

* 成果与应用 *

τ 粒子质量的精确测量

郑 志 鹏

(高能物理研究所)

北京谱仪合作组最近获得 τ 质量的最新结果为: $m = 1776.9 \pm 0.5 \text{ MeV}$ 。该值比以前的粒子表给出值小 7.2 MeV , 精度提高了 5—7 倍, 为解决 τ 寿命、衰变分枝比和轻子普适性理论的矛盾起了关键的作用。

一、 τ 粒子质量精确测量的意义

众所周知, 在物理学中, 质量是一个十分重要的量。高能物理是研究基本粒子性质及其相互作用规律的学科, 而区别现有的 400 多种粒子的基本量之一是质量, 它和自旋、宇称等量子数用来表征粒子的特性。

τ 是 1975 年发现的粒子, 它和电子、 μ 子以及相应的中微子构成轻子类, 属于第三代轻子。为了测定 τ 的质量, 十年前国际上曾有四个探测器做过实验。综合这四个实验, 粒子表给出的 τ 质量值为: $m_\tau = 1784.1^{+2.7}_{-3.6} \text{ MeV}$ 。但这样的精度远远满足不了高能物理研究的需要。

特别是近两年来, τ 寿命和 τ 轻子衰变分枝比的实验值似乎与轻子普适性理论相矛盾。而轻子普适性理论 (即轻子: 电子、 μ 和 τ 的弱相互作用是相同的) 是目前高能物理的“标准模型”理论的基础之一, 迄今为止与实验符合较好。难道 τ 寿命、 τ 分枝比的实验是对轻子普适性理论的挑战吗? 这是高能物理界十分关注的问题。但在下结论前, 需要检验过去给出的 τ 质量值是否对。

二、测量工具——北京谱仪探测器

在这样一个动机下, 北京谱仪 (BES) 合作组从 1991 年 8 月 1992 年 2 月对 τ 质量进行了精确测量。该合作组由 100 多名中国物理学家、工程师和 30 名美国物理学家组成。利用 BES 探测器, 记录和分析产生的 τ 事例。BES 是一个长、宽、高各六米多, 重 500 吨的大型设备, 由中心漂移室、主漂移室、飞行时间计数器、簇射计数器、 μ 鉴别器以及螺线管线圈组成。BES 是工作在北京正负电子对撞机 (BEPC) 上的唯一的高能物理探测器, 从 1990 年开始运行, 在 τ 质量测定以前已收集到 900 万 J/ψ 事例, 并获得一些初步结果。

三、 τ 质量的测量

(一) 方法

BES 合作组首次采用在 τ 产生阈扫描逐步逼近阈值的方法, 精确地调节正、负电子束的能量, 不断缩小产生与不产生之间的能量间隔, 就可以找到“阈”, 即相应 τ 质量值。我们用最

大似然法来拟合真值。拟合中采用双参数(τ 质量和探测效率)法。这样可以得到较好的精度。北京正负电子对撞机是目前运行的唯一可接近 τ 产生阈值的正负电子对撞机,我们充分利用了这一优势。

(二) 截面的精确计算

在最大似然拟合过程,需要精确知道 τ 产生截面的公式,我们仔细考虑了库仑效应,终态粒子的辐射和自旋效应,初态的辐射修正以及真空极化和束流能散度的影响等,提高了拟合精度。

(三) 用双标记法选择 τ 粒子对

严格选择 τ 事例,排除其它本底是实验的关键问题。我们设置了严格的筛选条件,保留所需信号,排除本底。在所测到的 7 个 $e-\mu$ 事例中,混入本底的可能性只有 0.2 个事例的几率。

(四) 对撞机和谱仪的稳定性

为了确定对撞机和谱仪的长期稳定性,在 τ 质量的测量过程中,我们对 τ 产生阈前后的 J/ψ 粒子和 ψ' 粒子进行反复扫描。最后确定对撞机和谱仪的长期稳定性非常好,偏离小于 0.2 MeV,并且具有非常好的能量线性。

(五) 对撞机的高亮度(5×10^{30} 厘米⁻²秒⁻¹)、较小的束流能散度(1.4 MeV) 以及谱仪较好的粒子分辨本领为 τ 质量测量提供了极有利条件

北京正负电子对撞机和北京谱仪从 1991 年 11 月到 1992 年 2 月连续运行,共收集了 5000 nb^{-1} 的积分亮度,测量了 12 个实验点,胜利完成了 τ 质量的测量。经过紧张、严格的数据分析之后,得到 τ 质量值为: $1776.9 \pm 0.5 \text{ MeV}$ 。

该结果先后在美国物理学会年会和海外华人物理学会上及 26 届国际高能物理大会报告,得到了国际高能物理界的关注和好评。

四、新结果的含意

(一) 我们所测到的新的 τ 质量值比以前使用的粒子表数值小了 7.2 MeV,这个值已超过了两倍偏差,说明这是一个较大的修正。

(二) 我们测的 τ 质量误差为 0.5 MeV,比粒子表给出的精度提高了 5—7 倍。无疑,今后粒子表将采用这一数值。

(三) 按我们给出的新的 τ 质量值,已有的 τ 寿命和衰变分枝比的实验数据更接近轻子普适性理论。

(四) τ 质量值直接影响到 τ 中微子质量,过去测量到 τ 中微子质量小于 35 MeV,按新的 τ 质量值, τ 中微子质量上限将降到 31 MeV 左右。

(五) 需要 τ 寿命和分枝比的进一步实验数据,看来过去的实验—理论不相符的问题根源不在 τ 质量本身。

BES 合作组所测得的 τ 质量新数据为解决 τ 寿命,分枝比和理论偏离的问题起了关键作用。