

科创 10

$\psi(2S) \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi$ 分支比测量方案

一、末态

把各级衰变写在一起：

$$\psi(2S) \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi, \quad \pi^0 \rightarrow \gamma\gamma, \quad J/\psi \rightarrow \ell^+\ell^-,$$

其中 $\ell = e$ 或 μ 。因此实际重建的两个末态是

$$4\gamma e^+e^- \quad \text{和} \quad 4\gamma\mu^+\mu^-.$$

一个候选事例应有一对异号轻子和至少四个光子。光子超过四个时，需要在所有四光子子集中寻找最佳配对。

二、分支比计算

分别在电子道和缪子道中计数。对任一轻子道 $\ell = e$ 或 μ ，背景扣除后的信号产额满足

$$N_{\text{sig}}^\ell = N_{\psi(2S)} \mathcal{B}_{\text{sig}} [\mathcal{B}(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)]^2 \mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \ell^+\ell^-) \varepsilon_\ell.$$

解出待测分支比：

$$\mathcal{B}_{\text{sig}} = \frac{N_{\text{sig}}^\ell}{N_{\psi(2S)} \varepsilon_\ell [\mathcal{B}(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)]^2 \mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \ell^+\ell^-)}$$

这里， $N_{\psi(2S)}$ 是样本中的 $\psi(2S)$ 总数， N_{sig}^ℓ 是该轻子道的背景扣除产额。 ε_ℓ 只包含探测和选择效率，不包含公式中已经单独写出的子衰变分支比。每个事例有两个 π^0 ，所以 $\mathcal{B}(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)$ 要平方。

如果电子道和缪子道互斥，可以把两个产额相加：

$$N_{\text{sig}}^{\text{tot}} = N_{\text{sig}}^e + N_{\text{sig}}^\mu,$$

合并后的分支比为

$$\mathcal{B}_{\text{sig}} = \frac{N_{\text{sig}}^{\text{tot}}}{N_{\psi(2S)} [\mathcal{B}(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)]^2 [\varepsilon_e \mathcal{B}(J/\psi \rightarrow e^+e^-) + \varepsilon_\mu \mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-)]}.$$

如果两道存在交叉馈入，就要把交叉项写进效率矩阵，避免同一事例被重复计算。

三、事例选择

用 $J/\psi \rightarrow \ell^+\ell^-$ 做独占重建时，可以按下面的顺序选取事例。

1. **带电径迹**。先保留两条重建质量良好且电荷相反的带电径迹，再用粒子鉴别把事例分到 e^+e^- 或 $\mu^+\mu^-$ 道。
2. **光子**。每个事例至少要有四个光子候选，并满足能量、探测器几何区域和孤立性要求。
3. **π^0 重建**。如果有 $n_\gamma \geq 4$ 个光子候选，先遍历全部 $\binom{n_\gamma}{4}$ 个四光子子集，再检查每个子集的三种无序配对。记两对光子的质量为 $M_1(\gamma\gamma)$ 和 $M_2(\gamma\gamma)$ ，选择

$$[M_1(\gamma\gamma) - m_{\pi^0}]^2 + [M_2(\gamma\gamma) - m_{\pi^0}]^2$$

最小的组合。每个事例只保留这个组合。

4. **J/ψ 重建**。要求 $M(\ell^+\ell^-)$ 接近 $m_{J/\psi}$ ，同时计算两个 π^0 的反冲质量

$$M_{\text{rec}}^2(\pi^0\pi^0) = \left(P_{\psi(2S)} - P_{\pi_1^0} - P_{\pi_2^0}\right)^2.$$

这里的 P 是四动量，并采用自然单位 $c = 1$ 。信号会在 $M_{\text{rec}}(\pi^0\pi^0) = m_{J/\psi}$ 附近形成峰。

5. **π^0 质量约束**。对第 3 步选出的两对光子分别施加 $M(\gamma\gamma) = m_{\pi^0}$ 约束，以提高两个 π^0 的四动量分辨率。
6. **信号产额**。拟合 $\pi^0\pi^0$ 反冲质量或其他判别变量，从数据中分离信号和背景，得到 N_{sig}^ℓ 。选择效率 ε_ℓ 用信号蒙特卡洛样本计算。

题目没有指定实验和探测器，所以不能给出通用的数值切选。光子能量阈值、质量窗和反冲质量信号区都要根据所用探测器和信号模拟确定。计算 ε_ℓ 时，蒙特卡洛样本必须使用与数据相同的选择条件。