

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

第 1 问：这个过程的末态是什么？

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

每个 π^0 衰变成两个光子： $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$

J/ψ 衰变成一对轻子： $J/\psi \rightarrow l^+ l^-$ ($l = e$ 或 μ)

所以最终末态是：

四个光子 + 一对正反轻子 ($e^+ e^-$ 或 $\mu^+ \mu^-$)，记作 $\gamma\gamma\gamma\gamma l^+ l^-$ 。

第 2 问：分支比的计算公式？

用相对测量的办法，和已经测准了的 $\psi(2S) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$ 道做比值：

$$B(\psi(2S) \rightarrow \pi^0 \pi^0 J/\psi) = \frac{N_{\pi^0 \pi^0 l^+ l^-} / \epsilon_{\pi^0 \pi^0 l^+ l^-}}{N_{\pi^+ \pi^- l^+ l^-} / \epsilon_{\pi^+ \pi^- l^+ l^-}} \times B_{\pi^+ \pi^-}^{\text{PDG}}$$

这样做的好处是：总 $\psi(2S)$ 事例数 $N_{\psi(2S)}$ 被消掉了，不用去管它，少了一个系统误差来源。

如果非要写成绝对测量的形式，那就是：

$$B = \frac{N_{\text{sig}}}{\epsilon_{\text{总}} \cdot N_{\psi(2S)}}$$

其中 N_{sig} 是信号事例数， $\epsilon_{\text{总}}$ 是总效率， $N_{\psi(2S)}$ 是 $\psi(2S)$ 的总数。

第 3 问：事例选择怎么设计？

参照讲义里 $\pi^+ \pi^-$ 道的思路，把带电 π 换成 π^0 （也就是换成光子）：

第一步：初选

选恰好 2 条好带电径迹，电荷相反（这就是轻子候选）；

选至少 4 个好光子（能量、角度都满足基本要求）。

第二步：挑轻子

带电径迹的动量大约在 1.55 GeV/c，远高于其他强子，所以好认；

电子道： $E/p > 0.8$ ；

缪子道： $E/p < 0.3$ ，缪子探测器里有击中；

两个轻子的不变质量要在 J/ψ 附近： $3.0 < m_{l^+ l^-} < 3.2$ GeV/c²。

第三步：把 4 个光子配成两个 π^0

4 个光子有 3 种配对方式，选 χ^2 最小的那种；

要求每一对的不变质量 $m_{\gamma\gamma}$ 都在 π^0 的质量窗口内（约 0.115~0.150 GeV/c²）。

第四步：运动学拟合

做 4C 运动学拟合（能量 + 三维动量守恒）， χ^2 要足够小；

同时把 $\gamma\gamma$ 对约束到 π^0 质量，这样 J/ψ 反冲质量的分辨率会更好。

第五步：画反冲质量谱，取信号区间

横轴是两个 π^0 的反冲质量： $M_{\text{reco}}(\pi^0 \pi^0)$ ；

信号区间在 J/ψ 质量附近： $3.07 \sim 3.12$ GeV/c²；

边带区取两边（约 3.00~3.03 和 3.15~3.18），用来估计本底。

关于本底

本底分两种：

平滑本底：来自 QED 和普通强子过程，在反冲质量谱上是一条平滑曲线，用边带区去估计就行了。

峰状本底：比较危险，比如 $\psi(2S) \rightarrow \pi^0 J/\psi \gamma$ （多了一个光子被误当成 π^0 的一个光子），或者 $\psi(2S) \rightarrow \eta \pi^0 J/\psi$ (η 被误认为 π^0)。这些要用 Inclusive MC 去找，确认它们的贡献很小（~0.1% 水平），不用太担心。