

# Section 5. 核融合反応

## 5.1 恒星の中心温度

## 5.2 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??

=> 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

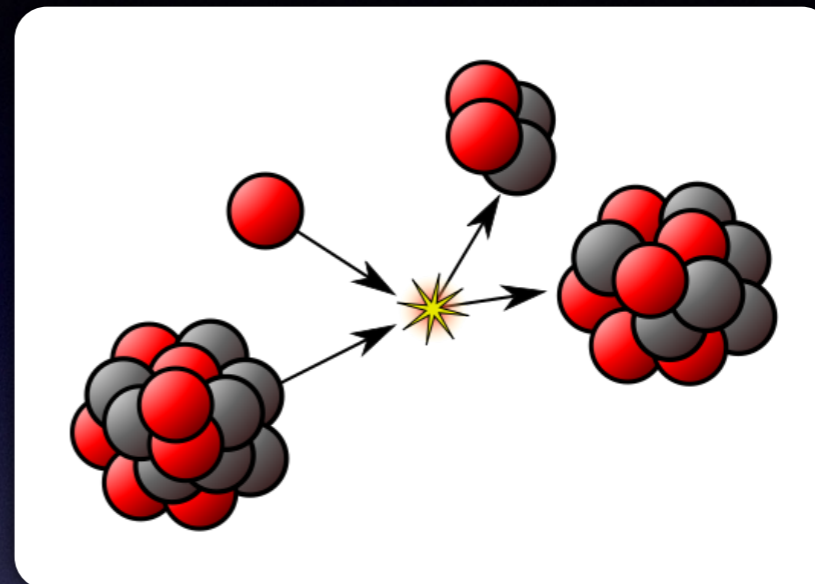


<https://www.britannica.com/science/chemical-reaction>



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

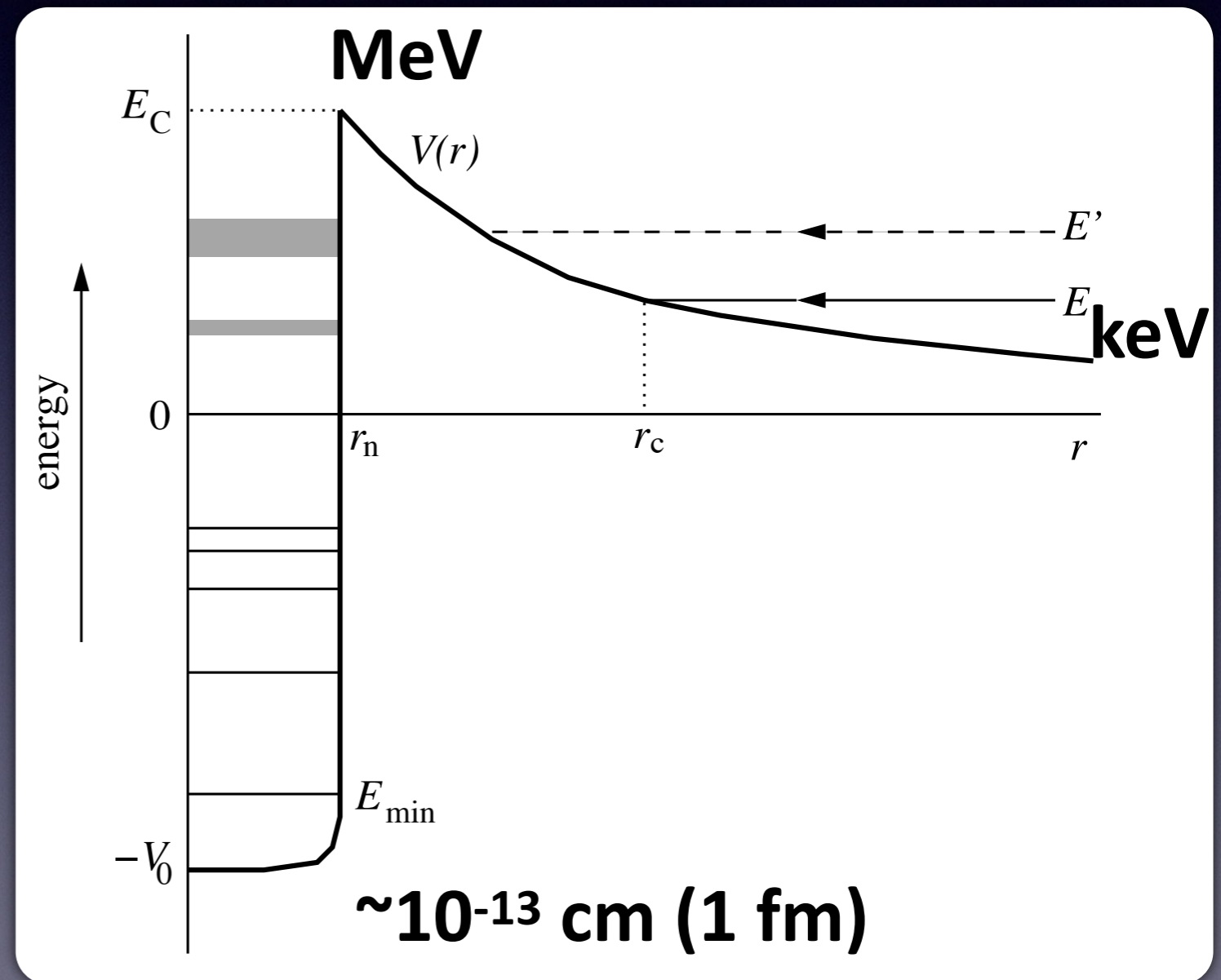
クーロン障壁  $E \sim (Z_1 Z_2 e^2) / r \sim 10^6 \text{ eV (MeV)}$

