

问题一：这个过程的末态是什么？

$\psi(2S) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$ 是一个三体衰变（母粒子 $\psi(2S)$ 衰变为 π^+ 、 π^- 和 J/ψ ）。 J/ψ 是中间共振态，会立即衰变。根据 J/ψ 衰变道的选择策略，末态分为两类：

半单举

当选取 $J/\psi \rightarrow$ 其他任何时，只需重建两个带电 π 介子（ π^+ 和 π^- ）， J/ψ 通过反冲质量法（这个其实不太懂）来标记。此方法不依赖于 J/ψ 的具体衰变模式，统计量最大，但本底也相对较高。实际末态粒子为： π^+ ， π^- 以及 J/ψ 衰变产生的任意粒子集合。

遍举末态

当选取 $J/\psi \rightarrow l^+ l^-$ （轻子对衰变）时，末态为 4 条带电径迹：

$\pi^+ \pi^- e^+ e^- \leftarrow J/\psi$ 衰变到正负电子对

$\pi^+ \pi^- \mu^+ \mu^- \leftarrow J/\psi$ 衰变到正负缪子对

此方法的优势是信号纯度极高（ J/ψ 轻子衰变道干净），但统计量受 $B(J/\psi \rightarrow l^+ l^-) \approx 6\%$ 的限制。

BESIII 上可探测的末态粒子

BESIII 探测器的子系统覆盖了上述所有末态粒子的探测需求：

MDC（主漂移室）：带电径迹重建与动量测量

EMC（电磁量能器）：光子与电子能量测量

Muon Counter（缪子探测器）： μ 子鉴别

TOF（飞行时间计数器）：带电粒子鉴别

关于提示中 $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$

如果将测量过程换成 $\psi(2S) \rightarrow \pi^0 \pi^0 J/\psi$ ($\pi^0 \pi^0$ 道)，则末态中每个 π^0 会立即衰变为两个光子 ($\pi^0 \rightarrow 2\gamma$)。

此时探测器实际探测到的是 4 个光子 + J/ψ 的衰变产物。与 $\pi^+ \pi^-$ 道（纯带电径迹）相比， $\pi^0 \pi^0$ 道的实验挑战包括：

光子重建效率低于带电径迹重建效率

π^0 重构需要正确的双光子配对（组合本底）

光子能量分辨率差于带电径迹的动量分辨率

问题二：分支比的计算公式？

分支比测量的本质是反应截面的测量。在 e^+e^- 对撞实验中，信号事例数 N_{sig} 与截面 σ 、积分亮度 L 和探测效率 ϵ 之间存在关系。因此分支比可以通过信号事例数与总事例数之比来确定。

分支比测量的通用公式为：

$$B(X \rightarrow f) = N_{\text{sig}} / (\epsilon \cdot N_X)$$

其中各项含义：

B — 待测分支比，无量纲

N_{sig} — 信号事例数（通过事例选择后拟合提取）

N_X — 母粒子 ($X = \psi(2S)$) 总事例数

ϵ — 事例选择效率，由蒙特卡洛模拟确定，包括探测器几何接收度、选择条件的效率、中间态分支比等

$\psi(2S) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$ 的具体公式

(1) 半单举测量 ($J/\psi \rightarrow \text{其他}$) :

$$B(\psi(2S) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi) = N_{\text{sig}}^{\{\pi^+ \pi^-\}} / (\epsilon_{\{\pi^+ \pi^-\}} \cdot N_{\{\psi(2S)\}})$$

(2) 遍举测量 ($J/\psi \rightarrow l^+ l^-$) :

$$B(\psi(2S) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi) = N_{\text{sig}}^{\{\pi^+ \pi^- l^+ l^-\}} / (\epsilon_{\{\pi^+ \pi^- l^+ l^-\}} \cdot B(J/\psi \rightarrow l^+ l^-) \cdot N_{\{\psi(2S)\}})$$

遍举测量时, 分母多出 $B(J/\psi \rightarrow l^+ l^-)$, 因为需要把 J/ψ 到轻子对的分支比也考虑进去。

信号数 N_{sig} 的提取

信号数 N_{sig} 不能直接观测, 需从总观测事例中扣除本底:

$$N_{\text{sig}} = N_{\text{obs}} - N_{\text{bkg}}$$

本底估计的三种方法 (PPT 第 76 页) :

