

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>



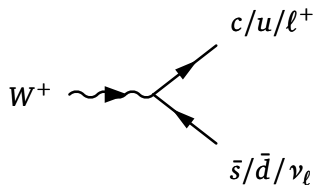
更新日期：2024 年 5 月 4 日



基本粒子

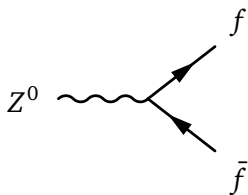
① W^\pm 规范玻色子, 质量 80.4 GeV, 宽度 2.1 GeV

- 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%



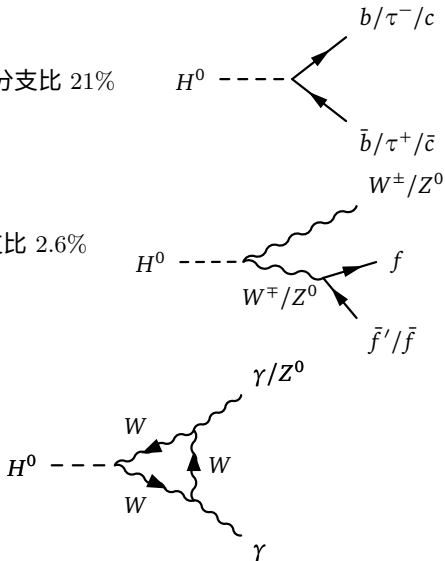
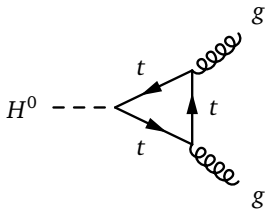
② Z^0 规范玻色子, 质量 91.2 GeV, 宽度 2.5 GeV

- 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%



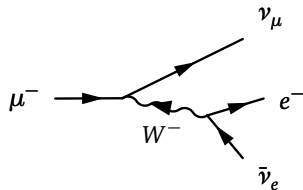
3 希格斯玻色子 H^0 ，质量 125 GeV，预期宽度 4 MeV

- $H^0 \rightarrow b\bar{b}$ ，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 μ 子, 质量 105.66 MeV, 寿命 2.2×10^{-6} s

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



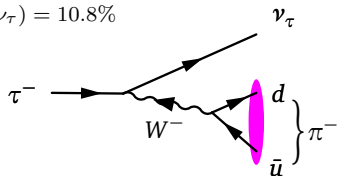
5 τ 子, 质量 1.777 GeV, 寿命 2.9×10^{-13} s

● 弱衰变 $\tau^- \rightarrow$ 强子 + ν_τ , 分支比 64.8%

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

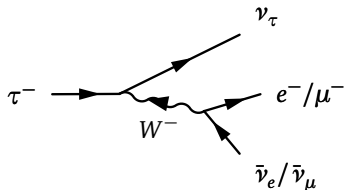
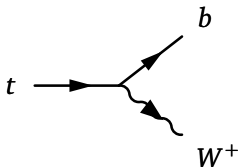
● 弱衰变 $\tau^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau$, 分支比 17.8%

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



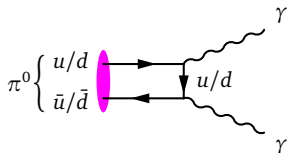
6 顶夸克 t , 质量 173 GeV, 宽度 1.4 GeV

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



介子

- ① π^0 介子, 质量 135.0 MeV, 寿命 8.5×10^{-17} s, 价夸克为 $(u\bar{u} - d\bar{d})/\sqrt{2}$



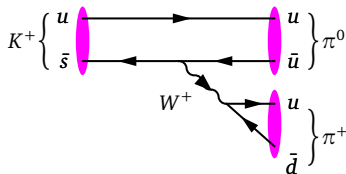
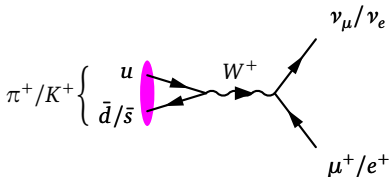
- 电磁衰变 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, 分支比 98.8%
- 电磁衰变 $\pi^0 \rightarrow e^+e^-\gamma$, 分支比 1.2%


- ② π^\pm 介子, 质量 139.6 MeV, 寿命 2.6×10^{-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 1.2×10^{-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 π 介子，却禁止 K_L^0 衰变成一对 π 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 9.0×10^{-11} s

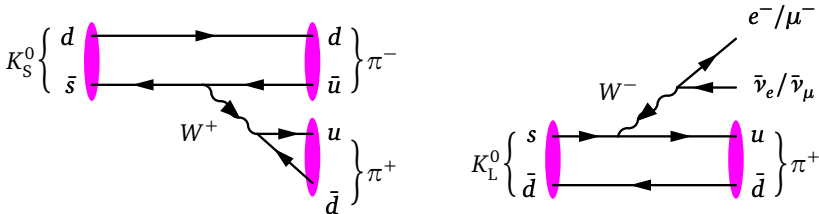
● **弱衰变** $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ，分支比 69.2%

● **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 5.1×10^{-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%

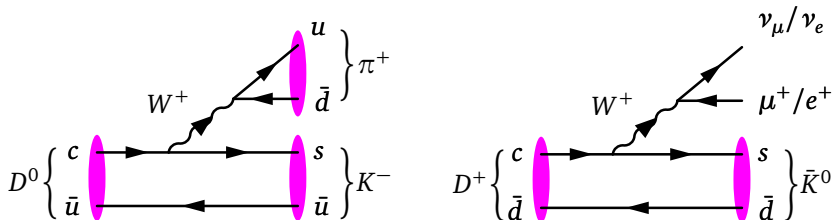


6 D^0 介子, 质量 1.865 GeV, 寿命 4.1×10^{-13} s, 价夸克为 $c\bar{u}$

- 弱衰变 $D^0 \rightarrow K^- + \text{其它}$, 分支比 $\simeq 54.7\%$
- 弱衰变 $D^0 \rightarrow \bar{K}^0/K^0 + \text{其它}$, 分支比 $\simeq 47\%$
- 弱衰变 $D^0 \rightarrow \bar{K}^*(892)^- + \text{其它}$, 分支比 $\simeq 15\%$

