

# 粒子物理简介

## 第七节 典型粒子性质

余钊焕

中山大学物理学院

<https://yzhxxzxy.github.io>



更新日期：2024 年 10 月 1 日



# 基本粒子

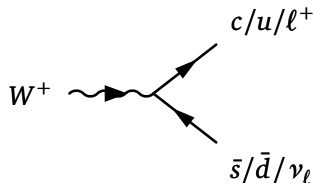
## 1 $W^\pm$ 规范玻色子, 质量 80.4 GeV, 宽度 2.1 GeV

● 弱衰变  $W^+ \rightarrow c\bar{s}/u\bar{d}$ , 分支比 67.4%

● 弱衰变  $W^+ \rightarrow \tau^+\nu_\tau$ , 分支比 11.4%

● 弱衰变  $W^+ \rightarrow e^+\nu_e$ , 分支比 10.7%

● 弱衰变  $W^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$ , 分支比 10.6%



## 2 $Z^0$ 规范玻色子, 质量 91.2 GeV, 宽度 2.5 GeV

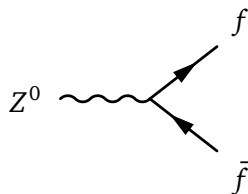
● 弱衰变  $Z^0 \rightarrow u\bar{u}/d\bar{d}/c\bar{c}/s\bar{s}/b\bar{b}$ , 分支比 69.9%

● 弱衰变  $Z^0 \rightarrow \nu_e\bar{\nu}_e/\nu_\mu\bar{\nu}_\mu/\nu_\tau\bar{\nu}_\tau$ , 分支比 20%

● 弱衰变  $Z^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$ , 分支比 3.37%

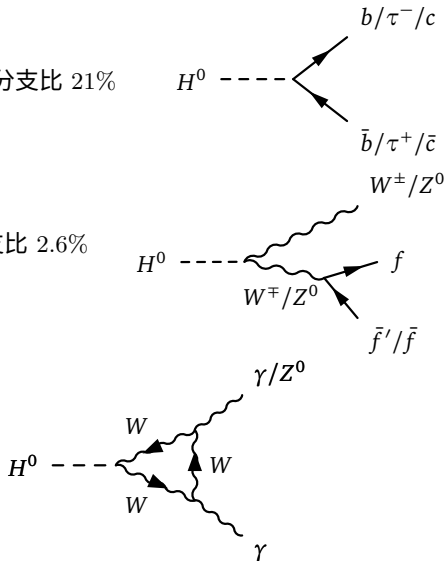
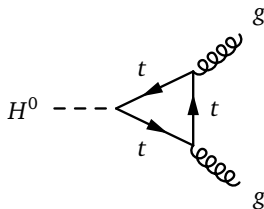
● 弱衰变  $Z^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ , 分支比 3.37%

● 弱衰变  $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ , 分支比 3.36%



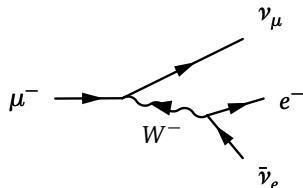
### 3 希格斯玻色子 $H^0$ ，质量 125 GeV，预期宽度 4 MeV

- $H^0 \rightarrow b\bar{b}$ ，预期分支比 58%
- $H^0 \rightarrow W^\pm W^\mp^* (\rightarrow f\bar{f}')$ ，预期分支比 21%
- $H^0 \rightarrow gg$ ，预期分支比 8.2%
- $H^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$ ，预期分支比 6.3%
- $H^0 \rightarrow c\bar{c}$ ，预期分支比 2.9%
- $H^0 \rightarrow Z^0 Z^{0*} (\rightarrow f\bar{f})$ ，预期分支比 2.6%
- $H^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ，预期分支比 0.23%
- $H^0 \rightarrow Z^0\gamma$ ，预期分支比 0.15%



④  $\mu$  子, 质量 105.66 MeV, 寿命  $2.2 \times 10^{-6}$  s

● 弱衰变  $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$ , 分支比  $\simeq 100\%$



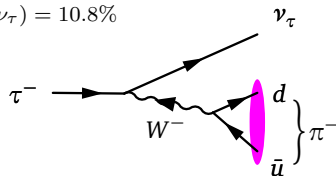
⑤  $\tau$  子, 质量 1.777 GeV, 寿命  $2.9 \times 10^{-13}$  s

● 弱衰变  $\tau^- \rightarrow \text{强子} + \nu_\tau$ , 分支比 64.8%

●  $\text{BR}(\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu_\tau) = 25.5\%$ ,  $\text{BR}(\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau) = 10.8\%$

