



**HAL**  
open science

# ETUDE DES INTERACTIONS CASIMIR-POLDER AVEC DES ATOMES DE RYDBERG CONFINÉS DANS DES NANOCÉLULES

E. Butery, B. Dutta, C. Boldt, G. Garcia Arellano, I. Maurin, J.C. de Aquino  
Carvalho, P. Pedri, S. Scheel, A. Laliotis

► **To cite this version:**

E. Butery, B. Dutta, C. Boldt, G. Garcia Arellano, I. Maurin, et al.. ETUDE DES INTERACTIONS CASIMIR-POLDER AVEC DES ATOMES DE RYDBERG CONFINÉS DANS DES NANOCÉLULES. Optique Normandie 2024, SFO (Société Française d'Optique), Jul 2024, Rouen, France. hal-04676852

**HAL Id: hal-04676852**

**<https://hal.science/hal-04676852v1>**

Submitted on 24 Aug 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# ÉTUDE DES INTERACTIONS CASIMIR-POLDER AVEC DES ATOMES DE RYDBERG CONFINÉS DANS DES NANOCÉLULES

E. Butery<sup>1</sup>, B. Dutta<sup>1</sup>, C. Boldt<sup>2</sup>, G. Garcia Arellano<sup>1</sup>, I. Maurin<sup>1</sup>, J.C. de Aquino Carvalho<sup>1</sup>, P. Pedri<sup>1</sup>, S. Scheel<sup>2</sup>, A. Laliotis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Sorbonne Paris Nord, Laboratoire de Physique des Lasers, 99 Av. J-B Clément, Villetaneuse, France.

<sup>2</sup> Institut für Physik, Universität Rostock, Albert-Einstein-Straße 23-24, D-18059 Rostock, Germany.

esther.butery@univ-paris13.fr

## RÉSUMÉ

Nous présentons les résultats des expériences visant à mesurer l'interaction Casimir-Polder (CP) entre des atomes fortement excités (atomes de Rydberg) et des surfaces diélectriques. Des calculs théoriques ont aussi été menés pour raffiner la description de l'interaction CP atome-surface en prenant en compte des termes d'ordres supérieurs. Nous essayons actuellement de mesurer ces effets par spectroscopie des atomes de Rydberg confinés en cellule mince d'épaisseur nanométrique.

**MOTS-CLEFS :** *interactions Casimir-Polder, atomes de Rydberg*

## 1. INTRODUCTION

Les atomes de Rydberg confinés en cellules font l'objet d'une attention de plus en plus grande pour leur capacité à se comporter comme capteurs sensibles aux champs électromagnétiques ou comme sources de photons uniques pour des applications aux technologies quantiques [1]. Mais les atomes de Rydberg présentent aussi un intérêt pour l'étude fondamentale des interactions atome-surface [2], en mettant en lumière les limites de la théorie de Casimir-Polder (CP), approche traditionnelle du calcul des interactions atome-surface [3]. En effet, l'interaction d'atomes de Rydberg avec des surfaces en extrême champ proche induit la non validité de l'approximation dipolaire et des termes d'ordres supérieurs doivent être considérés. Cela est dû au fait que le diamètre des atomes de Rydberg (proportionnel à  $n^{*2}$  où  $n^*$  est le nombre quantique effectif) est comparable aux distances atome-surface typiques sondées lors d'expériences spectroscopiques en cellules nanométriques remplies par vapeurs atomiques.

## 2. RÉSULTATS

Nous décrivons nos récents calculs des coefficients  $C_3$  (dipole-dipole) et  $C_5$  (quadrupole-quadrupole et dipole-octupole) de l'interaction CP pour des atomes de Rydberg alcalins proches d'une surface diélectrique [?]. Nous examinons également les effets des interactions d'ordre supérieur sur une expérience qui sonde des atomes de Rydberg par spectroscopie de transmission dans des nanocellules (cellules d'épaisseur nanométrique). En particulier, nous nous concentrons sur une expérience pompe-sonde qui utilise un laser intense à 894nm pour exciter les atomes de césium au niveau  $6P_{1/2}$  puis un laser vert à 514nm pour sonder le  $Cs(16S_{1/2})$  à l'intérieur de la nanocellule (Fig.1a,b). Notre analyse théorique montre que les effets d'ordre supérieur (quadrupole-quadrupole) devraient être mesurables pour des épaisseurs inférieures à 150nm (Fig.1c).