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

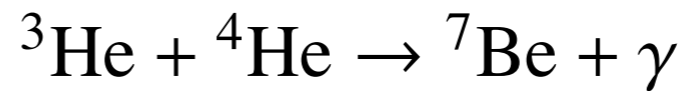
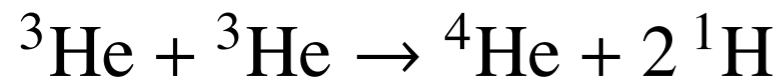
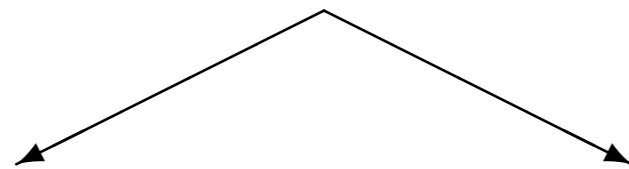
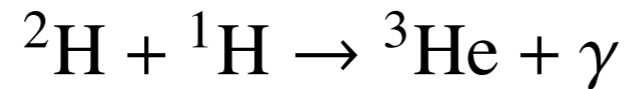
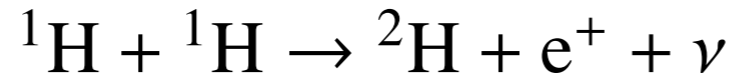
量子力学

温度が高いほど核融合が  
起こりやすい

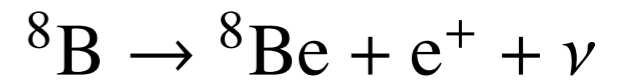
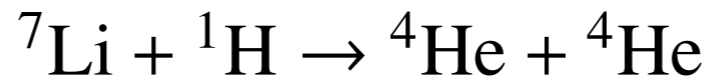
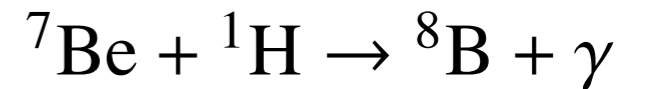
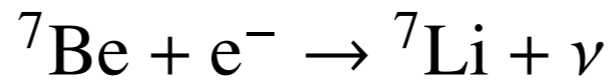
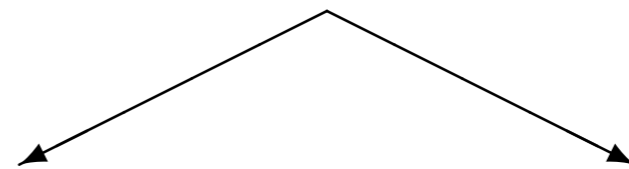


