

**Spectroscopie 1S-3S de l'atome d'hydrogène
pour la détermination de constantes fondamentales et du rayon du proton**

1S-3S spectroscopy of hydrogen atom for the determination of fundamental constants and proton radius

Porteur(s) : F. Nez (LKB)

Partenaire(s) : M. Abgrall (SYRTE)

Résumé du projet en Français :

La mesure précise de la fréquence de la transition 1S-3S de l'atome d'hydrogène est d'un grand intérêt pour l'énigme du rayon de charge du proton, qui a pour origine les résultats récents de la spectroscopie de l'hydrogène muonique. Nous excitons la transition à deux photons 1S-3S, dans un jet d'atomes d'hydrogène, à l'aide d'un laser continu à 205 nm obtenu par somme de fréquences dans un cristal non-linéaire. La fréquence de la transition est mesurée par rapport à l'horloge à césium du LNE-SYRTE à l'aide d'un peigne de fréquence.

L'enregistrement du signal pour différentes valeurs d'un champ magnétique appliqué permet d'estimer la distribution de vitesse des atomes du jet et d'en déduire l'effet Doppler du deuxième ordre. Les autres effets systématiques qui déplacent la transition ont été pris en compte : interférence quantique, déplacement lumineux, collisions.

Abstract in English:

The precise measurement of the 1S-3S transition frequency of hydrogen could have a great impact on the proton charge radius puzzle, which results from the recent spectroscopy of muonic hydrogen. In our experiment, the two-photon 1S-3S transition is excited in a hydrogen atomic beam, with a continuous-wave 205-nm laser which is obtained by sum frequency generation in a non-linear crystal. The transition frequency is measured with respect to the LNE-SYRTE Cs clock by means of a frequency comb.

Recording the signal for several values of an applied magnetic field allows to estimate the velocity distribution of the atoms in the beam and to deduce the second-order Doppler shift. Other frequency-shifting systematic effects have been taken into account: cross-damping, light shift, collisions.

Résultats marquants :

Une étude systématique en fonction de la pression a permis de montrer que la distribution de vitesse ne dépend pas de la pression et de déterminer le déplacement collisionnel.

Finalement, une valeur de la fréquence de transition 1S-3S est obtenue avec une incertitude d'environ 5 kHz, ou $1,7 \cdot 10^{-12}$ en valeur relative. Cette nouvelle mesure contribue à la recherche autour de l'énigme du rayon du proton. Récemment, les premiers signaux de spectroscopie de la transition 1S-3S à 123 K ont été observés.

Highlights:

A complete study has shown that the velocity distribution does not depend significantly on the pressure, and allowed to determine the collisional shift.

Eventually, a value of the 1S-3S transition frequency is obtained with an uncertainty of about 5 kHz, or a relative uncertainty of $1.7 \cdot 10^{-12}$. This new measurement contributes to the ongoing search to solve the proton radius puzzle. Recently, we have observed the 1S-3S transition of hydrogen at 123 K.

Publications and communications linked with the funded project:

Peer-reviewed articles:

S. Galtier, F. Nez, L. Julien and F. Biraben : " Ultraviolet continuous wave laser source at 205 nm for hydrogen spectroscopy". Opt. Comm. **324** (2014) 34-37.

S. Galtier, H. Fleurbaey, S. Thomas, L. Julien, F. Biraben and F. Nez : " Progress in spectroscopy of the 1S-3S transition in hydrogen", J. Chem. Ref. Data Vol **44**, N°3, (2015).

H. Fleurbaey, F. Biraben, L. Julien, J.P. Karr and F. Nez : "Cross damping effects in 1S-3S spectroscopy of hydrogen and deuterium" Phys. Rev. A **95**, 052503 (2017).

Oral communications:

H. Fleurbaey, S. Galtier, S. Guellati, P. Cladé, L. Julien, F. Biraben and F. Nez, "High Resolution Spectroscopy of 1S-3S Transition in Hydrogen", CPEM 2016, 10-15 Juillet 2016, Ottawa, Canada

Invited talks:

S. Galtier, H. Fleurbaey, F. Nez, L. Julien and F. Biraben, Workshop MITP "proton radius puzzle", Mainz, Allemagne, 1-6 juin 2014 : "Hydrogen 1S-3S spectroscopy to contribute to the proton charge radius puzzle"

H. Fleurbaey, S. Galtier, S. Thomas, P. Cladé, S. Guellati, L. Julien, F. Biraben and F. Nez, Fundamental Constants Meeting, Eltville, Allemagne, 1-6 février 2015 : "hydrogen spectroscopy"

H. Fleurbaey, S. Galtier, M. Bonnaud, L. Julien, F. Biraben and F. Nez, "the proton radius puzzle", European Frequency and Time Seminar, EFTS 2016, 27 juin-1 Juillet 2016, Besancon, France

H. Fleurbaey, S. Galtier, S. Thomas, L. Julien, F. Biraben and F. Nez, "High Resolution Spectroscopy of 1S-3S Transition in Hydrogen", Conference on Precision Physics, Quantum Electrodynamics and Fundamental Interactions 2017, 30 Avril-5 Mai 2017, Cargèse, France

H. Fleurbaey, S. Galtier, S. Thomas, F. Biraben, L. Julien and F. Nez, "High Resolution Spectroscopy of 1S-3S Transition in Hydrogen", International Conference on Precision Physics and Fundamental Physical Constants (FFK-2017) 15-19 mai 2017, Varsovie, Pologne

Pictures with captions (curve, photo, scheme ...):

