

Section 4. 核融合反応

4.1 恒星内部の温度

4.2 核融合反応

太陽

太陽の明るさ

$$= 4 \times 10^{26} \text{ J/s (= W)} = 4 \times 10^{33} \text{ erg/s}$$

(C) JAXA/ISAS

日本の一年の消費電力 = $2 \times 10^{19} \text{ J} = 2 \times 10^{26} \text{ erg}$

日本が 10^7 年 = 1000万年かけて使うエネルギーを1秒で放射

太陽はなぜこんなに明るいのか??

=> 物理を使って理解しよう

太陽はなぜ明るく輝くのか？

A. 化学反応

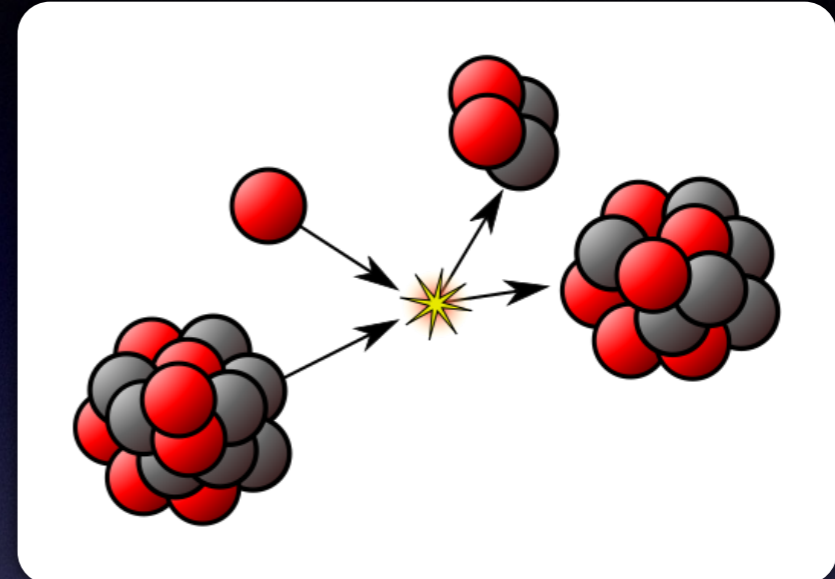


<https://www.britannica.com/science/chemical-reaction>



原子や分子がくっつく
= 原子核は変わらない

B. 原子核反応



原子核が変わる
= 新しい元素ができる

太陽を約100億年
輝かせることができる



星の中では核融合反応が起きているらしい

=> 本当？

