

250—1400eV 能区 N_2 分子的电子 散射全截面测量*

陈向军 樊晓伟 徐克尊 杨炳忻

邢士林 王永刚 张 芳

中国科学技术大学近代物理系, 合肥 230026

1991年6月18日收到

建立了一套直线透射式全截面测量装置, 并测量了 250—1400eV 能区 N_2 分子的电子散射全截面, 实验误差为 3.5%。测量的结果与已报道实验和理论工作做了比较。

PACC: 3480B

一、引 言

电子-原子(或电子-分子)散射全截面测量是原子分子物理学领域第一个可以定量测量的问题。早期的全截面测量多采用 Ramsauer 技术, 入射电子能量低于 100eV^[1-3]。Bederson 和 Kieffer^[4] 对 1971 年以前这方面的实验工作做了总结。全截面的精确测量对于检验各种原子分子散射理论有着很重要的意义。另外, 作为原子分子的基本数据, 在天体物理、等离子体物理和大气物理等领域有着广泛的应用。到 70 年代末, 中能区的全截面精确测量引起新的兴趣。就 N_2 分子而言, 多数实验入射电子能量仍然低于 800eV, 只有 Dalba 等人^[5]和 Garcia 等人^[6]两家人射电子能量超过 800eV, 而 Dalba 等人采用的是传统的 Ramsauer 技术, 在高能区由于角分辨较差, 其全截面数据有相当大的系统误差。因此, 对高于 800eV 能区 N_2 分子电子散射全截面的精确实验测量仍很需要。Liu^[7,8] 计算了 1000eV 以上能区 H_2 , N_2 和 O_2 的电子散射全截面, 并要求实验数据的检验。我们测量碰撞电子能量在 250—1400eV 的 N_2 分子的电子散射全截面, 并与已发表的实验和理论结果做了比较。

二、实 验 装 置

我们采用直线透射技术, 实验装置简图如图 1 所示。主要包括电子枪、减速透镜、反应室、减速场分析器、三个法拉第筒 (FC1, FC2, FC3) 及若干套偏转板。从电子枪射出的电子经过一个三圆筒减速透镜减到所需的能量。反应室处束流的截面直径约为 1mm。

* 国家自然科学基金和中国科学院数理化学局“重中之重”基金资助的课题。

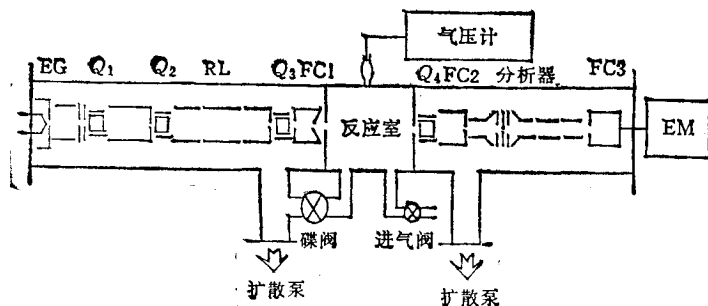


图1 全截面测量实验装置简图

EG 为电子枪; RL 为减速透镜; EM 为检流计; FC1, FC2, FC3 为法拉第筒; Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 为偏转板

考虑到空间电荷效应, 选择束流强度为 10^{-9} — 10^{-8} A。Blaauw 等人^[9]和 Garcia 等人^[6]都曾从实验上验证, 在这一束流强度下, 测量得到的全截面与束流强度无关。整套电子光学系统包在双层 μ 合金内, 以屏蔽地磁场和杂散磁场对束流的影响。系统安排在无磁不锈钢的真空管道内, 两台 300 L/s 的油扩散泵可将系统的本底真空抽至 2×10^{-3} Pa 以下。反应室两端开孔 $\phi 3$ mm, 以实现差分抽气, 实验上发现差分抽气优于三个数量级。反应室长为 216 mm。反应室气压用 D-3 型电离真空计测量, 事先用麦克劳德真空规校准。

