DOI:10.19789/j.1004-9398.2019.04.005

氢负离子的光剥离研究*

唐田田** 姚建刚 祝庆利

(烟台南山学院数理部,山东 烟台 265713)

摘要: 利用半经典闭合轨道理论研究了氢负离子在矩形微腔中的光剥离,推导出了体系的光剥离截面,利用反射定律,找出该体系下剥离电子运动的闭合轨道. 光剥离截面中的振荡是由与闭合轨道相联系的返回波与波源函数发生干涉引起的,而闭合轨道的长度和数目与矩形腔尺寸有关,所以通过改变矩形腔尺寸可以来调控光剥离截面. 同时,麻志君用量子力学方法讨论了矩形腔的光剥离,本文的计算结果与其进行了详细比较分析,希望为量子力学方法和半经典理论研究光剥离问题的正确性提供一定依据,对于实验研究负离子在外腔中的光剥离提供参考.

关键词: 矩形腔; 光剥离截面; 闭合轨道理论

中图分类号: O562.2

0 引 言

近年来,处于高激发里德伯态的离子、原子和分子的光剥离和光吸收问题引起了人们的广泛关注. 早期的理论和实验结果均表明与不存在外场情况下的光剥离截面相比,负离子在外场中的光剥离截面会呈现出比较复杂的振荡结构[1-3]. Blumberg等[1]在1979年就研究了负离子在磁场中的光剥离问题,发现磁场中负离子的光剥离截面表现出很强的振荡并与光子的能量有关. 后来Bryant等[2]在研究电场中的氢负离子光剥离截面时也观察到了波浪状的振荡. Du和Delos[3]发展起来的闭合轨道理论对于理解外场中的原子或负离子的复杂光谱中的振荡现象提供了一个清楚的框架. 随着半经典闭合轨道理论的发展,不仅单一外电场、外磁场氢负离子的光剥离问题得到研究,对于复合电磁场的复杂情况也得以研究[4-9]. 另一方面,由于氢负离子被用来探测被吸附物的态寿命和反向散射中的电荷转移[10],界面旁的氢负离子的光剥离和金属面吸附物的光致电子的激发也引起了人们极大的兴趣,氢负离子在表面附近的光剥离研究取得了很大进展[11-15],氢负离子光剥离体系也就从外场延伸到了表面附近,甚至场和表面共存的情况[16-19],文献[11-13]利用半经典闭合轨道理论和理论模型成像方法研究了氢负离子在弹性表面附近的光剥离问题. 文献[14-15]将氢负离子在弹性表面附近光剥离的研究推广到金属面和电介质表面附近. 文献[16-19]进一步将研究推广到了外场和表面共存时的负离子的光剥离问题. 近期,王德华等利用半经典方法研究了氢负离子在曲面和球面附近的光剥离[20-21],以及正方形和圆形腔中的光剥离[22-23]. 麻志君利用量子力学的方法研究了氢负离子在几个微腔中的光剥离[24]. 本文利用闭合轨道理论研究了氢负离子在矩形腔的光剥离,并将计算结果与麻志君等人的结果做了比较,可以为半经典理论和量子力学方法研究光剥离问题的正确性提供一定的依据. 量子力学和闭合轨道方法研究均表明可以通过改变矩形腔的尺寸来调控氢负离子的光剥离截面.

1 理论模型和公式推导

1.1 物理图像和闭合轨道

在图1中给出了此体系的原理图. H^-离子置于原点,一束线性偏振激光用于光剥离,图中给出了一些剥离电子的闭合轨道. 矩形腔可以看成是由两组平行板构成,平行板可以看成是由两组平行弹性界面组成[13],原点位于矩形腔的一个顶点上(假设H^-位于如图矩形腔的左下顶点处),左极板与y轴重合,下极板与x轴重合. 闭合轨道理论氢负离子的光剥离的物理图像: 当用一束激光照射氢负离子

收稿日期: 2018-05-07

* 山东省高等学校科技计划项目(J16LJ51)资助课题

** 通信作者: tangtiantian198512@163.com

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

时,位于矩形腔左下顶点的氢负离子吸收光子,电子获得能量变成向外传播的 P 波,当波传播到离离子足够远时,与经典轨迹相联系,以一定的速度做直线运动,并与弹性界面发生碰撞,碰撞过程符合反射定律,经过一个或多个表面的碰撞反射返回原点,这种从原点出发又返回原点的轨道称为闭合轨道. 而与闭合轨道相联系的返回波与初设波源函数满足干涉条件时会产生干涉现象从而引起了光剥离截面中的振荡. 按照 Wang 等[23] 研究,氢负离子位于腔的顶点和腔的中心,光剥离截面因产生的闭合轨道数目不同而不同,为了与麻志君[24] 的结果做比较,本文将离子置于矩形腔顶点. 图 1 给出了一些闭合轨道.

