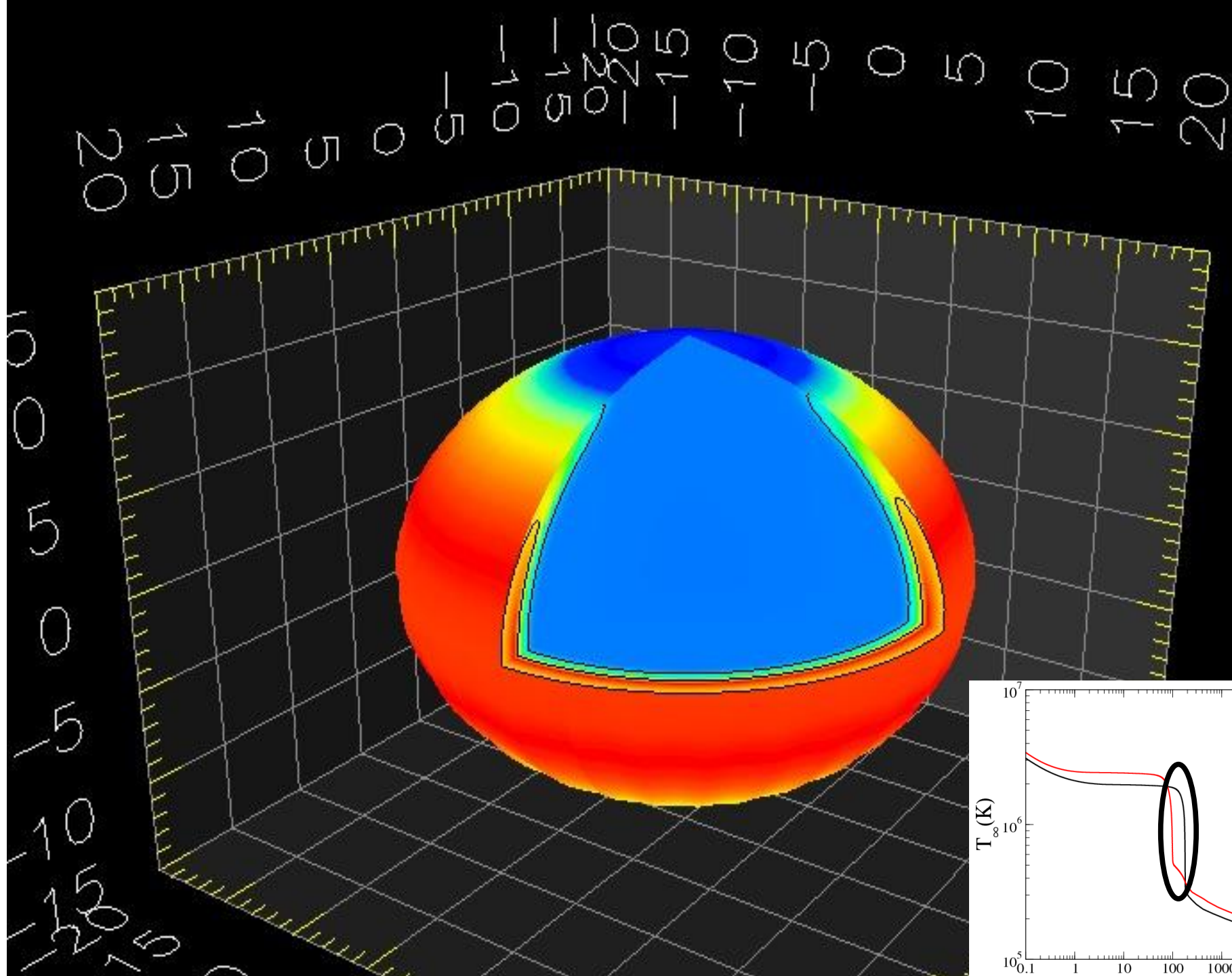


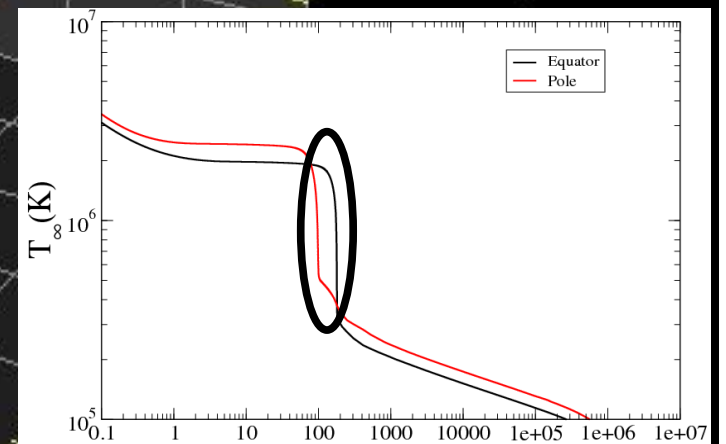
