

类钴氙离子入射 Ni 表面激发的 红外光谱线和 X 射线谱*

张小安^{1)†} 杨治虎²⁾ 王党朝¹⁾ 梅策香¹⁾ 牛超英¹⁾ 王伟²⁾ 戴斌¹⁾ 肖国青²⁾

1) 咸阳师范学院物理系, 咸阳 712000)

2) 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

(2008 年 9 月 8 日收到, 2008 年 12 月 25 日收到修改稿)

当高电荷态类钴氙离子(cobalt like -Xe, Xe²⁷⁺)入射金属 Ni 表面过程中,共振电子俘获释放势能完成中性化,形成多激发态的 Xe 原子,其外壳层电子退激辐射红外光谱线.入射离子特殊的势能释放方式、离子动能和金属表面引起离子增益的能量在极短的时间(飞秒量级)沉积靶平方纳米尺度的空间范围,引起靶表面原子激发和电离,形成复杂组态之间的跃迁,特别是偶极禁戒跃迁(电四极跃迁、磁偶极跃)和 X 射线发射.单离子 X 射线产额随入射离子的动能增加而增加.

关键词:高电荷态离子,红外光谱线,X 射线,禁戒跃迁

PACC:3450D

1. 引言

高电荷态离子所具有的势能是剥离核外电子需要电离能的总和,例如 Th⁸⁰⁺ 势能为 250 keV,如此高势能的离子产生非常强的库仑(Coulomb)场,U⁹¹⁺ 离子具有势能 629.83 keV,它可以产生强度为 2×10^{16} V/cm 的库仑场,这是目前其他外场无法达到的.高电荷态离子在入射金属固体表面过程中发生许多新颖的物理现象:大量电子发射(包括势能电子发射 potential electron emission 和动能电子发射 kinetic electron emission)^[1]产生瞬态多激发态空心原子(hollow atom),其退激辐射 X 射线^[2],在飞秒时间尺度内,将其携带的能量沉积在靶表面纳米尺度的空间,使靶原子激发产生复杂组态之间的跃迁.因此,高电荷态离子与固体表面相互作用的研究成为近年来广受关注的研究领域之一^[3,4].

经典过垒模型(the classical over-the-barrier model,简称 COB)对高电荷态离子与固体表面相互作用的动力学过程作了较为成功的描述,该理论实验基础是 Auger 电子发射谱和空心原子内壳层的

X 射线发射谱.按照经典过垒模型,离子与表面相互作用过程形成的空心原子其半径为 $r = \sqrt{2q/W}$,电子轨道的主量子数为 $n \approx q/\sqrt{2W}$,例如在文献[5]中,Ar⁹⁺ 离子入射 Au 表面,电子轨道的主量子数 $n = 10$,即为 Ar 空心原子中电子所处于的最高激发态.在此高激发态下,仅有内壳层跃迁辐射的 X 射线辐射谱(如 K α -X 射线谱),不足以说明高电荷态离子在固体金属表面的中性化进程.另外,Faraggi 等^[6]对离子与表面相互作用的电子激发理论提出了带结构基模型(band-structure-based model,简称 BSB),这对经典过垒模型提出了挑战.因此,要证明空心原子确实存在,离子被中性化后的空心原子的外壳层电子退激辐射光谱将成为直接证据.

另一方面,在光谱学中,电子偶极禁戒跃迁光谱线以及 X 射线谱和谱线强度,在元素的丰度、电子密度、等离子体物理和天体物理学研究中有重要应用.Ni I 和 Ni II 的特征光谱线,特别是偶极禁戒跃迁的光谱线,是天体物理特别感兴趣的特征光谱线,在日冕(solar corona)活动星系(active galaxies)的核子活动、新星(novae)和超新星爆发遗迹(supernova

* 国家自然科学基金(批准号:10574132)、陕西省自然科学基金(批准号:2007A05)和咸阳师范学院引进人才计划(批准号:05XSXK103)资助的课题.

