

氧分子的价壳层光学振子强度研究^{*}

朱林繁 钟志萍 暨 青 张晓军 武淑兰 凤任飞 徐克尊

(中国科学技术大学近代物理系, 合肥 230026)

(1996 年 2 月 7 日收到; 1996 年 6 月 17 日收到修改稿)

在入射电子能量为 1500 eV、平均散射角为 0°、能量分辨为 60 meV 条件下, 得到了氧分子在 5.7—28.5 eV 能量区间的光学振子强度密度谱, 获得了氧分子 $E^3\Sigma_g^-$ 的 $\nu'=0, 1, 2$ 和 $2^3\Pi_g$ 的 $\nu'=0, 1$ 各振动能级的绝对光学振子强度, 同时检验了我们的 Bethe-Born 转换因子外推到低能端的可靠性. 将所得结果与前人的工作进行了比较.

PACC: 3480G; 3370; 3450H; 4350E

1 引 言

氧气是地球大气中含量仅次于氮气的物质, 它在燃烧过程和能量转换过程中起着十分重要的作用, 同时, 作为生物体呼吸过程中的关键元素, 其对生命科学的重要意义是不言而喻的. 另外, 太阳辐射与地球大气中氧气发生相互作用而导致氧分子解离和预解离的过程, 对一些大气现象如极光等也起着重要作用. 故而精确了解氧分子价壳层的绝对光学振子强度对大气物理学、空间物理学、环境科学和生命科学是极其重要的. 另一方面, 氧分子作为一个开壳层系统, 也为理论工作者所关注.

光学振子强度的测量方法主要有光学方法和电子碰撞方法两大类. 光学方法有一定的局限性, 文献[1]对其局限性作了详尽的评述. 电子碰撞测量光学振子强度的理论基础和实验方法可参阅文献[2—7]. 由于电子碰撞激发是非共振激发, 故而不存在线饱和效应, 这是光吸收方法所不能比拟的. 电子碰撞方法测量绝对光学振子强度分为两类: (1) 高分辨偶极(e, e)方法. 该方法是一种较理想的可同时测量分立态和连续区绝对光学振子强度密度的方法, 但是在用该方法把电子能量损失谱转换为相对光学振子强度谱的过程中要用到 Bethe-Born 转换因子. 对于原子的情况, 我们已用该方法测量了氮和氩的光学振子强度密度^[4,5], 所得结果令人满意. 对于分子而言, 外推 Bethe-Born 转换因子到低能端时的可靠性需要检验. 氧分子在高端存在电离连续区, 在低能端存在 Schumann-Runge 连续区. 由于连续区的绝对光学振子强度密度谱的峰形和大小与能量分辨率无关, 因此通过对氧分子 Schumann-Runge 连续区的绝对光学振子强度密度谱的研究, 可以检验 Bethe-Born 转换因子在外推到低能端时是否可靠. (2) 外推广义振子强度到动量转移为零 ($K^2 \rightarrow 0$) 时可得到绝对光学振子强度, 通过该方法也可绝对标定相对广义振子强度. 我们的高分

^{*} 国家自然科学基金、国家攀登计划及中国科学技术大学青年基金资助的课题.

辨快电子能量损失谱仪既可在 0° 角测量(光学近似条件),也可进行转角度测量.在 0° 角测量的电子能量损失谱可通过 Bethe-Born 转换因子转化为绝对光学振子强度密度谱,从而得到不同跃迁的绝对光学振子强度^[6,7].转角度测量可获得弹性散射和不同跃迁非弹性散射的相对微分截面,获得的非弹性散射相对微分截面可通过外推动量转移为零($K^2 \rightarrow 0$),然后用 0° 角测量的绝对光学振子强度进行绝对标定.我们已用此方法测量了氮原子的 $1^1S \rightarrow 2^1S, 1^1S \rightarrow 2^1P$ 激发^[7]和氩原子的 $3s^23p^6(^1S_0) \rightarrow 3s^23p^5(^2P_{1/2})4s, 3s^23p^5(^2P_{3/2})4s', 3s^23p^54p + 4p'$ 激发^[8]的广义振子强度曲线,所得结果令人满意.