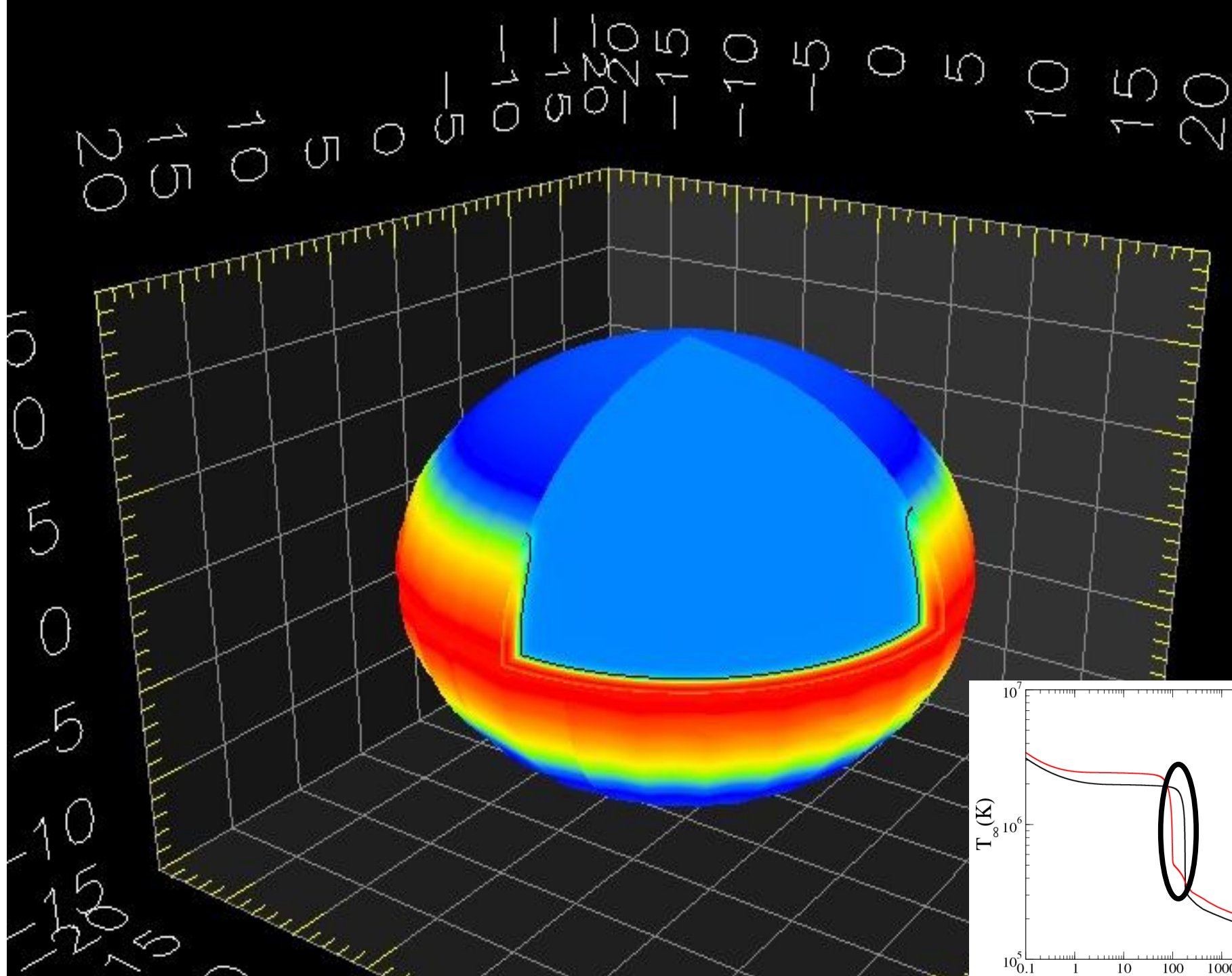


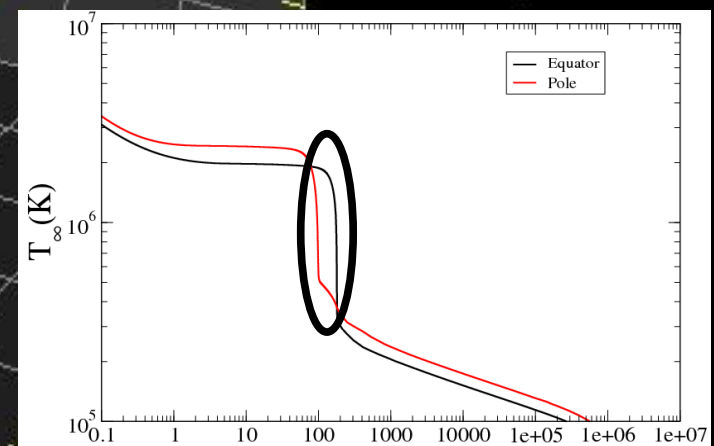