† E-mail: zhangxiaonan2000@yahoo.com.cn

remnants) 中存在 Ni I 和 Ni II 偶极禁戒跃迁的特征光谱线. 而 Ni 原子和 10 个 3d 电子组成最外闭壳层的类 Ni 离子的产生丰度较大, 能在较大的动态范围实现粒子数反转, 因而成为目前 X 射线激光材料的热点研究领域^[7].

我们在兰州重离子加速器国家实验室 320 kV 高电荷态原子物理研究平台上用动能为 1360 keV $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 离子入射洁净的 Ni 固体表面, 测量了相互作用过程中 Xe^{27+} 中性化后形成的高激发态 Xe 原子外壳层电子退激辐射的红外光谱线和 Ni I 和 Ni II 的偶极禁戒跃迁的红外光谱线. 用不同动能 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 离子轰击 Ni 表面, 测量了 Ni 原子的 LM-X 射线谱.

2. 实验装置和测量方法

图 1 是实验平台示意图. 高电荷态离子 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 由 18 GHz 电子回旋共振离子源 (ECRIS) 提供. 束流引出后经高压系统加速, 经过聚束器、四极透镜和光栏, 将离子引入实验平台, 进入具有磁屏蔽的金属高真空 (真空度约为 10^{-5} mPa) 的靶室与样品表面相互作用. $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 离子束流的束斑直径控制在 10 nm 范围, 引出流强为微安量级, 经过聚焦和准直后作用流强为纳安量级. 束流以 45° 方向入射到经过净化处理的化学纯度为 99.9% 的 Ni 表面. Ni 样品厚度为 0.5 mm, 表面积为 $20.4\text{ mm} \times 22\text{ mm}$. 入射离子与 Ni 靶相互作用激发的光谱, 利用美国 ARC (Acton Research corporation) 公司生产的红外光谱仪 (Spectrapro-500i) 测量, 红外光谱仪的光栅常数为 600 g/mm , 闪耀波长 $1.6\text{ }\mu\text{m}$, 实验时我们选用

InGaAs 探测器, 其有效范围为 $800\text{--}1700\text{ nm}$, 积分时间为 3000 ms . 红外光学窗口和单色仪入射狭缝与束流方向垂直, 且与靶表面成 45° 角. 整个实验在暗室条件下完成的, 以保证光谱测量的本底最小.

入射离子与固体表面相互作用所产生的 X 射线谱利用 Si(Li) 探测器进行观测. 实验装置在文献 [8] 中作了详细描述. 实验前利用标准的放射源 ^{241}Am 和 ^{55}Fe 对探测器进行了刻度, 其能量探测范围为 $1\text{--}60\text{ keV}$. 当 X 射线能量为 5.89 keV 时, 能量分辨为 0.16 keV , 相对探测效率为 93% . 本实验中, 探测器与入射束流方向成 45° 角, 与靶表面垂直. 探测器窗口是厚度为 0.05 mm 的 Be 窗. 当 X 射线能量为 3 keV 时, 该 Be 窗的透射率约为 83% . 探测器口径为 10 mm , 距离靶点 80 mm , 探测时间选为 5400 s .

3. 结果与讨论

3.1. 动能为 1360 keV 的 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 离子与 Ni 表面相互作用产生的红外光谱线

图 2 给出了 1360 keV 的高电荷态离子 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 入射 Ni 表面过程中, 离子中性化后形成的 Xe 原子的 818.97 nm 谱线, 是从能级 83889.97 cm^{-1} (电子组态为 $5p^5(^2P^{\circ}3/2)\delta d$) 到能级 96107.36 cm^{-1} (电子组态为 $5p^5(^2P^{\circ}3/2)\delta f$) 的跃迁, 跃迁角动量为 $1\text{--}2$; 而 Xe 原子 1436.44 nm 谱线是同一个上能级到 90849.44 cm^{-1} (电子组态为 $5p^5(^2P^{\circ}3/2)\delta f$) 能级的跃迁, 跃迁角动量为 $3\text{--}2$; 1187.13 nm 的谱线是从 82430.20 cm^{-1} (电子组态为 $5p^5(^2P^{\circ}3/2)\delta d$) 能级到