# 水素燃烧 (pp chain)

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



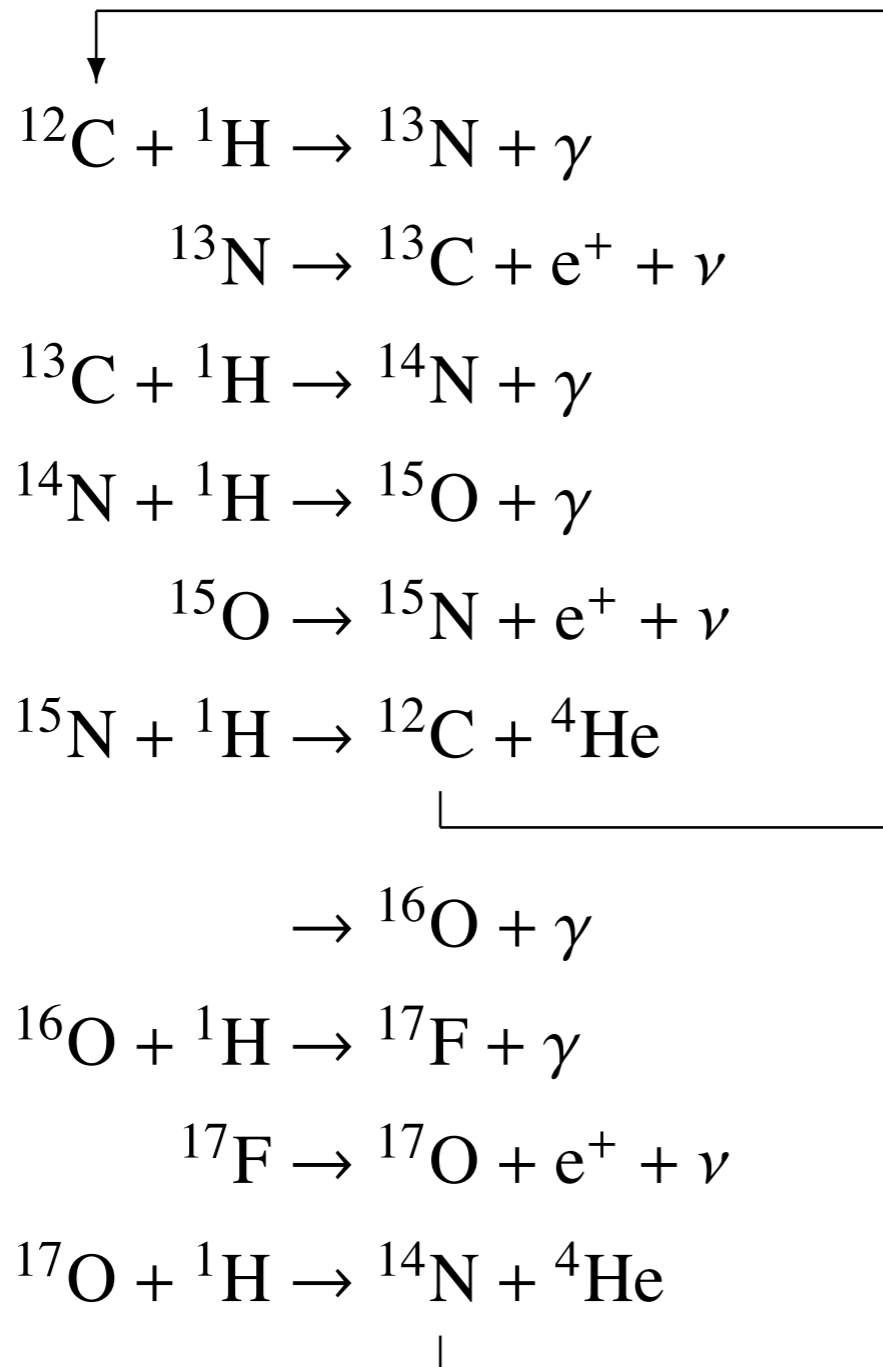
pp1



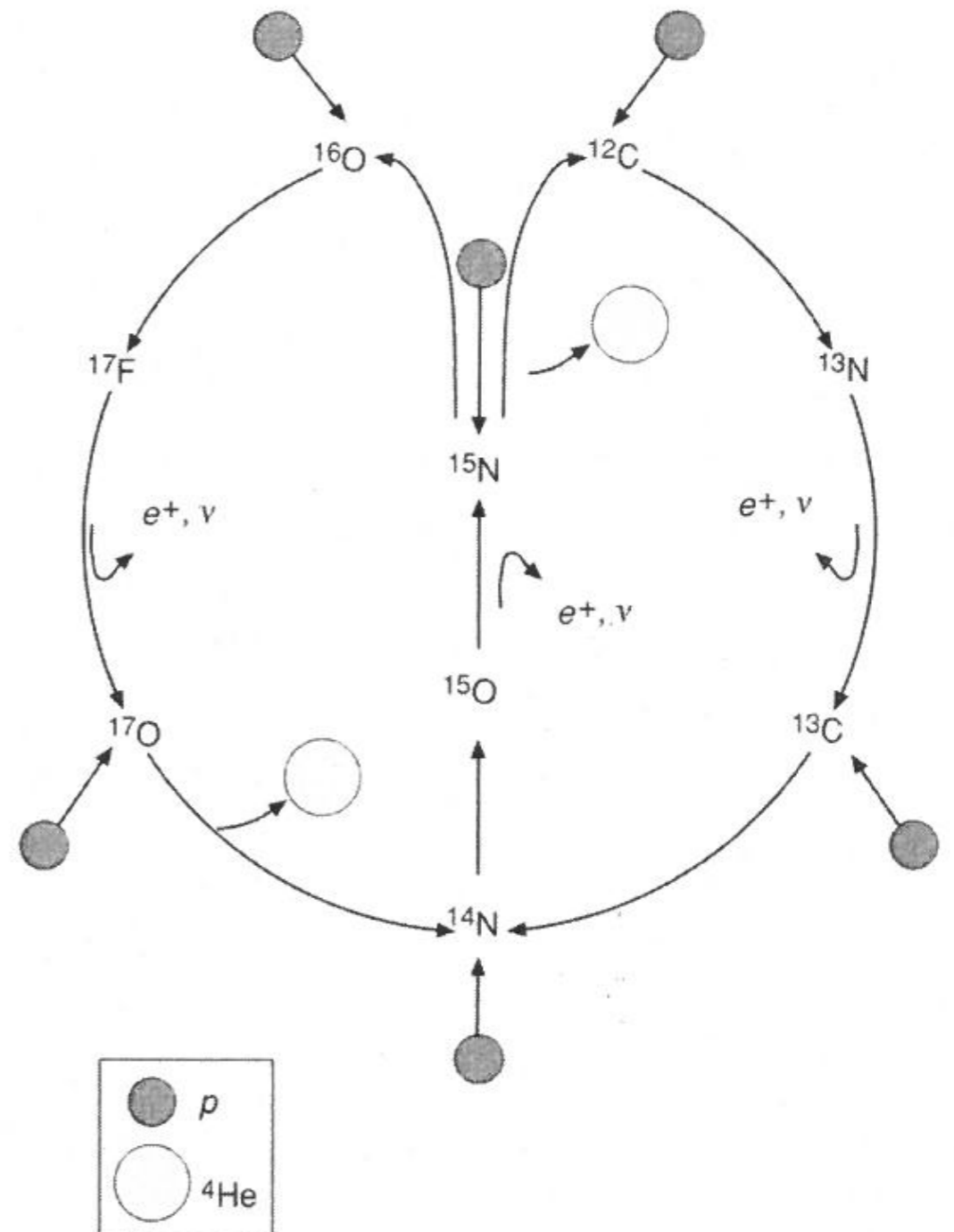
pp2

pp3

## 水素燃烧 (CNO cycle)



Textbook by Pols

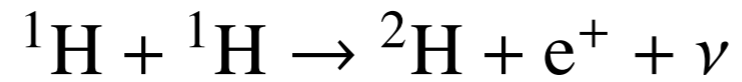
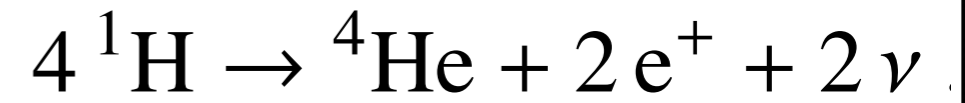


