
武汉物数所在少体分子束缚态QED理论研究中取得新进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/1955.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，中国科学院武汉物理与数学研究所原子分子外场理论组在少体分子束缚态量子电动力学(QED)理论研究中取得新进展，完整地导出了氢分子离子体系中自旋无关的高阶相对论 m^{-6} 阶等效哈密顿量。

氢分子离子 H_2^+ (以及 D_2^+ , HD^+ 等)是最简单的分子体系，其振转跃迁频率在实验上可以被高精度测量，同时在理论上也可以采用束缚态QED理论进行高精度计算。因此人们可以借助氢分子离子精密谱来检验束缚态QED理论和导出基本物理常数，特别是质子-电子质量比。当前正在进行的氢分子离子实验包括法国LKB L. Hilico和J.-Ph. Karr的 H_2^+ 双光子实验，荷兰VU J. Koelmeij的 HD^+ 振动跃迁实验，德国杜塞尔多夫S. Schiller的 HD^+ 振动跃迁实验，以及武汉物数所研究员童昕的 HD^+ ($v=0 \rightarrow v=6$)跃迁实验。这些实验的目标精度是 $10E-10$ 量级，该测量精度对理论计算提出了巨大的挑战，需要考虑从 m^{-2} 阶至 m^{-7} 阶的非相对论能级、相对论和QED等修正项。

目前武汉物数所少体精密谱理论团队在非相对论能级、相对论和QED领头项系列研究中获得了超高精度结果，Dubna的V. I. Korobov博士及其合作者在高阶相对论和QED修正的理论和数值方面做了系列工作。其中低阶相对论和QED修正是在无近似条件的库伦三体理论框架下取得的;而高阶相对论和QED修正，包括 m^{-6} 阶、 m^{-7} 阶及 m^{-8} 阶修正，其理论框架采用了单电子的外场近似，其数值计算则是在玻恩-奥本海默近似下完成的。同时，在考虑 $m^{-6}(m/M)$ 阶核质量反冲修正时，理论上直接采用了两体的束缚态结果。为了克服这些绝热近似对氢分子离子的跃迁频率可能带来的理论误差，人们迫切地需要更加精确的 m^{-6} 阶和 $m^{-6}(m/M)$ 阶理论。

为了推导 m^{-6} 阶和 $m^{-6}(m/M)$ 阶的等效哈密顿量，武汉物数所少体精密谱理论团队首次创造性地将非相对论量子电动力学(NRQED)理论运用到单电子分子体系。在统一的理论框架下导出了氢分子离子 m^{-6} 阶和 $m^{-6}(m/M)$ 阶自旋无关的等效哈密顿量，并进一步对理论进行了重整化，完全消除了理论中的发散效应。若将所得的理论退化到氢原子，则可得到与氢原子的Dirac方程解析解完全一致的结果。

该研究首次在分子体系中引入严格的NRQED理论，所得的等效哈密顿量可以精确地描述分子体系下原子核运动在 m^{-6} 阶所带来的修正，并可以应用到其他类似的单电子双原子核体系中(例如反质子氢)。该研究组下一步的工作重点将会集中在同样具有挑战性的相关等效算符数值计算上。

该项工作的相关研究结果发表在Physical Review A上(Phys Rev A.98.032502)。武汉物数所副研究员钟振祥是该论文的第一作者。该研究受到自然科学基金委重大研究计划重点支持项目、中科院战略性先导科技专项等的资助。

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](http://www.iikx.com)转发