前人对氧分子的价壳层能级结构和连续区的光吸收截面做过较多研究,文献[9—11]对此做了综合性的评述.氧分子在 6.2—7.0 eV 能量区间的能谱是由其基态 $X^3\Sigma_g^-$ 跃迁至 $B^3\Sigma_u^-$ 态的 Schumann-Runge 跃迁带^[9—14]形成的.文献[15—17]对此区间氧分子的光吸收谱做了详细的研究.由于该区间的光学振子强度极低,从本实验所测谱中基本上看不出来.氧分子在 7.0—9.7 eV 能量区间的光吸收峰是 Schumann-Runge 连续区,它是由价壳层和里德伯态混合跃迁组成,其中主要是由基态 $X^3\Sigma_g^-$ 至价壳层 $B^3\Sigma_u^-$ 态的跃迁.文献[18]通过拟合实验结果给出不同跃迁对 Schumann-Runge 连续区电子能量损失谱贡献的百分比.由于在该区间不存在线饱和效应,前人采用光吸收方法对该区间做了较多的研究^[14,19—25].理论上,文献[26,27]采用从头计算法计算了该区间的光学振子强度.文献[25]不仅在不同温度下(78 和 295 K)测量了该区间的氧分子光吸收截面,而且通过理论计算拟合了他们的实验结果.

在 Schumann-Runge 连续区高能端存在许多弥散峰.实验上 Ogawa 等^[19]和 Lewis 等^[28,29]采用光学方法,测量了它们的光学振子强度.Buenker 等^[26]和 Yoshimine 等^[30]通过计算,认为位于 9.970 eV(longest),10.290 eV(second)和 10.570 eV(third)的三个弥散峰分别是对应于价壳层电子激发能级 $E^3\Sigma_u^-$ 的振动态 $v' = 0, 1$ 和 2 的峰(有的作者称其为 $B'^3\Sigma_u^-$),而位于 10.90, 11.24 和 11.55 eV 的峰是 $2^3\Pi_u$ 的振动态 $v' = 0, 1$ 和 2 的峰.他们和 Li 等^[31]都采用从头计算法计算了电子激发能级 $E^3\Sigma_u^-$ 的振动态 $v' = 0, 1$ 和 2 的绝对光学振子强度,其中文献[26]还采用相同的方法计算了 $2^3\Pi_u$ 的振动态 $v' = 0, 1$ 和 2 的绝对光学振子强度.

到目前为止,氧分子的电子能量损失谱研究工作还不多.Lassetre^[32,33]在 60 年代测量了氧分子在不同能区的广义振子强度,并通过外推广义振子强度到动量转移为零($K^2 \rightarrow 0$)而获得了不同能区的积分光学振子强度.文献[12]在入射电子能量为 25 keV,能量分辨率为 10 meV 条件下测量了氧分子的电子能量损失谱,但他们只给出了峰的强度比,并没有获得光学振子强度.文献[13]在入射电子能量为 100 eV 条件下测量了氧分子的价壳层电子能量损失谱,但由于他们的入射电子能量较低,只能获得氧分子价壳层的表现振子强度.文献[34]在入射电子能量为 8 keV 条件下获得了氧分子在宽能量范围(5—300 eV)的光学振子强度,但其能量分辨率较低,仅为 1 eV,不能区分各个电子激发态.文献[35]采用与我们相同的方法获得了氧分子价壳层的绝对光学振子强度密度谱.

前人对氧分子的能级结构虽然已作过广泛的研究,但对它的绝对光学振子强度从理论和实验两方面所做的研究工作都还不多,且其价壳层的绝对光学振子强度,无论是理论

与实验之间,还是实验彼此之间的差别都较大,用电子碰撞方法开展这方面的研究更少,故而有进一步研究的必要.本文利用高分辨快电子能量损失谱仪,采用高分辨偶极(e, e)的方法,在入射电子能量为 1500 eV,散射角为 0°条件下测量了氧分子价壳层的绝对光学振子强度密度谱,并把所得结果与以前的实验和理论数据进行了比较.