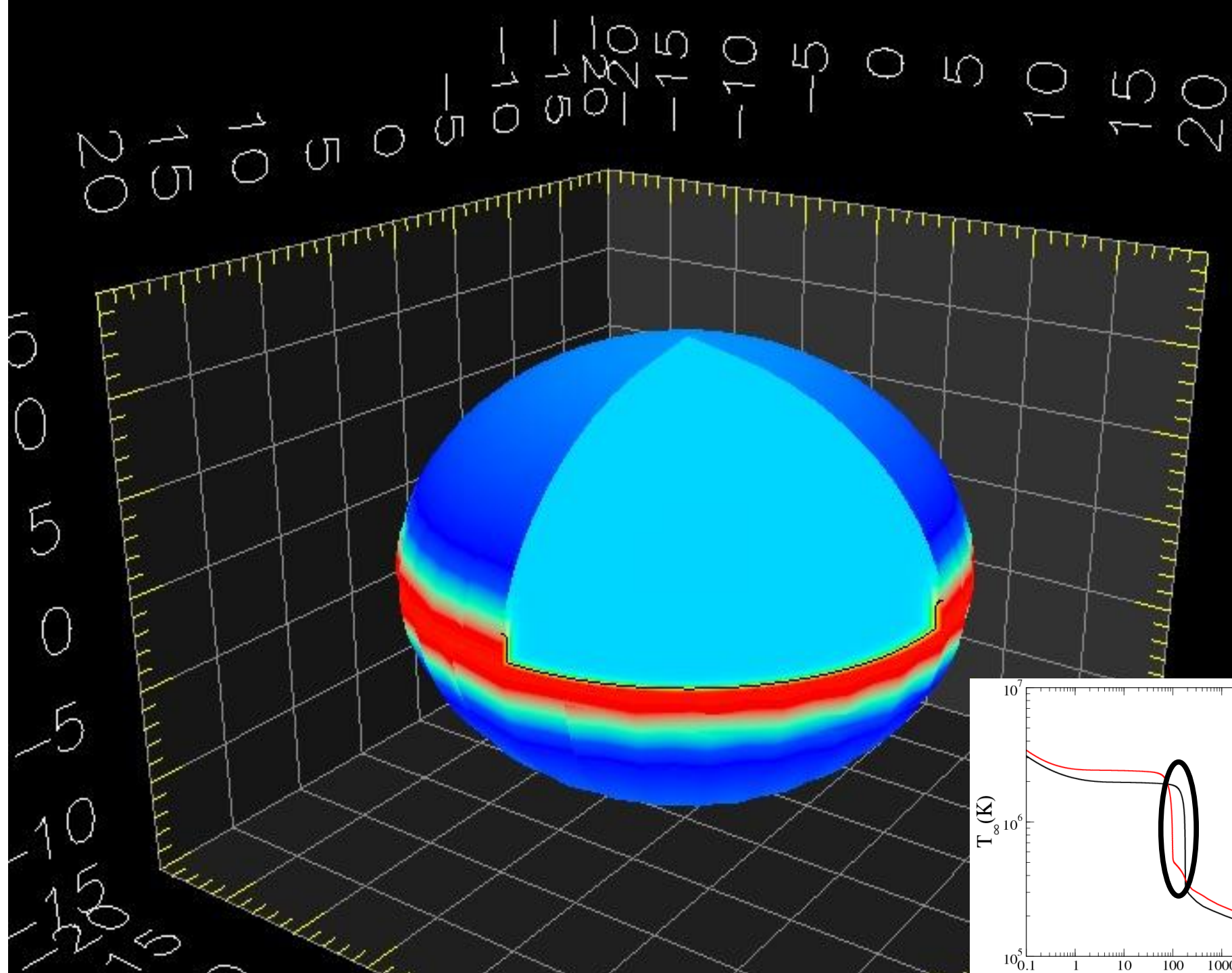


Evolução Térmica de Estrelas com Rotação Não-Nula