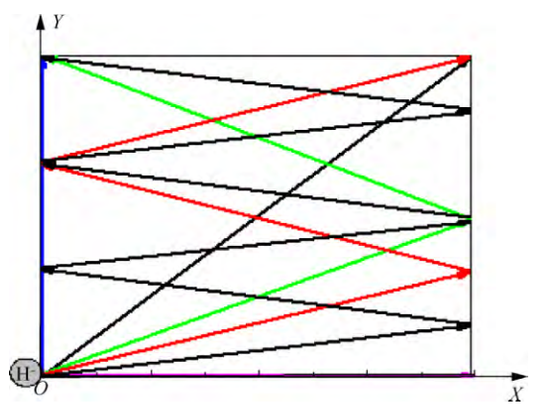


图 1　氢负离子在矩形腔中光剥离的物理图像

1.2　光剥离截面的推导

根据闭合轨道理论[6-9],光剥离截面可以分为两个部分:

$$\sigma(E) = \sigma_0(E) + \sigma^{\mathrm{osc}}(E). \tag{1}$$

第一项是没有外场和电介质表面时的光滑背景项,

$$\sigma_0(E) = \frac{16\sqrt{2}B_0^2\pi^2E^{3/2}}{3c(E_b+E)^3}. \tag{2}$$

$E_b = k_b^2/2$ 是氢负离子对剥离电子的束缚能,$E_b \approx 0.754$ eV,$B_0 = 0.315\ 22$ 为归一化常数. 光速 $c = 137$ a. u. . 第二项是振荡项,对应由于闭合轨道的产生引起干涉在光剥离截面中产生的振荡[21],

$$\sigma^{\mathrm{osc}}(E) = -\frac{4\pi}{c}(E+E_b)\,\mathrm{Im}\langle \boldsymbol{D}\psi_i \mid \psi_{\mathrm{ret}}\rangle, \tag{3}$$

其中 $\psi_i(r) = \dfrac{B_0\exp(-k_b r)}{r}$ 为初始波函数. $\boldsymbol{D}$ 是偶极算符,在直角坐标系下可写为: $\boldsymbol{D} = a_x x + a_y y + a_z z$[8]. 沿 x 方向的偏振光有 $a_x = 1, a_y = a_z = 0$,如果采用球面坐标系,那么偶极算符可以写成 $\boldsymbol{D} = r\sin\theta\cos\varphi$. 同样,沿 y 方向的偏振光有 $a_y = 1, a_x = a_z = 0$. 在球面坐标系下偶极算符写成 $\boldsymbol{D} = r\sin\theta\sin\varphi$,当偶极子算符作用于初始波函数时得到

$$\mid \boldsymbol{D}\psi_i > = r\boldsymbol{R}(r)\chi(\theta,\varphi). \tag{4}$$

由于初始状态是球对称的,假设光是线性极化,角因子 $\chi(\theta,\varphi)$ 表示为:

$$\begin{aligned}\chi_x(\theta,\varphi) &= \sin\theta\cos\varphi,\\ \chi_y(\theta,\varphi) &= \sin\theta\sin\varphi,\\ \chi_z(\theta,\varphi) &= \cos\theta.\end{aligned} \tag{5}$$

ψ_{ret} 是返回波函数,为了获得返回波函数,必须找出所有相关联的闭合轨道,本文做一个半径为 $R \approx 50\ a_0$ (a_0 波尔半径) 的球,则球面上的出射波函数可以写为:

$$\psi_{\mathrm{out}}(R,\theta,\varphi) = \frac{4\mathrm{i}B_0k}{(k_b^2+k^2)^2}\frac{\mathrm{e}^{\mathrm{i}kR}}{R}\chi(\theta_{\mathrm{out}},\varphi_{\mathrm{out}}). \tag{6}$$

当出射波传播到球面外,由于矩形腔的作用,沿着闭合轨道返回的球面波相位和振幅都会发生变化,在半经典的近似下负离子附近的返回波可以写为:

$$\psi_{\mathrm{ret}}(r,\theta,\varphi) = \sum_{j=1}^{n}\psi_{\mathrm{out}}(r,\theta,\varphi)\,A_j\exp[\mathrm{i}(S_j-\mu_j\pi/2)], \tag{7}$$

式中 $A_j = |J_j(t_0)/J_j(t)|^{\frac{1}{2}}$ 是振幅,其中 $J_j(t) = \dfrac{\partial(x,y,z)}{\partial(t,\theta_{\mathrm{out}},\varphi_{\mathrm{out}})}$ 是雅各比行列式,由于剥离电子的自由经典运动,所以振幅最终表示为:

$$A_j = \frac{R}{R+kT_j} = \frac{R}{R+L_j}, \tag{8}$$

$L_j = kT_j$ 是第 j 条闭合轨道的长度. $S_j = \oint p_j\mathrm{d}q_j$ 是沿第 j 条闭合轨道的作用量. 在本体系中 $S_j = kL_j$. μ_j 是第 j 条轨道的马斯洛夫指数,也就是闭合轨道和矩形微腔碰撞的次数. 当返回波到达原子核附近即进入到球面内时不能用(7)式表示,这时可以用近似平面波表示:

$$(\psi_{\mathrm{ret}}^j)(r) = N_j\mathrm{e}^{\mathrm{i}k_{\mathrm{ret}}^j\cdot r}, \tag{9}$$

其中 N_j 是个系数,当 $r \to R$ 时,有

$$N_j = \frac{4\mathrm{i}B_0K\chi(\theta_{\mathrm{out}}^j,\varphi_{\mathrm{out}}^j)}{(k_b^2+k^2)^2}\frac{1}{L_j}\mathrm{e}^{\mathrm{i}(S_j-\mu_j\pi/2)}. \tag{10}$$

