

研究将奇异 π 介子氦原子精密谱理论精度提高到十亿分之四

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/18225.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近日，中国科学院精密测量科学与技术创新研究院少体精密谱理论团队完成 $\pi^4\text{He}^+$ 奇异原子(17, 16) $\rightarrow$ (16, 15) 跃迁频率的理论计算，精度达到十亿分之四 ($4\text{E}-9$)，这是目前世界上跃迁频率理论计算最精确的结果。结合瑞士保罗谢勒研究所 (PSI) 正在进行的高精度实验测量，该研究有望将现有 π^- 介子质量精度提高2-3个量级。利用 π^+ 介子衰变实验可进一步将中微子质量上限的精度提高2个量级，将为解决中微子质量之谜提供重要信息。

π 介子由日本理论物理学家汤川秀树于1935年最先预言，并被英国实验物理学家鲍威尔于1947年在宇宙射线中发现。 π 介子是最轻的强子之一，也是介子中最轻、最重要的一种，质量为电子的273倍，是传递核力的中间粒子，自旋为0，有三种 (π^+ 、 π^0 、 π^-)。 π 介子是不稳定粒子，其中 π^- 介子寿命仅有26纳秒（一亿分之一秒），这对精确测量 π^- 质量带来了困难。

近年来，越来越多的迹象暗示粒子物理标准模型存在危机。而 π 介子衰变反应中涉及的 μ 子和W玻色子都表现出与标准模型存在偏差的行为。2021年，费米实验室测量的 μ 子反常磁矩比标准模型的理论预言大了4.2倍标准差。2022年，费米实验室测量的W玻色子质量比标准模型预期值偏高7个标准差。因此，关于 π 介子的研究显得更加重要。

目前，X射线法测得的 π 介子质量精度最高可达到 $1\text{E}-6$ 量级。研究表明，亚稳态 π 介子氦激光光谱方法有望将 π 介子质量测量到更高精度。带负电 π 介子被氦原子俘获的实验研究已有60多年历史。直到2020年，亚稳态 π 介子氦存在的直接证据才被瑞士保罗谢勒研究所的激光光谱学实验证实。研究探测到 $\pi^4\text{He}^+$ 原子(17, 16) $\rightarrow$ (17, 15)跃迁的频率。虽然测量精度不足以改善现有的 π 介子质量，但这无疑是良好的开端。该研究所正在开展更窄自然线宽的(17, 16) $\rightarrow$ (16, 15)跃迁测量，有望将光谱精度提高到 $1\text{E}-9$ 量级。为了从中提取 π 介子质量，理论上对该跃迁频率进行计算是必须的。

精密测量院少体理论团队基于自己发展的CCR-GO方法【Bai et al., Chin. Phys. B, 30, 023101 (2021)】产生高精度的亚稳态波函数，综合考虑 $R_\infty \alpha^2$ 和 $R_\infty \alpha^3$ 的领头阶相对论和量子电动力学的贡献，并计算 $R_\infty \alpha^4$ 和 $R_\infty \alpha^5$ 的高阶修正项，从而将 $\pi^4\text{He}^+$ 原子(17, 16) $\rightarrow$ (16, 15)跃迁频率的理论预言值精度提高到十亿分之四 ($4\text{E}-9$)。

相关研究成果以Precision spectroscopy of the pionic helium-4

为题，发表在《物理评论快报》上。研究工作得到国家自然科学基金、中科院战略性先导科技专项（B类）“基于原子的精密测量物理”、中科院国际人才计划等的支持。俄罗斯联合核子研究所科研人员参与研究。

[论文链接](#)

利用激光探测奇异 π 介子氦原子示意图

研究团队单位：精密测量科学与技术创新研究院

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发