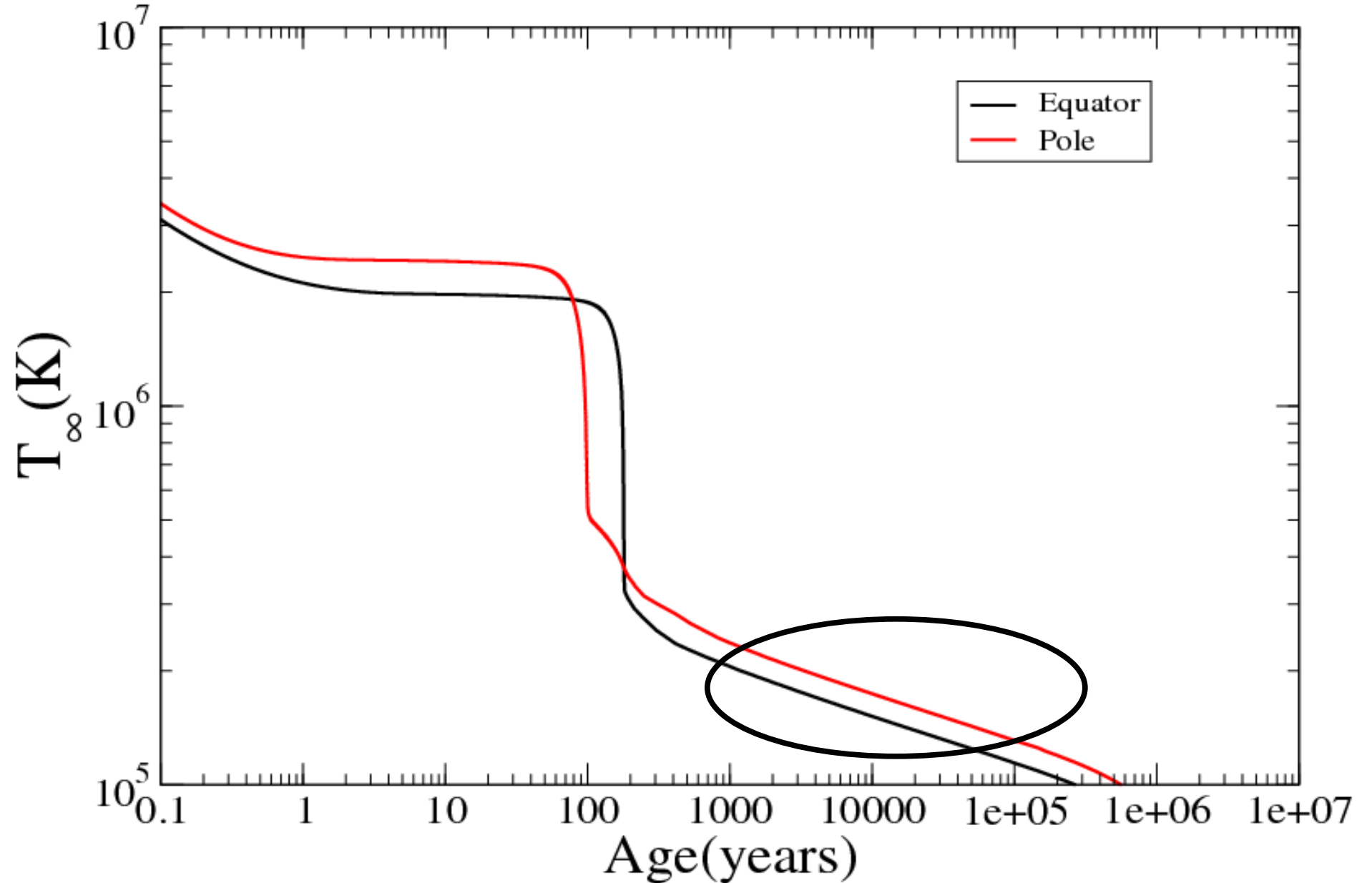


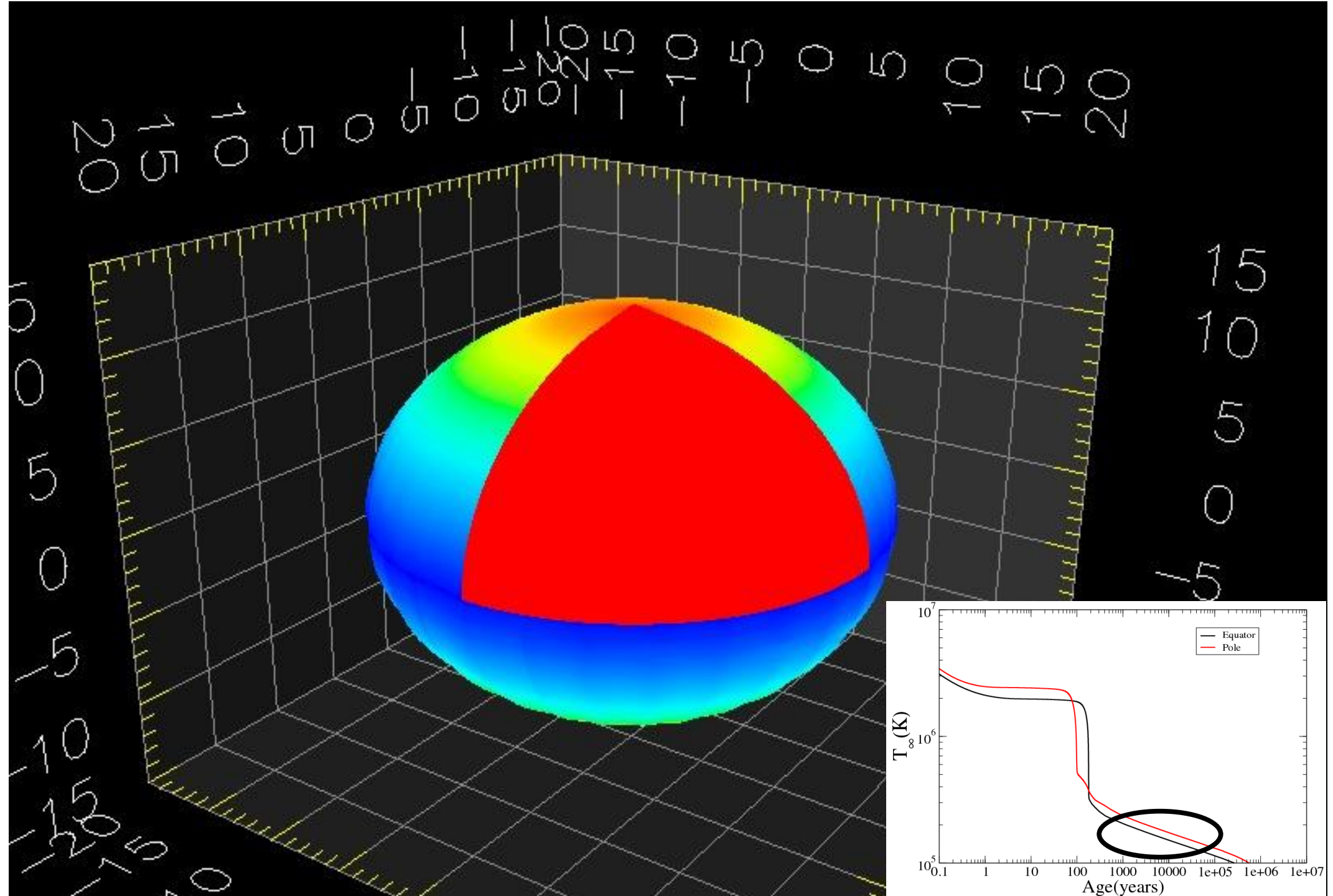