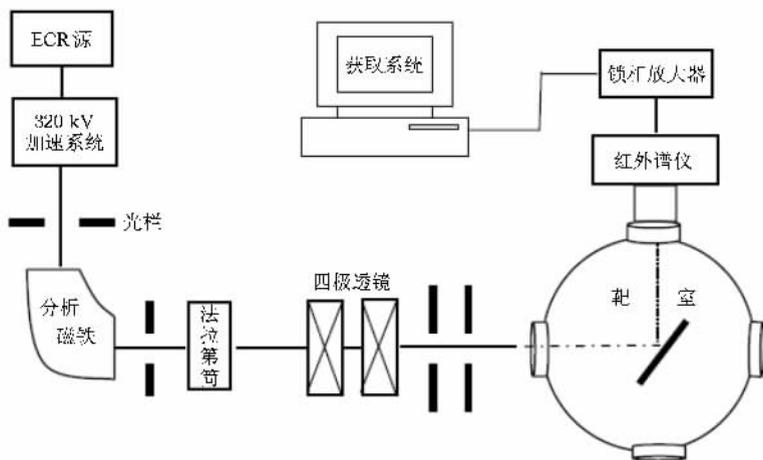


图 1 兰州重离子加速器国家实验室 320 kV 高电荷态原子物理研究平台示意图

90849.44 cm^{-1} (电子组态为 $5p^5(2P^{\circ}_{3/2})4f$) 能级的跃迁, 跃迁角动量为 $1-2$, 三条谱线均为电偶极跃迁.

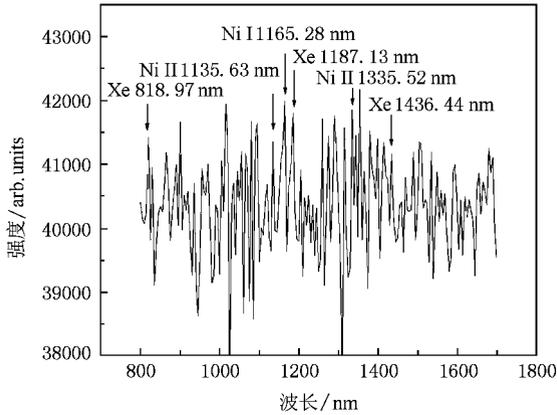


图2 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 入射 Ni 表面产生的红外光谱线

在图 2 中, 我们标识出观测到的被高电荷态离子 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 激发的 Ni I 和 Ni II 的偶极禁戒跃迁的光谱线. Ni 原子的 1165.28 nm 的谱线是从能级 13521.35 cm^{-1} 到能级 22102.33 cm^{-1} 的跃迁, 两能级的电子组态为 $3d^8(^1D)4s^2$ 和 $3d^8(^1G)4s^2$, 跃迁角动量为 $2-4$, 是偶极禁戒跃迁(电四极(E_2)跃迁), 跃迁速率为 $4.1 \times 10^{-4}/\text{s}$; Ni II 的 1135.63 nm 谱线, 是从能级 14995.57 cm^{-1} 到能级 23796.18 cm^{-1} 的跃迁, 两能级的电子组态为 $3p^63d^8(^3F)4s$ 和 $3p^63d^8(^1D)4s$, 跃迁角动量为 $5/2-3/2$, 是电四极跃迁, 跃迁速率为 2.6×10^{-5} , 同时也是磁偶极跃迁, 跃迁速率为 5.7×10^{-2} . Ni II 的 1335.52 nm 谱线, 是从能级 25036.38 cm^{-1} 到能级 32523.54 cm^{-1} 的跃迁, 两能级的电子组态为 $3p^63d^8(^1D)4s$ 和 $3p^63d^8(^1G)4s$, 跃迁角动量为 $5/2-7/2$, 是磁偶极(M_1)跃迁, 跃迁速率为 $2.3 \times 10^{-6}/\text{s}$; 同时也是电四极(E_2)跃迁, 跃迁速率为 $1.2 \times 10^{-5}/\text{s}$. 本次实验测量到的谱线列于表 1 中.