2 实验装置与实验方法

实验所用高分辨快电子能量损失谱仪在以前的工作^[4,5]中有较详细的描述.其电子入射能量为 1—5 keV,能量分辨率为 40—120 meV,可转动角度范围为 -5°—+15°.测量条件为电子入射能量为 1500 eV,典型能量分辨(FWHM)为 60 meV,散射角为 0°(光学近似条件),样品气压为 4×10^{-3} Pa.为了扣除本底和差分抽气不完全而造成的影响,同时测量了 1/4 气压下的电子能量损失谱,作为本底谱加以扣除.光学振子强度密度谱绝对化的程序如下^[1]:(1)测量氦在 25—88 eV 能量区间的电子能量损失谱,用文献[1]相应能区的光学振子强度密度数据除以本实验测得的电子能量损失谱,经拟合即得本实验条件下的 Bethe-Born 转换因子曲线.(2)把本实验获得的电子能量损失谱乘以 Bethe-Born 转换因子,然后即得氧分子价壳层的相对光学振子强度密度谱.(3)用电离连续区的一点,进行单点标定,从而得到绝对光学振子强度密度谱.

测量了两个能量范围(5.71—17.71 eV, 16.47—28.47 eV)的电子能量损失谱,每个能量扫描范围宽度均为 12 eV,跳步步长为 11.72 meV.采用 $E^3 \Sigma_u^-$ 的 $v'=0$ 振动峰的能量 9.970 eV 进行能量刻度.从文献[12, 36, 37]可看出,他们所测的该峰都位于 9.970 eV. 16.47—28.47 eV 能量区间的能量刻度采用所测两个区间重合部分的一个峰(17.755 eV)进行刻度,得到的相对光学振子强度密度谱的绝对化是采用氧分子电离连续区 26 eV 处的绝对光学振子强度密度^[34] 0.2018 eV^{-1} 进行绝对标定.在氧分子的电离连续区,文献[34]测量的绝对光学振子强度密度谱与文献[35, 38—40]的结果一致.我们认为文献[34]的结果是可信的.

3 结果与讨论

图 1 给出本实验测得的 5.7—28.5 eV 范围内能量分辨率为 60 meV 的氧分子价壳层绝对光学振子强度密度谱.实验的误差主要来源于三个方面:(1)获得 Bethe-Born 转换因子的相对误差为 6%;(2)绝对标定的误差为 1%;(3)实验计数的统计误差,视峰的大小而定.

图 1 除了给出本文的实验结果外,还给出前人在电离连续区的测量结果.从图 1 可看出本文的结果与文献[34, 38, 39]的结果符合较好,文献[35, 40]的结果与文献[34, 38, 39]的结果一致,因此本文的结果也与文献[35, 40]的结果一致.从图 1 还可看出,文献[41]的结果在 25 eV 以上与别人的结果相符,而低于 25 eV 的区间他们的结果偏低,文献[42]的结果比别人的数据明显偏高,所以我们采用文献[34]的数据进行绝对标定.

图 2 为 Schumann-Runge 连续区的扩展图,其中还给出前人的某些实验结果.从图 2

可看出,本文的结果与文献[19]的结果符合较好,文献[20]的结果在 8.5 eV 附近比本文的结果稍低,文献[21,22]的结果则明显偏低.从文献[35]可看出,其结果与文献[19]的结果十分符合,文献[13,14,23,25]的结果除了在 8.5 eV 附近比文献[19]的结果稍低外,别处的数据都符合较好,文献[24]的结果则明显偏高.由于本文的结果与文献[19]的结果符合较好,因而有理由认为本文的结果与文献[13,14,23,25,35]中的数据均较好地符合.理论上文献[25,27]的计算结果分别与文献[25]和文献[19]的实验结果符合较好,考虑到本文的数据与文献[19,25]数据的一致性,所以本文的结果也与文献[25,27]的理论计算相一致.但由于他们的理论计算都调整了其势能曲线来拟合实验结果,所以不能认为其曲线是严格的理论计算结果.

在数据获取的过程中,经 Bethe-Born 转换因子转换后,得到的相对光学振子强度密度谱与原始的电子能量损失谱之间的差别很大,低能端的情况尤其如此.本实验的结果是在高能端标定的,任何 Bethe-Born 转换因子的偏离都将导致 Schumann-Runge 连续区结果的严重错误.考虑到本实验结果在 Schumann-Runge 连续区与前人的大部分结果[13,14,19,20,23,25,35]都符合较好,因此我们认为本文的 Bethe-Born 转换因子在外推到低能端时是可信的.

