

---

# Chaos quantique en spectroscopie des plasmas

Joel Rosato\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire PIIM, Aix-Marseille Université / CNRS – Aix-Marseille Université - AMU – France

## Résumé

Ce travail est motivé par des études récentes menées en astrophysique. La caractérisation des étoiles possédant un fort champ magnétique, telles que les naines blanches ou les étoiles à neutrons, reste un défi de taille (1,2) ; une interprétation fiable des observations spectroscopiques validant les modèles stellaires ne peut être réalisée qu'à partir de modèles précis pour la structure atomique, avec une description adéquate du champ magnétique. Dans un article récent (3), la structure de l'atome d'hydrogène a été étudiée dans des régimes où l'effet Zeeman quadratique est important. Malgré sa forme apparemment simple, ce problème est loin d'être complètement résolu, essentiellement en raison de la non-séparabilité de l'équation de Schrödinger en variables radiale et angulaire. Classiquement, l'atome d'hydrogène dans un champ magnétique uniforme constitue un exemple de système simple non intégrable présentant des caractéristiques chaotiques (4). Le présent travail vise à réexaminer ce problème dans la continuité de plusieurs travaux qui ont été menés sur ce sujet dans les années 1980 (5,6). Nous utilisons en particulier la représentation dite " en oscillateur " de l'atome d'hydrogène, qui a la particularité de fournir une interprétation simple de la non intégrabilité du système apportée par l'effet Zeeman quadratique. Le système sera étudié à la fois classiquement et quantiquement, avec notamment une nouvelle analyse de la transition vers le chaos engendrée par le champ magnétique. Des quantités propres aux applications spectroscopiques (niveaux d'énergie, éléments du dipôle etc.) seront également calculées et étudiées.

### Références

- (1) D. Saumon, S. Blouin, and P.-E. Tremblay, Current challenges in the physics of white dwarf stars, *Phys. Rep.* 988, 1 (2022).
- (2) J. M. Lattimer and M. Prakash, The physics of neutron stars, *Science* 304, 536 (2004).
- (3) J. Rosato, Applying the double-oscillator representation of the hydrogen atom to the evaluation of dipole matrix elements for Stark broadening calculations in strongly magnetized plasmas, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 345, 109527 (2025).
- (4) H. Friedrich and D. Wintgen, The hydrogen atom in a uniform magnetic field - an example of chaos, *Phys. Rep.* 183, 37 (1989).
- (5) D. Delande and J.-C. Gay, Quantum chaos and statistical properties of energy levels: numerical study of the hydrogen atom in a magnetic field, *Phys. Rev. Lett.* 57, 2006 (1986).
- (6) G. Wunner et al., Rydberg atoms in uniform magnetic fields: uncovering the transition from regularity to irregularity in a quantum system, *Phys. Rev. Lett.* 57, 3261 (1986).

---

\*Intervenant