

题目相关知识:

$\Psi(2S)$ 和 J/ψ : 都是粲夸克和反粲夸克组合的组合态

$\Psi(2S)$ 的质量比 J/ψ 大, 因此可以衰变到 J/ψ

分支比: 某个特定的衰变模式占该粒子所有衰变方式总和的比例。

一、

在粒子物理实验中, “末态” 通常指最终进入探测器并被直接记录的稳定或长寿命粒子

由于 π^0 还可以衰变为两个光子, 所以 $\pi^0 \pi^0 J/\psi$ 并不是末态

这个过程的末态是 $4\gamma + e^+e^-$ 或 $4\gamma + \mu^+\mu^-$

这是因为 J/ψ 要么衰变为电子对, 要么衰变为缪子对

二、

分支比的本质是 “信号事例数” 除以 “总初始粒子数”, 同时要修正探测效率和中间衰变过程的几率。

$$B(\Psi(2S) \rightarrow J/\psi) = (N_{\text{obs}} - N_{\text{bkg}}) / (N_{\Psi(2S)} * \epsilon * [B(\pi^0 \rightarrow 2\gamma)]^2 * B(J/\psi \rightarrow l^+ l^-))$$

N_{obs} : 实验中选出的观测事例总数。

N_{bkg} : 通过数据或蒙特卡洛模拟估计出的本底 (噪声) 事例数。因此 $N_{\text{obs}} - N_{\text{bkg}}$ 就是净信号事例数。

$N_{\Psi(2S)}$: 实验采集的数据样本中, 总共产生的 $\Psi(2S)$ 粒子数

ϵ : 探测效率, 即产生的信号事例中, 真正被探测器捕捉到并能通过筛选条件的比例 (通常由 MC 模拟决定)。

$B(\pi^0 \rightarrow 2\gamma)$: π^0 衰变到双光子的分支比 (已知常数, 约为 98.8%), 平方是因为有两个 π^0 。

$B(J/\psi \rightarrow l^+ l^-)$: J/ψ 衰变到特定轻子对的分支比 (已知常数, 约 6%)。

三、

事例选择是指在海量的数据中, 通过设定一系列筛选条件, 把符合我们目标末态的真实信号选出来, 同时尽量剔除干扰

通常包含以下几个步骤:

1. 带电径迹选择

要求在层层探测器中, 刚好看到两条符号相反的带电粒子径迹
对这两条径迹进行粒子鉴别, 确保它们是电子对或缪子对。

2. 中性簇选择

在电磁量能器中, 要求至少找到 4 个好的光子候选者
光子需要满足一定的能量阈值 (排除噪声) 和时间校准

3. 运动学拟合

对整个系统 ($J/\psi \rightarrow l^+ l^-$) 进行 4C 运动学拟合 (能量-动量守恒拟合), 要求拟合的 χ^2 小于某个阈值, 用以大大压低不属于该过程的本底。

4. 不变质量窗口限制

π^0 重建: 将 4 个光子两两组合, 计算它们的不变质量 $M(\gamma\gamma)$ 。要求存在两种组合, 其质量都落在 π^0 的名义质量附近 (约 135 MeV/c²)

J/ψ 重建: 计算轻子对的不变质量 $M(l^+ l^-)$, 或者计算双 π^0 的反冲质量,

要求其靠近 J/ψ 的名义质量 (约 $3.097\text{GeV}/c^2$)