物理学报 Acta Physica Sinica

Chinese Physical Society

Institute of Physics, CAS

用于α和μ常数变化测量的碘离子光谱研究

穆秀丽　李传亮　邓伦华　汪海玲

Spectra of I_2^+ for possible measurement of α and μ constant

引用信息 Citation: Acta Physica Sinica, **66**, 233301 (2017)　DOI: 10.7498/aps.66.233301
在线阅读 View online: http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.233301
当期内容 View table of contents: http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2017/V66/I23

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

2μm 波段高灵敏度离轴积分腔装置实际大气 CO_2 测量
High-sensitive off-axis integrated cavity output spectroscopy and its measurement of ambient CO_2 at 2 μm
物理学报.2016, 65(5): 053301　http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.053301

1.5μm 处 CO_2 与 CO 高温线强的实验分析与理论计算
Theoretical and experimental study on line intensities of CO_2 and CO transitions near 1.5 μm at high temperatures
物理学报.2015, 64(21): 213301　http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.213301

$^{13}CH_4$ 分子 v_3 振动带空气和氮气加宽系数温度依赖性研究
Temperature dependence of air- and N_2-broadening coefficients in the v_3 band of $^{13}CH_4$
物理学报.2015, 64(15): 153301　http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.153301

近三相点氮分子固体的低温红外吸收特性研究
Infrared absorption characteristics of solid nitrogen at near-triple point temperatures
物理学报.2015, 64(7): 073301　http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.073301

近三相点温度低温固体氘的红外吸收谱
Infrared absorption spectrum of solid deuterium at near-triple point temperature
物理学报.2013, 62(16): 163301　http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.163301

用于α和μ常数变化测量的碘离子光谱研究*

穆秀丽[1)] 李传亮[2)] 邓伦华[1)†] 汪海玲[1)‡]

1) (华东师范大学, 精密光谱科学与技术国家重点实验室, 上海 200062)

2) (太原科技大学应用科学学院, 太原 030024)

(2017 年 6 月 28 日收到; 2017 年 8 月 13 日收到修改稿)

分子离子I_2^+的禁戒跃迁光谱有可能用于测量α和μ常数的变化, 并且具有增强的灵敏度. 通过分析I_2^+在11860—13100 cm^{-1}范围内的转动光谱, 拟合了$A^2\Pi_{3/2}$-$X^2\Pi_{3/2}$系统31个振转带的5759根吸收谱线, 得到5个属于$X^2\Pi_{3/2}$态和9个属于$A^2\Pi_{3/2}$态的振动能级准确的转动光谱常数. 在量子噪声极限和1 Hz 跃迁线宽的条件下, 计算得到$X^2\Pi_{3/2}$和$X^2\Pi_{1/2}$之间的禁戒跃迁对α和μ常数变化测量的灵敏度为$\delta\alpha/\alpha \approx 2.37\times10^{-19}$ a^{-1} 和$\delta\mu/\mu \approx 1.18\times10^{-18}$ a^{-1}.

关键词: 分子光谱, α常数, μ常数, 碘离子光谱, 精密测量

PACS: 33.20.Ea, 06.20.Jr, 33.15.Mt, 42.62.Fi **DOI:** 10.7498/aps.66.233301

1 引 言

无量纲的基本物理常数可能具有时间或空间依赖性, 比如精细结构常数$\alpha = e^2/(\hbar c)$, 质子与电子质量比值常数$\mu = m_p/m_e$[1,2]. 基本物理常数随时间或空间的变化得到了广泛研究. 利用宇宙观测是测量基本常数时空变化的一种方法[3,4], 类星体的高分辨率吸收光谱提供了足够的回溯时间(接近宇宙年龄)并且有足够的空间跨度, 这种时空跨度在实验室条件下是无法实现的. 在实验室条件下, 很多原子和离子被用来测量基本常数的变化. 并且, 在实验室可以采用高精度的钟作为参考频率. 例如: 通过比较Hg^+钟和Al^+间隔一年的频率比率, 得到α常数的相对变化为$\delta\alpha/\alpha = (-1.6\pm2.3)\times10^{-17}$ a^{-1}[5]. 镝(Dy)原子[6]和钍(^{229}Th)[7]原子某些能级间的跃迁对α的变化极为敏感, 也被用于α常数的变化测量. 此外, Yb^+的跃迁也被用来测量α和μ的变化[8].

