

1. 这个过程的末态是什么？

$\psi(2S)$ 衰变产生两个 π^0 介子和一个 J/ψ 介子： $\psi(2S) \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + J/\psi$ 。这三个粒子均不稳定，会继续衰变。

π^0 几乎全部衰变为两个光子，即 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ，分支比约为 98.8%，寿命极短，可以认为在产生后立即衰变。两个 π^0 总共贡献 4 个光子。

J/ψ 的探测通常选用轻子对道，即 $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ 或 $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ ，这两个道的分支比各约 6%，信号清晰且本底相对较少。

综合以上衰变链，完整末态为： $\psi(2S) \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi \rightarrow 4\gamma + l^+l^-$ 。实验上可观测到 6 个末态粒子——一对正负轻子加上 4 个光子，在探测器中表现为 2 条带电径迹和 4 个中性电磁簇射。

2. 分支比的计算公式？

分支比定义为该衰变道的事例数占 $\psi(2S)$ 总事例数的比例。由于实验上通过子粒子衰变产物来重建信号，计算时需扣除中间衰变概率及探测器效率。

课件中给出的计数实验基本公式：

$$B = \frac{n_{obs} - n_{bkg}}{N_{\psi(2S)} \times \varepsilon}$$

应用于本过程时，信号道包含子衰变 $J/\psi \rightarrow l^+l^-$ 和 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ，需在分母中计入这两步的已知分支比：

$$B = \frac{n_{obs} - n_{bkg}}{N_{\psi(2S)} \times \varepsilon \times Br(J/\psi \rightarrow l^+l^-) \times Br(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)^2}$$

从误差分析的角度，课件指出统计误差由泊松分布给出，大致按 $1/\sqrt{N}$ 的规律随事例数增加而减小；系统误差来源于各项输入量的不确定性，即 $dB = dn_{obs} + dn_{bkg} + dN + d\varepsilon$ ，需逐项评估。统计误差为系统误差的改进幅度设置了自然下限，两者之间通常需要寻找平衡。

3. 事例选择？

末态特征为 2 条带电径迹（来自 $J/\psi \rightarrow l^+l^-$ ）+ 4 个光子（来自两个 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ）。事例选择围绕这 6 个末态粒子展开。

径迹选择：径迹数 2，净电荷为零； $|\cos\theta| < 0.93$ 保证在探测器接受范围内；顶点重建满足 $|V_z| < 10 \text{ cm}$ 、 $|V_r| < 1 \text{ cm}$ ；轻子鉴别电子道用 $E/p > 0.8$ ， μ 子道用 μ 探测器击中信息。光子选择：中性簇射数 ≥ 4 ；桶部能量阈 25 MeV，端盖 50

MeV；电磁簇射形状判选排除强子；光子与最近带电径迹夹角 $> 10^\circ$ 排除带电粒子在量能器中的假信号；TDC 时间落在触发窗口内排除束团间偶然符合。 π^0 重建：4 个光子两两配对， $\gamma\gamma$ 不变质量落在 π^0 窗口（0.115–0.150 GeV/c²）内，做 1C 运动学拟合约束到 π^0 质量；若多种配对方式都满足则取拟合 χ^2 最小的组合。J/ψ 重建：两径迹按轻子假设算不变质量，要求落在 3.05–3.15 GeV/c²。组合成 $\psi(2S)$ 候选后做 4C 运动学拟合，约束总能-动量守恒 + 两个 π^0 质量， χ^2 截止值在效率和纯度之间权衡。

主要本底：（1） $\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$ ，末态同为 l^+l^- + 多个光子，但中间是带电 π ，4C 拟合可区分；（2） $\psi(2S) \rightarrow \eta J/\psi$ ， $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ 或 $\pi^0\pi^0\pi^0$ 时会产生额外光子或对不上 π^0 质量窗口；（3）连续区 $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma l^+l^-$ 过程， $\pi^0\pi^0$ 不变质量谱上无共振峰，拟合时作为平滑本底处理。走完选择后在 $\pi^0\pi^0$ 不变质量谱上拟合信号峰，得到 nobs 和 nbkg，代入 Q2 公式计算分支比。