红外光谱的测量中, 由于积分时间 3000 ms, 背景

表 1 Ni 原子和 Ni 离子偶极禁戒 (M_1 和 E_2) 跃迁以及 Xe^{27+} 中性化后退激辐射红外光谱线

粒子	测量值/nm	NIST 值 ^a /nm	跃迁能级/ cm^{-1}	电子组态	跃迁角动量	跃迁类型
Ni I	1165.28	1165.05	13521.35—22102.33	$3d^8(^1D)4s^2-3d^8(^1G)4s^2$	2—4	E_2
Ni II	1135.63	1135.97	14995.57—23796.18	$3p^63d^8(^3F)4s-3p^63d^8(^1D)4s$	5/2—3/2	E_2/M_1
Ni II	1335.52	1335.26	25036.38—32523.54	$3p^63d^8(^1D)4s-3p^63d^8(^1G)4s$	5/2—7/2	M_1/E_2
Xe I	818.97	818.29	83889.97—96107.36	$5p^5(^2P^{\circ}_{3/2})\delta d-5p^5(^2P^{\circ}_{3/2})\delta f$	1—2	E_1
Xe I	1187.13	1187.44	82430.20—90849.44	$5p^5(^2P^{\circ}_{3/2})\delta d-5p^5(^2P^{\circ}_{3/2})\delta f$	3—2	E_1
Xe I	1436.44	1436.49	83 889.97—90 849.44	$5p^5(^2P^{\circ}_{3/2})\delta d-5p^5(^2P^{\circ}_{3/2})\delta f$	1—2	E_1

a) NIST 数据库.

噪声影响较大, 我们利用该谱仪的分析程序, 对背景作了简单扣除, 实验误差小于 10%.

3.2. 不同动能的 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 离子入射 Ni 产生的 X 射线谱

用动能从 350 到 600 keV 的 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 离子分别入射 Ni 表面, 激发表面原子的 X 射线谱, 对于 X 射线谱的识别, 以美国国家标准技术局光谱数据库 (NIST Atomic Spectra Database) 的数据为依据. 图 3(a) 为 600 keV 的 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 离子激发的 X 射线谱, 用 GaussAmp 拟合, 峰位在 1.76 keV, 峰计数 5960.53; 同样, 图 3(b)—(d) 分别为动能 E_k 为 550, 500 和 450 keV 的 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 离子入射 Ni 表面激发的 Ni 原子的 X 射线谱, 属于 L_1M_4 , L_1M_5 , L_1N_1 和 L_1 端的跃迁, 跃迁能量参考值分别为 1.00762, 1.0083, 1.01565 和 1.02413 keV, 我们的测量值为 1.76 keV, 实验误差小于 3%. 由于 S(Li) 探测器的分辨能力所限, 不能精细分辨出 Ni 原子的上述跃迁. 测量值比参考值大的原因主要是这种激发方式中存在着势垒隧穿效应以及相互作用过程中引起的能级位移, 使 Ni 原子的 LM-X 射线的能量偏大.