利用高精度量化计算[9−12]或者精密光谱测量[13], 可以获得分子的电子态结构与跃迁信息. 分子的某些近简并能级间的跃迁对α和μ的变化都很敏感, 很适合用来测量这两个常数的变化. 例如: 通过测量SF_6的振动跃迁并以Cs钟为频率标准, 得到μ常数随时间变化为$(-3.8\pm5.6)\times10^{-14}$ a^{-1}[14]. 这是迄今为止惟一在实验室条件下利用分子做μ常数变化测量的实验. 分子离子的某些跃迁对常数变化具有增强的灵敏度, 并具有易于冷却和囚禁的优点. 因此分子离子很适合进行物理常数的时空变化测量. 然而, 相对于分子来说, 分子离子的精确光谱数据极其缺乏, 限制了离子在精密测量领域的应用.

Pasteka等[15]计算了分子离子用于基本物理常数测量的可行性以及相应的增强因子. 其中, 对I_2^+做了较详细的分析, 初步确认该离子的近简并能级间的跃迁对α和μ常数的变化均具增强的灵敏度. I_2^+的光谱研究自1984年以后一直没有较大进展[16]. 20世纪90年代, 零动能脉冲电场电离光谱技术被Cockett等[17−19]用于I_2^+的高分辨光谱测量. 1995年, 他们[17]采用共振增强多光子电离

* 国家自然科学基金(批准号: 11674096, 11504256)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: lhdeng@phy.ecnu.edu.cn

‡ 通信作者. E-mail: hlwang@phy.ecnu.edu.cn

© 2017 中国物理学会 Chinese Physical Society

技术, 以几个偶对称的里德伯态作为中间态, 获得了 $X^2\Pi$ 态的振动平衡常数 ω_e 和 $\omega_e\chi_e$. 随后, 他们又以 $B^3\Pi$ 态作为中间态, 采用类似的方法获得了更加完整的振动带光谱, 并相应得到 $X^2\Pi$ 态的更为精确的 ω_e 和 $\omega_e\chi_e$ 常数[18]. 1996年, 他们[19]首次得到了 $A^2\Pi_{3/2}$ 态的振动能级结构. 随着分子理论计算的发展, 多种计算方法被用于 I_2^+ 能级结构的研究. 1989年, Li 等[9]计算得到13个电子态的平衡常数 T_e, r_e, ω_e. 1997年, Jong 等[10]对 I_2^+ 的低能级进行了计算, 利用开壳层组态相互作用方法预测了 I_2^+ 的势能曲线. 直到2012年, 通过测量 $A^2\Pi_{3/2}$-$X^2\Pi_{3/2}$ 子带系吸收光谱, 才获得了 $X^2\Pi_{3/2}$ 态的精确转动常数与分子平衡核间距[13].

本文测量了 I_2^+ 位于800 nm附近的转动分辨吸收光谱, 把光谱指认到 $A^2\Pi_{3/2}$-$X^2\Pi_{3/2}$ 子带系的31个振-转带, 通过拟合得到了相关振动能级的振-转常数. 利用 I_2^+ 的分子常数, 分析了 $A^2\Pi_{3/2}$ 态和 $X^2\Pi_{3/2}$ 态之间的禁戒转动跃迁对 α 和 μ 常数变化的灵敏度.

2 理 论

基本常数 X 的改变量 $\delta X/X$ 与跃迁频率 ω 的改变量 $\delta\omega/\omega$ 有关系 $\delta\omega/\omega = K\cdot\delta X/X$. 跃迁频率对常数的依赖程度称为灵敏度系数(增强因子)K. 如果有两个近简并的能级, 并且这两个能级对某个物理常数的变化具有不同的改变方式, 则来源于这两个能级间的跃迁就会对物理常数的变化极为敏感.