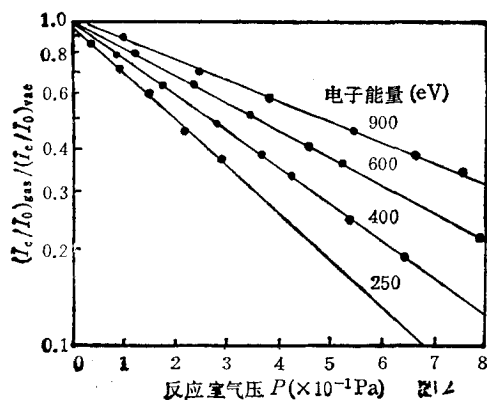
三、实验步骤

透射法测量全截面的基本原理是 Lambert-Beer 定律,

$$I_c = I_0 \exp(-NL\sigma_T), \quad (1)$$

其中 I_0 是初始电子束流强度, I_c 是透射电子束流强度, N 是反应室的气体密度, L 是反应室有效作用区长度, σ_T 是电子散射全截面。

FC1 和 FC2 为后端开孔的法拉第筒。在通常情况下, 束流全部通过 FC1 和 FC2。利用 FC1 前的偏转板 Q_3 , 将束流偏到 FC1 上, 以此测量初始束流 I_0 的大小。分析器的入孔直径为 2 mm, 它距反应室中心的距离为 195 mm, 因此反应室中心对分析器入口所张的立体角为 8.3×10^{-5} sr。在这样小的角分辨下, 在本实验的能量范围内, 可将前向弹性

图2 $(I_c/I_0)_{\text{gas}}/(I_c/I_0)_{\text{vac}}$ -气压 P 曲线

散射带来的误差控制在 0.1% 以下。为了甄别前向非弹性散射电子, 采用一个与 Blaauw 等人^[9]类似的减速场分析器。透射束流强度 I_c 由 FC3 收集测量。样品气体密度通过测量反应室的气压和温度获得。考虑到电子的多次散射, 选择气压值为 0.02—1 Pa。所用的 N_2 气纯度为 99.6%。

实际测量采用下列关系式:

$$(I_c/I_0)_{\text{gas}}/(I_c/I_0)_{\text{vac}} = \exp(-NL\sigma_T), \quad (2)$$

其中 $(I_c/I_0)_{gas}$ 和 $(I_c/I_0)_{vac}$ 分别是通气和真空情况下透射束流强度与初始束流强度之比。用此式可以消除因法拉第筒收集效率和电流计刻度准确性带来的误差。

图 2 给出几组典型的 $(I_c/I_0)_{gas}/(I_c/I_0)_{vac}$ 随气压 P 变化的半对数曲线。利用最小二乘法拟合直线即可得到全截面 σ_T 的值。

四、误差讨论

实验总误差为 3.5%, 主要有以下几个来源:

1. 用麦克劳德真空规校准电离真空计带来的误差, 小于 2.5%。
2. 束流不稳定性带来截面值的误差, 小于 2.0%。
3. 检流计的非线性约为 0.2%, 引起截面值有 1% 的误差。
4. 能量刻度引起截面误差。在电子碰撞能量为 300eV 时, 误差为 0.3%。

五、实验结果与讨论

表 1 和图 3 给出碰撞能量在 250—1400eV 范围 N_2 分子的电子散射全截面的实验结

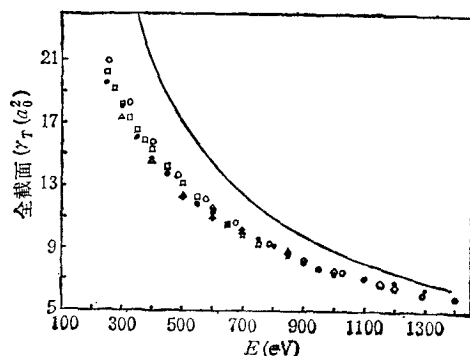


图 3 $e-N_2$ 散射全截面

● 为本工作; □ 为 Blaauw 等人的工作; ○ 为 Dalba 等人的工作;
△ 为 Hoffman 等人的工作; ◇ 为 Garcia 等人的工作; — 为 Liu 的工作