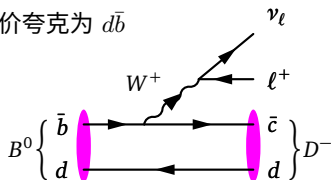
7 D^\pm 介子, 质量 1.870 GeV, 寿命 1.0×10^{-12} s, 价夸克为 $D^+(c\bar{d})$, $D^-(d\bar{c})$

- 弱衰变 $D^+ \rightarrow \bar{K}^0/K^0 + \text{其它}$, 分支比 $\simeq 61\%$
- 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 $\simeq 17.6\%$



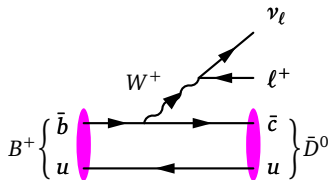
⑧ B^0 介子, 质量 5.280 GeV, 寿命 1.5×10^{-12} s, 价夸克为 $d\bar{b}$

- 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 $\simeq 10.33\%$



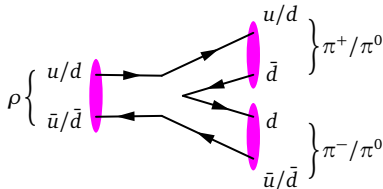
⑨ B^\pm 介子, 质量 5.279 GeV, 寿命 1.6×10^{-12} s,
价夸克为 $B^+(u\bar{b})$, $B^-(b\bar{u})$

- 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 $\simeq 8.6\%$



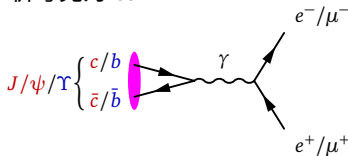
⑩ $\rho(770)$ 介子, 质量 775 MeV, 宽度
149 MeV, 价夸克为 $(u\bar{u} - d\bar{d})/\sqrt{2}$

- 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 92.9 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%

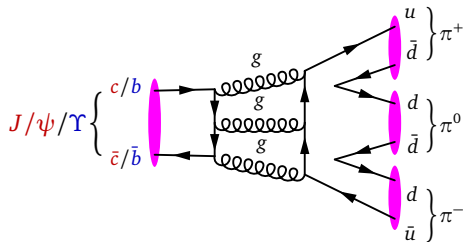


12 $\Upsilon(1S)$ 介子, 质量 9.460 GeV, 宽度 54.0 keV, 价夸克为 $b\bar{b}$

- **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 7.46%

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

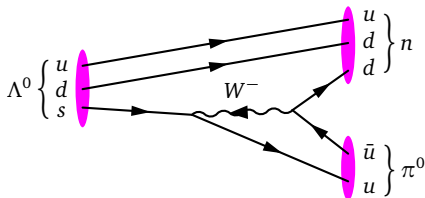
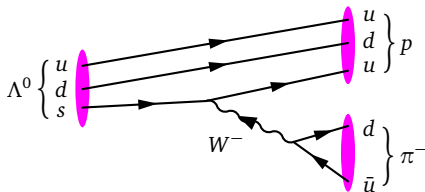
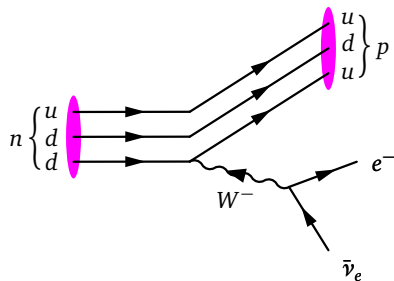
- ① **中子 n** , 质量 939.6 MeV, 寿命 880 s,
价夸克为 udd

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

- ② **Λ^0 重子**, 质量 1.116 GeV, 寿命
 2.6×10^{-10} s, 价夸克为 uds

- **弱衰变** $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^-$, 分支比 63.9%

- **弱衰变** $\Lambda^0 \rightarrow n\pi^0$, 分支比 35.8%



重子

3 Σ^+ 重子, 质量 1.189 GeV, 寿命 8.0×10^{-11} s, 价夸克为 uus

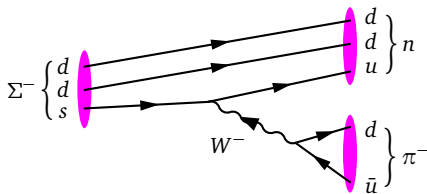
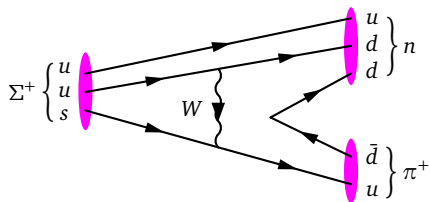
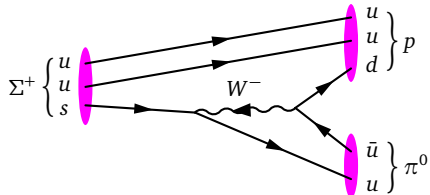
● 弱衰变 $\Sigma^+ \rightarrow p\pi^0$, 分支比 51.6%

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

4 Σ^- 重子, 质量 1.197 GeV, 寿命

1.5×10^{-10} s, 价夸克为 dds

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



重子

5 Σ^0 重子, 质量 1.193 GeV, 寿命 7.4×10^{-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%

