

Observation de l'interaction entre atome et surface en cellule de vapeur submicrométrique

G. Dutier, S. Saitiel, D. Bloch, M. Ducloy, A. Papoyan¹ et D. Sarkisyan¹

Laboratoire de Physique des Lasers, UMR 7538 du CNRS, 99 avenue J.-B. Clément,
Université Paris 13, 93430 Villetaneuse, France

¹ Armenian Institute for Physical Research, Ashtarak 2, Armenia

Résumé. Sur une cellule de vapeur d'épaisseur submicrométrique (~ 300 nm), les spectres d'absorption linéaire se révèlent très peu sensibles à l'effet Doppler (les effets transitoires favorisent fortement les atomes lents), et font apparaître les effets de l'interaction van der Waals à longue portée entre atome-surface. L'étude, entreprise d'abord sur la raie de résonance D_1 de Cs, est poursuivie sur une transition à deux photons vers le niveau Cs $6(D_{3/2})$ résonnant avec la surface de YAG de la fenêtre. Elle ouvre diverses perspectives, notamment la détection d'états liés par un puits de potentiel induit par la surface.

1. LES ETUDES D'INTERACTION ATOME-SURFACE A LONGUE PORTEE

Si le principe de l'interaction atome-surface à longue portée est bien connu (attraction van der Waals en z^{-3} , avec z distance atome-surface, liée au couplage entre fluctuations dipolaires de l'atome et l'image électrique de celles-ci), les études expérimentales sont relativement peu nombreuses [1-6], notamment parce qu'il est difficile d'approcher de façon contrôlée un atome d'une paroi avec $z \leq 0,1-1 \mu\text{m}$. Pourtant, l'interaction d'atomes (même si ceux-ci ont été préalablement refroidis) avec le potentiel de surface, reste un phénomène inévitable dans nombre d'expériences, susceptible d'apporter des contraintes au développement de certaines nanotechnologies (déposition contrôlée d'atomes, ...). L'étude de cette interaction avec des surfaces réelles, qui présentent des résonances, est enrichie par la possibilité d'un couplage résonnant entre excitation atomique et mode de surface. C'est ainsi que nous avons récemment démontré [6] que l'interaction de $\text{Cs}^*(6D_{3/2})$ avec une surface de saphir était exaltée et répulsive en raison d'un couplage entre émission virtuelle $6D_{3/2} \rightarrow 7P_{1/2}$ à $12,15 \mu\text{m}$ et polariton de surface du saphir. Nous avons également montré [7] que cette répulsion s'accompagne d'un important transfert réel $6D_{3/2} \rightarrow 7P_{1/2}$ induit par la surface (en raison d'une désexcitation dans les modes de champ proche du polariton de surface), alors que l'émission spontanée de cette transition est très faible dans le vide. Pour ces études, une analyse détaillée de la technique de spectroscopie de réflexion, essentiellement sensible jusqu'à une distance de l'ordre de $\lambda/2\pi$ de la paroi, avait été mise au point. Nous montrons ici qu'avec la production de cellules d'épaisseur submicrométrique, de nouvelles perspectives sont ouvertes pour la spectroscopie de transmission.

2. SPECTROSCOPIE EN CELLULE MINCE

Notre équipe a étudié dans les années récentes les propriétés spectroscopiques spécifiques des cellules de vapeur minces [8], où le libre parcours atomique devient anisotrope, ce qui offre une nouvelle technique de spectroscopie sub-Doppler (sous incidence normale, seuls les atomes suffisamment lents, peu sensibles au décalage Doppler, ont une interaction efficace avec la lumière). Cependant, les cellules jusqu'ici disponibles (épaisseur nominale $\geq 10 \mu\text{m}$) ne permettraient pas d'observer d'effets spécifiques de l'interaction de surface (autres que la désexcitation collisionnelle). A l'Institut Arménien de Physique, a été réalisée une cellule avec des fenêtres de YAG, séparées par des espaceurs nominale de $0,6 \mu\text{m}$ (réalisés par évaporation de saphir). Après collage du système, mise sous vide et remplissage de Cs, l'analyse optique de la cellule (diam 20 mm) montre qu'une large zone est d'une épaisseur $\sim 300 \text{ nm}$ (la

frange noire observée en réflexion -fig. 1- correspond à $\lambda/2$, $\lambda=633$ nm) et que sont accessibles diverses zones, d'épaisseur comprises entre 150 et 400 nm.