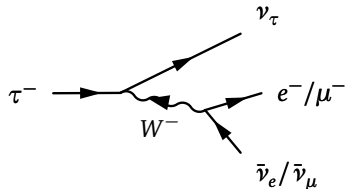
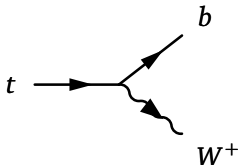
● 弱衰变  $\tau^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau$ , 分支比 17.8%

● 弱衰变  $\tau^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$ , 分支比 17.4%



⑥ 顶夸克  $t$ , 质量 173 GeV, 宽度 1.4 GeV

● 弱衰变  $t \rightarrow b W^+$ , 分支比  $\simeq 100\%$



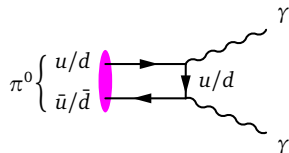
# 介子

- ①  $\pi^0$  介子, 质量 135.0 MeV, 寿命  $8.4 \times 10^{-17}$  s,

价夸克为  $(u\bar{u} - d\bar{d})/\sqrt{2}$

- 电磁衰变  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ , 分支比 98.8%

- 电磁衰变  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-\gamma$ , 分支比 1.2%



- ②  $\pi^\pm$  介子, 质量 139.6 MeV, 寿命  $2.6 \times 10^{-8}$  s, 价夸克为  $\pi^+(u\bar{d})$ ,  $\pi^-(d\bar{u})$

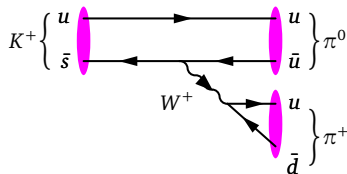
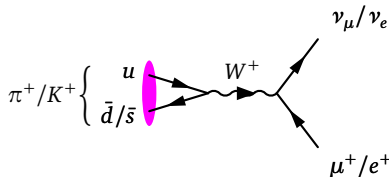
- 弱衰变  $\pi^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$ , 分支比 99.9877%


- 弱衰变  $\pi^+ \rightarrow e^+\nu_e$ , 分支比 0.0123%

- ③  $K^\pm$  介子, 质量 493.7 MeV, 寿命  $1.2 \times 10^{-8}$  s, 价夸克为  $K^+(u\bar{s})$ ,  $K^-(s\bar{u})$

- 弱衰变  $K^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$ , 分支比 63.6%

- 弱衰变  $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0$ , 分支比 20.7%



 中性介子  $K^0(d\bar{s})$  和  $\bar{K}^0(s\bar{d})$  互为正反粒子，质量均为 497.6 MeV。在 CP 变换下， $K^0 \leftrightarrow -\bar{K}^0$ ，它们可以混合成两个不同的态：**CP 为偶的态**  $K_S^0 = (K^0 - \bar{K}^0)/\sqrt{2}$  和 **CP 为奇的态**  $K_L^0 = (K^0 + \bar{K}^0)/\sqrt{2}$ 。弱作用中的 CP 守恒允许  $K_S^0$  衰变成一对  $\pi$  介子，却禁止  $K_L^0$  衰变成一对  $\pi$  介子。这导致  $K_S^0$  比  $K_L^0$  衰变得更快，寿命更短。

④  $K_S^0$  介子， $CP = +$ ，质量 497.6 MeV，寿命  $9.0 \times 10^{-11}$  s

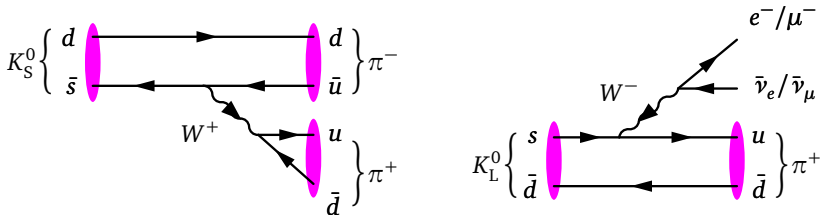
● 弱衰变  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ，分支比 69.2%

● 弱衰变  $K_S^0 \rightarrow \pi^0\pi^0$ ，分支比 30.7%

⑤  $K_L^0$  介子， $CP = -$ ，质量 497.6 MeV，寿命  $5.1 \times 10^{-8}$  s

● 弱衰变  $K_L^0 \rightarrow \pi^\pm e^\mp \nu_e / \pi^\pm \mu^\mp \nu_\mu$ ，分支比 67.6%

● 弱衰变  $K_L^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0 / \pi^+\pi^-\pi^0$ ，分支比 32.1%

