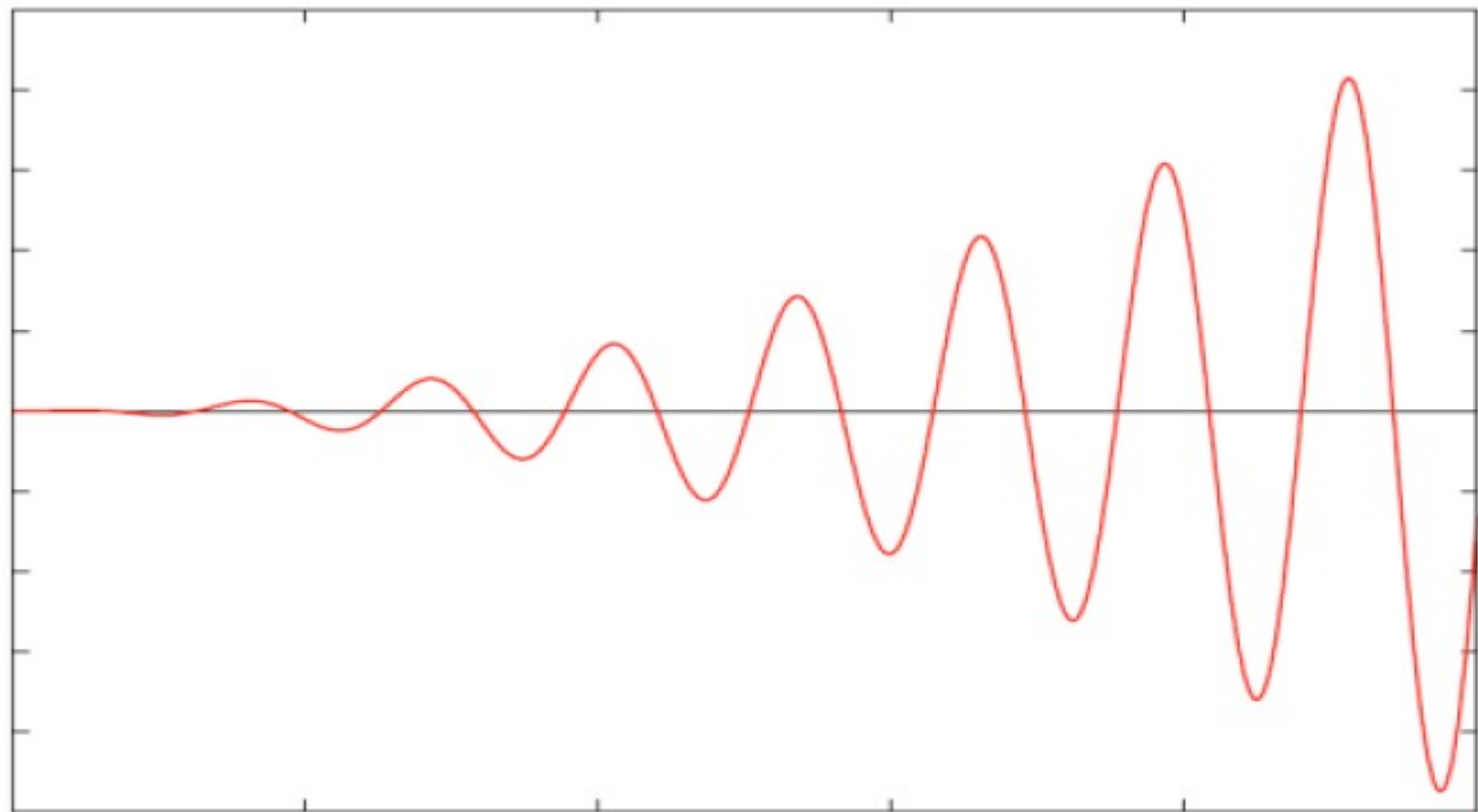


低金属量小質量主系列星の
ε メカニズムによる振動不安定

園井崇文、柴橋博資（東京大学）

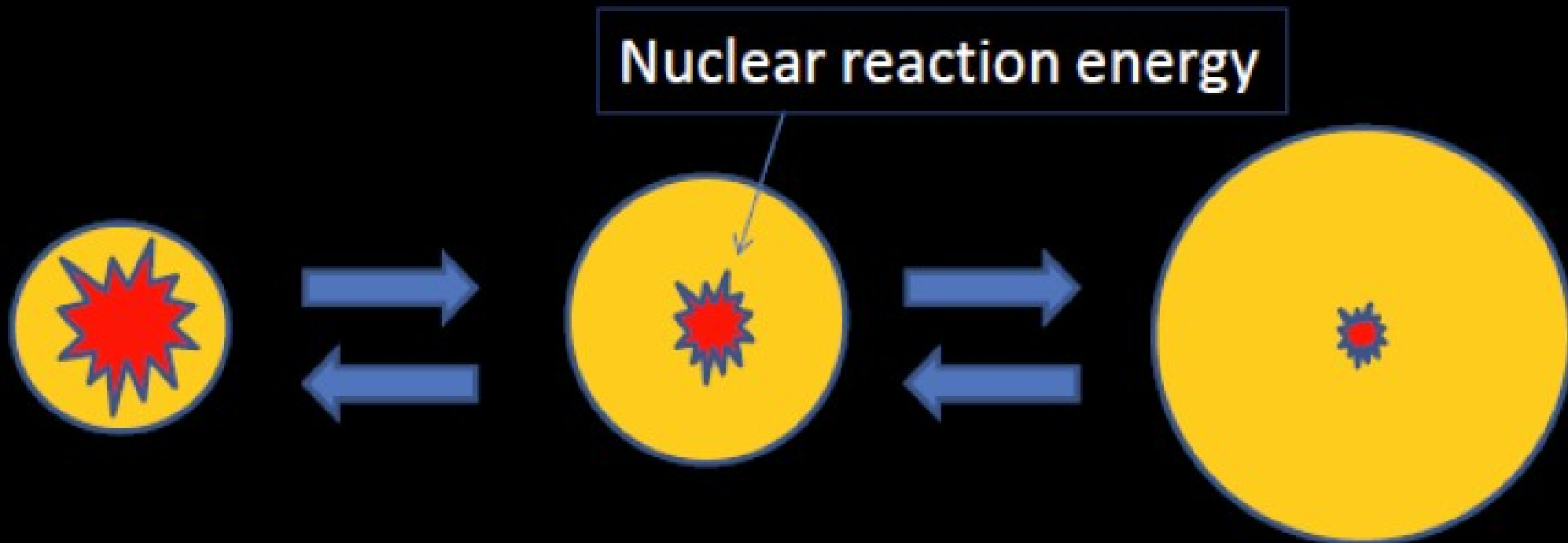
振動不安定



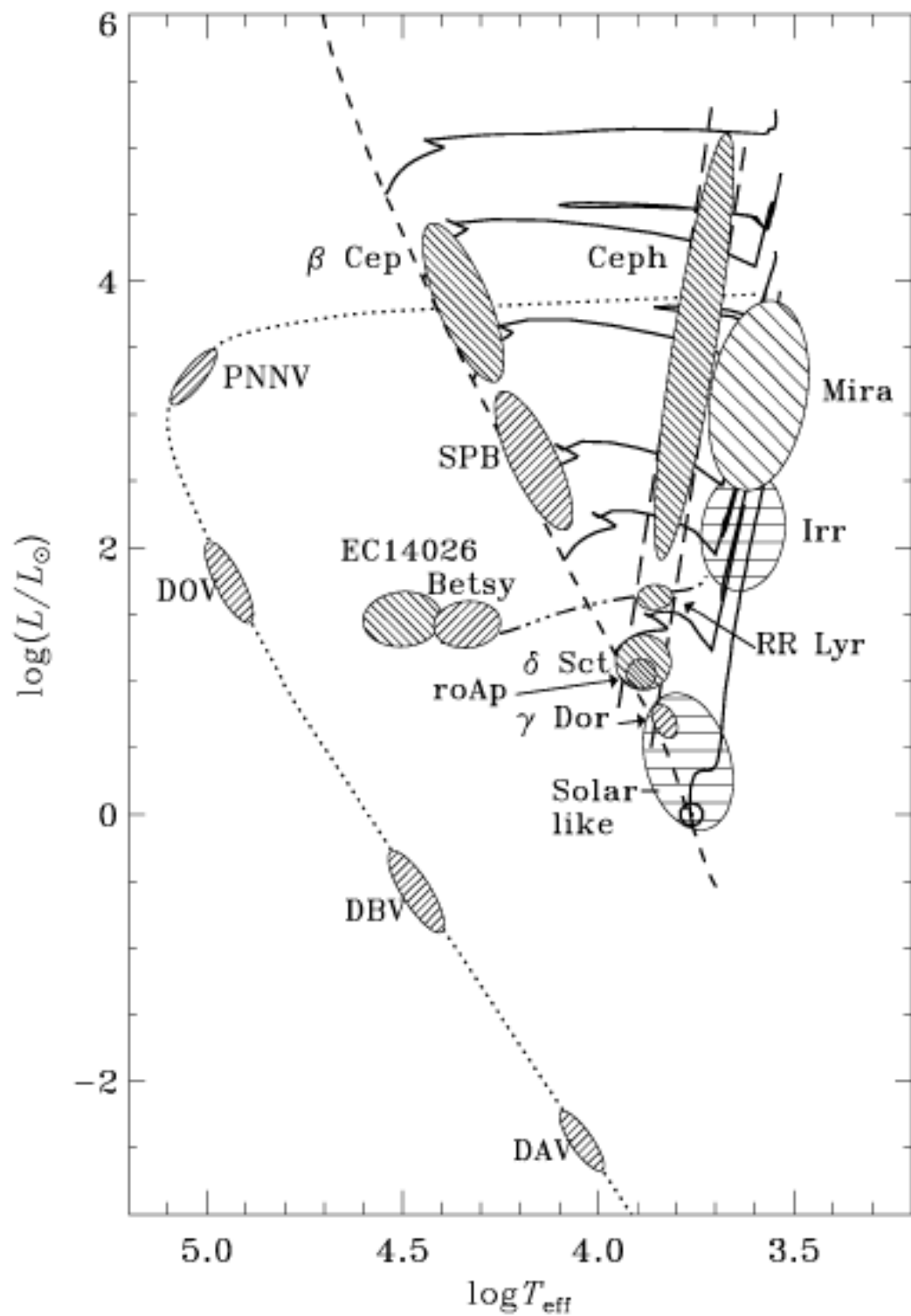
time

ϵ -mechanism