利用分波展开方法得到原子核附近返回波函数为:

$$(\psi_{\mathrm{ret}}^j)(r) = 4\pi N_j\sum_{l,m}-\mathrm{i}j_l(k_{\mathrm{ret}}^j r)\,Y_{lm}(\theta,\varphi)\,Y_{lm}^*(\theta_{\mathrm{ret}}^j,\varphi_{\mathrm{ret}}^j). \tag{11}$$

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

将以上几式代到(3)式整理得到振荡部分的光剥离截面表达式:

$$\sigma^{\mathrm{osc}}(E) = \frac{16\pi^2 B_0^2 E}{c(E_{\mathrm{b}}+E)^3}\sum_j \frac{1}{L_j}\chi(\theta_{\mathrm{out}}^j,\varphi_{\mathrm{out}}^j)\chi^*(\theta_{\mathrm{ret}}^j,\varphi_{\mathrm{ret}}^j)\times\sin\left(kL_j-\frac{\mu_j\pi}{2}\right). \quad (12)$$

求和包括所有与闭合轨道相联系的波. 因此,总的光剥离截面表达式为:

$$\sigma(E) = \sigma_0(E) + \frac{16\pi^2 B_0^2 E}{c(E_{\mathrm{b}}+E)^3}\sum_j \frac{1}{L_j}\chi(\theta_{\mathrm{out}}^j,\varphi_{\mathrm{out}}^j)\chi^*(\theta_{\mathrm{ret}}^j,\varphi_{\mathrm{ret}}^j)\times\sin\left(kL_j-\frac{\mu_j\pi}{2}\right). \quad (13)$$

由于所有闭合轨道在 x-y 平面,所以 $\theta_{\mathrm{out}}^j=\theta_{\mathrm{ret}}^j=\frac{\pi}{2}$,因此,角因子可以简化为:

$$\begin{aligned}\chi_x(\theta_{\mathrm{out}}^j,\varphi_{\mathrm{out}}^j)\chi_x^*(\theta_{\mathrm{ret}}^j,\varphi_{\mathrm{ret}}^j) &= \cos\varphi_{\mathrm{out}}^j\cos\varphi_{\mathrm{ret}}^j\\ \chi_y(\theta_{\mathrm{out}}^j,\varphi_{\mathrm{out}}^j)\chi_y^*(\theta_{\mathrm{ret}}^j,\varphi_{\mathrm{ret}}^j) &= \sin\varphi_{\mathrm{out}}^j\sin\varphi_{\mathrm{ret}}^j\\ \chi_z(\theta_{\mathrm{out}}^j,\varphi_{\mathrm{out}}^j)\chi_z^*(\theta_{\mathrm{ret}}^j,\varphi_{\mathrm{ret}}^j) &= 0.\end{aligned} \quad (14)$$

使用上面的式子可以得到不同线性极化光下的光剥离截面. 对于 x 方向的激化光:

$$\sigma_x(E) = \sigma_0(E) + \frac{16\pi^2 B_0^2 E}{c(E_{\mathrm{b}}+E)^3}\sum_j \frac{1}{L_j}\times\cos\varphi_{\mathrm{out}}^j\cos\varphi_{\mathrm{ret}}^j\sin\left(kL_j-\frac{\mu_j\pi}{2}\right). \quad (15)$$

当激光极化方向沿着 y 轴时:

$$\sigma_y(E) = \sigma_0(E) + \frac{16\pi^2 B_0^2 E}{c(E_{\mathrm{b}}+E)^3}\sum_j \frac{1}{L_j}\times\sin\varphi_{\mathrm{out}}^j\sin\varphi_{\mathrm{ret}}^j\sin\left(kL_j-\frac{\mu_j\pi}{2}\right). \quad (16)$$

当激光极化方向沿着 z 轴时:

$$\sigma_z(E) = \sigma_0(E). \quad (17)$$

这与没有外场时的光剥离截面相同,所以激光极化方向沿着 z 轴对光剥离截面没有影响.

2 结果与讨论

为了计算矩形腔内的氢负离子的光剥离截面,必须找到所有与返回波相联系的闭合轨道,闭合轨道的形状和长度与矩形腔有关,由于剥离电子在矩形腔中的运动类似于粒子在矩形弹子球体系的运动,可以使用相同的方法即反射定律寻找矩形腔中剥离电子运动的闭合轨道. 假设矩形腔的长度 $a=80$ a. u. 和宽度 $b=60$ a. u. . 负离子位于矩形腔的顶点,即原点处,闭合轨道的长度可以写成:

$$L = 2\sqrt{q^2a^2+p^2b^2}. \quad (18)$$

p 和 q 是非负整数,分别表示电子与矩形腔水平面和竖直面碰撞的次数. 闭合轨道的长度与矩形腔的尺寸和碰撞次数有关,而电子出射角也要满足一定条件才能形成闭合轨道,出射角与矩形腔的尺寸和碰撞次数满足 $\tan\varphi_{\mathrm{out}}=\frac{pb}{qa}$. 图2 中给出了一些闭合轨道(负离子位于腔的顶点). 图2(a)表明,剥离电子以出射角 $\varphi_{\mathrm{out}}=36.87°$ 离开原子核,被矩形腔经过一次反射原路回到原点. 图2(b)表明,剥离电子离开原子核,经过矩形腔右面的两次反射原路返回原点. 图2((c)~(f))闭合轨道情况以此类推. 同时,表1 也给出了矩形腔体系闭合轨道的一些几何参数(负离子位于腔的顶点),讨论闭合轨道长度 $L<1\,000$ a. u. ,给出碰撞次数 p 和 q 以及出射角.

