

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://yuzhaohuan.gitee.io>



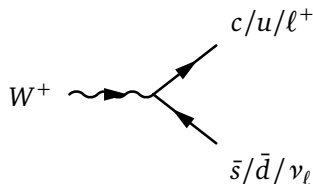
吉林大学
2021 年 5 月



基本粒子

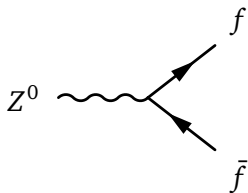
① W^\pm 规范玻色子, 质量 80.4 GeV, 宽度 2.1 GeV

- 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%



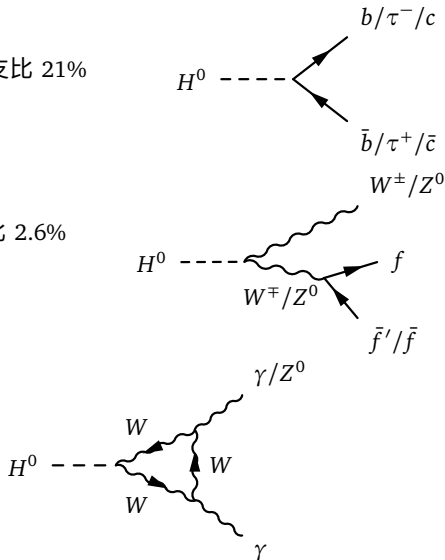
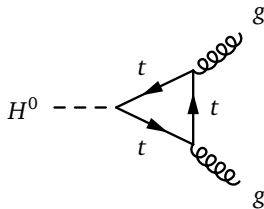
② Z^0 规范玻色子, 质量 91.2 GeV, 宽度 2.5 GeV

- 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

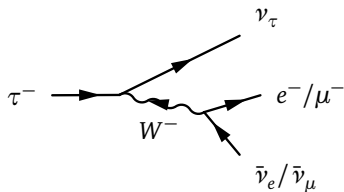
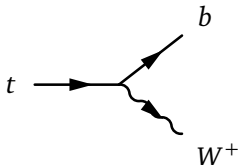
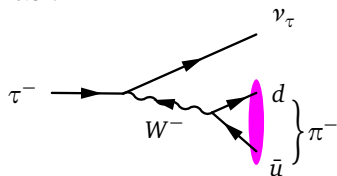
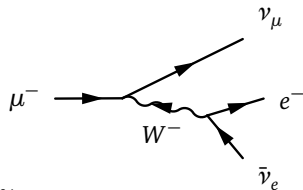
- 弱衰变 $\tau^- \rightarrow \text{强子} + \nu_\tau$, 分支比 64.8%
 - $\text{BR}(\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu_\tau) = 25.5\%$, $\text{BR}(\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau) = 10.8\%$

- 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

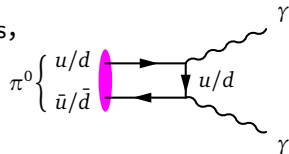
- 弱衰变 $t \rightarrow b W^+$, 分支比 $\simeq 100\%$



介子

- ① 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%

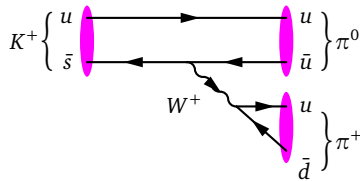
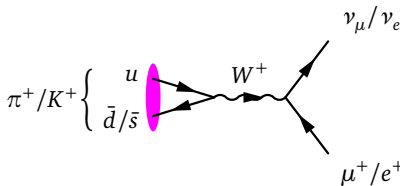


- ② π^\pm 介子, 质量 139.6 MeV, 寿命 2.6×10^{-8} s, 价夸克为 $\pi^+(u\bar{d})$, $\pi^-(d\bar{u})$

- 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%



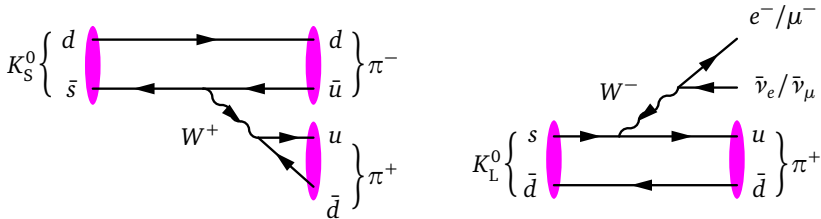
中性介子 $K^0(d\bar{s})$ 和 $\bar{K}^0(s\bar{d})$ 互为正反粒子，质量均为 497.6 MeV。在 CP 变换下， $K^0 \leftrightarrow -\bar{K}^0$ ，它们可以混合成两个不同的态：**CP 为偶的态** $K_S^0 = (K^0 - \bar{K}^0)/\sqrt{2}$ 和 **CP 为奇的态** $K_L^0 = (K^0 + \bar{K}^0)/\sqrt{2}$ 。弱作用中的 CP 守恒允许 K_S^0 衰变成一对 π 介子，却禁止 K_L^0 衰变成一对 π 介子。这导致 K_S^0 比 K_L^0 衰变得更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