对双原子分子总自旋 $S>0$ 的 $X^2\Pi$ 电子态, 由于自旋-轨道耦合, 形成两个子电子态 $X^2\Pi_{1/2}$ 和 $X^2\Pi_{3/2}$. 自旋-轨道耦合常数 A_e 与 $A^{(1)}$ 依赖 α^2, 振动常数 ω_e 依赖 $\mu^{-1/2}$; 振动常数 $\omega_e\chi_e$ 和转动常数 B_e 依赖 μ^{-1}. 低电子态的转动能级间隔为 $BJ(J+1)$, 该能级只依赖于 μ; 高电子态受到自旋轨道耦和影响, 该电子态的能级依赖于 α 和 μ. 这两个子电子态间转动能级的跃迁, 可以用来研究常数 α 和 μ 的变化. 这两个近简并能级间的跃迁频率 ω 为[15]:

$$\begin{aligned}\omega = {}&\omega_e(v'-v'') - \omega_e\chi_e(v'-v'')(v'+v''+1)\\&+B_e(J'-J'')(J'+J''+1)-A_e\\&-A^{(1)}(v'+v''+1)/2.\end{aligned}\tag{1}$$

利用(1)式可以得到跃迁频率 ω 变化与物理常数变化的关系:

$$\frac{\delta\omega}{\omega} = K_\mu\frac{\delta\mu}{\mu} + K_\alpha\frac{\delta\alpha}{\alpha}.\tag{2}$$

近简并能级跃迁对 α 和 μ 常数变化的相对增强因子(或相对灵敏度)K_α 和 K_μ 为:

$$\begin{aligned}K_\mu = {}&\Big[\frac{1}{2}\omega_e(v''-v') - \omega_e\chi_e(v''-v')(v''+v'+1)\\&+B_e(J''-J')(J''+J'+1)\\&+\frac{1}{4}A^{(1)}(v''+v'+1)\Big]\omega^{-1} = \tilde{K}_\mu\omega^{-1},\end{aligned}\tag{3}$$

$$\begin{aligned}K_\alpha &= \Big[-2A_e - A^{(1)}(v''+v'+1)\Big]\omega^{-1}\\&= \tilde{K}_\alpha\omega^{-1},\end{aligned}\tag{4}$$

其中, 绝对增强因子 $\tilde{K}_\alpha$ 和 $\tilde{K}_\mu$ 和跃迁频率 ω 的计算依赖精确光谱参数. 两个近简并能级的跃迁 ω 是很小的数值, 考虑到相对增强因子与 ω^{-1} 成正比, ω 的准确度对相对增强因子影响很大.

3 实 验

实验使用钛宝石激光器(Coherent Ring 899-29)作为光源. 激光工作于800 nm附近, 激光线宽大约在MHz量级, 远小于实验条件下的多普勒线宽($\approx$ 1 GHz). 样品生成系统可分为真空和放电两个部分. 真空部分的吸收池的长度和直径分别约为40和1 cm, 置于水冷衬套(用于对放电管进行冷却)中, 两端为石英玻璃窗片, 前端窗片含有一个支形管装置(其中存放少量碘晶体单质). 以氦气作为载气, 与碘蒸气在适当的气压配比下, 可提高碘分子离子的生成率, 从而提高光谱的信号强度. 实验使用抽速为16 L/s的机械泵, 碘蒸气的气压约为8 Pa, 氦气的气压约为300 Pa. 实验采用光外差-速度调制吸收光谱技术[20]提高对碘离子光谱测量的灵敏度和信噪比. 测量的光谱由激光器自带波长计做初步频率测量, 然后用标准碘谱做绝对频率校准, 绝对频率准确度约为0.007 cm^{-1}.

4 光谱分析

本次实验测量了11860—12060 cm^{-1} 范围内的光谱, 并结合早期测量的12060—13100 cm^{-1} 范围内的光谱做综合分析. 本文把5759根转动谱线指认到 $A^2\Pi_{3/2}$-$X^2\Pi_{3/2}$ 系统的31个振转带. 在分

析过程中, 首先利用PGOPHER程序[21]对每一个带进行单独拟合, 拟合获得的带源列于表1的德斯兰表中. 斜体表示的带源是早期实验分析的振转带[13]. 加粗的7个振转带是新分析的带, 其中5个带来自本次实验测量的光谱, 另外两个带来自对早期测量光谱的指认分析.

