

ANCHO DE LINEA DE IONES NO HIDROGENOIDES

D.Bertuccelli*, G.Bertuccelli* y H.O.Di Rocco*

Instituto de Física Arroyo Seco, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro, Pinto 399, 7000 Tandil.

Se ha realizado un extensivo trabajo teórico y experimental acerca del ancho de líneas (w) ns- np y np -nd de gases nobles una vez ionizados ($n=n_0+1$, donde n_0 es el número cuántico principal de la configuración fundamental). La fuente utilizada fue una descarga "pinch" de alta corriente; la densidad y temperatura electrónicas fueron estimadas en $N_e = 2.65 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ y $T = 1.45 \times 10^4 \text{ K}$ respectivamente. Los cálculos fueron basados en la aproximación semiempírica y los elementos de matriz (o probabilidades de transición) fueron evaluados en diferentes aproximaciones. Comparando nuestras mediciones con aquellas de otros autores, se han establecido tendencias sistemáticas en función del número atómico Z y de la energía de ionización del nivel superior I . Por último se ha establecido que para $N_e > 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $w \propto N_e^{-\gamma}$ donde $\gamma = 5/6$.

INTRODUCCION

Datos sobre el ensanchamiento Stark de líneas pertenecientes a iones no hidrogenoides son de interés en plasmas astrofísicos y de laboratorio. En este trabajo recopilamos mediciones extensivas concernientes a transiciones ns- np y np -nd de Kr II y Xe II usando una descarga "pinch".

Por otro lado es de interés encontrar regularidades y tendencias sistemáticas, ya que es necesario un conocimiento de las probabilidades de transición A_{ij} para hacer cálculos de anchos (y corrimientos) de líneas, pero, en general, los datos acerca de los A_{ij} son escasos o inexistentes. Luego es importante conocer que parámetros atómicos describen los fenómenos de ensanchamiento.

Comparando nuestros resultados con los de otros autores para Ne II, Ar II, Kr II y Xe II, se pudo establecer que, para transiciones ns- np (normalizando los datos a $N_e = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $T = 10^4 \text{ K}$)^[1]

$$Z^{0.5} w = (7.00 \pm 0.25) \times 10^3 I^{-(3.00 \pm 0.05)} \quad (1)$$

mientras que, para líneas np -nd^[2]

$$Z w = 7.00 \times 10^5 I^{-(6.00 \pm 0.10)}, \quad (2)$$

donde, en las ecs. (1) y (2) Z es el número atómico, w es el ancho (FWHM) e I es la energía de ionización del nivel superior, en eV.

TEORIA

Dentro de la aproximación impacto^[3], el ancho de una línea aislada viene dado por

$$w_{if} = N \{ v [\sum \sigma_{ii} + \sum \sigma_{rf} + \int |f_i(\theta, \phi) - f_f(\theta, \phi) - f_i(\theta, \phi)|^2 d\Omega] \}, \quad (3)$$

donde los σ son secciones de choque inelásticos y las f amplitudes de scattering elástico, N es la densidad electrónica y v la velocidad sobre la que la ec. (3) debe ser promediada.

Una primera aproximación a las secciones transversales viene dada por la aproximación de Bethe-Van Regemorter^[4]; en unidades atómicas:

$$\sigma_{ij} = 14.5 E_{II}^2 f_{ij} g / E_{ij} E, \quad (4)$$

donde E_{II} es la energía de ionización del hidrógeno, E la energía del electrón incidente, f_{ij} es el "oscillator strength", g el factor de Gaunt y E_{ij} la energía de la transición.

Si la distribución de energía es maxwelliana, a partir de las ecuaciones (3) y (4) se obtiene, en cm^{-1}

$$w = 2.21 \times 10^{22} N_e T^{-1/2} x$$

$$x [\langle |r|^2|1\rangle + \langle |r|^2|f\rangle] g(x); \quad (5)$$

g es una función débil del argumento $x \equiv (1.5 \text{ kT}/\Delta E)$ y puede tomarse como un parámetro ajustable. Los elementos de matriz se han calculado en el esquema LS con Interacción de Configuraciones^[5] y, por otro

* Investigador CONICET

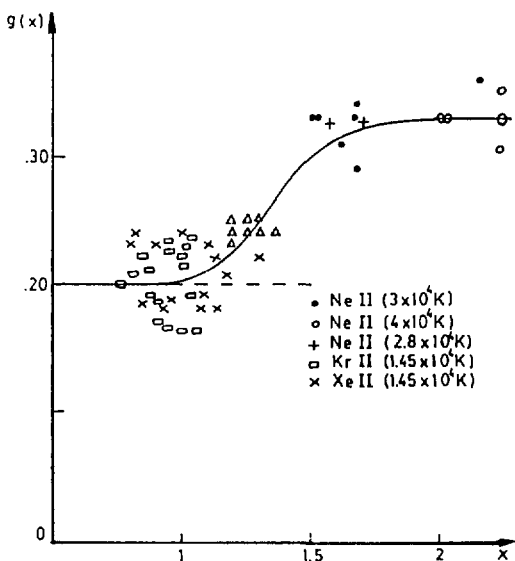
lado, en la aproximación de Coulomb. Aunque los términos individuales pueden diferir apreciablemente, las sumas tienden a dar el mismo resultado (dentro del 10%), un hecho bien documentado vinculado a las reglas de suma ¹⁴.