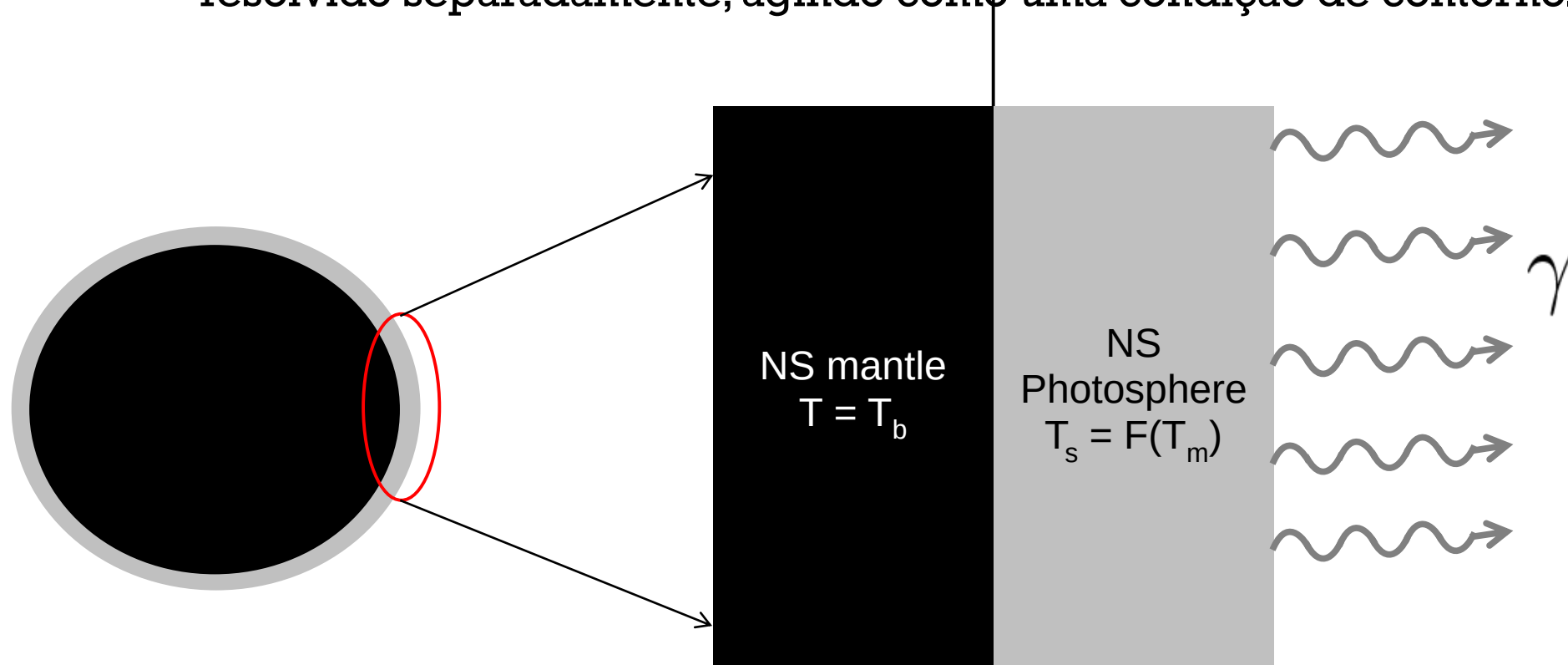
Evolução Térmica de Estrelas com Rotação Não-Nula