thermal energy \rightarrow oscillation energy

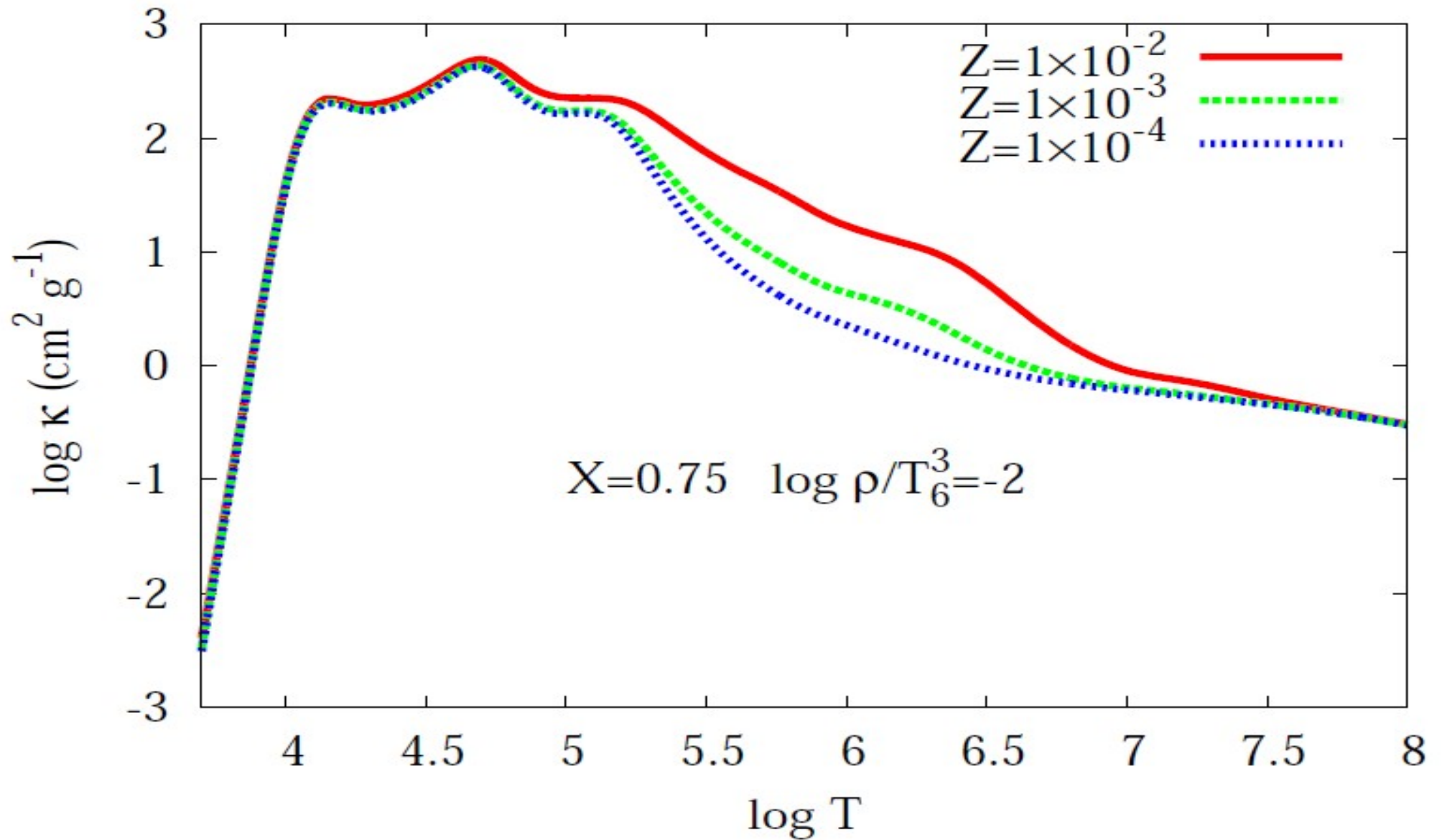


- 太陽ニュートリノ問題の解決策として、g-modeの ε メカニズムによる振動不安定が提唱され(Di Ike & Gough 1972)、安定性解析が行われた
- 外縁対流層による安定性解析の結果の不定性

