

# 粒子物理學

沈威宇

2025 年 4 月 15 日

# 目錄

|  |   |
|--|---|
| 第一節 粒子物理學 (Particle Physics)   | 1 |
| 一、 標準模型 (Standard Model, SM)   | 1 |
| (一) 表  | 1 |
| (二) 說明   | 1 |
| 二、 自然界的四種基本交互作用 (Four basic interactions in nature)  | 2 |
| (一) 強力 (Strong force) / 強交互作用 (Strong interaction) / 強核力 (Strong nuclear force) / 核力 (Nuclear force) | 2 |
| (二) 弱力 (Weak force) / 弱交互作用 (Weak interaction) / 弱核力 (Weak nuclear force)                            | 2 |
| (三) 電弱交互作用 (Electroweak interaction)   | 2 |
| (四) 比較   | 3 |

# 第一節 粒子物理學 (Particle Physics)

## 一、標準模型 (Standard Model, SM)

### (一) 表

| 粒子                       | 種類 | 世 代<br>(Generations) | 反 粒 子<br>(Antiparticles) | 色 (Colors) | 總計 |
|--------------------------|----|----------------------|--------------------------|------------|----|
| 夸克 (Quark)               | 2  | 3                    | 成對                       | 3          | 36 |
| 輕子 (Lepton)              | 2  | 3                    | 成對                       | 無色         | 12 |
| 膠子 (Gluon) $g$           | 1  | 1                    | 自身                       | 8          | 8  |
| W 玻色子 (W boson) $W$      | 1  | 1                    | 成對                       | 無色         | 2  |
| Z 玻色子 (Z boson) $Z$      | 1  | 1                    | 自身                       | 無色         | 1  |
| 光子 (Photon) $\gamma$     | 1  | 1                    | 自身                       | 無色         | 1  |
| 希格斯玻色子 (Higgs boson) $H$ | 1  | 1                    | 自身                       | 無色         | 1  |
| 總計                       |    |                      |                          |            | 61 |

### (二) 說明

- 夸克：分為三代，包含正三分之二基本電荷的上 (Up, u)、魅 (Charm, c)、頂 (Top, t) 夸克，與負三分之一基本電荷的下 (Down, d)、奇 (Strange, s)、底 (Bottom, b) 夸克，每一味 (Flavor) 夸克都具有紅、綠及藍三種色的版本。夸克之反粒子為反夸克。
- 質子 (Proton, p)：二個上夸克與一個下夸克組成的粒子。
- 中子 (Neutron, n)：一個上夸克與二個下夸克組成的粒子。
- 核子 (Nucleon)：中子和質子的合稱。
- 強子 (Hadron)：夸克或反夸克通過強作用力綑綁在一起的複合粒子。
- 色荷 (Color charge)：強交互作用中一種類似電磁交互作用中電荷的荷，存在於夸克與膠子。
- 色禁閉 (Color confinement)：指夸克和膠子無法以單獨的形式存在於自然界，其中對於夸克又稱夸克禁閉 (Quark confinement)。
- 費米子 (Fermion)：具有二分之奇數自旋量子數的粒子，包含所有夸克與輕子與任何由奇數個夸克或輕子組成的複合粒子。
- 重子 (Baryon)：由三個夸克或三個反夸克組成的複合粒子，自旋總是半整數。
- 輕子：不參與強交互作用、自旋為 1/2 的基本粒子。包括帶負或正基本電荷的：電子 (Electron)  $e^-$ 、正電子 (Positron)  $e^+$ 、繃子 (Muon)  $\mu^-$ 、反繃子 (Antimuon)  $\mu^+$ 、陶子 (Tauon)  $\tau^-$ 、反

陶子 (Antitauon)  $\tau^+$ ；與電中性的微中子 (Neutrino) 與反微中子 (Antineutrino)：電子微中子  $\nu_e$ 、反電子微中子  $\bar{\nu}_e$ 、繃子微中子  $\nu_\mu$ 、反繃子微中子  $\bar{\nu}_\mu$ 、陶子微中子  $\nu_\tau$ 、反陶子微中子  $\bar{\nu}_\tau$ 。

- 玻色子 (Boson)：不是費米子的基本粒子。
- 規範玻色子 (Gauge boson)：作為交互作用媒介的玻色子。標準模型中的規範玻色子包含膠子，強交互作用的媒介、光子，作為電磁交互作用的媒介、W 玻色子與 Z 玻色子，作為弱交互作用的媒介。
- 純量玻色子 (Scalar boson)：自旋為零的玻色子，如希格斯玻色子。

## 二、 自然界的四種基本交互作用 (Four basic interactions in nature)

力 (Force) 或交互作用 (Interaction) 指粒子間發生的造成粒子狀態改變的作用。

### (一) 強力 (Strong force) / 強交互作用 (Strong interaction) / 強核力 (Strong nuclear force) / 核力 (Nuclear force)

強子間的交互作用力，將夸克或反夸克結合成強子、將核子結合成原子核，作用範圍小，力大於電磁力而小於重力。一般質子或中子裡，大部份的質能是以強交互作用場能量的形式存在，夸克只提供了 1% 的質能。

### (二) 弱力 (Weak force) / 弱交互作用 (Weak interaction) / 弱核力 (Weak nuclear force)

弱力是由玻色子的發射或吸收所造成的，非接觸力，作用範圍較強力小，力小於電磁力。這種發射中最有名的是  $\beta$  衰變。

### (三) 電弱交互作用 (Electroweak interaction)

是電磁力與弱交互作用的統一描述，而這兩種作用都是自然界中四種已知基本力。雖然在日常的低能量情況下，電磁作用與弱作用存在很大的差異，然而在超過統一溫度，即數量級在 100 GeV 的情況下，這兩種作用力會統合成單一的電弱作用力。

#### (四) 比較

| 基本交互作用       | 相 對 強 度 (以兩質子相距 $2 \times 10^{-15}$ m 時的強核力為一) | 作用範圍 (m)        | 提出者   |
|--------------|--|-----------------|---|
| 強力           | 1  | $[0, 10^{-15}]$ | 1935 年湯川秀樹 (Yukawa Hideki)                                  |
| 電磁力          | $10^{-2}$                                      | $[0, \infty]$   | 厄 斯 特 (Ørsted) 、 安 培 (Ampere)、法拉第(Faraday)、馬克思威 (Maxwell) 等 |
| 弱力           | $10^{-13}$                                     | $[0, 10^{-18}]$ | 1934 年費米 (Fermi)  |
| 重力 (Gravity) | $10^{-38}$                                     | $[0, \infty]$   | 1687 年牛頓 (Newton)   |