

### **Etude de collisions moléculaires inélastiques pour l'astrophysique : résonances.**

Les molécules sont abondantes dans la plupart des milieux astrophysiques, galactiques et extra-galactiques, y compris dans notre Système Solaire. Elles sont stables pour des températures  $5\text{K} < T < 300\text{K}-1000\text{K}$ . Les molécules sont les sondes les mieux adaptées à comprendre la physique et la chimie dans ces milieux. De très nombreux télescopes observent les raies moléculaires dont le grand interféromètre ALMA (<https://www.eso.org/public/france/teles-instr/alma/>) ou récemment, le télescope spatial Herschel (<http://sci.esa.int/herschel/>).

Afin de comprendre les conditions d'observation des molécules en astrophysique — spectroscopie rotationnelle (sub-)millimétrique — il est indispensable de connaître les conditions d'excitations des différents niveaux ro-vibrationnels moléculaire, qui déterminent l'intensité des différentes raies spectrales. L'observation astrophysique des raies de transition moléculaire se fait avec grande précision actuellement (voir par exemple, A. Hernandez-G., E. Sahnoun et al., 2018, Mon. Not. Roy. Astron. Soc.) et déterminer quantitativement les abondances des espèces moléculaires est tout à fait possible.

Si les calculs des taux d'excitation sont actuellement maîtrisés, nous nous intéressons à la comparaison entre des mesures expérimentales de sections efficaces et les calculs quantiques. Il y a de nombreuses observables, et **ce stage s'intéresse aux résonances observées dans les sections efficaces à basse énergie**. Il s'agira donc

1. De calculer des cas très simples de résonance (par exemple  $\text{CO}-\text{He}$  ou  $\text{HCO}^+-\text{He}$ ), pour lesquelles les calculs sont rapides et les interprétations détaillées possibles.
2. De caractériser les résonances des excitations de l'eau ( $\text{D}_2\text{O}$ ) par l'hydrogène moléculaire, où les expériences sont en cours.

**Le stage consistera** en une assez courte partie de calculs numériques, relativement légers, et surtout en une exploitation des données théoriques sur les collisions : formalisme de la matrice  $\mathcal{S}$ , recherche des résonances et caractérisations, temps de collision et statistiques des résonances.

Il est demandé au stagiaire qu'elle/il soit à l'aise dans un langage de programmation de son choix, capable de calculs numériques légers. Elle/il devra être en terrain connu pour la spectroscopie élémentaire et la **physique moléculaire** élémentaire. Une bonne notion de la physique des collisions permettrait de rentrer rapidement dans le vif du sujet.

Le stage se fera dans l'équipe **'Theomol'** du laboratoire Aimé-Cotton, spécialisée dans l'étude des collisions atomiques et moléculaires à basse température. Le stage se fera en collaboration avec des équipes d'astrophysique (Paris-Grenoble) et de physique expérimentales des collisions (Bordeaux)

Une thèse est possible par la suite. Après accord avec l'étudiant.e, la thèse porterait sur la physique détaillée des collisions atomiques et moléculaires d'intérêt astrophysique, avec

obligatoirement un séjour dans un laboratoire européen d'astrophysique et/ou de physique expérimentale (probablement Pays-Bas ou Allemagne).