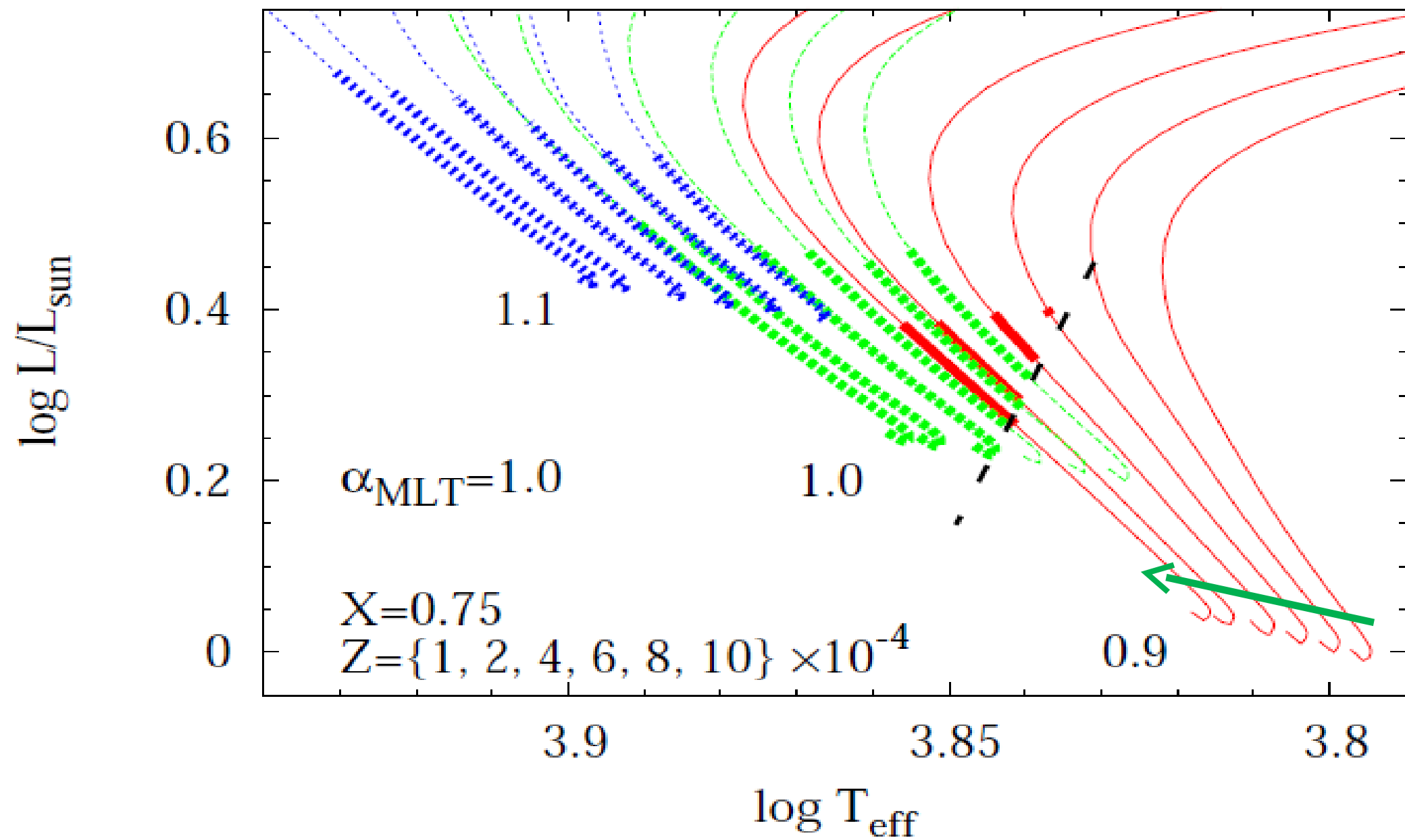


Courtesy of J. Christensen-Dalsgaard

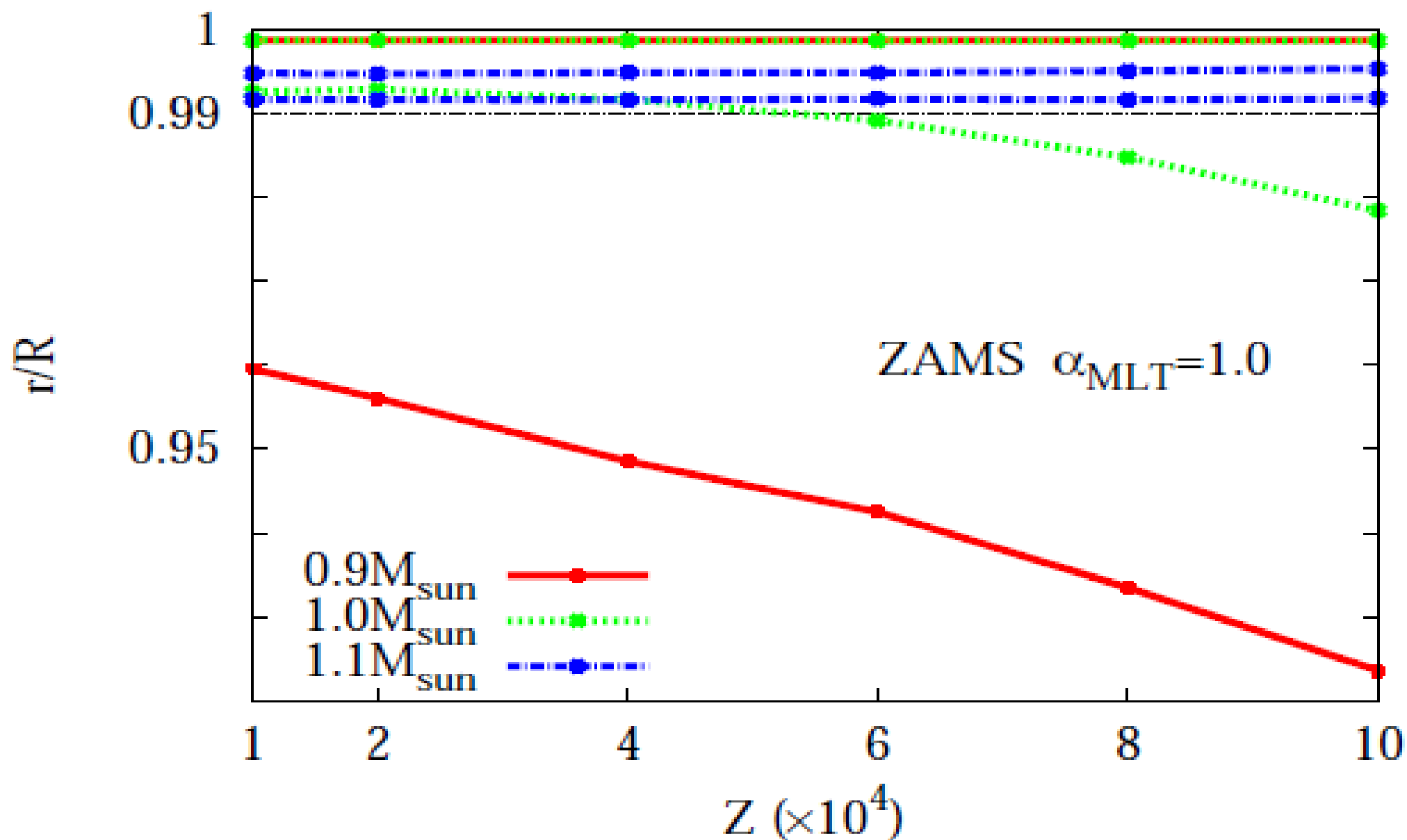
opacity



$$L \propto \mu^4 M^3 / \kappa$$