把图 2 中 Schumann-Runge 连续区的 6.56—9.46 eV 区间进行积分,得到的积分光学振子强度值为 0.168.在相应区间文献[35]的光学振子强度值为 0.169,文献[13]的光学振子强度值为 0.161.在相应区间文献[32]由广义振子强度外推到动量转移等于零($K^2 \rightarrow 0$)且经过校正的光学振子强度值为 0.179.在误差范围内都与本文的数据相一致.积分 7.75—9.48 eV 能量区间,本文的光学振子强度值为 0.157,这与文献[19]的结果完全一样.

图 3 给出图 1 中 9.4—14.5 eV 能量区间的扩展图.由图 3 可看出,从 9.4 eV 到刚低于第一电离势 12.071 eV^[43]之间有多个混合峰.图 3 中除了标出根据文献[26,30]的理论计算确定的电子态 $E^3\Sigma_u^-$ 的 $\nu'=0,1,2$ 和 $2^3\Pi_u$ 的 $\nu'=0,1$ 的振动峰外,其他的混合跃迁峰无法定出跃迁类型.表 1 把 9.76—11.89 eV 能量区间本文的数据与前人的结果进行了比较.除本文的以外,文献[13,35]的结果是用电子碰撞方法得到,文献[19,29]的结果是通过光学方法得到.由表 1 可知,对于 $E^3\Sigma_u^-$ 的 $\nu'=0,1$ 的振动峰,在误差范围内,本文的结果与文献[19,29,35]的数据一致.而文献[13]的数据则比本文的分别高 20% 和

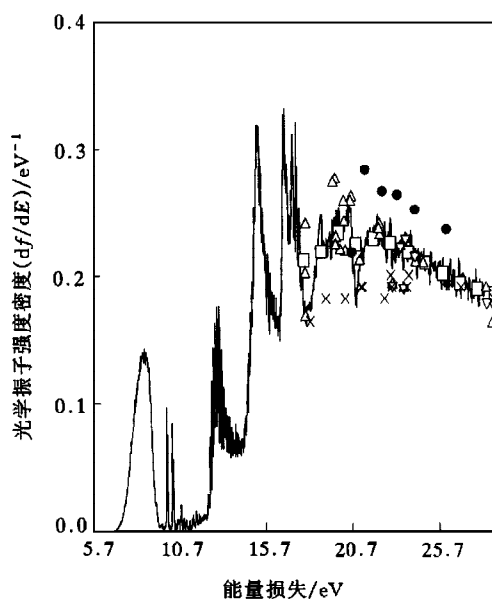


图 1 氧分子在 5.7—28.5 eV 能量区间的绝对光学振子强度密度谱 ——为本工作;□为文献[34]的结果;△为文献[38]的结果;▽为文献[39]的结果;×为文献[41]的结果;●为文献[42]的结果

8%. 在 9.1—10.6 eV 能量区间, 即使光学方法^[11,29]也探测到了禁戒跃迁 $\alpha^1\Sigma_u^+ \leftarrow X^3\Sigma_g^-$ 和 $\beta^3\Sigma_u^+ \leftarrow X^3\Sigma_g^-$, 由于文献[13]的入射电子能量仅为 100 eV, 接受角为 0.02 rad, 光学近似条件并不是很好, 可能他们的结果中禁戒跃迁的贡献较大, 数据不够可靠. 对于能量高于 10.44 eV 的峰, 峰与峰之间并不能完全分开, 由于不同实验的能量分辨率不同, 峰的高低和谷的深浅也有所差异, 所以本文选择的积分能量区间与文献[13,35]的稍有不同. 对于 $E^3\Sigma_u^-$ 的 $\nu'=2$ 和 $2^3\Pi_u$ 的 $\nu'=0, 1$ 的振动峰, 文献[35]的结果比本文的低, 而文献[13]的数据比本文的高, 文献[19]的数据也比本文的低. 文献[26,30,31]用从头计算组态相互作用计算的 $E^3\Sigma_u^-$ 的 $\nu'=0$ 的电子态的光学振子强度的数据偏大, 对于 $\nu'=1, 2$ 的态, 文献[26,30]的结果偏大, 而文献[31]的结果又比实验结果小. 文献[26]理论计算的 $2^3\Pi_u$ 的振动能级 $\nu'=0, 1$ 的光学振子强度与本文的实验结果符合很好. 从表 1 可看出, 对于 *a* 峰和 *b*, *c* 峰, 本文的结果介于文献[13,35]的数据之间, 但对于 *d* 峰, 本文的数据则偏小. 把 9.464—10.704 eV 能量区间积分, 本工作所得的积分光学振子强度值为 0.0190, 在相应区间文献[33]通过外推广义振子强度到动量转移为零得到的光学振子强度值为 0.020. 文献[35]在相同区间的积分光学振子强度值为 0.0185, 在误差范围内与本文的结果一致. 第一电离势 12.071 eV 以下所有区间本文的积分光学振子强度值为 0.197, 而同样范围文献[35]与文献[13]的数据完全一样, 为 0.198, 在误差范围内与本文的结果一致. 考虑到文献[13]的数据是在低能端标定的, 所以他们的结果与本文的数据一致是不奇怪的. 但文献[13]在 6.564—9.464 eV 能量区间的积分光学振子强度值比本