X 射线谱的半高宽 (FWHM) 用 ζ 表示, 单位为 keV, $\zeta = 2 \sqrt{\ln 4} w$, w 是 GaussAmp 拟合的半高宽, $2 \sqrt{\ln 4}$ 是 GaussAmp 拟合的转换系数. 利用下式可以计算出单离子 X 射线产额

$$Y = \frac{C}{N} = 2.7 \times 10^{-6} \times \frac{q \times \zeta \times A}{I_{\text{beam}} \times \Delta T}, \quad (1)$$

其中 C 为总计数, N 为总粒子数, q 是入射离子的电荷态, A 是峰计数, I_{beam} 是用靶电流强度表示的束流强度 (单位: nA). 根据 (1) 式计算的结果在图 4 中给出, 并进行了指数拟合. 从图 4 可以看出, 单离子 X 射线产额随入射离子的动能增加接近指数增加.

3.3. 讨论

根据经典过垒模型 (classic over-barrier model, 简

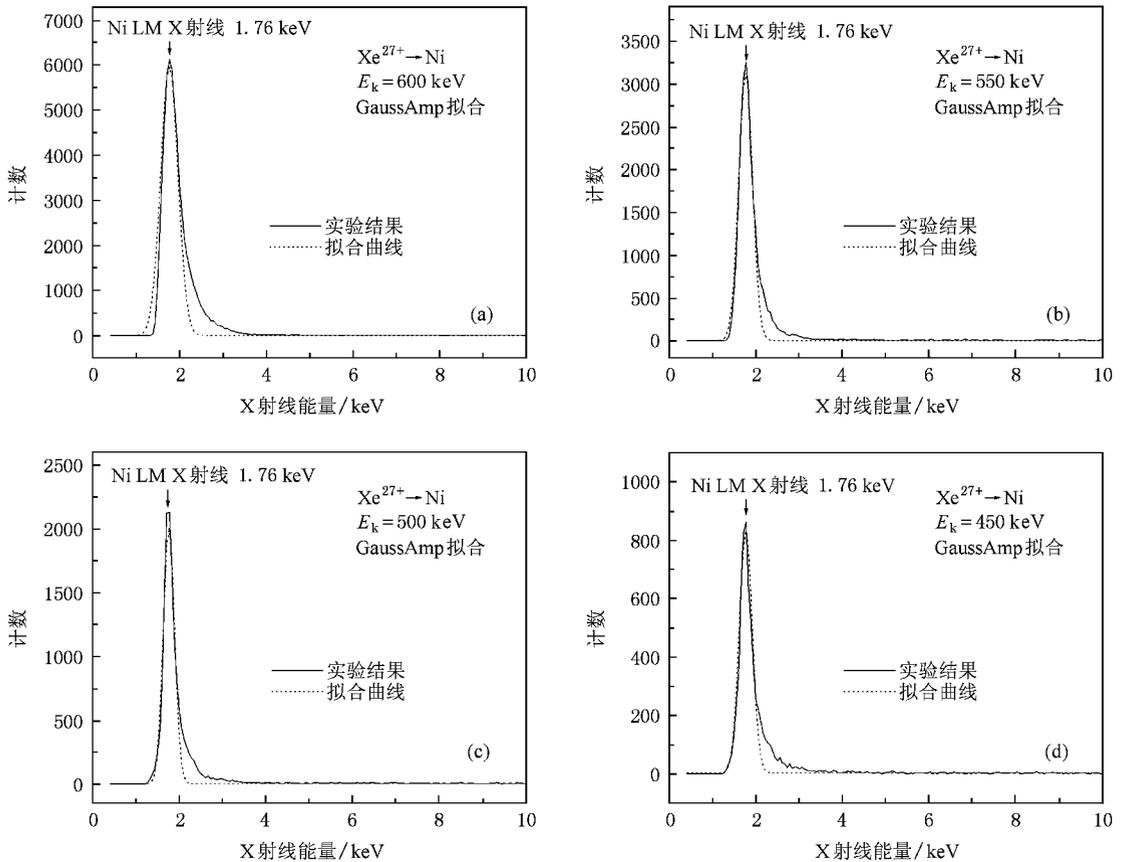


图3 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 离子入射 Ni 产生的 X 射线谱 (a) $E_k = 600 \text{ keV}$, (b) $E_k = 550 \text{ keV}$, (c) $E_k = 500 \text{ keV}$, (d) $E_k = 450 \text{ keV}$