如表1所示, 本文分析了5个属于$X^2\Pi_{3/2}$态和9个属于$A^2\Pi_{3/2}$态的总共14个振动能级. 当每一个振转带的单独拟合完善之后, 对所有的31个带进行全局拟合(global fitting). 对每一个能级, 拟合了能级能量、转动常数B_v和离心畸变常数D_v这三个变量. $v''=1$是本次拟合的最低能级, 在拟合过程中把它的能量值固定在357.56 cm^{-1}[13]. 因此, 本文同时拟合了14个能级的41个振-转常数. 表2列出了拟合得到的常数并与早期的结果做比较. 在此次分析中, 不仅增加了7个振转带, 还对原来的24个带进行了优化分析, 主要是增加指认了这些带的高J值转动谱线. 获得的转动常数B_v和D_v精度有了提高.

表1 碘分子离子$A^2\Pi_{3/2}$-$X^2\Pi_{3/2}$系统的德斯兰表, 不加粗的带源表示此前[13]分析的振-转带, 用粗体标出的带源表示新增分析的7个带

Table 1. Deslandres tables for the $A^2\Pi_{3/2}$-$X^2\Pi_{3/2}$ system of I_2^+, The not bold bands are perviously studied[13], the 7 bolded bands are newly studied in this work.

	$v''=1$	$v''=2$	$v''=3$	$v''=4$	$v''=5$
$v'=11$		*12277.31721(35)*	**12042.17316(40)**		
$v'=12$	*12641.05227(41)*	*12404.61279(33)*	*12169.46874(29)*	**11935.62569(30)**	
$v'=13$	*12767.44690(97)*	*12531.00262(62)*	*12295.86183(49)*	**12062.01849(84)**	
$v'=14$	*12892.94775(45)*	*12656.50750(36)*	*12421.36372(30)*	*12187.51953(31)*	**11954.98184(43)**
$v'=15$	*13017.54308(41)*	*12781.10252(28)*	*12545.95782(29)*	*12312.11574(21)*	**12079.57780(48)**
$v'=16$	*13141.2372(42)*	*12904.79816(27)*	*12669.65420(24)*	*12435.81156(25)*	
$v'=17$		*13027.59276(24)*	*12792.44879(23)*	**12558.60392(46)**	
$v'=18$		*13149.4622(160)*	*12914.33911(31)*	**12680.49304(71)**	
$v'=19$			*13035.33014(75)*		

表2 I_2^+的$A^2\Pi_{3/2,u}$和$X^2\Pi_{3/2,g}$态的光谱常数(cm^{-1}), 括号内数值为常数的误差

Table 2. Spectroscopic constants (cm^{-1}) for vibronic levels associated with the $A^2\Pi_{3/2,u}$ and $X^2\Pi_{3/2,g}$ states of I_2^+. Errors in parenthesis are expressed in unit of the last digit (1σ).