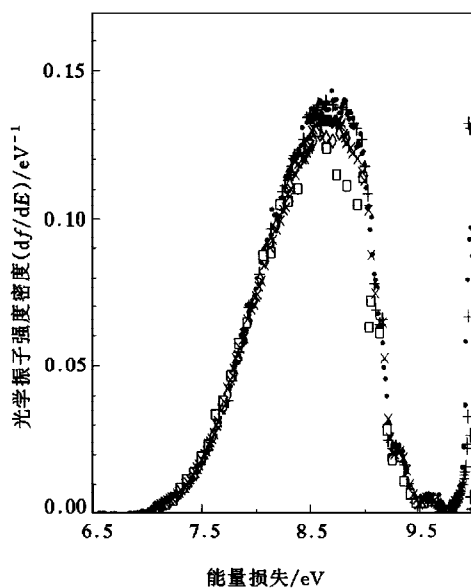


图2 氧分子在 Schumann-Runge 连续区绝对光学振子强度密度谱的扩展图 ●为本工作; + 为文献[19]的结果; × 为文献[20]的结果; ◇ 为文献[21]的结果; □ 为文献[22]的结果

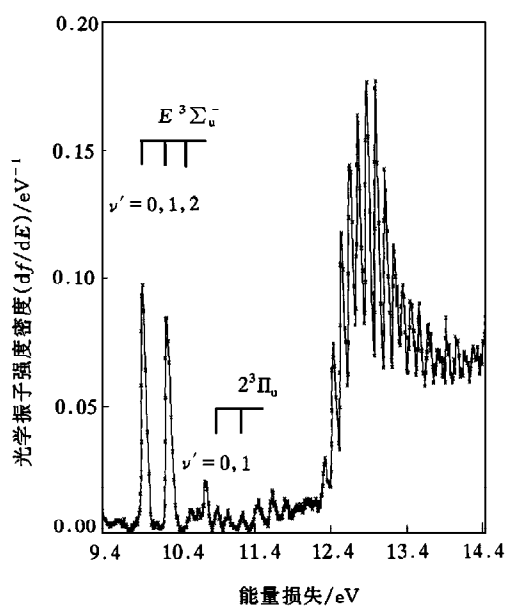


图3 氧分子在 9.4—14.5 eV 能量区间的绝对光学振子强度密度谱

文的结果稍低,所以他们在 9.464—12.071 eV 能量区间的光学振子强度值比本文的结果要高.

表 1 9.76—11.89 eV 能量区间氧分子的绝对积分光学振子强度值(10^{-3})

峰位 ^{a)} /eV	电子态 ^{b)}	ν'	能量范围/eV	实 验					理 论		
				本工作	文献[35]	文献[13]	文献[29] ^{c)}	文献[19]	文献[26]	文献[30]	文献[31]
9.96	$E^3\Sigma_u^-$	0	9.76—10.17	8.43	8.44	10.24		8.33	13.6	10.3	17.42
10.28	$E^3\Sigma_u^-$	1	10.17—10.44	7.46	7.59	8.04	7.95	7.06	15.7	12.4	5.62
10.57	$E^3\Sigma_u^-$	2	10.44—10.60	0.928	0.827	1.47	0.83	0.770	7	4.12	0.61
	a		10.60—10.69	0.708	0.652	0.650		0.660			
	a		10.69—10.84	1.80	1.46	2.42		1.40			
10.90	$2^3\Pi_u$	0	10.84—10.98	0.891	0.814	0.900		0.820	0.9		
	b, c		10.98—11.17	0.862	0.733	1.59		0.752			
11.24	$2^3\Pi_u$	1	11.17—11.33	0.707	0.606	1.10		0.497	0.7		
	$d(2^3\Pi_u, \nu'=2)$		11.33—11.55	1.63	1.67	2.34					
	$d(2^3\Pi_u, \nu'=2)$		11.55—11.73	1.71	1.91	2.31					
	d		11.73—11.89	1.56	1.74	1.63					

