电子动量谱仪的研制和 He 原子结构的研究*

钱 青 许祥源 田嘉禾 郑延友** 陈学俊
(清华大学现代应用物理系电子动量谱学实验室, 北京 100084)

关键词: 电子动量谱学, 电子动量谱仪, 电子能级, 电子波函数, 氦原子

图 1 He 原子 1s 态的电子动量谱学实验结果
Fig.1 The electron momentum spectrum of He_{1s}

P-electron momentum

N-Coincidence number

▲ - the work, $E_0=1024.5\text{eV}$, ● - the ref. [5], $E_0=1200\text{eV}$

前文 [1] 指出, 电子动量谱学是研究原子和分子结构的一种新方法, 其价值在于: 它既能直接得到电子能级, 又能相当直接和精细地得到各个电子态的动量分布 (也就是动量表象中的电子波函数模方)。这些信息对量子化学等学科是极为有用的。

在发达国家, 电子动量谱学已受到广泛的重视, 但在国内还几乎是空白。虽然少数单位正在或准备开展这一工作, 然而至今还没有成功的实验报导, 其原因是国内还没有电子动量谱仪 (Electron Momentum Spectrometer, 缩写为 EMS), 它是开展电子动量谱学实验的关键设备, 在现阶段的国内外市场上均无产品出售, 需要使用者自己研制。下面将介绍本实验室历时三年多研制成功的国内首台电子动量谱仪 (简称为 EMSC-1), 以及利用这台谱仪对 He 原子进行电子动量谱学实验所得的结果。

研制 EMSC-1 的目的是考察单个原子和分子的微观结构。EMSC-1 属于能量扫描型的谱仪, 被认为是目前国际上最先进的一种类型 [2]。

EMSC-1 的主要设计指标为: (1) 能量分辨率 1eV 左右; (2) 动量分辨率 0.08au 左右 (au 代表原子单位制)。这样的指标在国际上属先进行列 [2]。

本实验室的 EMSC-1 主要包含五个部分: (1) 真空系统; (2) 电子枪, 用来产生性能优良的电子束; (3) 气态样品靶室; (4) 电子探测系统, 用来探测两个出射电子的方向, 能量 (动量) 和数目; (5) 具有时间符合的电子学系统以及数据的计算机获取和处理系统。在 EMSC-1 中, 我们首次采用多丝时间延迟位置灵敏探测器, 与国际上使用的电阻阳极位置灵敏探测器略有不同。各部分的详细描述可见文 [3]。

谱仪的能量分辨率主要取决于电子枪、减速透镜和半球静电能量分析器的性能。在电子光学计算的基础上, 对主要部件进行设计, 然后进行精密加工, 最后作反复调试, 使各

1994-01-13 收到初稿, 1994-03-08 收到修改稿。 联系人: 陈学俊。 * 国家科委与国家自然科学基金委资助项目
** 现在地址: Department of Chemistry, The University of British Columbia, Canada.

部件达到比较好的配合. 实际测试的结果表明, EMSC-1 的最佳能量分辨率可达 1eV , 略优于国际上的典型值 $1.3\text{eV}^{[4]}$. 谱仪的动量分辨率主要取决于两个电子出射方向能否准确地测定, 这一环节由主要部件的精密加工与配合来保证. 本谱仪的角度测定误差小于 0.5° , 从而保证动量分辨率小于 0.08au , 略大于国际上的典型值 $0.065\text{au}^{[4]}$.

EMSC-1 已运转约半年时间. 实践证明, 它能平稳地工作, 实验数据的收集效率也比较高, 当谱仪的各参数调整好之后, 完成一个实验的周期约几天.

利用所研制的 EMSC-1 进行了 He 原子的电子动量谱学实验. He 原子气态样品是实验上容易得到的, 而且很稳定, 又是最简单的多电子原子, 理论上虽不能严格求解, 但对它已经有比较深入的了解. 因此, 选用 He 原子作为靶, 可以检验本谱仪的性能, 也便于实验结果与理论计算的比较. 实验的主要步骤如下:

(1) 选择入射电子能量 $E_0=1024.5\text{eV}$, 两个出射电子的角度 $\theta_1=\theta_2=45^\circ$, 因而, 两个出射电子的能量为 $E_1=E_2=500\text{eV}$.

(2) 针对上面的选择, 调整谱仪的各参数到最佳状态.

(3) 固定一个电子探测器, 第二个沿 45° 的锥面旋转, 每转 5° 就测定两个出射电子的符合计数, 一直到 $\varphi = 40^\circ$. 第二个探测器的不同 φ 角对应不同的电子动量 P , 由下式决定

$$P = [(2\sqrt{2E_1}\cos\theta_1 - \sqrt{2E_0})^2 + 8E_1\sin^2\theta_1\sin^2(\frac{\varphi}{2})]^{1/2}$$

实验结果如图 1 所示, 与 Hood 等人^[5]的结果相当一致, 这从另一侧面说明本谱仪性能是好的, 所用的实验方法和实验技术是可靠的. 本实验结果的理论分析见文^[6].

致谢: 作者感谢唐敬庆、唐有棋、胡济民、徐光宪、陈佳洱、孙家钟和黎乐民等教授对这一工作的关心与支持.

参 考 文 献

- 1 陈学俊, 郑延友, 宋心琦, 张复实. 物理化学学报, 1993, 9: 281
- 2 McCarthy I E, Weigold E. *Rep. Prog. Phys.*, 1991, 54: 789
- 3 钱 青. 电子动量谱仪的研制及 He 原子 $1s$ 态的电子动量谱学研究, 清华大学博士论文, 1993
- 4 Zheng Y. Ph D Thesis, Flinders University of South Australia, Australia, 1989
- 5 Hood S T, McCarthy I E, Teubner P J O, et al. *Phys. Rev. A*, 1973, 8: 2494
- 6 徐向东, 钱 青, 李 波, 陈学俊. 物理化学学报, 待发表

Development of Electron Momentum Spectrometer and Study of Helium Structure

Qian Qing Xu Xiangyuan Tian Jiahe Zheng Yanyou Chen Xuejun

(Electron Momentum Spectroscopy Laboratory, Department of Modern Applied Physics, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract In this letter, the development of an electron momentum spectrometer, which is the first in China, has been described shortly, and using this spectrometer, the experimental results on the electron momentum spectroscopy of helium were reported.

Keywords: Electron momentum spectroscopy, Electron momentum spectrometer, Electron levels, Electron wavefunctions, Helium