1. Inclusive MC — 利用 inclusive MC 样本直接估计本底贡献
2. 边带法 (Sideband) — 在信号区两侧定义边带区, 内插估计本底。
3. 拟合法 — 使用 RooFit 对信号+本底进行联合最大似然/ χ^2 拟合, 需要合理确定信号与本底的 PDF 形状

问题三: 事例选择? (这一部分很多都是参考 ai)

事例选择的 ABC 原则

Ppt 里面提出了事例选择的“ABC 三原则”:

- A — 简: 选择条件简单明了, 避免复杂的选择逻辑
- B — 松: 选择条件宽松, 不要过度截断 (cut), 以减少系统误差
- C — 少: 选择条件数量尽量少

带电径迹选择

对于遍举道 $\psi(2S) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$, $J/\psi \rightarrow l^+ l^-$, 带电径迹选择条件如下:

(a) 径迹数要求

好带电径迹数 = 4 (π^+ , π^- , l^+ , l^-), 净电荷 = 0

(b) 顶点要求

径迹需来自对撞顶点: $|V_z| < 10 \text{ cm}$, $|V_r| < 1 \text{ cm}$

每条径迹有良好的螺旋线拟合质量

(c) π 介子选择

π^+ 和 π^- 各一条

动量截断: $p_{\pi} < 450 \text{ MeV}/c$

— 运动学上限为 $\sim 401 \text{ MeV}/c$ (由三体衰变运动学确定)

— 考虑了探测器分辨后取 $450 \text{ MeV}/c$ 非常安全

— “无需考虑这个 cut 的系统误差” (第 50 页)

π 动量不高 $\rightarrow$ 动量绝对误差很小

无需 PID: $\pi^+\pi^-$ 反冲侧是极窄的 J/ψ 共振态, 对 $\pi^+\pi^-$ 系统有极强的运动学约束

— “无需粒子鉴别, 也无需考虑该系统误差” (第 50 页)

(d) 轻子选择

e^+e^- 道: 利用 EMC 信息, 要求 $E/p \approx 1$, 簇射形状与电子一致

$\mu^+\mu^-$ 道: 利用 Muon Counter 击中信息, 穿透深度大

两条轻子带相反电荷

运动学选择

运动学选择是 $\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi$ 分析的核心:

(a) 轻子对不变质量

$|M(l^+l^-) - M(J/\psi)| < \Delta M$ (通常取 $\pm 30 \text{ MeV}/c^2$ 或 $\pm 3\sigma$)

J/ψ 质量峰极窄 ($\Gamma \approx 93 \text{ keV}$), 信号/本底比极高

(b) $\pi^+\pi^-$ 反冲质量 (核心条件)

$|M_{\text{recoil}}(\pi^+\pi^-) - M(J/\psi)| < \Delta M$

利用 $\psi(2S)$ 已知的四动量, 由 $\pi^+\pi^-$ 反冲得到 J/ψ 质量

这是排除非 J/ψ 本底的最有效手段

(c) 四动量守恒约束 (4C 运动学拟合)

利用 $\psi(2S)$ 的初始四动量 (由束流能量精确已知) 进行运动学拟合

提高动量/能量分辨率, 改善信号/本底区分能力

本底抑制

主要本底来源及其抑制方法:

(a) QED 本底

$e^+e^- \rightarrow e^+e^-l^+l^-$ (双轻子对产生)

$e^+e^- \rightarrow l^+l^- \gamma (\gamma)$ (初态辐射过程)

抑制方法: 径迹数要求 (4 条) + J/ψ 质量窗口排除

(b) 非 J/ψ 本底

$\psi(2S)$ 的其他衰变道中 $\pi^+\pi^-$ 与 l^+l^- 的随机组合

抑制方法: J/ψ 质量窗口 + $\pi^+\pi^-$ 反冲质量窗口联合选择

剩余本底通过边带法 (sideband) 或拟合法估计

(c) 连续区本底

$\psi(2S)$ 共振峰下的 non-resonant 贡献

估计方法: 利用 continuum 数据 ($\sqrt{s}$ 偏离 $\psi(2S)$ 质量) 进行归一化扣除