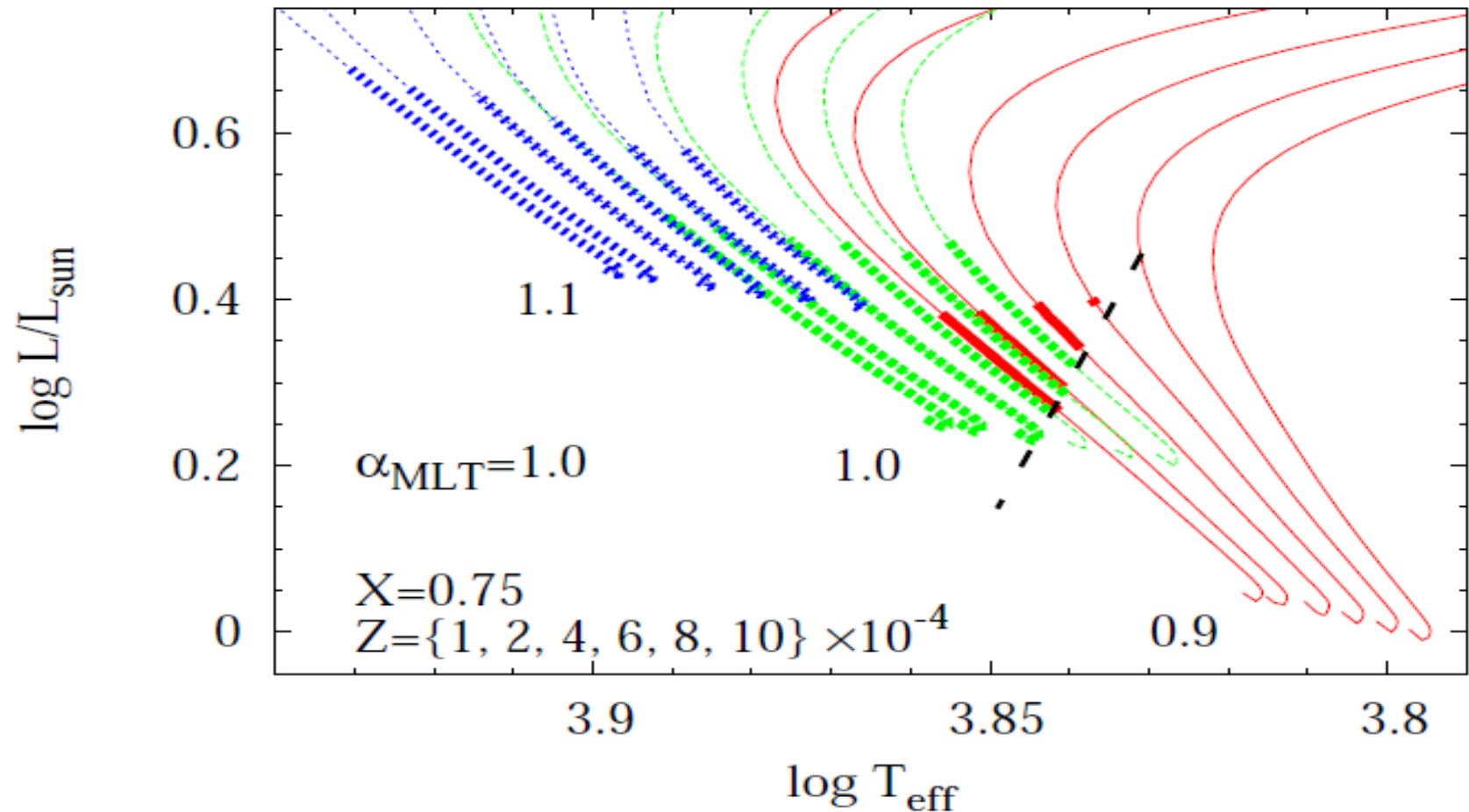


外縁対流層の上、下端



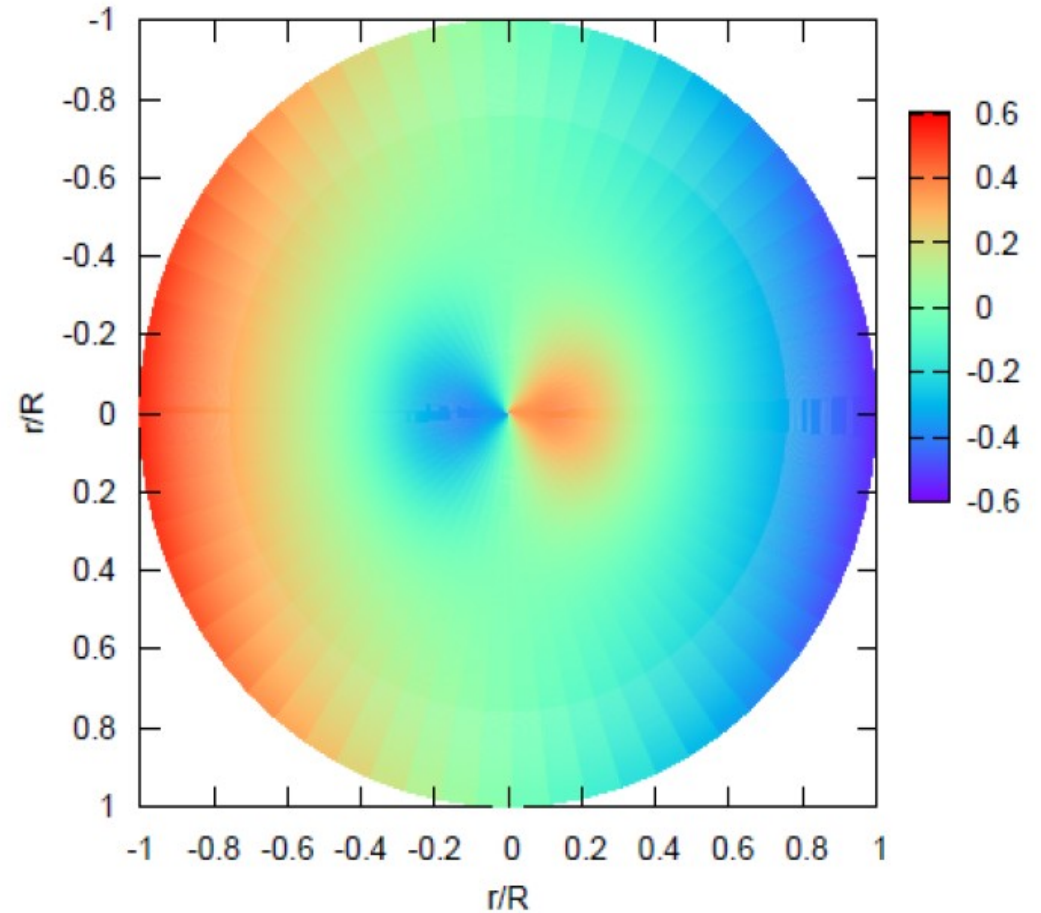
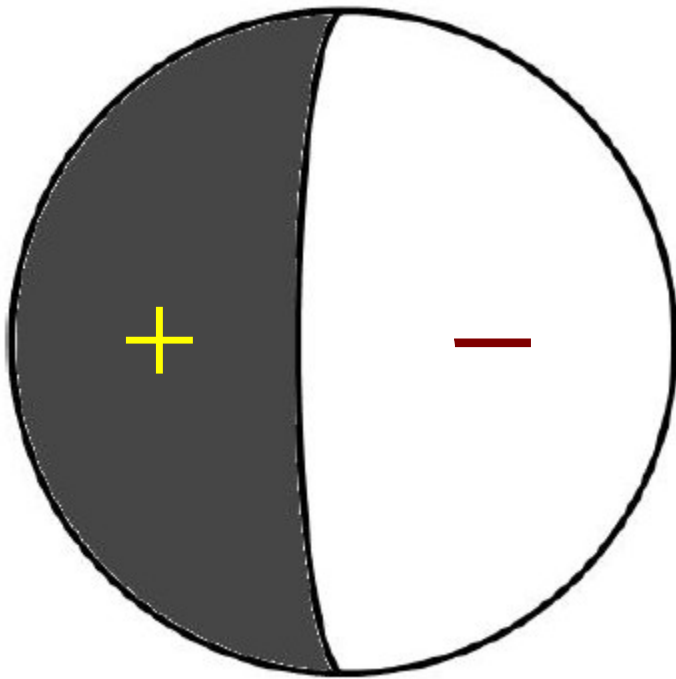
本研究の目的：
低金属量星において、g-modeが ε メカニズムによって不定性なく不安定になるかを調べる。