星の中はどうなっているの？

核融合

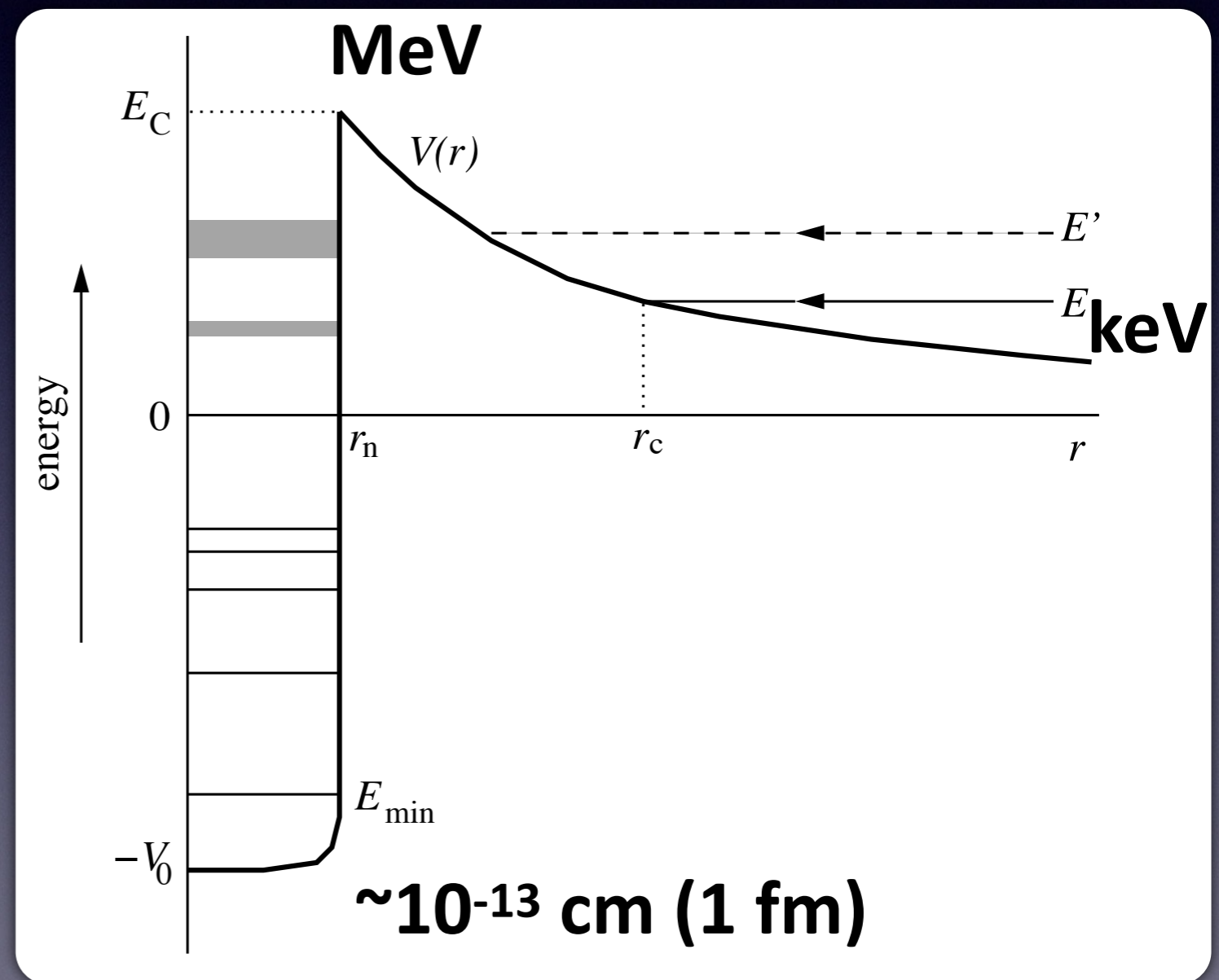
クーロン障壁 $E \sim (Z_1 Z_2 e^2) / r \sim 10^6 \text{ eV (MeV)}$

ガスの典型的なエネルギー $E \sim kT \sim 10^3 \text{ eV (keV)} \leq 10^7 \text{ K}$

=> トンネル効果

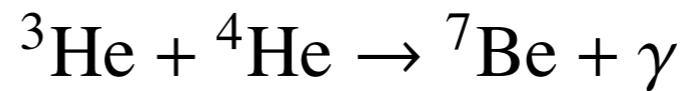
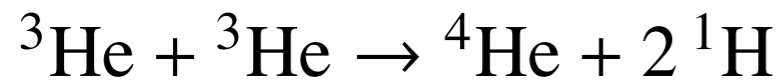
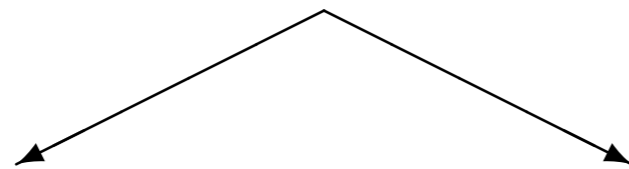
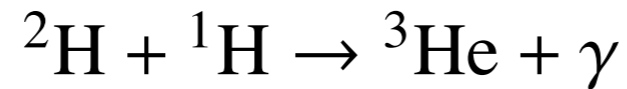
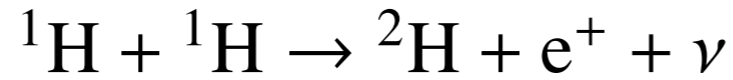
量子力学

温度が高いほど核融合が
起こりやすい

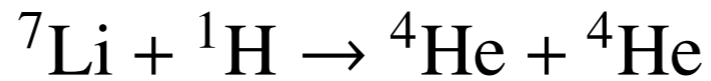
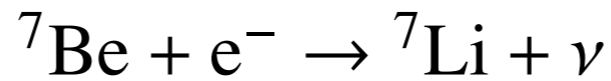


水素燃燒 (pp chain)