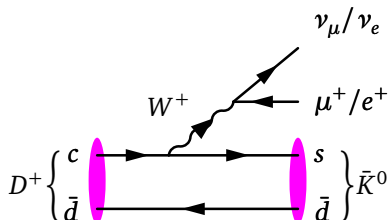
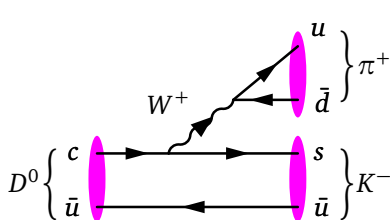


6  $D^0$  介子, 质量 1.865 GeV, 寿命  $4.1 \times 10^{-13}$  s, 价夸克为  $c\bar{u}$

- 弱衰变  $D^0 \rightarrow K^- + \text{其它}$ , 分支比  $\simeq 54.7\%$
- 弱衰变  $D^0 \rightarrow K_S^0 + \text{其它}$ , 分支比  $\simeq 20.8\%$
- 弱衰变  $D^0 \rightarrow \bar{K}^*(892)^- + \text{其它}$ , 分支比  $\simeq 15\%$

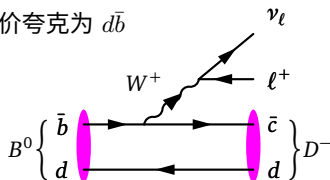
7  $D^\pm$  介子, 质量 1.870 GeV, 寿命  $1.0 \times 10^{-12}$  s, 价夸克为  $D^+(c\bar{d})$ ,  $D^-(d\bar{c})$

- 弱衰变  $D^+ \rightarrow K_S^0 + \text{其它}$ , 分支比  $\simeq 33.1\%$
- 弱衰变  $D^+ \rightarrow K^- + \text{其它}$ , 分支比  $\simeq 25.7\%$
- 弱衰变  $D^+ \rightarrow \bar{K}^*(892)^0 + \text{其它}$ , 分支比  $\simeq 23\%$
- 弱衰变  $D^+ \rightarrow \mu^+ + \text{其它}$ , 分支比  $\simeq 17.6\%$



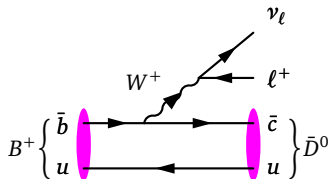
⑧  $B^0$  介子, 质量 5.280 GeV, 寿命  $1.5 \times 10^{-12}$  s, 价夸克为  $d\bar{b}$

- 弱衰变  $B^0 \rightarrow K^\pm + \text{其它}$ , 分支比  $\simeq 78\%$
- 弱衰变  $B^0 \rightarrow \bar{D}^0 X$ , 分支比  $\simeq 47.4\%$
- 弱衰变  $B^0 \rightarrow D^- X$ , 分支比  $\simeq 36.9\%$
- 弱衰变  $B^0 \rightarrow \ell^+ \nu_\ell + \text{其它}$ , 分支比  $\simeq 10.33\%$



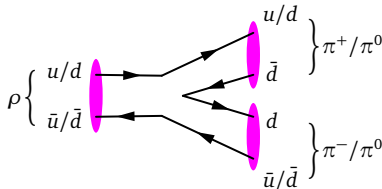
⑨  $B^\pm$  介子, 质量 5.279 GeV, 寿命  $1.6 \times 10^{-12}$  s, 价夸克为  $B^+(u\bar{b})$ ,  $B^-(b\bar{u})$

- 弱衰变  $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 X$ , 分支比  $\simeq 79\%$
- 弱衰变  $B^0 \rightarrow \ell^+ \nu_\ell + \text{其它}$ , 分支比  $\simeq 10.99\%$
- 弱衰变  $B^+ \rightarrow D^- X$ , 分支比  $\simeq 9.9\%$
- 弱衰变  $B^+ \rightarrow D^0 X$ , 分支比  $\simeq 8.6\%$



⑩  $\rho(770)$  介子, 质量 775 MeV, 宽度 147 MeV, 价夸克为  $(u\bar{u} - d\bar{d})/\sqrt{2}$

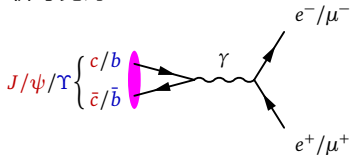
- 强衰变  $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- / \pi^0 \pi^0$ , 分支比  $\simeq 100\%$





11  $J/\psi(1S)$  介子, 质量 3.097 GeV, 宽度 92.6 keV, 价夸克为  $c\bar{c}$

- **强衰变**  $J/\psi \rightarrow ggg \rightarrow$  强子, 分支比 64.1%
- **电磁衰变**  $J/\psi \rightarrow \gamma^* \rightarrow$  强子, 分支比 13.5%
- **电磁衰变**  $J/\psi \rightarrow e^+e^-/\mu^+\mu^-$ , 分支比 11.9%