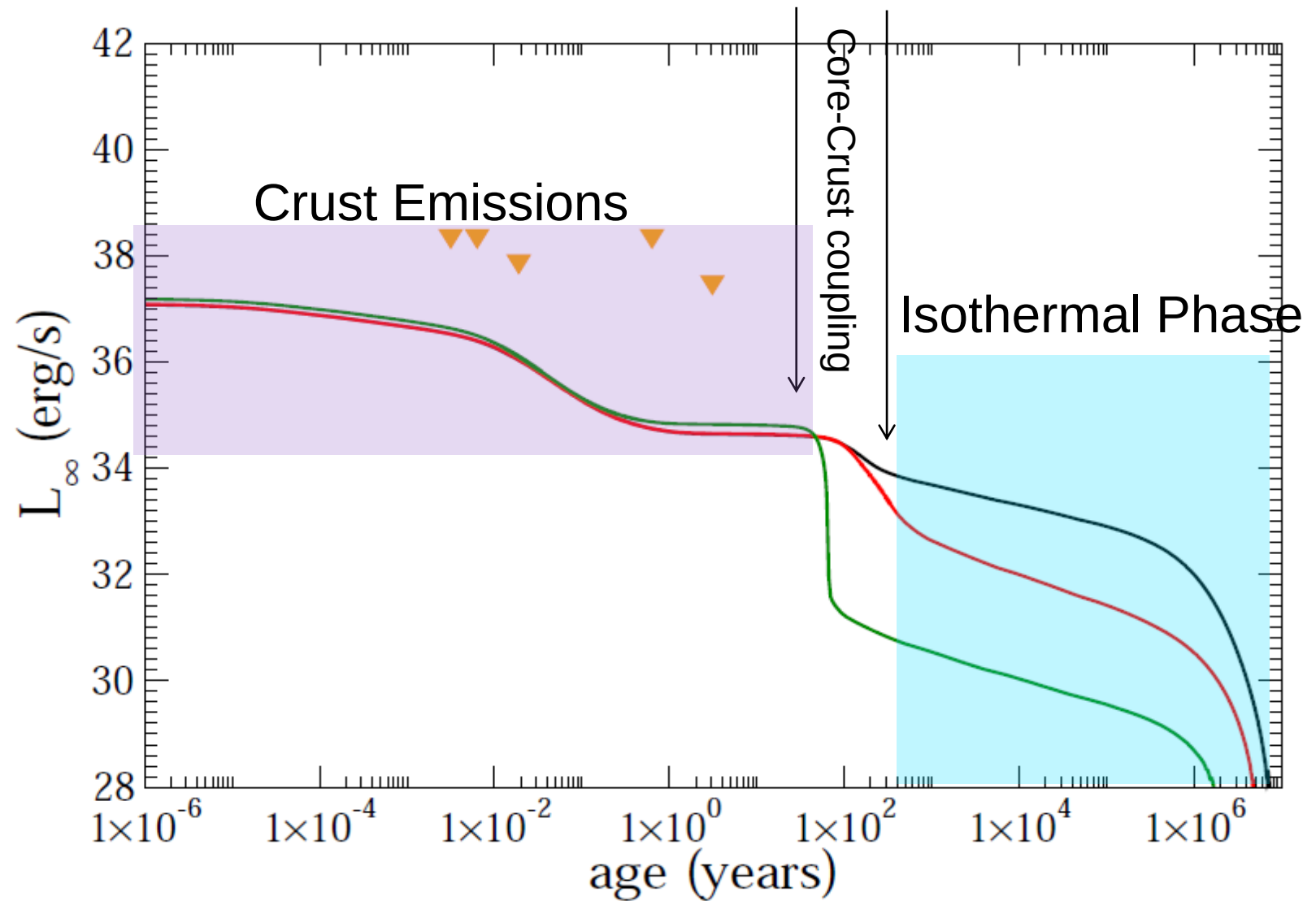


EVOLUÇÃO TÉRMICA DE ESTRELAS DE NEUTRONS JOVENS