果, 并与 Dalba 等人^[5], Garcia 等人^[6], Blaauw 等人^[9]以及 Hoffman 等人^[10]在交叉能区的工作做比较。从表 1 和图 3 可见, Dalba 等人在 700eV 以下的实验数据比本文结果约高 7% 左右, Blaauw 等人 700eV 以下的实验结果比本文约高 4%, 而 Hoffman 等人的实验结果与本文符合得很好。在 高能区 ($>700\text{eV}$), 文献[5, 6, 9, 10] 实验结果在误差范围内与本文结果都相符合。

图 3 同时还给出 Liu^[8] 的理论计算结果, Liu 利用一级 Born 近似计算弹性散射截面, 利用 Born-Bethe 近似计算非弹性散射截面。理论计算的全截面在低能端比实验结果高约 25%, 但随着能量的增加, 理论值与实验值趋于接近。

表 1 e-N₂ 散射全截面(单位: a_0^2)

E(eV)	本 工 作	[5]	[6]	[9]	[10]
250	19.47			20.22	
256		20.93			
300	17.99			18.14	17.34
324		18.22			
350	16.08			16.53	
400	14.66	15.78		15.25	14.54
450	13.75			14.15	
484		13.65			
500	12.33			13.19	12.36
550	11.80			12.26	
576		12.12			
600	10.92		11.6	11.39	11.07
650	10.60			10.60	
676		10.68			
700	10.18		10.2	9.89	10.11
750	9.65			9.36	
784		9.36			
800	9.26				
850	8.73		8.80		
900	8.20	8.32			
950	7.81				
1000	7.46		7.62		
1024		7.57			
1100	7.24				
1156		6.82			
1200	6.93		6.69		
1296		6.14			
1300	6.50				
1400	5.94				

- [1] E. Bruche, *Ann. Physik*, 82(1927), 912.
 [2] C. Ramsauer and R. Kollath, *Ann. Physik*, 4(1930), 91.
 [3] D. E. Golden, *Phys. Rev.*, 151(1966), 48.
 [4] B. Bederson and L. J. Kieffer, *Rev. Mod. Phys.*, 43(1971), 601.
 [5] G. Dalba, P. Fornasini, R. Grisenti, G. Raineri and A. Zecca, *J. Phys. B*, 13(1980), 4695.
 [6] G. Garcia, A. Perez and J. Campos, *Phys. Rev.*, A38(1988), 654.
 [7] J. W. Liu, *Phys. Rev.*, A35(1987), 591.
 [8] J. W. Liu, *Phys. Rev.*, A32(1985), 1384.
 [9] H. J. Blaauw, R. W. Wagenaar, D. H. Barends and F. J. de Heer, *J. Phys. B*, 13(1980), 359.
 [10] K. R. Hoffman, M. S. Dababneh, Y. F. Hsieh, W. E. Kauppila, V. Pol, J. H. Smart and T. S. Stein, *Phys. Rev.*, A25(1982), 1939.

TOTAL CROSS SECTION MEASUREMENTS FOR ELECTRON SCATTERING ON N_2 IN THE ENERGY RANGE 250—1400 eV

CHEN XIANG-JUN FAN XIAO-WEI XU KE-ZUN YANG BING-XIN

XING SHI-LIN WANG YONG-GANG ZHANG FANG

Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026

(Received 18 June 1991)

ABSTRACT

A linear-transmission-type apparatus for measuring total cross sections of electron scattering by atoms and molecules has been set up. Measurements on N_2 have been carried out for 250—1400eV electrons with an accuracy of 3.5%. The results have been compared with available experimental and theoretical values of the total cross section.

PACC: 3480B