

Emission thermique en champ proche : une résonance aiguë du saphir sondée avec une interaction Casimir-Polder très résonnante

J.C. de Aquino Carvalho¹, I. Maurin¹, A. Lalot¹, D. de Sousa Meneses², D. Bloch^{1*}

¹Laboratoire de Physique des Lasers, UMR 7538 du CNRS, Université Sorbonne Paris Nord, F-93430 Villetaneuse

²CNRS, CEMHTI UPR3079, Université d'Orléans, F-45071 Orléans, France

Keywords, Champ proche, polariton de surface, Casimir-Polder, biréfringence

1 Introduction

L'interaction à longue portée Casimir-Polder (CP) entre atome et surface [1], qui se ramène aux très courtes distances à un potentiel de type dipôle dipôle (en $-C_3z^{-3}$), entre fluctuations dipolaires de l'atome et fluctuations "image" induites dans la surface, peut aussi s'interpréter comme effet des fluctuations du vide. A celles-ci, s'ajoutent éventuellement les fluctuations thermiques [2]. Pour l'interaction CP, c'est l'émissivité thermique en champ proche qui est pertinente : on sait [3] que cette émissivité est spectralement étroite, et très amplifiée (par des contributions évanescentes) par rapport au rayonnement de corps noir (défini seulement sous l'hypothèse de champ lointain). Pour prédire le spectre de l'émissivité thermique en champ proche, il faut en général modéliser le comportement en volume du matériau, souvent à partir de mesures d'émissivité en champ lointain [4]. Les résonances de volume et de surface sont très différentes, d'où des difficultés pour une prédiction affûtée du champ proche. Avec des mesures CP [2,5], qui filtrent l'émissivité à une fréquence atomique bien déterminée, nous pouvons comparer ces prédictions et les résultats d'une mesure CP de précision, réalisée cependant à fréquence donnée.

2 Système étudié et résultats

Il a déjà été démontré que la transition atomique de Cs $6D_{3/2} \rightarrow 7P_{1/2}$ à 24,687 THz est en quasi-coïncidence avec le polariton du saphir (~ 24.5 THz), d'où une interaction CP "géante" pour Cs $6D_{3/2}$ [5]. Pour Cs($7P_{1/2}$), le couplage est une absorption virtuelle à partir de l'émission de la surface dans le mode polariton, qui n'existe que par émissivité thermique, d'où une forte exaltation avec la température (fig.1). A l'opposé, pour l'autre composante de structure fine Cs($7P_{3/2}$), les couplages atomiques ne concernent que les ailes lointaines de la résonance du saphir, et l'évolution en température est très modérée (fig.1).

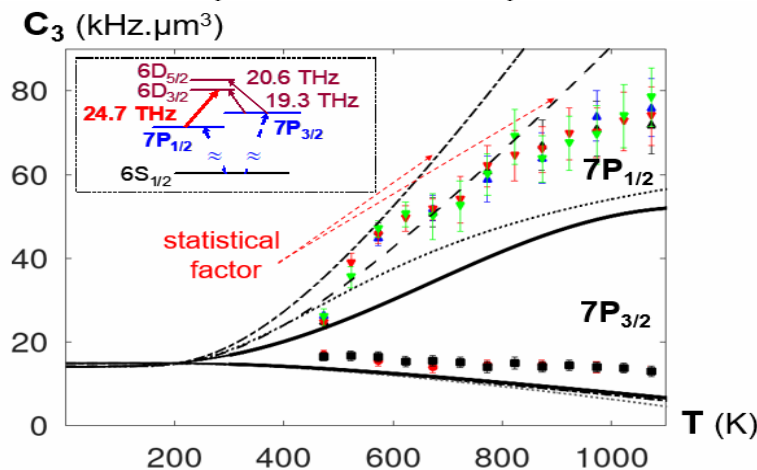


Figure 1: Valeurs expérimentales du coefficient d'interaction $C_3(T)$ déduites de spectres de réflexion sélective (différentes composantes hyperfines sont analysées), et comparaison avec des modèles tenant compte de la statistique thermique, et de la modélisation du saphir (différentes lignes associées à des modèles différents).

L'évolution du coefficient d'interaction pour Cs($7P_{1/2}$) est moins rapide que ce que prévoit le seul effet du facteur thermique de Bose-Einstein [2]. Ceci peut s'expliquer par le fait, déjà observé, et que nous confirmons par de nouvelles expériences dédiées sur une fenêtre de saphir strictement identique à celle de l'étude "atomique", que la résonance aiguë du saphir s'élargit et se déplace avec la température.

3 Discussion

Malgré des tendances très acceptables dans la comparaison entre prédictions d'après ce qui est connu du saphir, et observations par spectroscopie atomique de l'interaction CP, l'accord est loin d'être parfait. Outre ces effets de potentiel CP, qui correspondent à des transitions *virtuelles*, l'émissivité thermique peut aussi induire une absorption réelle, qui porterait Cs($7P_{1/2}$) dans l'état $6D_{3/2}$, diminuant alors la durée de vie de Cs($7P$) au voisinage de la surface (loi de distance en z^{-3}). Ici encore, cet effet ne peut survenir pour Cs($7P_{3/2}$). Malgré l'attente d'un transfert thermique (pour $7P_{1/2}$), la prédiction sur la durée de vie, qui réduirait l'amplitude du spectre de réflexion sélective [2,5] utilisé pour évaluer $C_3(T)$, paraît non vérifiée ! Ceci suggère que l'extrapolation depuis l'émissivité en champ lointain du saphir, aux modes du champ proche, ne peut être suffisamment précise. Une complexité supplémentaire est apportée par la biréfringence du saphir, qui multiplie les résonances, et les couple entre elles [6]. Le "filtrage" spécifique par une transition atomique offre donc un test de précision remarquable pour les prédictions, renforcé par la nature localement Lorentzienne (complexe) [7] des réponses de surface autour d'une résonance aiguë.

Références

- [1] H.B.G. Casimir and D. Polder, Phys Rev. **73**, 360 (1948)
- [2] A. Laliotis *et al.*, Nat. Commun., **5**, 4364 (2014)
- [3] A.V. Shchegrov *et al.*, Phys. Rev. Lett. **85**, 1548 (2000)
- [4] T. Passerat de Silans *et al.*, J Phys: Condens. Mater. **21**, 255902 (2009); M.E. Thomas, Infrared Phys. & Techno. **39**, 235, (1998)
- [5] H. Failache *et al.*, Phys Rev. Lett. **83**, 5467 (1999)
- [6] M.-P. Gorza *et al.*, Eur. Phys; J. D, **15**, 113 (2001)
- [7] J.C. de Aquino Carvalho and D. Bloch, Opt. Lett., **46**, 2876 (2021)