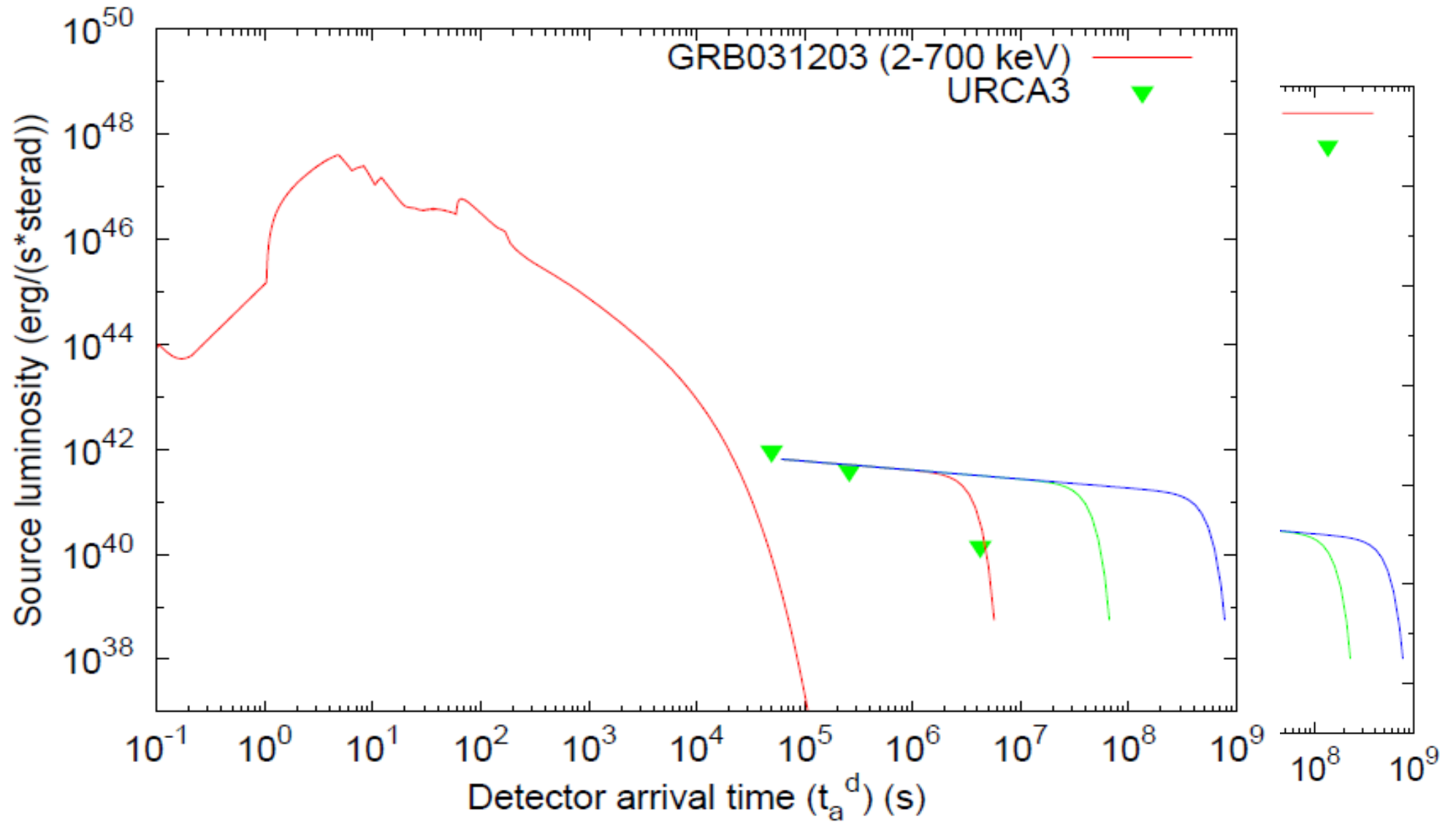
- A fotosfera da estrela é tratada separadamente.