表1 矩形腔体系闭合轨道的几何参数

(p,q)	L/a. u.	φ_{out}	(p,q)	L/a. u.	φ_{out}
(0,1)	160	0	(3,1)	393.95	66.04
(0,2)	320	0	(3,2)	481.66	48.37
(0,3)	480	0	(3,3)	600	36.87
(0,4)	640	0	(3,4)	734.30	29.36
(0,5)	800	0	(3,5)	877.27	24.23
(1,1(	200	36.87	(4,1)	505.96	71.55
(1,2)	341.76	20.56	(4,2)	576.89	56.31
(1,3)	494.77	14.04	(4,3)	678.82	45
(1,4)	651.15	10.62	(4,4)	800	36.87
(1,5)	808.95	8.53	(4,5)	932.95	30.96
(2,1)	288.44	56.31	(5,1)	620.97	75.07
(2,2)	400	36.87	(5,2)	680	61.93
(2,3)	536.66	26.56	(5,3)	768.37	51.34
(2,4)	683.52	20.56	(5,4)	877.27	43.15
(2,5)	835.22	16.7	(5,5)	1000	36.87

由于 x,y 极化的光剥离截面公式是对称的,氢负离子处于不同的位置对应的光剥离截面不同,为比较分析,本文讨论氢负离子位于矩形腔的一个顶点也就是原点的位置,x 极化情况下的光剥离截面. 利用(15)式,计算不同长度闭合轨道下的光剥离截面,结果如图 3 所示. 图3(a)给出闭合轨道长度 $L<500$ a. u. 时的光剥离截面,与没有任何外场的光剥离截面相比,出现了振荡,但是振荡的幅度相对较小. 随着闭合轨道长度的增加,振荡的幅度越来越明显. 矩形腔的影响也越来越重要,如图3(b~d). 出现这种情况的原因解释如下: 对于固定尺寸的矩形腔,随着闭合轨道长度的增加,闭合轨道的数目越来越多,例如,当闭合轨道长度小于500 a. u. 时,只有