- MESA(Paxton+ 2011)
- $Z=10^{-4} \sim 10^{-3}$
- 外縁対流層が $r/R>0.99$ に限られるモデル（太線）



双極子g_1モード

$(\delta r)_r$



内部重力波（浮力を復元力とする波動）の定在波

ϵ メカニズムの強さ \propto

$$\epsilon \left[\left(\frac{\partial \ln \epsilon}{\partial \ln T} \right)_\rho + \frac{1}{\Gamma_3 - 1} \right]$$

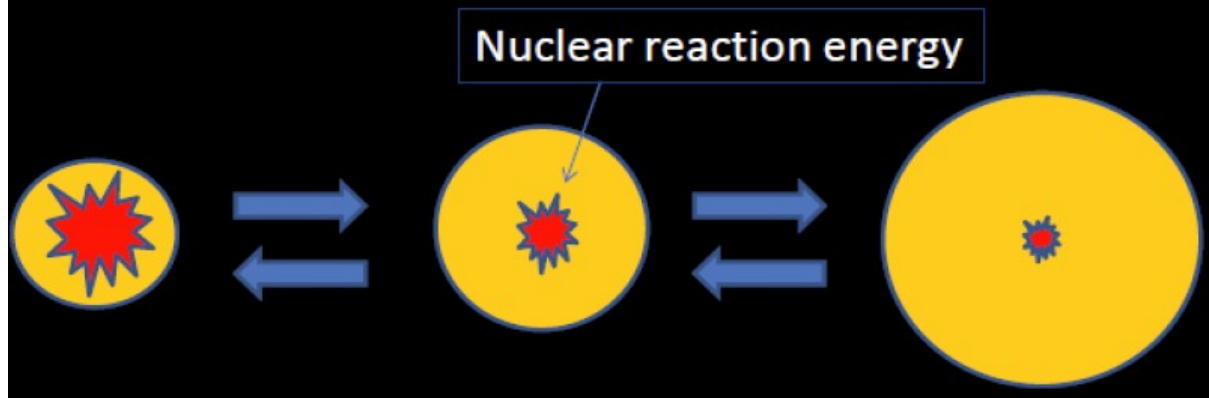
核反応エネルギー

温度依存性

	温度依存性
pp-chain	4-5
CNO-cycle	15-18

ϵ -mechanism

thermal energy \rightarrow oscillation energy