Nous présentons les résultats de cette expérience visant à sonder les atomes de Rydberg dans une nanocellule dont l'épaisseur varie de 50 à 800nm (Fig.1a). En utilisant la technique pompe-sonde décrite ci-dessus, nous pouvons sonder les atomes de Rydberg du césium  $16S_{1/2}$  à des distances nanométriques près des fenêtres YAG de la cellule. Les spectres de transmission enregistrés (pour des épaisseurs variant de 240 à 640nm) présentent un décalage de la résonance atomique évident, dû à une forte interaction CP Rydberg-surface (Fig.1d). Nous sommes actuellement en train d'extraire la valeur du coefficient dipolaire  $C_3$  de l'interaction  $Cs(16S_{1/2})$ -YAG en fittant nos courbes expérimentales avec des courbes

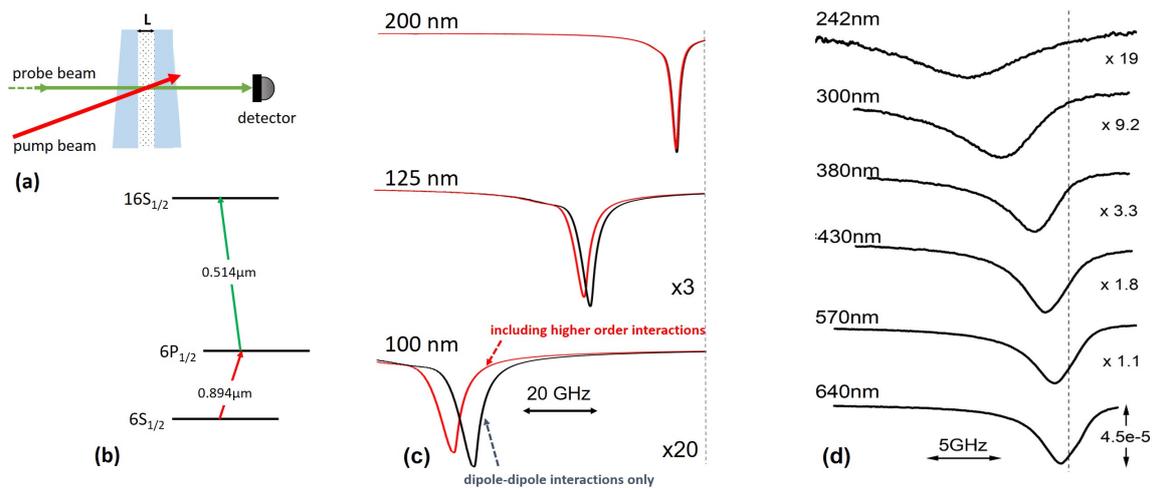


FIGURE 1 : a) Schéma d'une expérience pompe-sonde en cellule nanométrique contenant une vapeur de césium. b) Niveaux d'énergie du césium impliqués dans l'expérience. c) Spectres théoriques de transmission de cellule mince pour différentes épaisseurs de cellule, avec (en rouge) et sans (en noir) les termes d'interaction d'ordre supérieur. d) Spectres expérimentaux de transmission de cellule mince pour des épaisseurs de cellule variant entre 640nm et 240nm.

obtenues par notre modèle théorique. La prise en compte d'effets systématiques dus aux interactions de l'atome avec des champs parasites provenant de charges intégrées sur la surface de la fenêtre reste un déficit. Afin d'estimer ces effets, nous planifions d'effectuer une expérience avec des atomes  $16 - 18D_{3/2}$ , plus sensibles aux champs électriques à cause de leurs plus grandes polarisabilités.

L'interaction  $Cs(16S_{1/2})$ -surface a été aussi étudiée par spectroscopie de réflexion sélective dans une cellule macroscopique avec des fenêtres de saphir. Cette méthode permet de sonder des atomes de Rydberg à des distances nanométriques (typiquement autour de  $\lambda/2\pi$ ) et de mesurer le coefficient dipolaire  $C_3$ . Pourtant, selon nos études la technique n'est pas bien adaptée pour mesurer des effets d'ordre supérieur. En utilisant la réflexion sélective, nous avons mesuré le coefficient  $C_3$  de l'interaction  $Cs(16S_{1/2})$ -saphir par analyse des spectres expérimentaux avec un modèle théorique prenant en compte des effets transitoires sur l'interaction atomes-laser. La mesure expérimentale du coefficient  $C_3 = 5.5MHz\mu m^3$  reste cependant plus grande que la prédiction théorique  $3.5MHz\mu m^3$ .

## CONCLUSION

Nous avons effectué des calculs de l'interaction Casimir-Polder avec des atomes de Rydberg en prenant en compte des effets d'ordre supérieur. Nous avons également effectué des mesures du coefficient  $C_3$  (interaction dipolaire Rydberg-surface) par réflexion sélective et par transmission dans des cellules minces (épaisseurs entre 640-240nm). Nous sommes en train d'explorer des épaisseurs plus faibles afin de mesurer des interactions CP d'ordre supérieur.

## RÉFÉRENCES

- [1] F. Ripka et al., Science, **362**, 446–449 (2018); L. A. Downes et al. PPhys. Rev. **362**, 011027 (2020)
- [2] V. Sandoghdar et al., Phys. Rev. Lett **68**, 3432–3435 (1993).
- [3] J. A. Crosse et al., Phys. Rev. A **82**, 3010901 (2010).
- [4] B. Dutta et al. à paraître dans Phys. Rev. Research.