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

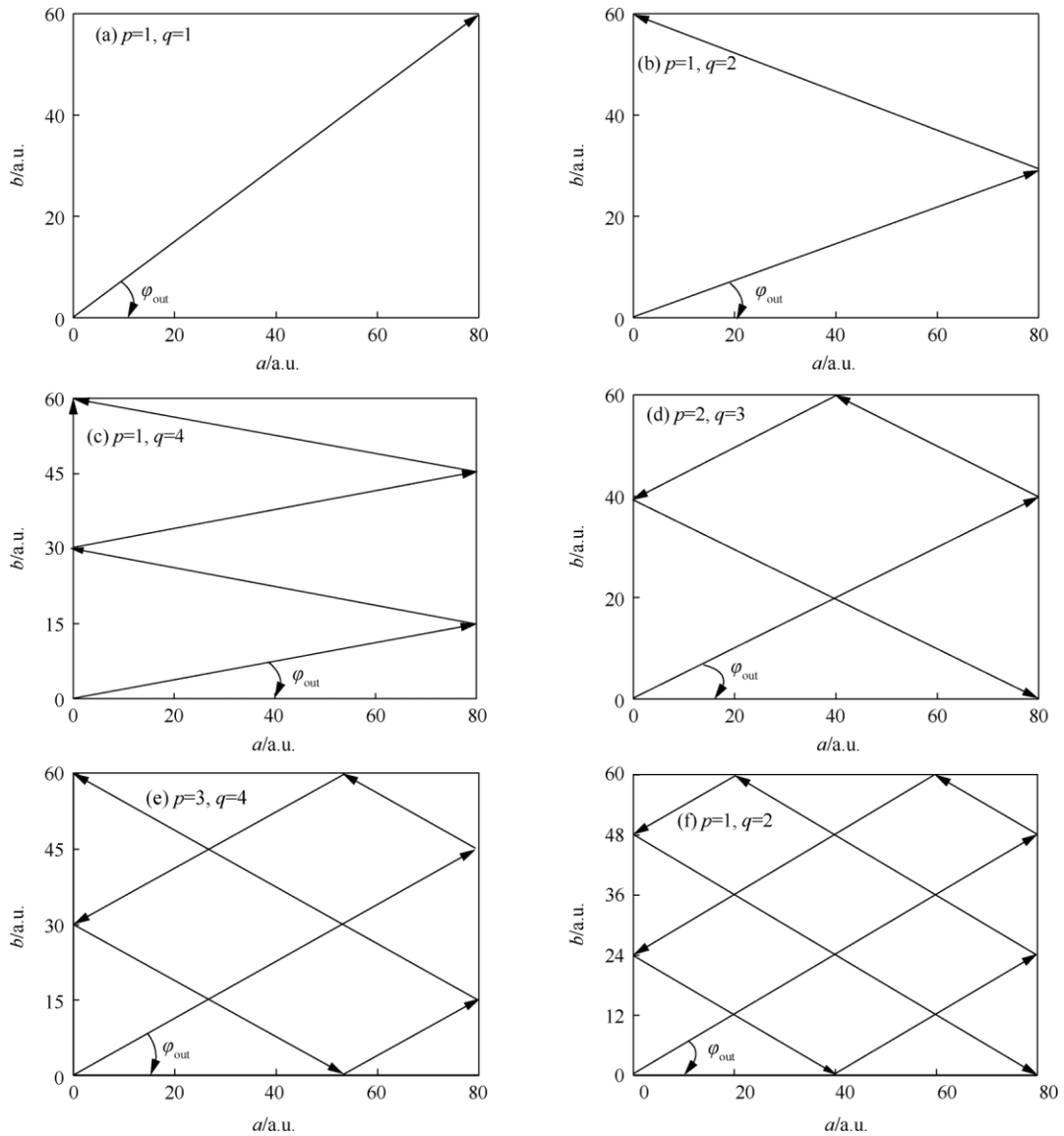


图 2 矩形腔中剥离电子的闭合轨道

一条闭合轨道,而当闭合轨道的长度增加到 1 000 a. u. 时,闭合轨道的数目增加到 30,根据闭合轨道理论: 光剥离截面中的振荡是由于所有与闭合轨道相联系的返回波与波源函数相干涉导致的,闭合轨道的数目越多,与闭合轨道相联系的返回波越多,干涉越明显,光剥离截面中的振荡越强.

本文接着计算了当闭合轨道长度一定(L = 2 000 a. u.),不同尺寸矩形腔中的氢负离子光剥离截面,如图 4 所示. 图 4(a) 给出当矩形腔长 a = 80 a. u. 和 b = 60 a. u. ,光剥离截面中的振荡非常明显. 随着矩形腔尺寸的增大,光剥离截面中的振荡越来越弱,振荡幅度越来越小,如图 4(b) ~(d) . 尤其当矩形腔的尺寸达到 a = 12 000 a. u. 和 b = 6 000 a. u. ,光剥离截面与没有外场时的情况相符趋于光滑曲线,如图 5(b) . 这是因为随着矩形腔尺寸的增大,当闭合轨道的长度一定时所对应的闭合轨道的数目越来越少,与闭合轨道相联系的返回波也越来越少,干涉越来越不明显,直至消失. 当矩形腔的尺寸变大时腔对氢负离子的光剥离影响越小,体现为振荡幅度减小直至尺寸大到影响忽略而趋近于光滑曲线.

