

一. 过程和末态

1. 过程

初步衰变过程

$$\psi(2S) \rightarrow \pi^0 \pi^0 J/\psi$$

π^0 的衰变

$$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$$

J/ψ 的衰变

$$J/\psi \rightarrow l^+ l^-, l = e \text{ 或 } \mu$$

2. 所以末态为

4 个光子 + 一对正负轻子 $e^+ e^-$ 或 $\mu^+ \mu^-$

二. 分支比计算公式

1. 通用计算公式: $B(X \rightarrow f) = \frac{N^{\text{sig}}}{\varepsilon \cdot N^X}$, $N^{\text{sig}} = N^{\text{obs}} - N^{\text{bkg}}$

2. 本例的分支比: 针对过程 $\psi(2S) \rightarrow \pi^0 \pi^0 J/\psi$, 其中 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ 的分支比记为 $B_{\gamma\gamma}$

设待测分支比为

$$B_{\pi\pi J/\psi} = B[\psi(2S) \rightarrow \pi^0 \pi^0 J/\psi]$$

实验观测到 4 个光子的信号事例数为 $N_{4\gamma}$ (实验中可测量得到的数值), 对应事例选择总效率为 $\varepsilon_{\pi\pi J/\psi}$, 样本总事例数为 N_{tot} 。

完整衰变链的观测信号数满足:

$$N_{4\gamma} = N_{\text{tot}} \cdot B_{\pi\pi J/\psi} \cdot B_{\gamma\gamma}^2 \cdot \varepsilon_{\pi\pi J/\psi}$$

其中真实的 $\pi^0 \pi^0 J/\psi$ 信号事例数为:

$$N_{\pi\pi J/\psi} = \frac{N_{4\gamma}}{B_{\gamma\gamma}^2}$$

整理得到待测分支比的最终公式:

$$B_{\pi\pi J/\psi} = \frac{N_{4\gamma}}{\varepsilon_{\pi\pi J/\psi} \cdot N_{\text{tot}} \cdot B_{\gamma\gamma}^2}$$

设观测到的轻子道信号事例数为 N_{ll} , 对应总效率为 ε_{ll} , 则:

$$N_{ll} = N_{\text{tot}} \cdot B_{\pi\pi J/\psi} \cdot B_{\gamma\gamma}^2 \cdot B_{ll} \cdot \varepsilon_{ll}$$

$$B_{ll} = \frac{B_{\pi\pi J/\psi} \cdot B_{ll}}{B_{\pi\pi J/\psi}} = \frac{\varepsilon_{\pi\pi J/\psi} \cdot N_{ll}}{\varepsilon_{ll} \cdot N_{\pi\pi J/\psi}} = \frac{\varepsilon_{\pi\pi J/\psi} \cdot N_{ll} \cdot B_{\gamma\gamma}^2}{\varepsilon_{ll} \cdot N_{4\gamma}}$$

测量时得到 N_{ll} 和 $N_{4\gamma}$, 通过蒙卡模拟得到各道效率, $B_{\gamma\gamma}$ 为已知物理常量, 代入即可反解得到 $B_{\pi\pi J/\psi}$

三. 事例选择

1. 顶点与几何接收度约束

- $|V_z| < 10 \text{ cm}$
- $|V_r| < 1 \text{ cm}$
- $|\cos \theta| < 0.80$

2 光子候选预选 (对应带电径迹的径迹质量筛选)

$$E_\gamma > 25 \text{ MeV}$$

带电径迹排除 (charged track veto)

$$N_{\gamma\text{-good}} \geq 4$$

3. π^0 重建与最优组合筛选

- 双光子不变质量窗口: $0.11 \text{ GeV} < M_{\gamma\gamma} < 0.16 \text{ GeV}$
- 同 π^0 双光子时间符合: $\Delta t_{\gamma\gamma} < 10 \text{ ns}$
- 两组 π^0 候选的 $|M_{\gamma\gamma,1} - m_{\pi^0}| + |M_{\gamma\gamma,2} - m_{\pi^0}|$ 取最小值

4. $\pi^0\pi^0$ 系统运动学与信号约束

- 双 π^0 夹角约束: $\cos \theta_{\pi^0\pi^0} < 0.95$
- 反冲质量窗口: $3.05 \text{ GeV}/c^2 < M_{\pi^0\pi^0}^{rec} < 3.15 \text{ GeV}/c^2$
- 反冲质量计算: $M_{\pi^0\pi^0}^{rec} = \sqrt{(p_\psi - p_{\pi^0,1} - p_{\pi^0,2})^2}$, 其中 $p_{\pi^0} = p_{\gamma_1} + p_{\gamma_2}$

5 轻子筛选与鉴别

- 轻子动量范围: $|\vec{p}_l| < 2.0 \text{ GeV}/c$
- 合格径迹数: $n_{\text{Good}} \geq 2$
- 轻子对夹角约束: $\cos \theta_{l^+l^-} < -0.95$
- 轻子对不变质量窗口: $3.00 \text{ GeV}/c^2 < M_{l^+l^-} < 3.20 \text{ GeV}/c^2$
- 电子鉴别: $[E/p]^+ > 0.8$ 或 $[E/p]^- > 0.8$ 或 $\sqrt{([E/p]^+ - 1)^2 + ([E/p]^- - 1)^2} < 0.4$
- 缪子鉴别: $[E/p]^+ < 0.26$ 且 $[E/p]^- < 0.26$