

Chapitre V

Contributions théoriques des couplages sur les états d'énergie d'une transition atomique résonnante au déplacement de van der Waals.

V-1 : Introduction :

Nous allons estimer à priori, d'après les données sur la structure atomique d'une transition donnée le calcul du coefficient C qui caractérise la force d'attraction des atomes par la paroi. Ce calcul consiste à sommer pour chaque niveau de la transition de fréquence ω_0 le déplacement induit par les couplages virtuels avec les autres niveaux d'énergie.

V-2 : Le système atomique :

Les deux états d'énergie concernés dans l'une transition résonnante en prenant l'exemple de la raie du césium sont $5S_{1/2}$ et $5P_{1/2}$, les niveaux fondamental et excité respectivement (fig.V-1).

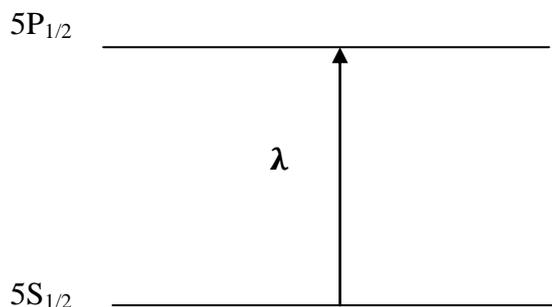


Fig. (V-1) : Spectre de transition entre les niveaux d'énergie de la raie du Cs

V-2 : le coefficient de couplage :

Soit le déplacement de la transition atomique relié au déplacement des deux états nS et nP par la relation :

$$C = C_e - C_g \quad (V-1)$$

Pour le calcul du déplacement de chacun des deux états nous employons selon le cas les expressions de l'opérateur de l'attraction atome-surface induisant la force de van der Waals :

i) Si on a le cas d'une transition vers un état d'énergie inférieure ; c'est-à-dire que $E_i > E_j$:

$$\langle J_i M | \widetilde{V}_0 | J_j M \rangle = \hbar \sum_j \left(\frac{\lambda_{jij}}{2\pi} \right)^3 \Gamma_{jij} \quad (V-2)$$

ii) Si on a le cas d'une transition vers un état d'énergie supérieure ; c'est-à-dire que $E_i < E_j$:

$$\langle J_i M | \widetilde{V}_0 | J_j M \rangle = \hbar \sum_j \left(\frac{\lambda_{jij}}{2\pi} \right)^3 \frac{2J_j + 1}{2J_i + 1} \Gamma_{jij} \quad (V-3)$$

Où est définie d'après la littérature

$$\Gamma_{jij} = \Gamma_{l_{il_j}} (2L_i + 1)(2J_j + 1) \left\{ \begin{matrix} L_i & J_j & S \\ J_j & L_j & 1 \end{matrix} \right\}^2 \quad (V-4)$$

La probabilité de transitions atomique de la structure hyperfine, calculée à partir de la probabilité $\Gamma_{l_{il_j}}$ associées aux transitions $|L_i, J_j\rangle \rightarrow |L_j, J_j\rangle$ de longueur d'onde que nous trouvons dans la table de la réf. dans la dernière colonne de la table , nous évaluons la contribution au déplacement des différentes transitions virtuelles, dans le cas d'une surface parfaitement conductrice qui se définit par :

$$C_{ij} = (1/256\pi^4) \Gamma_{ij} M$$

Où M se calcule selon le cas avec les relations (V-2) et (V-3).

Niveau $ i, J_i\rangle$	Niveau $ i, J_i\rangle$	$\lambda_{ij}(\mu m)$	A_{ij} ($\times 10^6 s^{-1}$)	Contribution au déplacement ($Khz\mu m^3$)
6S _{1/2}	6P _{1/2}	0.894	28.6	0.82
	6P _{3/2}	0.852	32.4	1.60
6P _{3/2}	6S _{1/2}	(-) 0.852	32.4	0.80
	7S _{1/2}	1.47	11.4	0.72
	8S _{1/2}	0.795	3.6	0.06
	5D _{3/2}	3.61	0.11	0.21
	5D _{5/2}	3.49	0.94	1.86
	6D _{3/2}	0.921	2.66	0.08
	6D _{5/2}	0.918	15.2	0.71
	7D _{3/2}	0.699	1.22	0.02
	7D _{5/2}	0.698	7.29	0.25
	8D _{3/2}	0.622	0.62	0.01
	8D _{5/2}	0.622	4.03	0.06

Table V-2 : contribution théorique des couplages $|i, J_i\rangle \rightarrow |j, J_j\rangle$ au déplacement de London Van der Waals du niveau $|i, J_i\rangle$ d'après [4]. Le signe (-) devant certaines longueurs d'onde indique un couplage avec un niveau $|j, J_j\rangle$ d'énergie inférieure à celle du niveau $|i, J_i\rangle$

Par addition de toutes les contributions (cf. Table V-2) des niveaux couplés au niveau 5S_{1/2}, et au niveau 5P_{1/2} nous obtenons respectivement

$$C_g = 2.25Khz \mu m^3$$

$$C_e = 4.08Khz \mu m^3$$

Soit donc un déplacement total de la transition qui est :

$$C = 1.83Khz \mu m^3$$

Sachant que la paroi est un diélectrique de permittivité ϵ , le potentiel C d'attraction de London van der Waals pour un atome dans un état d'énergie est multiplié par le facteur :

$$F = (\epsilon - 1) / (\epsilon + 1)$$

Ainsi, nous pouvons finalement estimer le déplacement global due à l'interaction de l'atome avec une interface en verre d'indice $n=1.49$ (avec $n^2=\epsilon$)

$$C = 0.66 \text{Khz} \mu\text{m}^3$$

qui traduit un déplacement de van der Waals vers le rouge. Ce résultat est déjà prévu par l'étude de la réflexion résonnante en incidence normale définie par l'équation (V-2) sous l'effet du potentiel d'attraction. Nous concluons finalement qu'il y a un bon accord entre l'analyse du modèle théorique de la réflexion résonnante et la théorie du calcul du coefficient de couplage des états d'énergie de la transition atomique.