3 对比与分析

把本文的结果与麻志君用量子力学方法计算的结果进行了比较,当激光极化沿着 x 轴时得到一致的结论: 随着矩形腔的增大,振荡越来越弱,量子力学结

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

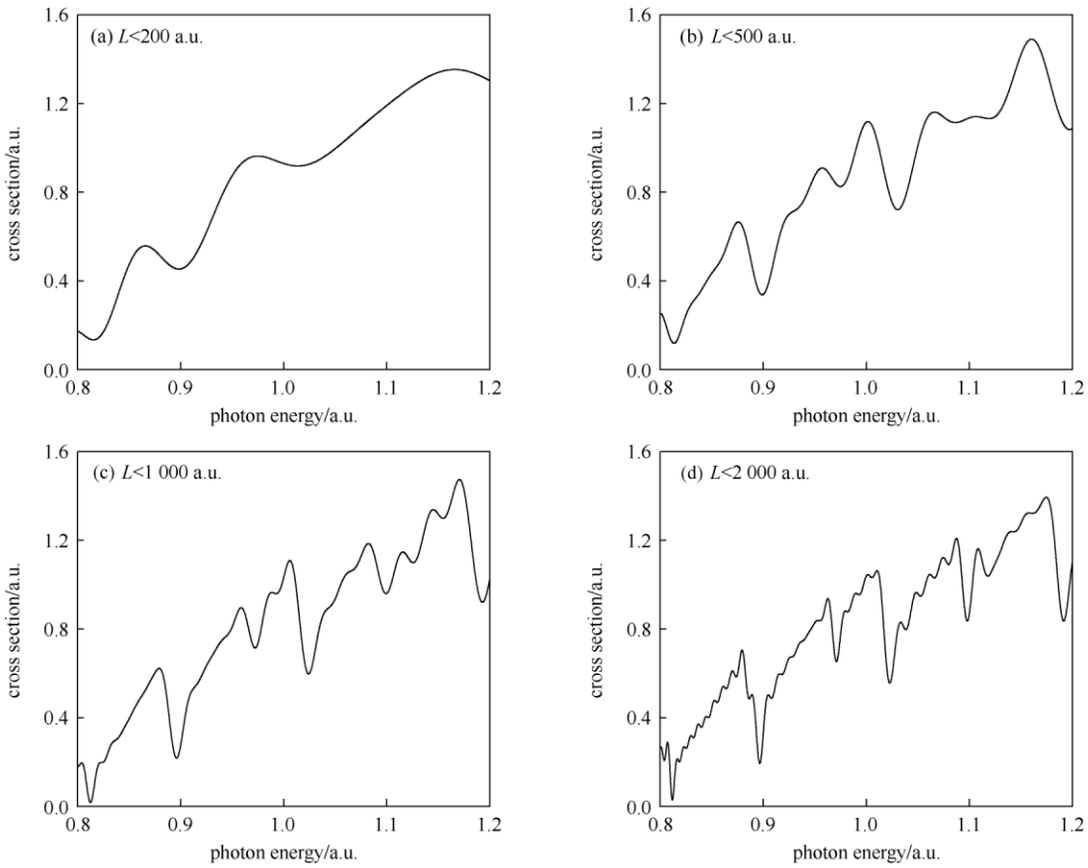


图3　固定尺寸矩形腔中不同长度闭合轨道下的光剥离截面

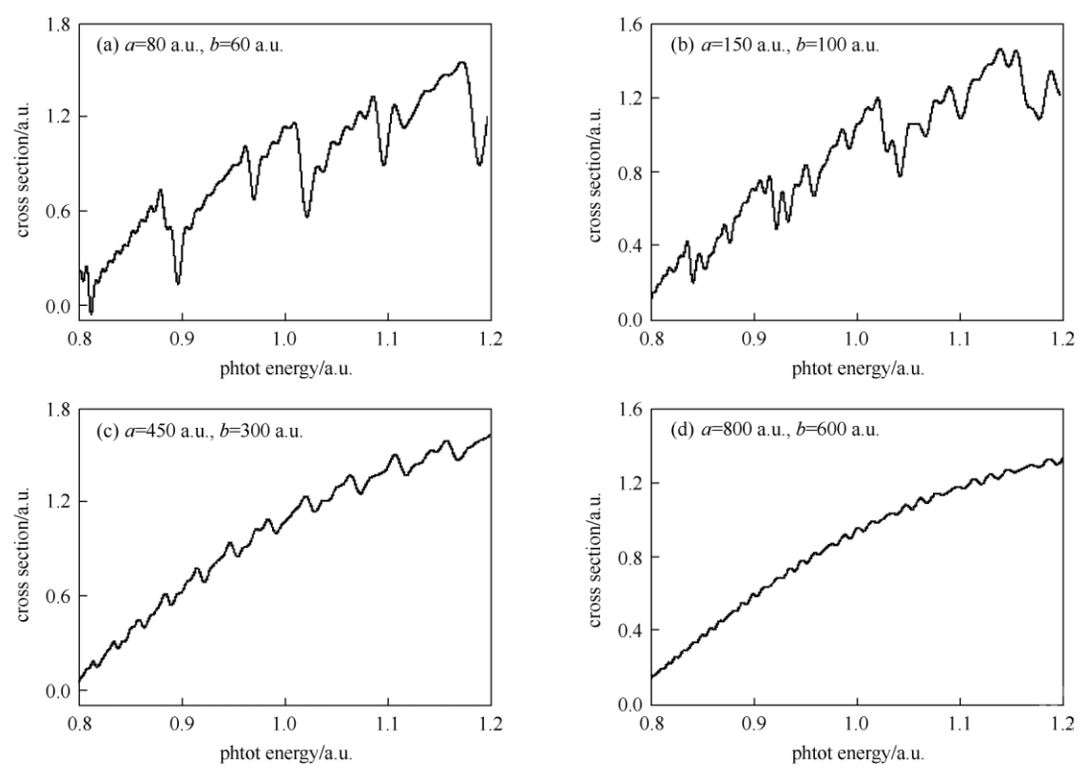


图4　不同尺寸的矩形腔中的光剥离截面

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

果和闭合轨道结果均趋于光滑曲线. 当矩形腔尺寸 $a=12\ 000$ a. u. ,$b=6\ 000$ a. u. ,量子力学结果虽然趋于光滑曲线,但仍存在不同幅度的振荡,如图 5(a) ,引自文献 [24],而闭合轨道理论计算结果完全趋于无外场的情况不存在振荡,如图 5(b) ,造成这一结果的主要原因是氢负离子在腔中处的位置不一样,与采用的方法无关,麻志君的结果是氢负离子位于腔中心,本文的结果是氢负离子位于腔顶点,说明氢负离子在腔中心剥离时受到微腔的作用更明显.