	Ref.[13]			This work		
Level	Energy	B_v	$D_v\times10^9$	Energy	B_v	$D_v\times10^9$
$X^2\Pi_{3/2}$						
$v''=1$	357.56 (fixed)	0.03959967(77)	4.534(44)	357.56 (fixed)	0.039597591(621)	4.4390(293)
$v''=2$	594.00064(31)	0.03948196(77)	4.538(44)	594.00063(29)	0.039480049(617)	4.4521(290)
$v''=3$	829.14528(30)	0.03936413(77)	4.581(44)	829.14399(29)	0.039362230(619)	4.4837(293)
$v''=4$	1062.98788(35)	0.03924499(78)	4.541(45)	1062.98772(29)	0.039243602(617)	4.4970(290)
$v''=5$	1295.53328	0.03912545	4.5645	1295.52550(38)	0.039124664(626)	4.536(30)
$A^2\Pi_{3/2}$						
$v'_n=11$	12871.31758(60)	0.02915704(83)	6.467(57)	12871.31741(40)	0.029155286(625)	6.372(30)
$v'_n=12$	12998.61350(34)	0.02903276(78)	6.482(47)	12998.61289(30)	0.029031023(621)	6.401(30)
$v'_n=13$	13125.00503(43)	0.02891080(87)	8.17(10)	13125.00555(32)	0.028908652(622)	8.085(29)
$v'_n=14$	13250.50806(31)	0.02879100(77)	6.582(44)	13250.50764(29)	0.028789269(619)	6.5015(293)
$v'_n=15$	13375.10412(32)	0.02866499(77)	6.434(44)	13375.10301(29)	0.028663715(619)	6.3910(292)
$v'_n=16$	13498.79809(33)	0.02854185(77)	6.526(44)	13498.79871(33)	0.028539922(619)	6.4423(291)
$v'_n=17$	13621.59417(39)	0.02841671(78)	6.516(45)	13621.59261(34)	0.028415374(619)	6.4554(292)
$v'_n=18$	13743.48216(50)	0.02829327(78)	6.606(45)	13743.48179(39)	0.028291188(623)	6.5099(295)
$v'_n=19$	13864.47723(67)	0.0281681(11)	6.85(16)	13864.47394(70)	0.0281706(10)	7.53(17)

表3 I_2^+ $A^2\Pi_{3/2,u}$ 和 $X^2\Pi_{3/2,g}$ 电子态的实验分子平衡常数 (cm^{-1}), 括号内数值为常数的误差

Table 3. Equilibrium constants (cm^{-1}) for the $A^2\Pi_{3/2,u}$ and $X^2\Pi_{3/2,g}$ states of I_2^+. Errors in parenthesis are expressed in unit of the last digit (1σ).

State	Ref.	ω_e	$\omega_e x_e$	B_e	$a_e \times 10^4$
$X^2\Pi_{3/2}$	This work	239.04447(374)	0.65038(53)	0.03977543(66)	1.1823(17)
	Ref.[13]	239.0397(55)	0.64951(87)	0.03977725(77)	1.1819(24)
	Ref.[19]	240(1)	0.71(1)		
$A^2\Pi_{3/2}$	This work	138.109(5)	0.450467(15)	0.0305729(33)	1.2323(21)
	Ref.[13]	138.103(11)	0.45027(34)	0.0305787(37)	1.2353(23)
	Ref.[19]	138(2)	0.46(1)		

通过分析 (14, 5) 和 (15, 5) 这两个振转带, 实验获得了 $X^2\Pi_{3/2}$ 态 $v''=5$ 能级的转动光谱常数. 利用早期的光谱参数, 外推出 $v''=5$ 能级的参数列于表2中与本次实验结果做对比. 实验获得转动常数 $B_{v''=5}$ 与外推值符合极好, 但实验得到的能级位置 (Energy) 比外推结果小 0.01078 cm^{-1}.

利用表2计算出的分子平衡常数见表3. $X^2\Pi_{3/2}$ 的振动常数为 $\omega_e = 239.04447(374)$ cm^{-1} 和 $\omega_e\chi_e = 0.65038(53)$ cm^{-1}, 由于本次实验增加了与 $v''=5$ 能级相关的光谱数据, 得到振动平衡常数与此前的常数[13]有较大的改变, 但转动平衡常数与前期实验结果[13]基本一致.

Cockett 等[19]在 1996 年获得了 $X^2\Pi$ 的振动常数. 他们得到 $X^2\Pi_{3/2}$ 的常数是 $\omega_e = 240(1)$ cm^{-1} 和 $\omega_e\chi_e = 0.71(1)$ cm^{-1}, 本文实验常数的精度比 Cockett 等的结果有两到三个数量级的提高. Cockett 等的平衡常数可以用来计算 $X^2\Pi_{3/2}$ 比较高的振动能级能量值, 但准确度不高. 本文的实验常数可以得到较准确的低振动能级能量值.