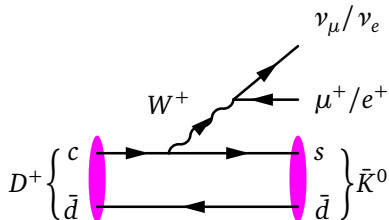
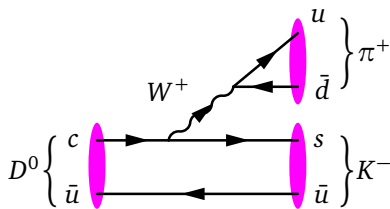


⑥ D^0 介子, 质量 1.865 GeV, 寿命 4.1×10^{-13} s, 价夸克为 $c\bar{u}$

- 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 $\simeq 15\%$

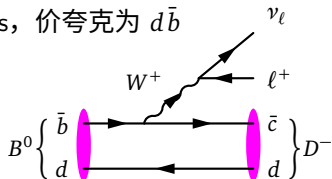
⑦ D^\pm 介子, 质量 1.870 GeV, 寿命 1.0×10^{-12} s, 价夸克为 $D^+(c\bar{d})$, $D^-(d\bar{c})$

- 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 $\simeq 17.6\%$



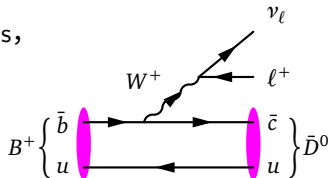
⑧ B^0 介子, 质量 5.280 GeV, 寿命 1.5×10^{-12} s, 价夸克为 $d\bar{b}$

- 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 $\simeq 10.33\%$



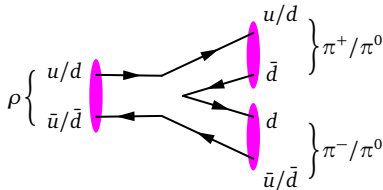
⑨ B^\pm 介子, 质量 5.279 GeV, 寿命 1.6×10^{-12} s, 价夸克为 $B^+(u\bar{b})$, $B^-(b\bar{u})$

- 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 $\simeq 8.6\%$



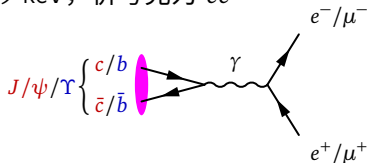
⑩ $\rho(770)$ 介子, 质量 775 MeV, 宽度 149 MeV, 价夸克为 $(u\bar{u} - d\bar{d})/\sqrt{2}$

- 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%

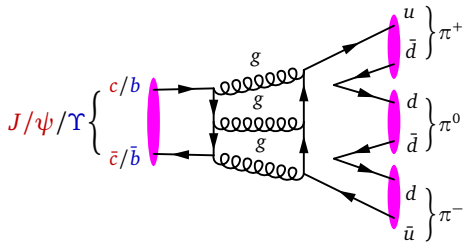


⑫ $\Upsilon(1S)$ 介子, 质量 9.460 GeV, 宽度 54.0 keV, 价夸克为 $b\bar{b}$

- **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-lizuka (OZI) 规则

如果可通过移除胶子内线使某一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



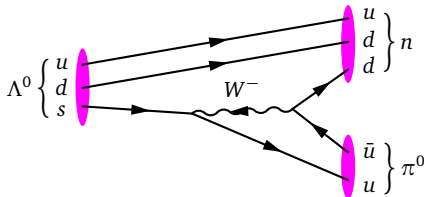
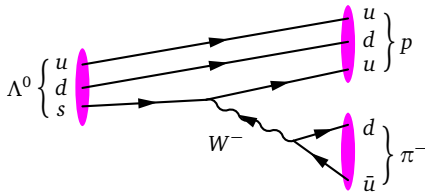
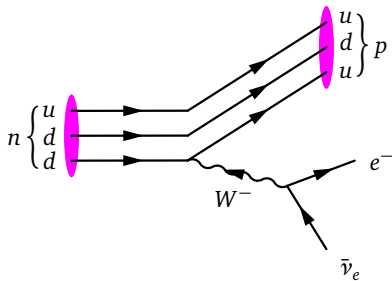
重子

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

- 弱衰变 $n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$ ，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

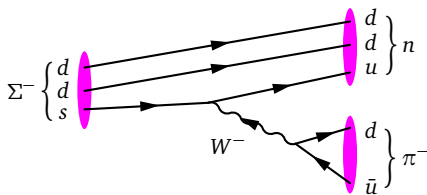
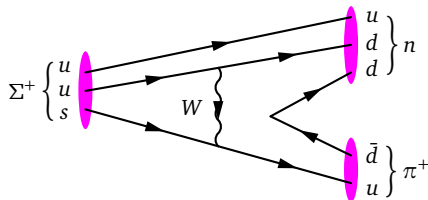
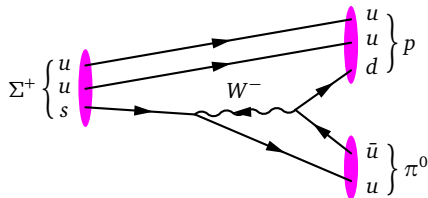
③ Σ^+ 重子, 质量 1.189 GeV, 寿命 8.0×10^{-11} s, 价夸克为 uus

- 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%