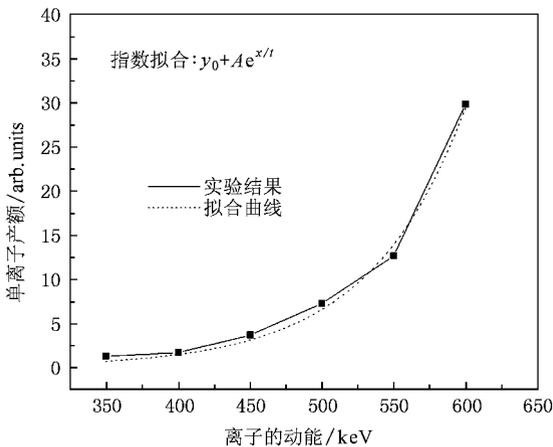


图4 单离子 X 射线产额随入射离子动能的变化

称 COB)^[9] 高电荷离子在其逼近金属表面过程中, 当运动至临界距离

$$R_c = \frac{\sqrt{8q+2}}{2W}, \quad (2)$$

其中 q 为入射粒子的电荷态, W 为金属的脱出功, 入射离子与金属表面间的势垒高度低于费米面, 金

属导带的电子共振转移到入射离子的高激发空态上, 首先进入离子的空置能级其主量子数为^[10]

$$n \approx \frac{q}{\sqrt{2W}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0.5}{\sqrt{8q}}}}, \quad (3)$$

形成空心原子, 空心原子是短寿命的多激发态原子, 它通过自电离、Auger 退激和光辐射退激、自电离和 Auger 退激发射电子, 而光辐射退激、发射涵盖红外到 X 射线波段的光谱。

当 Xe^{27+} 离子入射 Ni 表面, 开始中性化的临界距离由(2)式可得 $R_c = 40 \text{ a.u.}$ 电子进入 Xe^{27+} 离子最高的空置轨道的主量子数可由(3)式得出 $n = 31$. 中性化后, 多激发态的 Xe 原子退激, 在较高激发态的电子大多通过自电离、Auger 退激, 到达较低激发态的电子通过光辐射退激. 由于我们的光谱仪探测范围所限, 本次实验中测量 Xe^{27+} 入射到 Ni 金属表面中性化后的多激发态 Xe 原子级联退激过程中, 电子退激到 83889.97 、 82430.20 cm^{-1} 能级, 向较低的 96107.36 和 90849.44 cm^{-1} 能级退激辐射的近红外光谱。

另一方面,在高电荷态离子逼近金属表面过程中,俘获电子中性化过程中释放所携带的势能(Xe^{27+} ,势能为 1.57 keV)携带的动能(350—600 keV)和金属表面引起的离子增益的能量