5 $X^2\Pi$ 态禁戒跃迁光谱测量 α 与 μ 常数变化的灵敏度

利用 (3) 和 (4) 式, Pasteka 等[15]计算出 $X^2\Pi$ 态禁戒跃迁对 α 与 μ 常数变化的绝对增强因子约为 $\tilde{K_\alpha} \approx 1\times10^4$ cm^{-1} 和 $\tilde{K_\mu} \approx 2\times10^3$ cm^{-1}. 从 (3) 和 (4) 式可以看出, 绝对增强因子的大小主要受振动常数影响, 并且振动常数的微小变化并不会严重影响绝对增强因子的大小.

绝对增强因子可以用来计算禁戒跃迁对 α 与 μ 常数变化的测量灵敏度. 以氧气分子离子为例, Hanneke 等[22]计算得到常数 μ 在一天时间内的测量灵敏度为 $\delta\mu/\mu \approx 10^{-17}$ d^{-1}. 利用类似的方法, 本文可以计算了 I_2^+ 禁戒跃迁对 α 和 μ 变化测量的灵敏度. 在量子噪声极限测量条件下, 并且禁戒跃迁线宽在 1 Hz 量级时, 利用单分子跃迁, 在一年的测量时间内, 计算得到碘离子禁戒跃迁对 α 和 μ 常数变化测量的灵敏度为 $\delta\alpha/\alpha \approx 2.37\times10^{-19}$ a^{-1} 和 $\delta\mu/\mu \approx 1.18\times10^{-18}$ a^{-1}.

相对增强因子不仅与绝对增强因子 $\tilde{K_\alpha}$ 和 $\tilde{K_\mu}$ 有关, 还与禁戒跃迁频率 ω 有关. 计算出来的绝对跃迁频率 ω 的准确度强烈依赖于转动常数. 对 $X^2\Pi_{1/2}$ 子电子态, 目前对其转动结构完全未知. 文献 [15] 只能用 $X^2\Pi_{3/2}$ 态的转动常数作为替代进行了初步计算, 得到禁戒跃迁的频率约为 0.01 cm^{-1}. 目前计算出来的转动能级位置以及转动能级间的跃迁频率, 都不能用来指导精密物理常数变化的测量实验. 因此, 仍需要完成更多的光谱测量分析来确定这些信息.

6 结 论

测量了 I_2^+ 的转动分辨光谱, 获得了 $A^2\Pi_{3/2}$ 态和 $X^2\Pi_{3/2}$ 态迄今为止最精确的转动光谱常数. 计算表明, I_2^+ 的禁戒跃迁对 α 和 μ 常数的变化测量的灵敏度可达到 $\delta\alpha/\alpha \approx 2.37\times10^{-19}$ a^{-1} 和 $\delta\mu/\mu \approx 1.18\times10^{-18}$ a^{-1}. 考虑到相对增强因子与 ω^{-1} 成正比, 跃迁频率 ω 的准确度对相对增强因子影响很大. 目前仍没有 $X^2\Pi_{1/2}$ 电子态的准确转动常数, 从而无法确定精确的禁戒跃迁频率 ω. 也正因为如此, 文献 [15] 强调, 必须做高分辨率的光谱实验以确定 I_2^+ 离子系统中的近简并能级以及跃迁频率. 对 I_2^+ 转动分辨光谱的测量分析, 特别是对 $X^2\Pi$ 电子态的分析, 仍有大量工作需要进行.

参考文献

[1] Barrow J D 2005 *Phil. Trans. Roy. Soc.* **363** 2139

[2] Uzan J P 2011 *Living Rev. Relat.* **14** 2

[3] Dzuba V A, Flambaum V V, Webb J K 1999 *Phys. Rev. Lett.* **82** 888

[4] Webb J K, King J A, Murphy M T, Flambaum V V, Carswell R F, Bainbridge M B 2011 *Phys. Rev. Lett.* **107** 191101

[5] Rosenband T, Hume D B, Schmidt P O, Chou C W, Brusch A, Lorini L, Oskay W H, Drullinger R E, Fortier T M, Stalnaker J E, Diddams S A, Swann W C, Newbury N R, Itano W M, Wineland D J, Bergquist J C 2008 *Science* **319** 1808

[6] Leefer N, Weber C T M, Cingoz A, Torgerson J R, Budker D 2013 *Phys. Rev. Lett.* **111** 060801