a)引自文献[26]的理论计算值.
b)引自文献[26]的理论计算和文献[44]的标记符号.
c)引自文献[29]的实验数据,为经曲线拟合后求得的光学振子强度,其中 $E^3\Sigma_u^-$ 的 $\nu'=2$ 的结果为氧分子同位素 ^{16}O , ^{18}O 和 $^{18}\text{O}_2$ 光学振子强度的平均值.

在 11.89—17.47 eV 能量范围内有许多峰,这些峰由许多不同电离限的跃迁混合而成,目前还不能分类.表 2 给出它们对应能区的积分光学振子强度值.由表 2 可看出,在考虑到积分区间稍有不同情况下,本文的结果与文献[35]的数据基本一致,但低于文献[13]的结果.把能量区间 12.104—14.044 eV 积分,本文的光学振子强度值为 0.149,相应能区文献[35]的数据为 0.151,文献[13]的数据为 0.181.本文的结果与文献[35]的数据符合较好,比文献[13]的数据小 20% 左右.由于文献[13]的 Bethe-Born 转换因子在宽能量范围内的可靠性没有检验过,所以其数据的可信度不是十分确定.12.074—16.534 eV 能量区间本文的积分光学振子强度值为 0.574.文献[35]的结果为 0.578.文献[35]重新分析了文献[45]的数据,计算出文献[45]在该能区的积分光学振子强度值为 0.587.在误差范围内都与本文的结果一致.

总之,本文的光学振子强度数据与文献[35]的数据大致符合,但对 $E^3\Sigma_u^-$ 的 $\nu'=2$ 和 $2^3\Pi_u$ 的 $\nu'=0,1$ 跃迁,他们的结果比我们的偏小(9—14)%,已经超出误差范围,因此还需要更多的工作来比较.而文献[13]的数据比我们的结果大,考虑到文献[13]的入射电子能量仅为 100eV,且其 Bethe-Born 转换因子在宽能量范围内的适用性没有检验过,我们认为文献[13]的结果可靠性差一些.本文的标定是在高能端进行的,低能端 Schumann-Runge 连续区的数据与前人的工作符合很好,证明了本文的 Bethe-Born 转换因子外推到低能端时是可靠的.

表 2 11.893—17.472 eV 能量区间氧分子的绝对积分光学振子强度值(10^{-3})

能量范围/eV	本工作	文献[35]	文献[13]
11.893—12.245	3.87	3.42	4.65
12.245—12.397	3.15	3.25	3.79
12.397—12.526	6.45	6.11	7.25
12.526—12.655	10.7	10.6	11.76
12.655—12.772	13.4	13.4	14.83
12.772—12.889	15.1	14.9	17.24
12.889—13.007	15.9	14.7	16.41
13.007—13.136	15.7	14.7	15.67
13.136—13.241	11.9	11.7	13.9
13.241—13.358	11.3	9.99	11.86
13.358—13.464	9.38	8.61	9.87
13.464—13.557	8.32	7.93	10.33
13.557—13.675	9.04	7.75	9.52
13.675—13.804	9.72	9.25	11.66
13.804—13.909	7.85	9.41	14.24
13.909—14.038	9.41	7.01	10.27
14.038—14.167	9.40	8.52	
14.167—14.261	6.93	8.12	
14.261—14.413	11.0	7.36	
14.413—17.514	6.48	6.47	

感谢李家明院士对本工作的关心和讨论.

[1] W.F.Chan *et al.*, *Phys. Rev.*, **A44**(1991), 186.
[2] M.Inokuti, *Rev. Mod. Phys.*, **43**(1971), 297.
[3] 王建国等, 物理学报, **45**(1996), 13.
[4] 凤任飞等, 中国科学, **A26**(1996), 744.
[5] S.L.Wu *et al.*, *Phys. Rev.*, **A51**(1995), 4494.
[6] 徐克尊等, 中国科学, **A24**(1994), 1115.
[7] K.Z.Xu *et al.*, *Phys. Rev.*, **A53**(1996), 3081.
[8] Q.Ji *et al.*, *Phys. Rev.*, **A54**(1996), 2786.
[9] K.Watanabe, *Advan. Geophys.*, **2**(1958), 153.
[10] R.D.Hudson, *Rev. Geophys. Space Phys.*, **9**(1971), 305.
[11] P.H.Krupenie, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **1**(1972), 423.
[12] J.Geiger and B.Schroder, *J. Chem. Phys.*, **49**(1968), 740.
[13] R.H.Huebner *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **63**(1975), 241.
[14] A.J.Blake *et al.*, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **6**(1966), 451.
[15] B.R.Lewis *et al.*, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **33**(1985), 627.