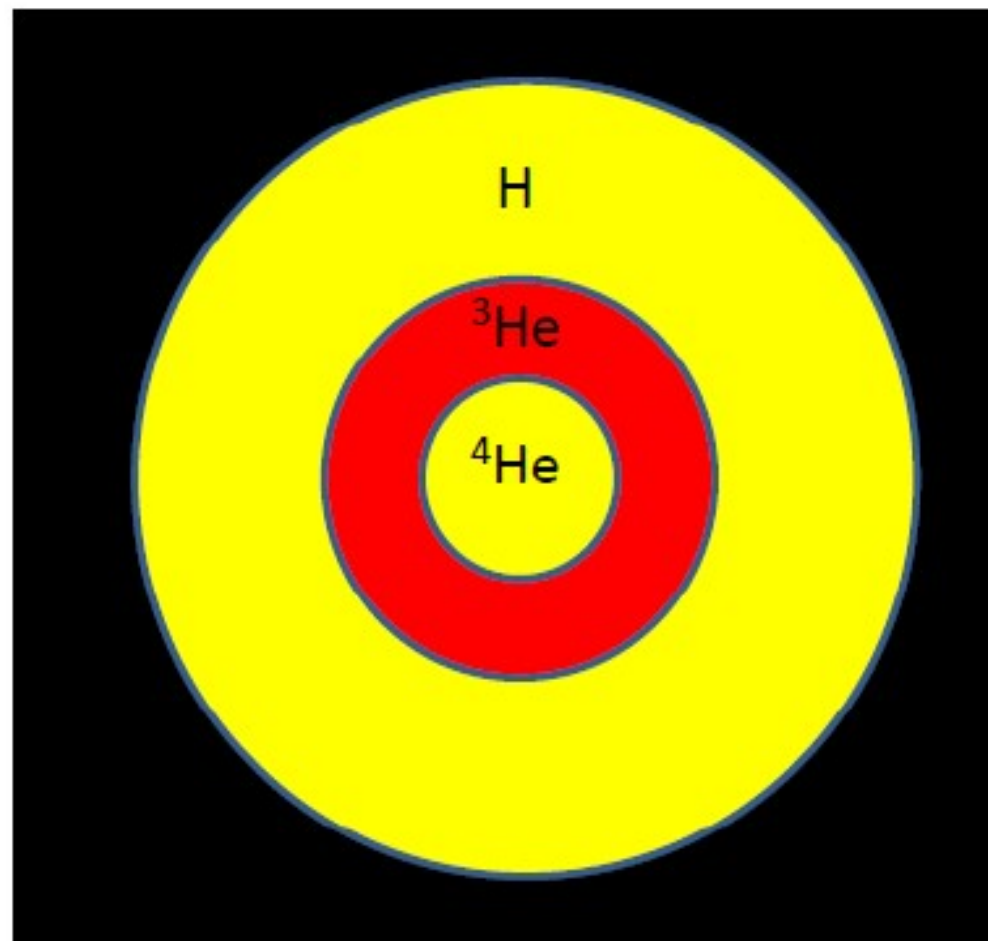


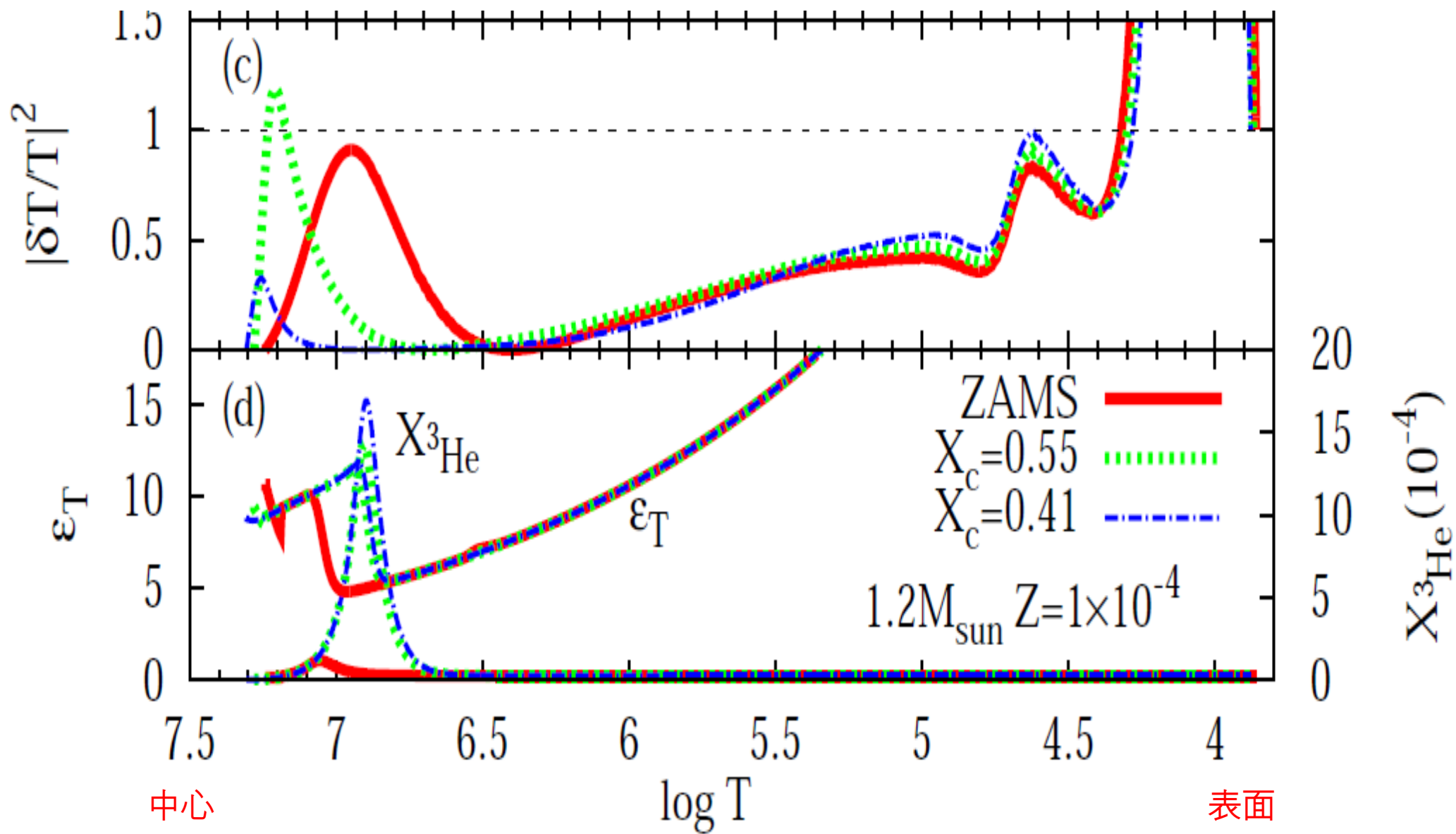
ϵ -mechanism of the ${}^3\text{He}$ - ${}^3\text{He}$ reaction in the pp-chain

pp-I branch

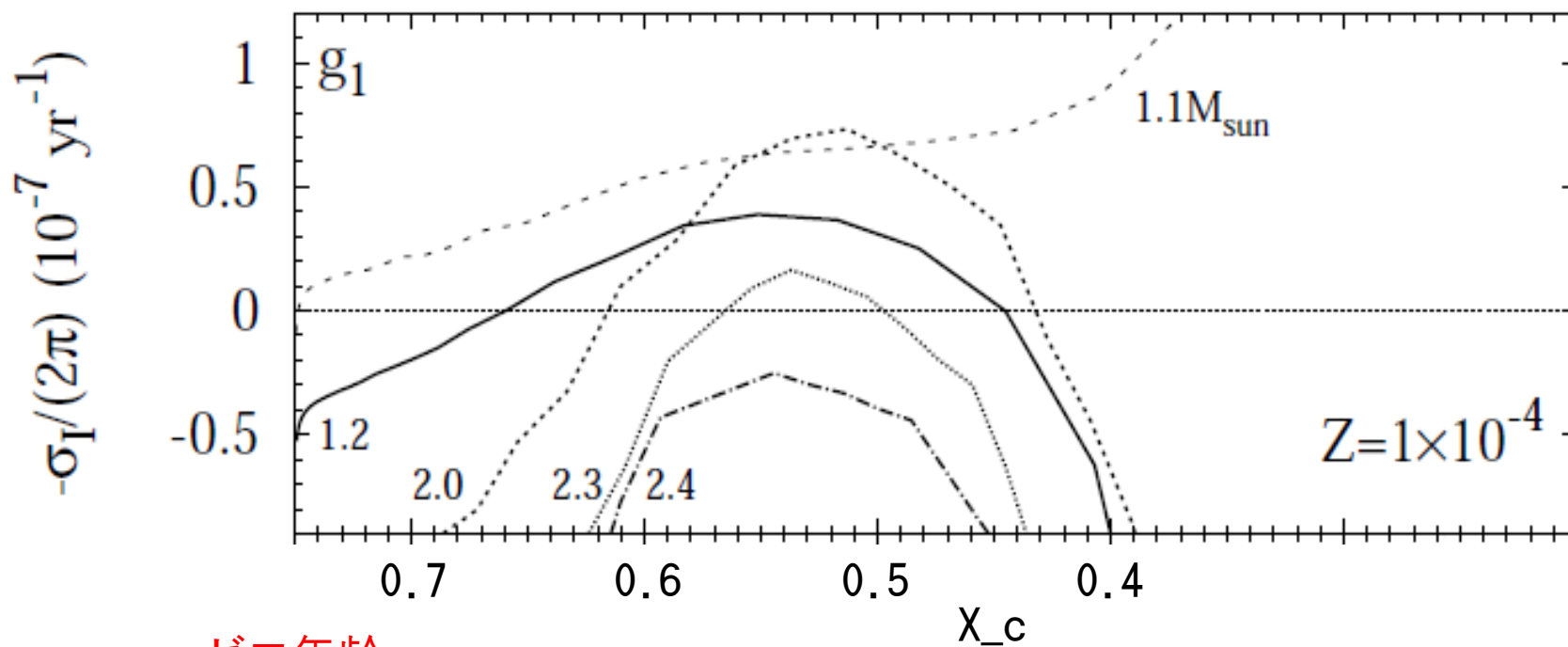
	$\left(\frac{\partial \ln \epsilon}{\partial \ln T}\right)_\rho @ 10^7 \text{ K}$
$\text{H}(\text{H}, e^+ \nu)\text{D}$	4-5
$\text{D}(\text{H}, \gamma){}^3\text{He}$	5
${}^3\text{He}({}^3\text{He}, 2\text{H}){}^4\text{He}$	18-19