Textbook by Prialnik

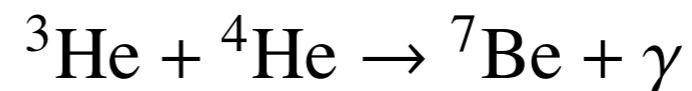
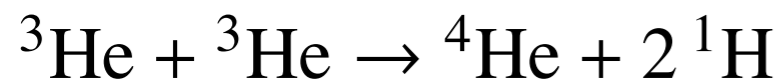
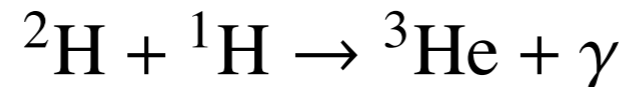
脱線：地上の核融合



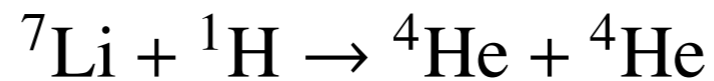
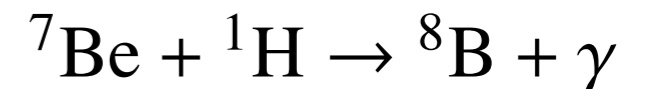
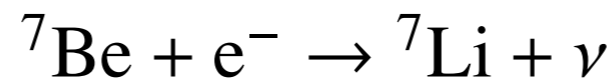
# 太陽の核融合



非常にゆっくり進む



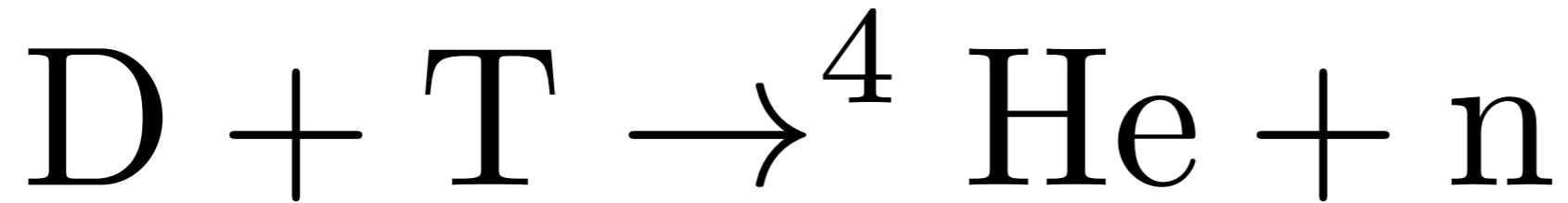
pp1



pp2

pp3

# 地上の核融合



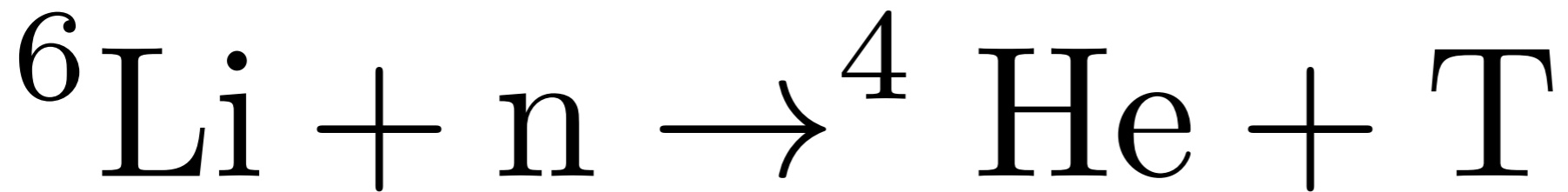
重水素  
(pn)

三重水素  
(pnn)

ヘリウム

中性子

地球に存在



地球に存在

# 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 $10^7\text{K}$  (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)

熱力学

3セメ

統計力学

5,6セメ

力学

1,2セメ

電磁気学

2,3セメ

宇宙物理学  
天体物理学

流体力学

4セメ

原子核物理学

7セメ

量子力学

4,5セメ

相対論

4,7セメ