

一. 衰变末态分析

1. 原始衰变过程: $\psi(2S) \rightarrow \pi^0 \pi^0 J/\psi$

其中: 初态粒子: $\psi(2S)$ 中间态: $\pi^0, \pi^0, J/\psi$

2. π^0 的衰变: 一个 π^0 会产生两个光子 $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ 则两个 π^0 共产生 4 个光子 $\pi^0 \pi^0 \rightarrow 4\gamma$

3. J/ψ 的选择

为了方便实验重建, 通常选择 $J/\psi \rightarrow l^+ l^-$ 。其中: $l = e, \mu$ 。

原因: 两体轻子衰变产生高动量粒子, 与低动量 pion 的运动学范围基本不重叠, 因此可以有效区分。比如课件中分析 $\psi(2S) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$ 时, 同样选择: $J/\psi \rightarrow l^+ l^-$ 作为重建方式。

4. 最终末态: $\psi(2S) \rightarrow 4\gamma + l^+ l^-$

因此实验中寻找的信号特征为:

- ①两条带电轻子径迹;
- ②至少四个光子;
- ③两个 $\gamma\gamma$ 组合满足 π^0 质量;
- ④一个 $l^+ l^-$ 组合满足 J/ψ 质量。

二. 分支比计算公式

根据课件给出的通用公式： $B(X \rightarrow f) = \frac{N_{sig}}{\epsilon N_X}$

对于本过程： $X = \psi(2S)$

因此：
$$B(\psi(2S) \rightarrow \pi^0 \pi^0 J/\psi) = \frac{N_{sig}}{\epsilon N_{\psi(2S)}}$$

★ 探测效率 ϵ

由于探测器并不能记录所有产生的粒子，因此需要引入效率修正：

$$\epsilon = \frac{N_{selected}}{N_{generated}}$$

效率包括几何接受度、光子探测效率、径迹重建效率、事例选择效率。

效率通常由 Monte Carlo 模拟确定，并需要使用真实数据检查 MC 的可靠性。

三. 事例选择设计

→ 好的事例选择应该：尽可能简单、在保证效率的同时降低背景且利用运动学特征。

1. 带电径迹选择

要求： $N_{track} = 2$ ，即存在一个正电轻子和一个负电轻子。

同时 $Q_{total} = 0$ ，保证电荷守恒。

2. 光子选择

由于 $\pi^0 \pi^0 \rightarrow 4\gamma$ ，因此要求： $N_\gamma \geq 4$

光子主要通过电磁量能器 EMC 重建。

3. π^0 重建

计算任意两个光子组合的 $M(\gamma_i \gamma_j)$ 。若 $M(\gamma_i \gamma_j) \approx m_{\pi^0}$ ，则认为来自 π^0 。

选择两个满足条件的组合得到 $\pi^0 \pi^0$ 。

4. J/ψ 重建

利用轻子对计算 $M(l^+l^-)$ 。

要求 $M(l^+l^-) \approx m_{J/\psi}$ ，从而确定 J/ψ 。

5. 运动学约束拟合

由于初态的质量和四动量已知，因此满足 $P_{\psi(2S)} = P_{4\gamma} + P_{l^+} + P_{l^-}$ 。

可以使用四约束：**4C**拟合。

作用：①改善质量分辨； ②排除错误组合； ③提高信噪比。

（这符合利用运动学特征降低背景的方法）

四. 系统误差考虑

误差主要来源：

1. **光子探测效率**：四个光子都会贡献效率误差 σ_γ

2. **径迹重建效率**：来自 l^+ 和 l^-

3. **MC 模型误差**：如果模拟的动量分布和角分布与真实数据不同，会影响效率。

→数据和MC之间的不一致永远存在，因此MC效率需要通过数据进行修正。