La simple spectroscopie de transmission sur la raie de résonance D_1 (894 nm) révèle immédiatement un spectre fortement sub-Doppler (pour des épaisseurs de cellule 10-100 μm , seule une faible contribution, isolable par la dérivation de fréquence propre à la spectroscopie FM, apparaissait de largeur sub-Doppler) Comme le montre la figure 2, l'étude en fonction de l'épaisseur de la cellule montre clairement, pour les épaisseurs faibles, un déplacement vers le rouge (attraction) et une diminution très notable du signal, liée non seulement au régime transitoire, mais aussi à l'élargissement induit par inhomogénéité spatiale de la résonance (déplacée par interaction de van der Waals). Ces résultats paraissent en bon accord avec un modèle théorique préliminaire, qui prend en compte l'interaction van der Waals exercée par chacune des parois



Figure 1. Image réfléchie de la cellule sous une illumination monochromatique à $\lambda = 633$ nm. La frange centrale sombre correspond à une épaisseur exactement égale à $\lambda/2$, et non à un quelconque multiple de $\lambda/2$.

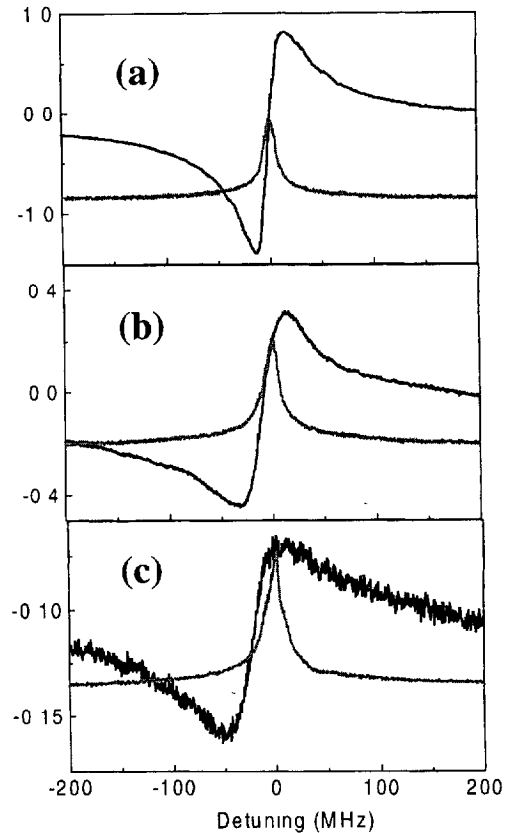


Figure 2 Comparaison entre le spectre de transmission (en noir) obtenu en technique FM avec la cellule sub-micrométrique, et un spectre de référence d'absorption saturée (en gris), enregistrés simultanément sur la raie D_1 de Cs. L'épaisseur estimée de la cellule au point de mesure est de : (a) 350 nm, (b) 150-200 nm, (c) 50-100 nm.

3. PERSPECTIVES

Nous travaillons actuellement à la spectroscopie de Cs($6D_{3/2}$) dans cette cellule de ~ 300 nm, notamment par transition à deux photons (894nm +876 nm). Cs($6D_{3/2}$) a en effet l'intérêt d'être également couplé de façon résonnante [5] à 12,15 μm aux modes de surface du YAG. On espère pouvoir confirmer ici directement par un déplacement de la raie vers le bleu que cette interaction est répulsive. Plus généralement, cette géométrie de cellule avec deux interfaces proches offrent des possibilités étendues de couplage entre atome et surface, notamment *via* la réalisation d'images électriques "multiples", tout en permettant de sonder des gammes de distance à la surface particulièrement courtes. Cette plus grande variété compense la complexité introduite par la structure spatiale (de type Fabry-Pérot) de l'intensité excitatrice à l'intérieur de la cellule. A plus long terme, le couplage répulsif avec chacune des fenêtres, qui peut être induit soit par la nature éventuellement répulsive du couplage, soit par des ondes évanescentes extérieures, doit permettre d'induire des états atomiques liés. Il deviendrait alors tentant d'explorer la possibilité d'obtenir des modes de vibration pour ces atomes confinés par les parois.

Références

- [1] D. Raskin and P. Kusch, Phys. Rev. **179**, 712 (1969); A. Shih and V.A. Parsegian, *A12*, 835 (1975)
- [2] A. Anderson *et al.*, Phys. Rev. A **37**, 3594 (1988); C.I. Sukenik *et al.*, Phys. Rev. Lett., **70**, 560 (1993)
- [3] M. Oria *et al.* Europhys. Lett. **14**, 527-532 (1991)
- [4] A. Landragin *et al.*, Phys. Rev. Lett. **77**, 1464 (1996)
- [5] H. Failache, Thèse de Doctorat de l'Université Paris 13 (1999)
- [6] H. Failache *et al.*, Phys. Rev. Lett. **83**, 5467-5470 (1999), J. Phys. IV **10** Pr 8, 141-142 (2000)
- [7] H. Failache *et al.*, en préparation
- [8] S. Briaudeau, Thèse de Doctorat de l'Université Paris 13 (1998); S. Briaudeau *et al.*, Phys. Rev. A **59**, 3723-3735 (1999); J. Phys. IV **10** Pr 8, 145-146 (2000)