$$\Delta E = \frac{Wq^{\frac{3}{2}}}{4\sqrt{2}}, \quad (4)$$

其中 W 是金属 Ni 的功函数, q 是 Xe 离子的电荷态.由(4)式可以得 $\Delta E = 123.94$ eV.入射离子在飞秒时间尺度内将这些能量沉积在 1 nm^2 尺度的空间范围,引起靶表面原子激发和离子,产生原子和离子复杂组态之间的跃迁,特别是偶极禁戒跃迁(电四极跃迁、磁偶极跃)和 X 射线发射.我们实验测量的 Ni I 的电四极跃迁辐射的红外谱线 1165.28 nm 的上能级(电子组态 $3d^8(^1D)4s^2$)NIST 数据库中的值为 13521.35 cm^{-1} ,而在文献[11]中,Quinet 和 le Dourneuf 考虑了组态相互作用,用相对论 Hartree-Fork (HFR)近似计算出该上能级为 13508.0 cm^{-1} ,其跃迁辐射的波长为 1165.05 nm ,用 Hartree-Fork 计算的跃迁速率为 $7.23 \times 10^{-4}/\text{s}$,用 SUPERSTRUCTURE (SST)程序计算的跃迁速率为 $1.36 \times 10^{-4}/\text{s}$,在本实验中,根据 NIST 数据库这个值应为 $4.1 \times 10^{-4}/\text{s}$,说明用 Hartree-Fork 计算要相对准确.本实验测量的 Ni II 的 1135.63 nm 是电四极跃迁,跃迁速率为 $2.6 \times 10^{-5}/\text{s}$,同时也是磁偶极跃迁,跃迁速率为 $5.7 \times 10^{-2}/\text{s}$,文献[11]中给出了分别用 HFR 和 SST 计算的磁偶极跃迁速率,分别为 $5.68 \times 10^{-2}/\text{s}$ 和 $6.41 \times 10^{-2}/\text{s}$.就我们所知,关于该谱线的电四极跃迁速率以及本实验测量的 1335.52 nm 的电四极跃迁速率和磁偶极跃迁速率,除了本工作根据 NIST 数据库给出的值外,没有其他工作的报道.

在本实验中,测量的 Ni 原子的 LM-X 射线值为 1.76 keV ,而 NIST 数据库中的最大值为 1.02413 keV ,其差异来源于我们采用的高电荷态离子的激发方式.在这种激发方式中,靶表面原子被溅射,同时处于与入射离子(类钆氙离子与 Ni 原子有较相近的电子结构)的库仑场中,电子云交叠较多,共振激发的概率增大,从而引起原子能级的展宽.这个展宽应用量子力学 WKB 近似,给出黄金规则表达式^[10]

$$\Gamma = \pi \sum_k |V_{ak}|^2 \delta(\epsilon - \epsilon_k), \quad (5)$$

其中 V_{ak} 为能级 $|a\rangle$ 和 $|k\rangle$ 之间的矩阵元.在强库仑场中,靶原子 p 电子态与 d 电子态杂化,发生取向的变化,使低角动量的电子能级下移,而较高角动量的电子能级上移,这样就引起原子能级展宽.另外,被溅射激发的邻近表面的原子共振退激引起能级展宽^[10].这些原因引起的能级展宽,应该在几十个电子伏特量级,在此条件下,能级展宽的计算是比较复杂的,用 WKB 近似和自洽场局域密度近似 (self-consistent field local-density approximation,简称 SCF-LDA)也只能对电子结构相对简单的(如 Na, K)原子能级展宽进行估算.我们的结果只能从上述几个方面作定性的解释,要定量的解释,还需要做更多的工作.

$^{129}\text{Xe}^{27+}$ 属于类钆离子,外壳层电子组态 $3d^7 4s^2$ 与靶原子 Ni 的外壳层电子组态 $3d^8 4s^2$ 电子组态相近.质量数 Xe 离子为 129,原子 Ni 的质量数为 65,在离子与靶原子碰撞过程中,离子的动量转移靶原子的多,使靶原子激发,单离子的动能愈大,激发的靶原子愈多,所以单离子 X 射线产额高达 10^{-8} 量级且随入射离子动能的增加而增加.

4. 结 论

高电荷态离子 $^{129}\text{Xe}^{27+}$ 入射金属 Ni 表面过程中,中性化形成多激发态的 Xe 原子,外壳层电子退激辐射红外光谱线,说明了经典过垒模型描述的高电荷态离子在固体表面中性化进程是正确的.入射离子特殊的势能释放方式和离子动能和金属表面引起离子增益的能量在极短的时间内(飞秒量级)沉积在靶平方纳米尺度的空间范围,引起靶表面原子激发,形成复杂组态之间的跃迁.特别是偶极禁戒跃迁(电四极跃迁、磁偶极跃)和 X 射线发射.单离子 X 射线产额随入射离子的动能增加而增加.