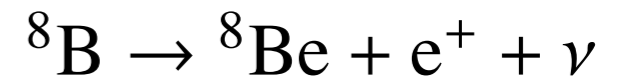
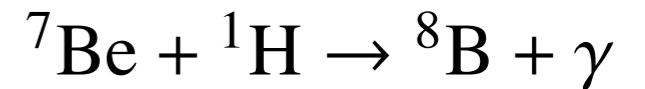
$$4 \text{ } ^1\text{H} \rightarrow \text{ } ^4\text{He} + 2 \text{e}^+ + 2 \nu$$



pp1

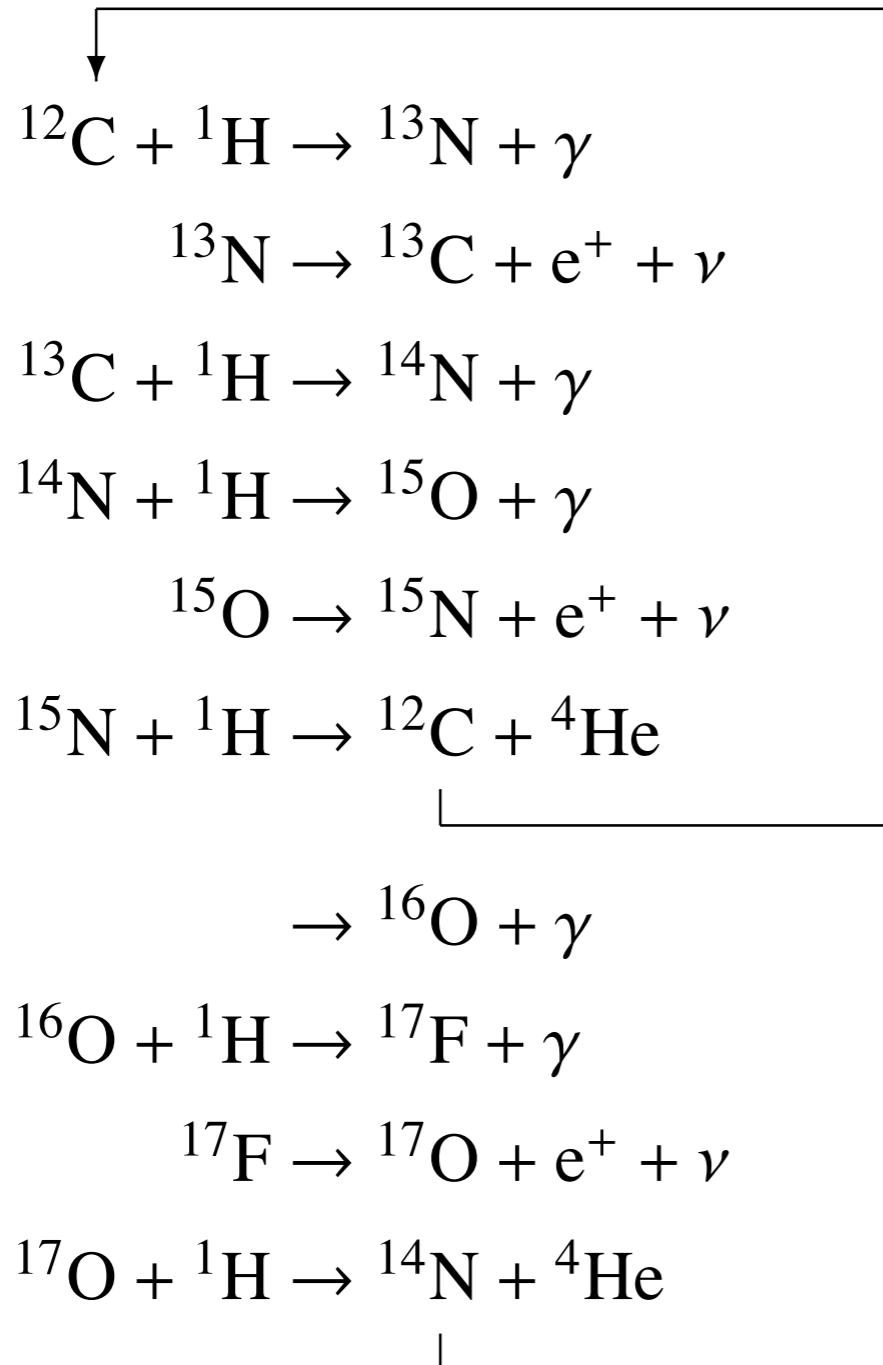


pp2

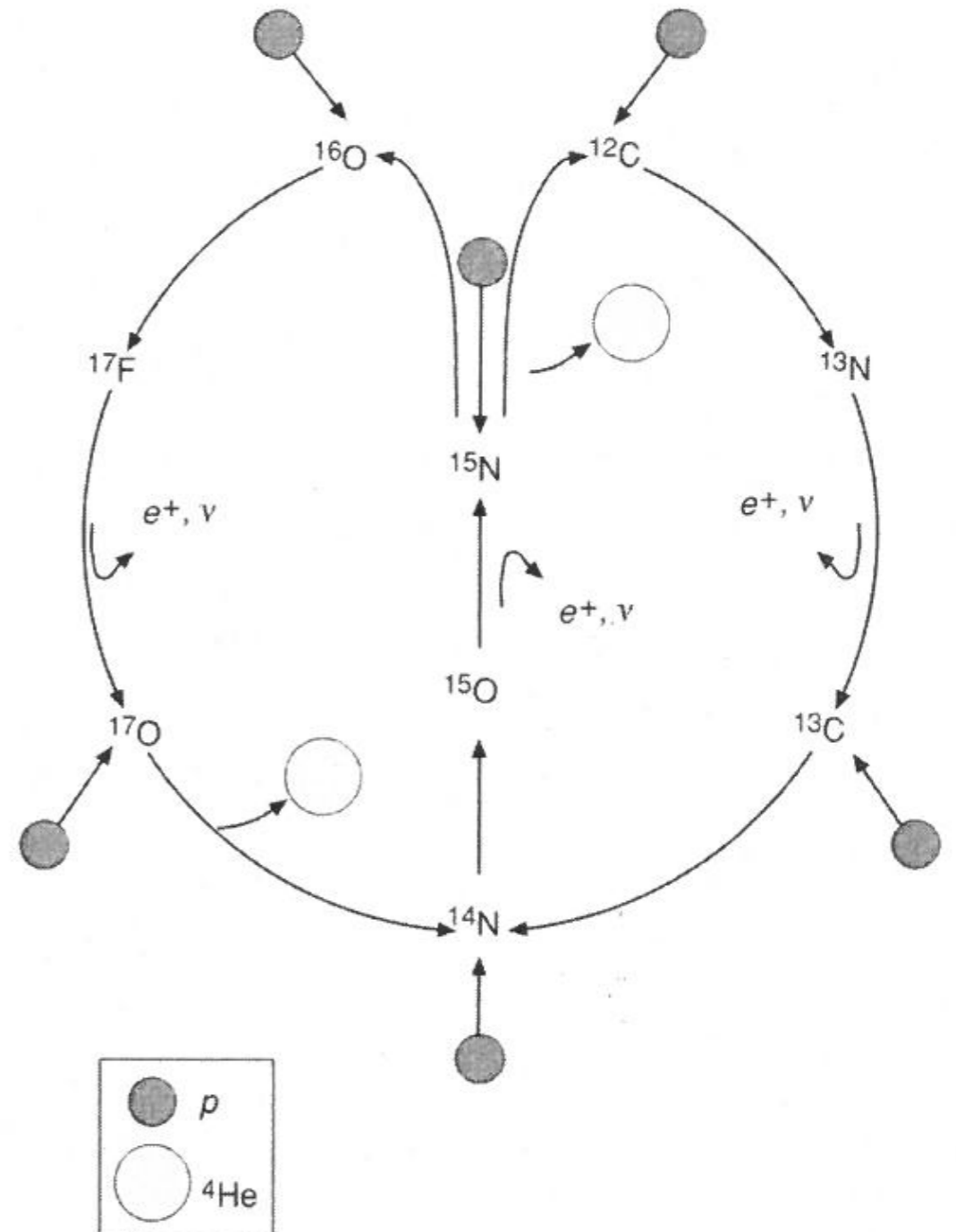


pp3

水素燃烧 (CNO cycle)