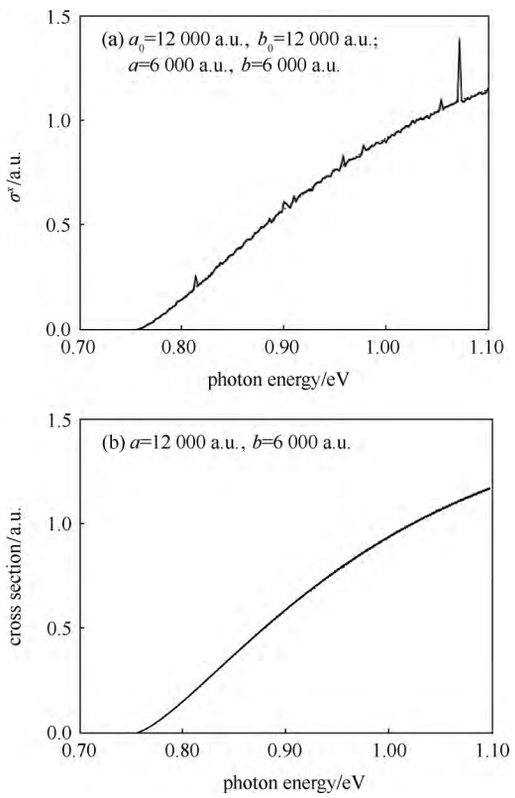


图 5　矩形腔尺寸相同氢负离子位于不同位置时量子力学结果和闭合轨道理论结果比较图
(a) 引自文献 [24] 的量子力学计算结果;
(b) 闭合轨道理论计算结果

对于激光极化方向沿 z 轴时,闭合轨道理论得出无论矩形腔尺寸如何对光剥离截面都无影响,与无外场情况一样,但是量子力学方法计算的结果同样出现振荡,并且和沿着 x 轴一样,随着矩形腔的增大振荡减弱直至趋于光滑曲线,如图 6,引自文献 [24],图中虚线代表无外场的情况也就是闭合轨道理论计算结果. 按照量子力学方法计算认为不论激光极化沿哪个方向都会对矩形腔中的光剥离截面产生影响,直至腔增大到可以忽略影响光剥离截面

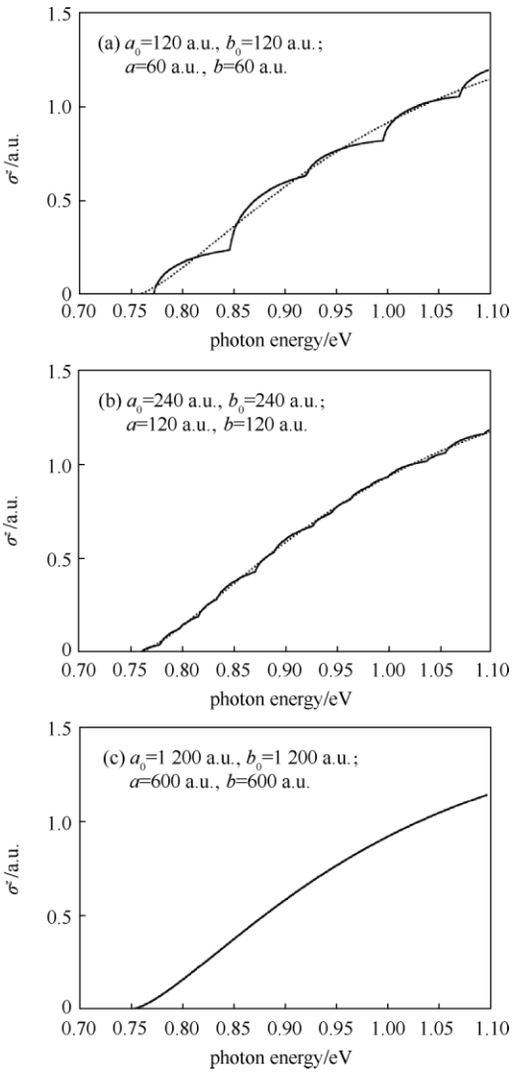


图 6　光剥离截面的量子力学结果

才与无外场的情况相当. 本文认为造成这一区别的原因主要是两种方法在计算过程中采用的近似不同. 闭合轨道理论认为光剥离截面的振荡是由于与闭合轨道相联系的返回波与波原函数发生干涉引起的,所以在计算返回波函数即末态波函数时做了以下恰当近似处理: 首先用一个球对称的单电子波函数来描述氢负离子初态,出射波可以用出射球贝塞函数近似描述; 其次,做一个半径为 R 约为 50 a_0 (a_0 波尔半径) 的球,球外电子的运动用经典方法近似处理; 最后当电子波返回核附近时,电中性的氢原子对电子的散射可以忽略,用平面波近似描述返回波. 而麻志君用量子力学方法计算时,使用动量空间波函数和 WKB 近似,选择合适的振幅和相位,将末态波函数分解到相反自由态上得到近似末态波函数从而得到极化矩阵元,处理矩形腔的情况时,对不同极化方向的末态波函数又一次进行了近

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

似处理才得出了动量空间的表达式,最终得出 x,y,z 三个方向极化的光剥离公式. 对于没有解析解的光剥离体系采用不同的计算方法得出的结果不相吻合是不可避免的,希望通过这些对比研究发现可以寻求更好的甚至更"精确"的近似方法和模型去消除用不同的方法计算结果出现的分歧,同时也为比较半经典方法和量子理论方法提供一点参考.

4 结 论

本文利用半经典闭合轨道理论研究了氢负离子在矩形腔中的光剥离截面. 重点研究激光极化方向沿着 x 轴的情况,首先计算当矩形腔尺寸一定而闭合轨道长度不同时光剥离截面. 结果表明,随着闭合轨道长度和数目的增加,光剥离截面中的振荡越来越明显,振荡幅度越来越大,具体的原因分析已经在第三部分给出. 接着研究了当闭合轨道长度一定时,不同的矩形腔中的光剥离截面. 结果发现,随着矩形腔尺寸的增大,光剥离截面中的振荡越来越弱,最后趋近平滑的曲线. 最后将闭合轨道理论结果与麻志君的量子力学结果进行了比较分析. 希望此结果能为量子力学方法和半经典理论研究光剥离问题的正确性提供一定依据,也为实验研究负离子在外腔中的光剥离提供一定参考价值.