衷心感谢兰州重离子加速器国家实验室人员的辛勤工作,为该项目实验提供高品质束流.

[1] Stöckl J, Suta T, Ditroi F, Winter H P, Aumayr F 2004 *Phys. Rev. Lett.* **93** 263201

[2] Winter H P, Aumayr F 1999 *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **32** R39

- [3] Schenkel T , Hamza A V , Barnes A V , Schneider D H , Banks J C , Doyle B L 1998 *Phys. Rev. Lett.* **81** 2590
- [4] Lemell C , Stöckl J , Burgdörfer J , Betz G , Winter H P , Aumayr F 1998 *Phys. Rev. Lett.* **81** 1965
- [5] Schenkel T , Hamza A V , Barnes A V , Schneider D H 1999 *Prog. Surf. Sci.* **61** 23
- [6] Faraggi M N , Gravielle M S , Alducin M , Juaristi J I , Silkin V M 2005 *Phys. Rev. A* **72** 012901
- [7] Xu K Z 1998 *Advanced Physics of Atom and Molecule* (Beijing : Science Press) p160 (in Chinese)[徐克尊 1998 高等原子分子物理学(北京 科学出版社 第 160 页)
- [8] Yang Z H , Song Z Y , Cui Y , Zhang H Q , Ruan F F , Shao J X , Du J , Liu Y W , Zhu K X , Zhang X A , Shao C J , Lu R C , Yu D Y , Chen X M , Cai X H 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 0803 (in Chinese)[杨治虎、宋张勇、崔莹、张红强、阮芳芳、邵健雄、杜娟、刘玉文、朱可欣、张小安、邵曹杰、卢荣春、于得洋、陈熙萌、蔡晓红 2008 物理学报 **57** 0803]
- [9] Burgdörfer J , Lerner P , Meyer F W 1991 *Phys. Rev. A* **44** 5674
- [10] Nordlander P , Tully J C 1990 *Phys. Rev. B* **42** 5564
- [11] Quinet P , le Doumeuf M 1996 *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **119** 99

Cobalt-like-Xe-induced infrared light and x-ray emission at Ni surface^{*}

Zhang Xiao-An^{1,2,†} Yang Zhi-Hu²⁾ Wang Dang-Chao¹⁾ Mei Ce-Xiang¹⁾
Niu Chao-Ying¹⁾ Wang Wei²⁾ Dai Bin¹⁾ Xiao Guo-Qing²⁾

¹ *Department of Physics , Xianyang Normal University , Xianyang 712000 , China)*

² *Institute of Modern Physics , Chinese Academy of Sciences , Lanzhou 730000 , China)*

(Received 8 September 2008 ; revised manuscript received 25 December 2008)

Abstract

The highly charged ions $^{129}\text{Xe}^{27+}$ impacting on Ni surface are neutralized by resonant capturing of electrons of metallic conduction band and release of potential energies. The multiply excited Xe atoms are formed and the outer-shell electrons are de-excited by emitting infrared photons. In the process , within femtoseconds , the projectile total energies are deposited on the target surface (on the nanometers scale) , which excites and ionizes the target atoms. The characteristic transitions between complex configurations of atoms and ions occur , especially the characteristic forbidden transition ($M1$ and $E2$) of Ni I and Ni II , and the X-ray emission. The increasing of X-ray yield per ion with kinetic energies of projectile was found.

Keywords : highly charged ion , infrared spectrum , x-ray , forbidden transition

PACC : 3450D

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10574132) , the Natural Science Foundation of Shaanxi Province , China (Grant No. 2007A05) , and the Talent Recruitment Introduce Program of Xianyang Normal University , China (Grant No. 05XSZYK103) .

[†] E-mail : zhangxiaoran2000@yahoo.com.cn