EXPERIENCIAS Y PROCEDIMIENTOS

Los detalles experimentales y el tratamiento de los datos pueden encontrarse en las referencias 6 y 7. A modo de resumen, indicamos que la densidad electrónica fue estimada en $2.65 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ y la temperatura electrónica en $1.45 \times 10^4 \text{ K}$. Los perfiles de las líneas fueron del tipo Voight, convolución entre el perfil Lorentziano debido al efecto Stark y el Gaussiano debido al efecto Doppler y al instrumento.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

La calidad de la aproximación semiempírica ha sido probada ultimamente en varios aspectos. De la ec. (5) salta a la vista la proporcionalidad $w \propto N_e T^{-1/2} g$. De los trabajos de Vitell¹⁵ y de uno de nosotros¹¹ sigue que, para $N_e > 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $w \propto N_e^{5/6}$. Para estudiar la variación de g con la temperatura, hemos obtenido valores "experimentales" de $g(x)$ comparando valores experimentales y teóricos del ancho. Está documentado¹⁴ que para $x \leq 2$, $g(x) = 0.20$; sin embargo ha resultado que $g(x) = 0.13$ para líneas np-nd, $g(x) = 0.20 \pm 0.04$ para $0.5 < x < 0.8$ y $g(x) = 0.33 \pm 0.03$ para $1 < x < 1.5$ para transiciones ns-np. Estos últimos resultados pueden ajustarse (en este rango) mediante la curva logística



λ (Å)	T (10^4 K)	w_e (cm^{-1})	g_{exp}	$g_{\text{exp}}/g_{\text{fit}}$
3694	3	1.74	0.33	1.03
	4	1.62	0.31	0.92
3709	3	1.50	0.28	0.87
	4	1.89	0.35	1.07
3334	3	1.83	0.33	1.10
	4	1.83	0.33	1.00
3355	3	1.81	0.32	1.07
	4	1.81	0.32	0.98
3713	3	1.81	0.30	0.92
	2.83	2.03	0.34	1.09
3323	3	2.04	0.33	1.09
	4	2.67	0.43	1.29
4806	1.3	1.56	0.18	0.89
	1.65	2.00	0.24	1.09
	1.8	2.08	0.25	1.02
4847	1.3	1.53	0.18	0.89
	1.65	1.97	0.23	1.03
	1.8	1.98	0.23	0.93
4355	1.1	2.06	0.20	1.00
	1.45	2.39	0.24	1.17
	1.74	2.23	0.22	1.02
4739	1.10	2.18	0.22	1.11
	1.45	2.31	0.24	1.14
	1.74	2.30	0.23	1.02
4619	1.1	2.53	0.21	1.05
	1.45	2.50	0.21	1.03
4098	1.45	2.25	0.18	0.91
4292		2.48	0.22	1.11
5438		2.40	0.20	0.91
5044		3.10	0.22	1.05
4921		2.80	0.21	1.01
4887		2.30	0.19	0.92
4603		3.27	0.24	1.18
		3.00	0.23	1.14

Tabla 1: Valores experimentales del valor de Gaunt para transiciones ns-np.

$$g(x) = [0.13 / (1 + 3 \times 10^5 e^{-13.25x})] + 0.20 \quad (6)$$

En la Tabla 1 se muestran los valores experimentales del factor de Gaunt para algunas transiciones ns-np, así como el cociente $g(\text{exp}) / g(\text{fit})$ donde $g(\text{fit})$ está dado por la ec. 6. Gráficamente, se los indica en la Fig. 1.

Los anchos experimentales (FWHM) de las transiciones ns-np y np-nd del Kr II y del Xe II están dados en las Refs. 2 y 6. Los errores estimados son: densidad electrónica 10%, temperatura electrónica 15% y ancho de líneas 5%.

Figura 1: Valores experimentales del factor de Gaunt para transiciones ns-np de la tabla 1 y de referencias 2 y 6. La curva continua está dada por la ecuación (6).

COMPARACION CON OTROS EXPERIMENTOS

Fue mostrado por nosotros^[2,6] que para 77 experimentos concernientes a transiciones ns-np de gases nobles una vez ionizados, se cumple la ec. (1) y para 22 líneas np-nd se cumple la ec. (2). De dichas ecuaciones sigue que, para los valores de normalización $N_e = 10^{17} \text{cm}^{-3}$, $T = 10^4 \text{K}$,

$$Z^{l>/2} = 7.5 \times 10^{(Zc+l>+l<)} I^{-3l>}, \quad (7)$$

donde Z es el número atómico, w el ancho en cm^{-1} , Zc la carga neta, $l>$ y $l<$ el mayor y el menor de los números cuánticos orbitales respectivamente, I la energía de ionización del nivel superior en eV.

CONCLUSIONES

En el curso de nuestros trabajos^[1,2,5,6,7] hemos establecido:

a) regularidades y tendencias que ligan los anchos de

línea con los parámetros atómicos Z e I ,

b) el comportamiento del factor de Gaunt para distintos tipos de transiciones,

c) que, para $N_e > 10^{17} \text{cm}^{-3}$, $\omega \propto N_e^{5/6}$.

REFERENCIAS

1. H.O. Di Rocco, *Journal of Applied Physics* **68**, 3732 (1990).
2. G. Bertuccelli and H. O. Di Rocco, enviado a *Physica Scripta* (1990).
3. M.Baranger, en "Atomic and Molecular Process", editado por D.Bates, Ac. Press (1962).
4. H.R.Griem, *Physical Review* **165**, 258 (1968).
5. H.O.Di Rocco, *Il Nuovo Cimento D* (1990).
6. D.Bertuccelli, G.Bertuccelli and H.O.Di Rocco, aceptado para publicar por *Physica Scripta* (1990).
7. D.Bertuccelli, G. Bertuccelli and H.O.Di Rocco, aceptado para publicar en *Review of Scientific Instruments* (1990).
8. Y. Vitel and M.Skowronek, *Journal of Physics B* **20**, 6477(1987).