



张文裕先生发现 μ 原子

——纪念高能物理研究所原所长张文裕院士逝世 10 周年

况浩怀 霍安祥

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1936 年以后, 尼德尔迈耶(S. H. Neddermeyer)、安德森(C. D. Anderson)和其他一些学者在宇宙线中发现质量约为 $200m_e$ 的粒子, 它是穿透性成分。它与 1935 年汤川秀树(Yukawa)预言质量约为 $300m_e$ 传递核力的粒子相近, 故称为介子。实验测出它的寿命约为 2×10^{-6} s。但如果它是汤川预言传递核力的粒子, 它应有核作用, 然而它可穿过整个大气层或 1 米厚的铅, 似乎只有游离损失, 没有明显的核作用。1947 年宫泽西(M. Concersi)等用磁透镜分别选择的正负介子, 使其停止在吸收体中并测量其寿命。正介子被核电荷排斥, 自发衰变; 负介子则可能被核吸收。吸收体为铁时, 负介子几乎没有自发衰变; 吸收体为碳时则观测到自发衰变。由此推出它被碳这样的轻核吸收时间约为 10^{-6} s, 而理论估计如果介子具有核作用吸收时间应约为 10^{-18} s, 比实验快了 12 个量级。表明它确实没有核作用。1947 年鲍威尔(C. F. Powell)和他的同事用核乳胶叠发现存在两种质量相近的粒子, 按实验中使用的符号, 质量较小的这类穿透性粒子, 称为 μ 介子, 较大者为 π 介子, 具有核作用。

1949 年张文裕先生发表他的实验论文(Rev. Mod. Phys., 21, 1949, 166; Phys. Rev., 75, 1949, 1315), 他在云室内安装了 11 层金属箔, 铝箔的厚度为 0.002 和 0.032 英吋, 铁和铅箔的厚度分别为 0.028 和 0.018 英吋。安装 3 种金属箔的云室分别运行了 1040、640 和 930 小时, 用 G-M 记数管选择宇宙线停止在云室中的事例。由游离一射程选出 μ 介子, 因为电子直到临近停止还是最小游离 I_0 , 散射也很大, 而停止前穿过最后几层云室气体时质子和 μ 介子游离都较大, 但前者大得多。例如质子穿过 4 层而停止在第 5 层铅箔中间事例, 它的能量为 32MeV, 在各层间的游离分别为 8, 9, 11, 15 和 $24I_0$; 而同样停止在第 5 层铅箔中间的 μ 子事例, 它的能量是 12.5MeV, 游离分别为 2.9, 3.2, 3.8, 4.8 和 $10I_0$ 。在云室中二者可以明显区分。在选出停止的 μ 介子中, μ^+ 会衰变产生电子, 没有电子的则是

μ^- 。此外, μ^- 停止事例和 π^- 停止事例差别在于后者引起在云室中可记录的核爆裂。三组实验分别得到 12, 14 和 27 个停止在云室内金属箔中的 μ^- 事例。在 27 个停止在铅片事例中有 7 个发现有 1—5MeV 的 γ 射线由停止点发出, 表现为它产生的电子或电子对的方向对准了停止点。铁片中有类似的事例而铝片中则没观测到。这个实验解释为: μ^- 被原子核俘获构成 μ 介原子(现称 μ 原子), μ^- 在玻尔轨道间跃迁发射出 1—5MeV 的 γ 光子。张先生第一个用实验证实 μ 原子存在。

张先生发现 μ 原子以及以后对 μ 子性质的测量表明, μ 子除质量比电子重外, 其他性质都一样, 有一段时间称它为重电子。后来发现存在 ν_μ 和 ν_e 两类中微子才把它们划属于两类轻子, 以后只称 μ 子不再称为 μ 介子。最后构成以 6 个夸克、6 个轻子以及传递它们间作用的玻色子为基础的粒子物理的标准模型。所以张先生这个实验对粒子物理的发展有重要贡献, 同时还开辟了一个“ μ 原子”研究的新领域。物理学界对张先生的实验评价很高。1949 年在此领域工作的理论家惠勒(John Wheeler)就指出张先生实验是第一个观测到介原子。其后, 苏联多布罗金所作“宇宙线物理”书中也介绍了“张辐射”。1977 年休斯(V. W. Hughes)和吴健雄编辑的“Muon Physics”书中第一册第一章和第三章都指出: 张发现了 μ 原子。在张先生 80 寿辰纪念会上, 王昌先生对张先生的工作给了高度评价。

当时高能物理实验规模还不很大, 但能用这样简单的实验作出这个可以载入史册的物理结果实在难能可贵。张先生这个实验设计精巧, 使用了其他高能物理没有用过的薄吸收体, 能够在各种各样宇宙线中不用磁场选出停止的 μ^- (张先生戏称他是穷人, 造不起磁场, 其实如果用了当时常用的强磁场, 这种低能 μ^- 被磁场偏转就进不了云室。), 又能有效地观测它被原子核俘获时发射的低能 γ 射线。说明了张先生对当时这个前沿课题本质的深刻了解。张先生的学风严谨, 他说过, 理论模型可以修改, 实验数据是不能改动的。