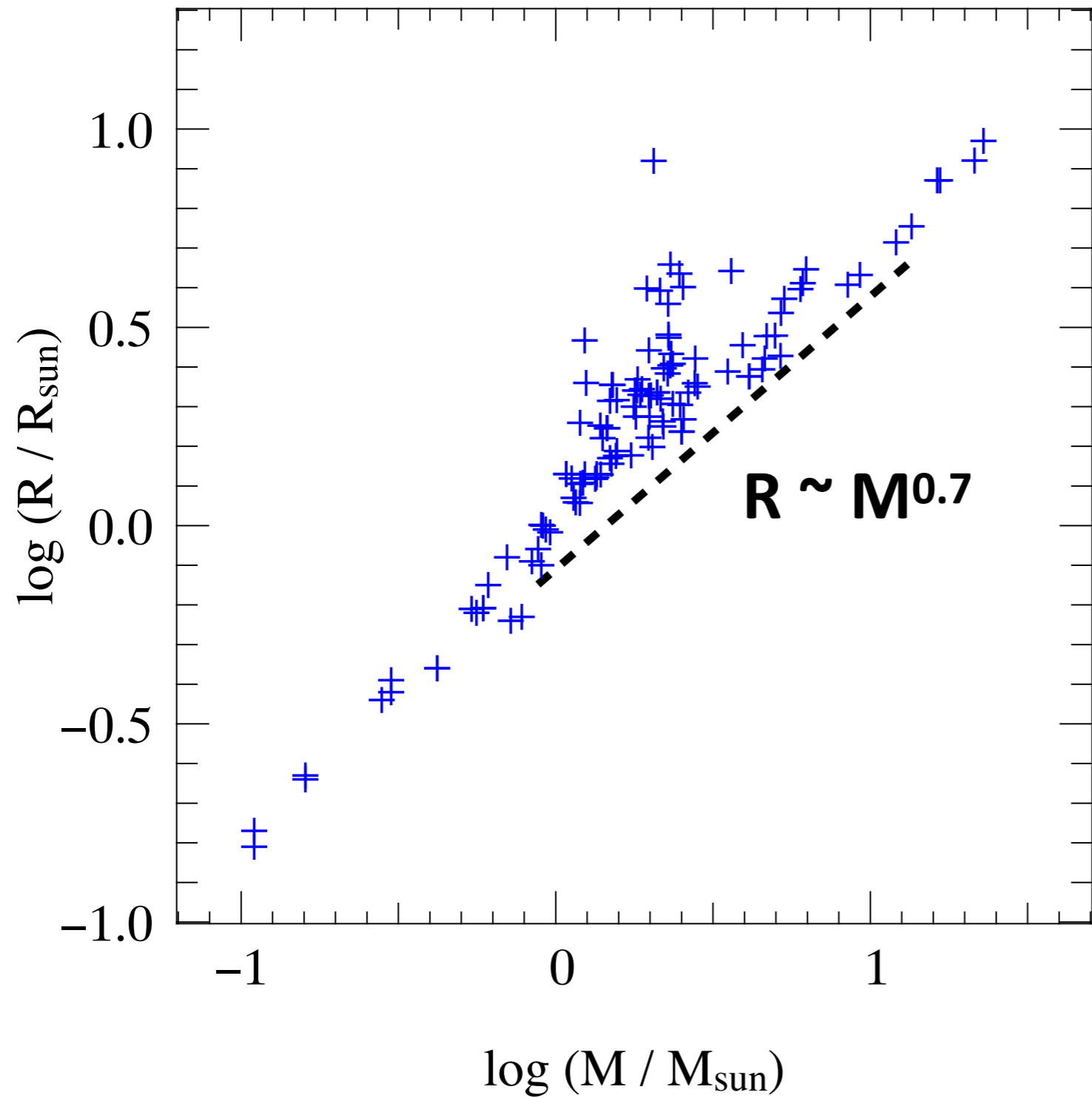


Textbook by Pols



Textbook by Prialnik

質量と半径の関係



まとめ

- 恒星の内部
 - 力学と熱力学で大まかに理解できる
 - 太陽の中心温度は約 10^7K (1000万度)
- 核融合反応
 - 原子核のクーロンポテンシャル
>> 粒子の運動エネルギー
 - トンネル効果が必要 (量子力学)

様々な疑問を物理を使って理解しよう

- なぜ星は「進化」するのか？
- なぜ質量で運命が変わるのか？
- なぜ星は爆発するのか？
- 超新星の膨大なエネルギーはどこからきたのか？
- 超新星はなぜ非常に明るくなるのか？
- なぜ中性子星合体は輝くのか？
- ...

熱力学

統計力学

力学

電磁気学

宇宙物理学
天体物理学

流体力学

原子核物理学

量子力学

相対論