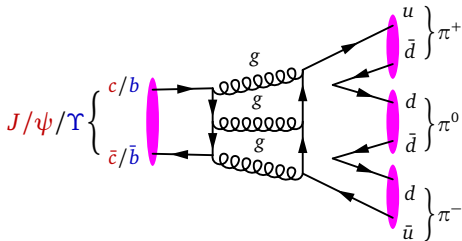


12  $\Upsilon(1S)$  介子, 质量 9.460 GeV, 宽度 54.0 keV, 价夸克为  $b\bar{b}$

- **强衰变**  $\Upsilon \rightarrow ggg \rightarrow$  强子, 分支比 81.7%
- **电磁衰变**  $\Upsilon \rightarrow e^+e^-/\mu^+\mu^-/\tau^+\tau^-$ , 分支比 7.47%

### Okubo-Zweig-Iizuka (OZI) 规则

👉 如果可通过**移除胶子内线**使某个衰变费曼图分隔成**两个不相连的部分**, 一个部分包含所有初态粒子, 另一个部分包含所有末态粒子, 则相关**强衰变**过程会被**严重压低**



# 重子

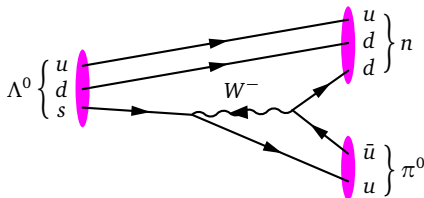
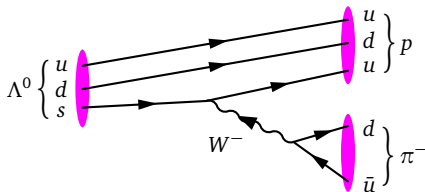
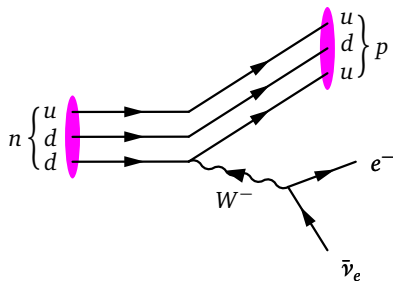
- ① **中子  $n$** , 质量 939.6 MeV, 寿命 878 s,  
价夸克为  $udd$

- **弱衰变**  $n \rightarrow pe^- \bar{\nu}_e$ , 分支比  $\simeq 100\%$

- ②  **$\Lambda^0$  重子**, 质量 1.116 GeV, 寿命  
 $2.6 \times 10^{-10}$  s, 价夸克为  $uds$

- **弱衰变**  $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^-$ , 分支比 64.1%

- **弱衰变**  $\Lambda^0 \rightarrow n\pi^0$ , 分支比 35.9%



## 重子

③  $\Sigma^+$  重子, 质量 1.189 GeV, 寿命  $8.0 \times 10^{-11}$  s, 价夸克为  $uus$

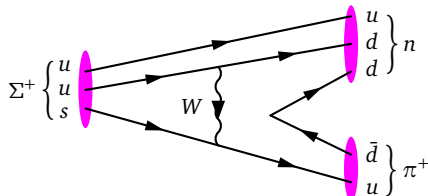
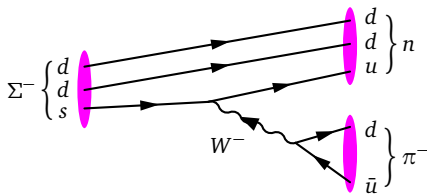
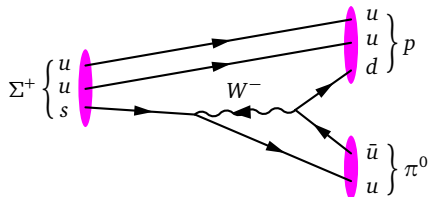
● 弱衰变  $\Sigma^+ \rightarrow p\pi^0$ , 分支比 51.6%

● 弱衰变  $\Sigma^+ \rightarrow n\pi^+$ , 分支比 48.3%

④  $\Sigma^-$  重子, 质量 1.197 GeV, 寿命

$1.5 \times 10^{-10}$  s, 价夸克为  $dds$

● 弱衰变  $\Sigma^- \rightarrow n\pi^-$ , 分支比 99.85%



# 重子

5  $\Sigma^0$  重子, 质量 1.193 GeV, 寿命  $7.4 \times 10^{-20}$  s, 价夸克为  $uds$

● 电磁衰变  $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 \gamma$ , 分支比  $\simeq 100\%$

6  $\Delta^0(1232)$  重子, 质量 1.232 GeV,  
宽度 117 MeV, 价夸克为  $udd$

● 强衰变  $\Delta^0 \rightarrow n\pi^0/p\pi^-$ , 分支比 99.4%