- [16] B.R.Lewis *et al.*, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **36**(1986), 187.
- [17] B.R.Lewis *et al.*, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **36**(1986), 209.
- [18] D.C.Cartwright *et al.*, *J. Phys.*, **B9**(1976), 2419.
- [19] S.Ogawa and M.Ogawa, *Can. J. Phys.*, **53**(1975), 1845.
- [20] K.Watanabe *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **21**(1953), 1026.
- [21] S.T.Gibson *et al.*, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **30**(1983), 385.
- [22] R.Goldstein and F.N.Mastrap, *J. Opt. Soc. Am.*, **56**(1966), 765.
- [23] P.H.Metzger and G.R.Cook, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **4**(1964), 107.
- [24] R.W.Ditchburn and P.W.O.Heddle, *Proc. Roy. Soc. (London)*, **A220**(1953), 61.
- [25] J.Wang *et al.*, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **38**(1987), 19.
- [26] R.J.Buenker *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, **42**(1976), 383.
- [27] A.C.Allison *et al.*, *J. Geophys. Res.*, **91**(1986), 10193.
- [28] B.R.Lewis *et al.*, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **40**(1988), 1.
- [29] B.R.Lewis *et al.*, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **40**(1988), 469.
- [30] M.Yoshimine *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **64**(1976), 2254.
- [31] Y.Li *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **96**(1992), 8314.
- [32] E.N.Lassetre *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **40**(1964), 1261.
- [33] E.N.Lassetre *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **40**(1964), 2922.
- [34] C.E.Brion *et al.*, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.*, **17**(1979), 101.
- [35] W.F.Chan *et al.*, *Chem. Phys.*, **170**(1993), 99.
- [36] E.N.Lassetre *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **48**(1968), 5066.
- [37] Y.Tanaka, *J. Chem. Phys.*, **20**(1952), 1728.
- [38] J.A.R.Samson and R.B.Cairns., *J. Geophys. Res.*, **69**(1969), 4583.
- [39] J.A.R.Samson and R.B.Cairns., *J. Opt. Soc. Am.*, **55**(1965), 1035.
- [40] W.S.Waston *et al.*, *Phys. Lett.*, **A44**(1973), 293.
- [41] P.Lee, *J. Opt. Soc. Am.*, **45**(1955), 703.
- [42] N.Wainfan *et al.*, *Phys. Rev.*, **99**(1955), 542.
- [43] O.Edquist *et al.*, *Phys. Scripta*, **1**(1970), 25.
- [44] W.C.Price and G.Collins, *Phys. Rev.*, **48**(1935), 714.
- [45] F.M.Matsunaga and K.Watanabe, *Sci. Light (Tokyo)*, **16**(1967), 31.

A STUDY OF OPTICAL OSCILLATOR STRENGTHS FOR VALANCE SHELL OF MOLECULAR OXYGEN

ZHU LIN-FAN ZHONG ZHI-PING JI QING ZHANG XIAO-JUN

WU SHU-LAN FENG REN-FEI XU KE-ZUN

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

(Received 7 February 1996; revised manuscript received 17 June 1996)

ABSTRACT

The absolute optical oscillator strength density spectrum of oxygen has been measured at an impact energy of 1.5 keV and a mean scattering angle of 0° in an energy region of 5.7—28.5 eV with typical FWHM 60 meV. The absolute optical oscillator strengths corresponding to vibrational levels of $E^3\Sigma_u^-, \nu' = 0, 1, 2$ and $2^3\Pi_u, \nu' = 0, 1$ are reported and compared with previous experimental and theoretical results. The validity and accuracy of the Bethe-Born conversion factor is confirmed down to 6 eV by comparison.

PACC: 3480G; 3370; 3450H; 4350E