For the whole pp-chain in the
oscillation time scale: $\sim 11 (@10^7\text{K})$



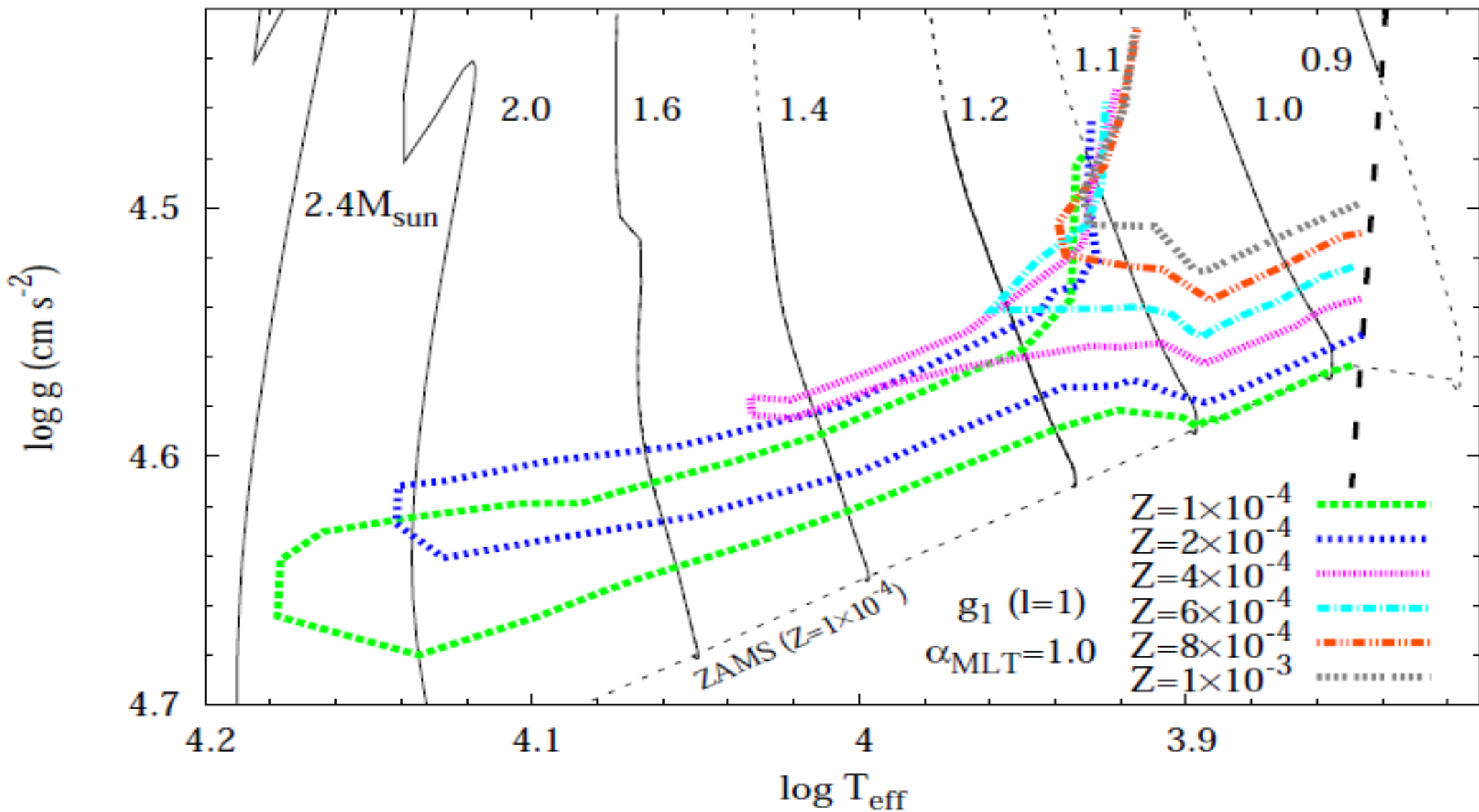


成長率



ゼロ年齢

結果：双極子g_1モードの不安定領域



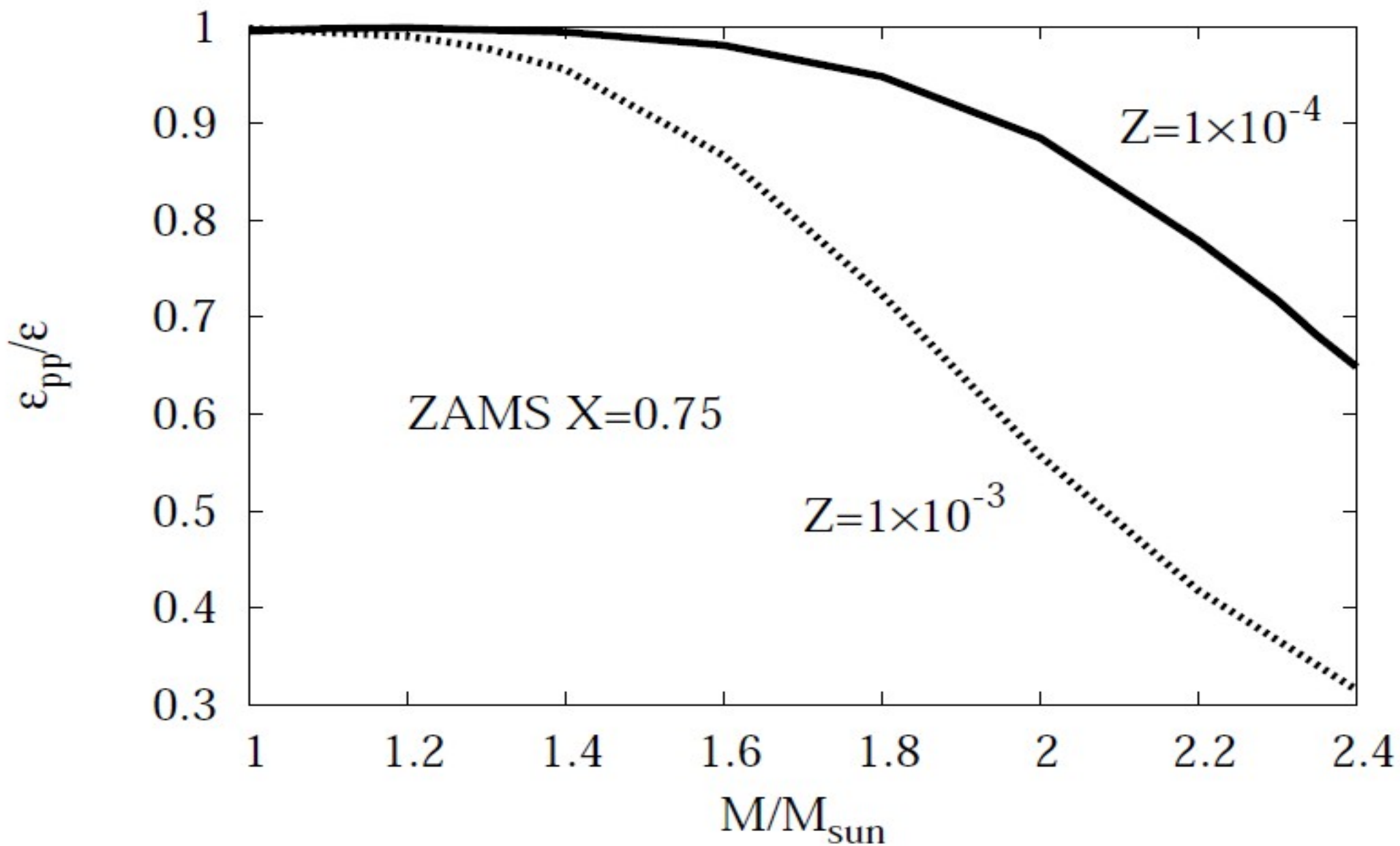
Z減 ⇒ 不安定領域大

中心核のエネルギー輸送

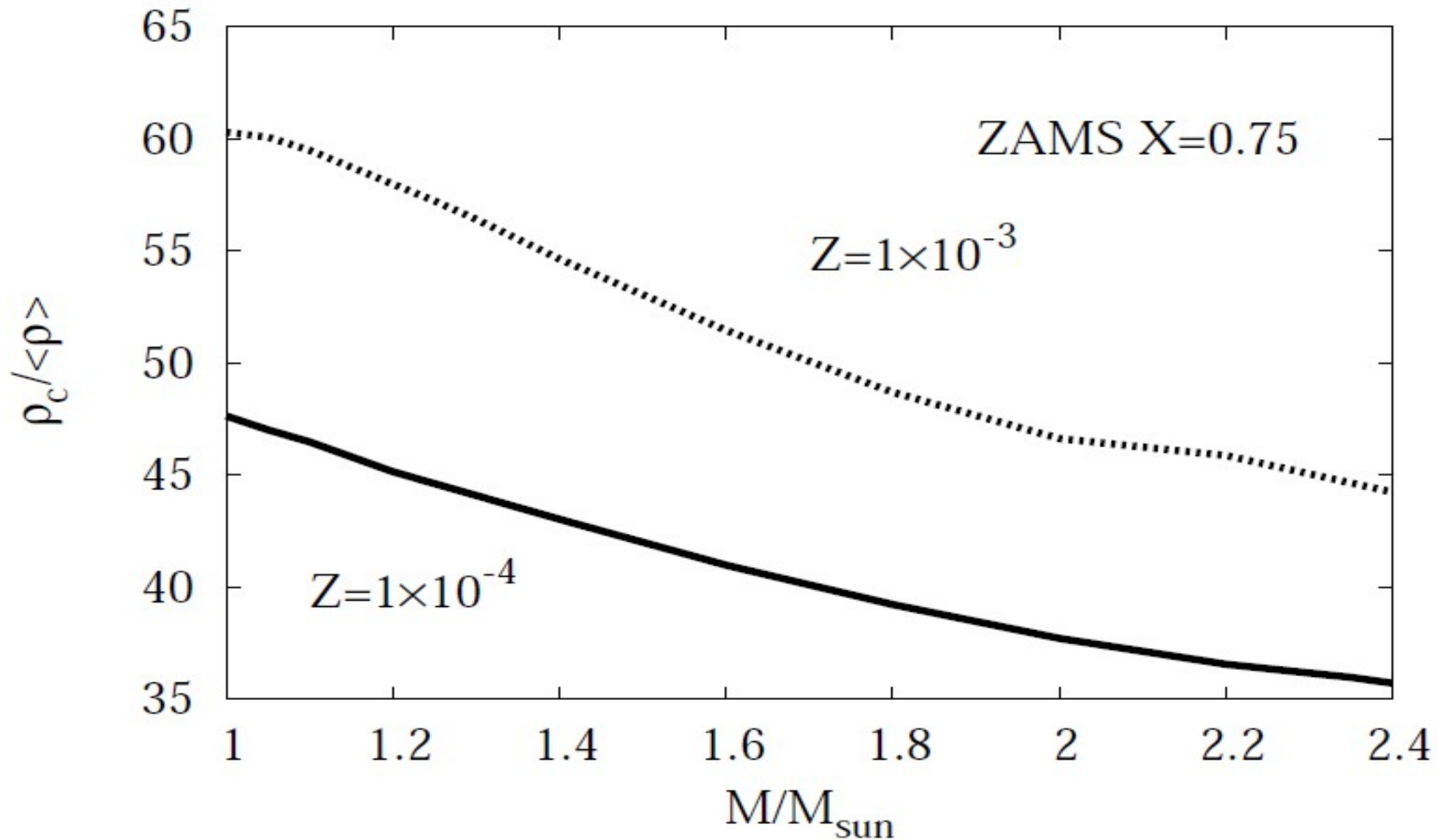