[7] Berengut J C, Dzuba V A, Flambaum V, Porsev S G 2009 *Phys. Rev. Lett.* **102** 210801

[8] Huntemann N, Lipphardt B, Tamm C, Gerginov V, Weyers S, Peik E 2014 *Phys. Rev. Lett.* **113** 210802

[9] Li J Q, Balasubramanian K 1989 *J. Mol. Spectrosc.* **138** 162

[10] de Jong W A, Visscher L, Nieuwpoort W C 1997 *J. Chem. Phys.* **107** 9046

[11] Zhao S T, Liang G Y, Li R, Li Q N, Zhang Z G, Yan B 2017 *Acta Phys. Sin.* **66** 063103 (in Chinese) [赵书涛, 梁桂颖, 李瑞, 李奇楠, 张志国, 闫冰 2017 物理学报 **66** 063103]

[12] Huang D H, Wan M J, Wang F H, Yang J S, Cao Q L, Wang J H 2016 *Acta Phys. Sin.* **65** 063102 (in Chinese) [黄多辉, 万明杰, 王藩侯, 杨俊升, 曹启龙, 王金花 2016 物理学报 **65** 063102]

[13] Deng L H, Zhu Y Y, Li C L, Chen Y Q 2012 *J. Chem. Phys.* **137** 054308

[14] Shelkovnikov A, Butcher R J, Chardonnet C, Amy-Klein A 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 150801

[15] Pasteka L F, Borschevsky A, Flambaum V V, Schwerdtfeger P 2015 *Phys. Rev. A* **92** 012103

[16] Tuckett R P, Castellucci E, Bonneau M, Dujardin G, Leach S 1985 *Chem. Phys.* **92** 43

[17] Cockett M C R, Goode J G, Lawley K P, Donovan R J 1995 *J. Chem. Phys.* **102** 5226

[18] Cockett M C R 1995 *J. Phys. Chem.* **99** 16228

[19] Cockett M C R, Donovan R J, Lawley K P 1996 *J. Chem. Phys.* **105** 3347

[20] Gudeman C S, Megemann M H, Pfaff J, Saykally R J 1983 *Phys. Rev. Lett.* **50** 727

[21] Western C M 2017 *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* **186** 221

[22] Hanneke D, Carollo R A, Lane D A 2016 *Phys. Rev. A* **94** 050101

Spectra of I_2^+ for possible measurement of α and μ constant*

Mu Xiu-Li[1)] Li Chuan-Liang[2)] Deng Lun-Hua[1)†] Wang Hai-Ling[1)‡]

1) (*State Key Laboratory of Precision Spectroscopy, East China Normal University, Shanghai 200062, China*)

2) (*School of Applied Science, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China*)

(Received 28 June 2017; revised manuscript received 13 August 2017)

Abstract

The forbidden transitions of I_2^+ may be used to measure the variations of α and μ constant in an enhanced sensitivity. We analyze the rotational spectrum of I_2^+ between 11860 and 13100 cm^{-1} and assign 5759 lines to 31 bands in an $A^2\Pi_{3/2}$-$X^2\Pi_{3/2}$ system. The accurate rotational molecular constants of 5 levels in $X^2\Pi_{3/2}$ state and 9 levels in $A^2\Pi_{3/2}$ state are obtained. On condition that the signal-to-noise ratio is limited by quantum projection noise and the linewidth is 1 Hz, the forbidden transition between $X^2\Pi_{3/2}$ and $X^2\Pi_{1/2}$ should be able to achieve the sensitivities of $\delta\alpha/\alpha \approx 2.37 \times 10^{-19}$ a^{-1} and $\delta\mu/\mu \approx 1.18 \times 10^{-18}$ a^{-1} .

Keywords: molecular spectroscopy, α constant, μ constant, spectrum of I_2^+, precision measurement

PACS: 33.20.Ea, 06.20.Jr, 33.15.Mt, 42.62.Fi **DOI:** 10.7498/aps.66.233301

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11674096, 11504256).

† Corresponding author. E-mail: lhdeng@phy.ecnu.edu.cn

‡ Corresponding author. E-mail: hlwang@phy.ecnu.edu.cn