- Devido a escala muito menor o equilíbrio térmico da fotosfera é resolvido separadamente, agindo como uma condição de contorno.



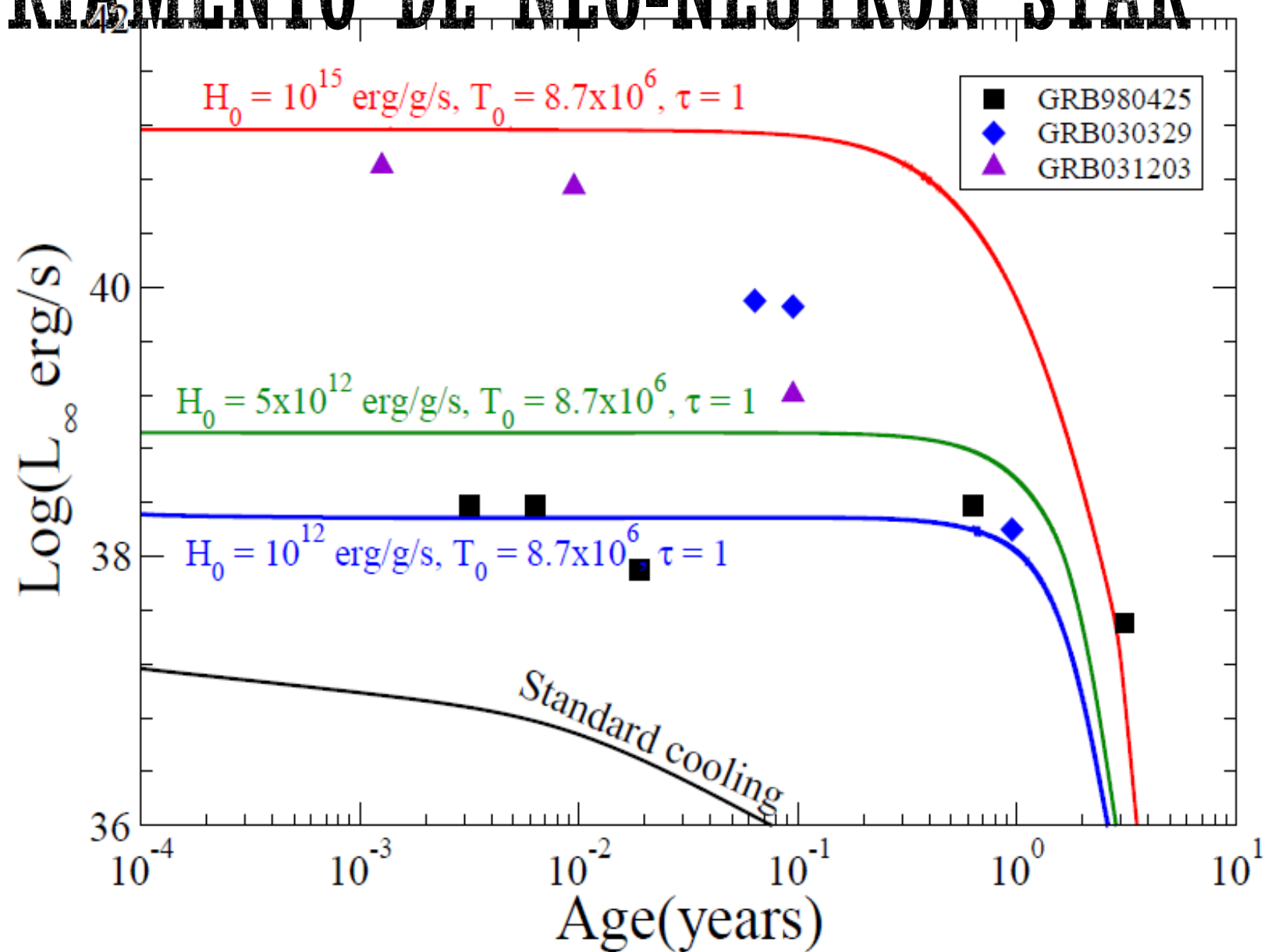
Evolução térmica de estrelas de neutrons jovens



NEW NEUTRON STARS



RESFRIAMENTO DE NEO-NEUTRON STAR



CONCLUSÕES

- Estrelas compactas são laboratórios naturais fenomenais.
- Nos permite sondar TODAS as interações fundamentais.
- Temos cada vez mais dados observacionais.
- Nossa única chance (até o momento) de sondar a região de baixa temperatura do diagrama de fase da matéria bariônica.
- Uma oportunidade única de sondar praticamente todos os regimes da física (e testa-los!!!)