- ppチェーン…輻射的、もしくはゼロ年齢で対流的でも進化とともに輻射的に
- CNOサイクル…対流的

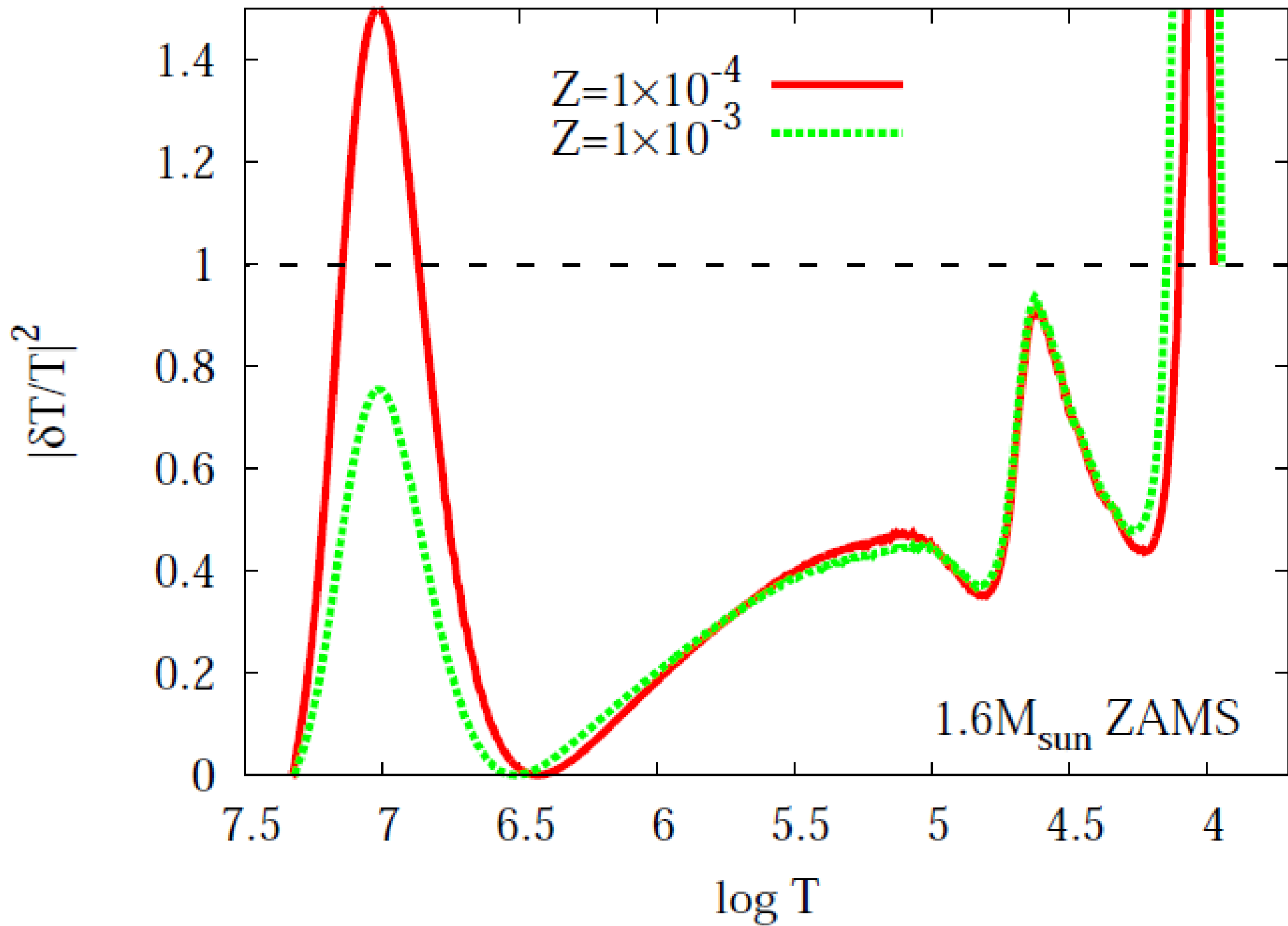
gモードの波…対流領域を伝播しない
⇒ ppチェーンの方が ε メカニズムが起こりやすい

中心におけるppチェーンの寄与



Z減 ⇒ 密度コントラスト減





まとめ

1) 低金属量星で外縁対流層による不定性なく、gモードが ε メカニズムによる振動不安定になる。

2)