参 考 文 献

[1] BLUMBERG W A M,ITANO W M,LARSON D J. Theory of the photodetachment of negative ions in a magnetic field [J]. Phys Rev A,1979, 19(1):139 – 148.

[2] BRYANT H C, MOHAGHEGHI A, STEWART J E, et al. Observation of motional-field-induced ripples in the photodetachment cross section of H^- [J]. Phys Rev Lett,1987,58(23):2412 – 2415.

[3] DU M L,DELOS J B. Photodetachment of H^- in an electric field [J]. Phys Rev A,1988,38(11):5609 – 5616.

[4] DU M L. Closed-orbit theory for photodetachment of H^- in a static electric field [J]. Phys Rev A,2004,70(5):055402-055405.

[5] LIU Z Y,WANG D H. Quantum-mechanical calculation of the photodetachment of H^- in electric and magnetic fields with arbitrary orientation [J]. Phys Rev A,1997,56(4): 2670 – 2675.

[6] LIU Z Y,WANG D H. Analyzing the photodetachment cross section of H^- in electric and magnetic fields with arbitrary orientation [J]. Phys Rev A,1997,55(6):4605 – 4608.

[7] WANG D H. Photodetachment of H^- in parallel electric and magnetic fields near an elastic surface [J]. Eur Phys J D, 2007,45(2):179 – 187.

[8] PETERS A D,DELOS J B. Photodetachment cross section of H^- in crossed electric and magnetic fields I: closed-orbit theory [J]. Phys Rev A,1993,47(4):3020 – 3035.

[9] PETERS A D,JAFFÉ C,DELOS J B. Closed-orbit theory and the photodetachment cross section of H^- in parallel electric and magnetic fields [J]. Phys Rev A,1997,56(1):331 – 344.

[10] PETEK H,WEIDA M J,NAGANO H,et al. Real-time observation of adsorbate atom motion above a metal surface [J]. Science,2000,288(5470):1402.

[11] YANG G C,ZHENG Y Z,CHI X X. Photodetachment of H^- near an interface [J]. J Phys B At Mol Opt Phys,2006,39(8):1855 – 1861.

[12] YANG G C,ZHENG Y Z,CHI X X. Photodetachment of H^- in a static electric field near an elastic wall [J]. Phys Rev A, 2006, 73(4):043413 – 043420.

[13] RUI K K,YANG G C. Photodetachment of H^- near a metal surface [J]. Surf Sci,2009,603(4):632.

[14] ZHAO H J,DU M L. Photodetachment near a metal surface [J]. Phys Rev A,2009,79(2):023408.

[15] WANG D H,HUANG K Y. Photodetachment of H^- near a dielectric surface [J]. Commun Theo Phys,2010,53(5):898.

[16] 黄凯云,王德华. 氢负离子在均匀电场和金属面附近的光剥离研究 [J]. 物理学报, 2010,59(2):932 – 936.

[17] HUANG K Y,WANG D H. The influence of electric field on the photodetachment of H^- near a metal surface [J]. Chin Phys B,2010,19(6):0634021 – 0634027.

[18] TANG T T,WANG D H,HUANG K Y,et al. Magnetic field effect in photodetachment from negative ion in electric field near metal surface [J]. Chin Phys B,2011,20(6):063205.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[19] 唐田田,王德华,黄凯云,等. 氢负离子在磁场和电介质表面附近光剥离的研究[J]. 物理学报,2012(6):167 – 174.
[20] 李绍晟,王德华. 氢负离子在变形球面附近的光剥离[J]. 物理学报,2013,62(4):043201.
[21] 陈强,王德华. 氢负离子在电介质球面附近的光剥离研究[J]. 物理学报,2014,63(23):233201.
[22] WANG D H,LIU S,LI S S,et al. Photodetachment of hydrogen negative ion inside a circular microcavity[J]. Chin Phys B,2013,22(7):3401.
[23] WANG D H,LI S S,WANG Y H,et al. Semiclassical calculation of the photodetachment cross section of hydrogen negative ion inside a square microcavity[J]. Journal of the Physical Society of Japan,2012,81:114301.
[24] 麻志君. 氢负离子在几个腔中的光剥离[D]. 临汾: 山西师范大学,2014.

Study on Phototedachment of Hydrogen Anion

TANG Tiantian YAO Jiangang ZHU Qingli

(Department of Mathematical Physics Education,Yantai Nanshan University,Yantai Shandong 265713)

Abstract: Photo-detachment cross section of hydrogen anion in the rectangular microcavity was studied by semi-classical closed orbit theory,and the formula for calculating the photo-detachment cross section of this system was derived. The oscillation in the optical cross section was caused by the interference between the return wave and the wave source function associated with the closed orbit,and the length and number of the closed orbit were related to the dimension of the rectangular cavity,so the photo-detachment cross section can be regulated by changing the size of the rectangular cavity. Meanwhile,Ma Zhijun studied the same topic using quantum mechanics method, our calculation results were compared and analyzed in detail,hoping that the results provide theory evidence for quantum mechanics method and the semi-classical theory in researching photo-detachment, and provide the reference for the experimental research on the photo-detachment negative ions in the external cavity.

Keywords: rectangular cavity; photo-detachment cross section; closed orbit theory

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net