

Mesure d'une transition à deux photons dans H_2^+ : métrologie du rapport m_e/m_p

Measuring a Doppler free two-photon transition in H_2^+ for electron to proton mass ratio metrology

Porteur(s) : L. Hilico (LKB)

Résumé du projet en Français :

Le rapport m_e/m_p de la masse de l'électron à celle du proton est une constante fondamentale aujourd'hui connue avec une incertitude relative de $4.3 \cdot 10^{-11}$ à partir de mesures uniques et indépendantes de m_e et m_p en piège de Penning. Cette constante peut également être déterminée de manière optique directe par spectroscopie de l'ion moléculaire H_2^+ car la fréquence de vibration des noyaux de cet ion dépend essentiellement de m_e/m_p . Les progrès théoriques récents sur les calculs des fréquences de transition de H_2^+ incluant les corrections relativistes, radiatives et de structure hyperfine et le développement d'une expérience dédiée de spectroscopie à deux photons sans effet Doppler sur des ions H_2^+ sélectionnés en état interne, piégés et refroidis sympathiquement doivent permettre d'améliorer d'un facteur 3 - et même 6 à terme - l'incertitude sur m_e/m_p . La comparaison avec des mesures similaires effectuées sur l'ion HD^+ à Düsseldorf ou Amsterdam permettra non seulement d'améliorer la connaissance de m_e/m_p , mais aussi de proposer une détermination « moléculaire » de la constante de Rydberg et du rayon de charge du proton apportant un éclairage nouveau sur le proton size puzzle.

Abstract in English:

The m_e/m_p electron to proton mass ratio is a fundamental constant known today with a relative uncertainty of $4.3 \cdot 10^{-11}$ from unique and independent measurements of m_e and m_p in Penning trap. Direct optical determination of this constant can be done by spectroscopy of the H_2^+ molecular ion because the vibration frequency of the nuclei of this ion depends essentially on m_e/m_p . Recent theoretical advances in the calculation of H_2^+ transition frequencies, including relativistic, radiative and hyperfine structure corrections together with the development of a dedicated Doppler-free two-photon spectroscopy experiment on state selected trapped and sympathetically cooled H_2^+ ions, should improve the uncertainty on m_e/m_p by a factor of 3 - and even 6 in the long term. Comparison with similar measurements made on the HD^+ ion in Düsseldorf and Amsterdam will not only improve the knowledge of m_e/m_p , but also provide a "molecular" determination of the Rydberg constant and the charge radius of the proton, providing new insights into the proton size puzzle.

Résultats marquants (mise à jour 2017) :

Depuis 2013, nous avons monté l'ensemble des composants de l'expérience de spectroscopie à deux photons de H_2^+ . Cela inclut un piège linéaire pour le refroidissement sympathique de H_2^+ par des ions Be^+ refroidis par laser, une source d'ions H_2^+ sélectionnés en état interne, ainsi que les lasers de spectroscopie par REMPD (resonance enhanced multiphoton dissociation) comprenant un laser à cascade quantique à $9,17 \mu m$ et un laser de photodissociation à $213 nm$. Nous avons récemment observé des cristaux d'ions Be^+ et obtenu des ions H_2^+ sélectionnés en état interne. Dans le même temps, les progrès des calculs de corrections radiatives et relativistes ont atteint $7.6 \cdot 10^{-12}$ en précision relative.

La dotation FIRST-TF a été utilisée pour acheter un mesureur de longueur d'onde, qui a grandement facilité l'utilisation du laser à $313 nm$ pour refroidir les ions Be^+ .

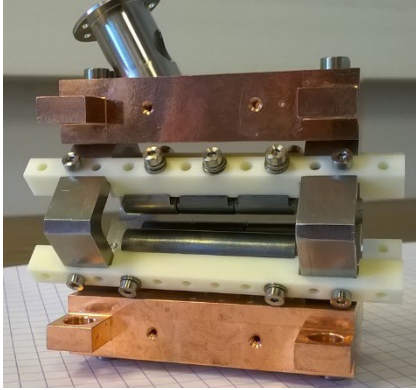
Highlights (update 2017):

Since 2013 we have completed all the parts our H_2^+ two-photon experiment setup. It includes a linear ion trap for sympathetic cooling of H_2^+ ions by laser cooled Be^+ ions, the $313 nm$ Be^+ cooling laser, a state selected resonance enhanced multiphoton ionisation (REMPI) H_2^+ ion source as well as the resonance enhanced multiphoton dissociation (REMPD) spectroscopy lasers (a quantum cascade laser at $9.17 \mu m$ for Doppler free two-photon excitation of a H_2^+ vibrational transition and a $213 nm$ laser for photodissociation of vibrationally excited H_2^+ ions).

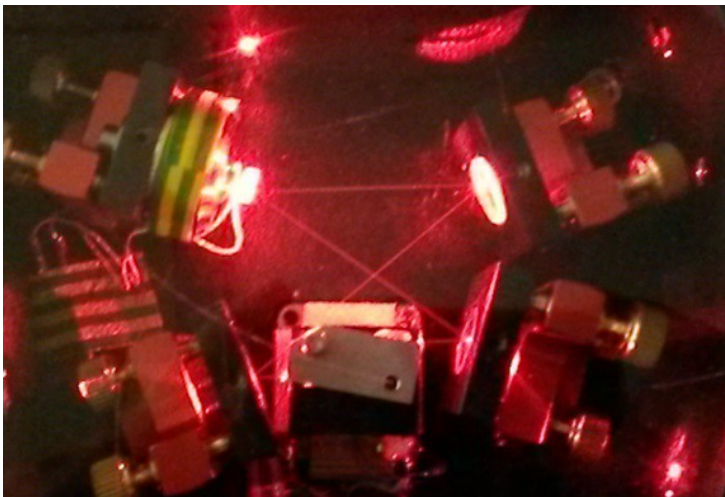
We have recently observed Be^+ Coulomb crystals in our linear trap, obtained state selected H_2^+ ions and characterized the 213 nm dissociation process. Meanwhile, we also made significant progress on the theoretical side, pushing the relative accuracy on hydrogen molecular ions vibrational transition frequencies down to $7.6 \cdot 10^{-12}$ relative accuracy.

The FIRST-TF grant was used to buy a High-Finesse WS7 wavemeter which is essential for the 313 nm cooling laser stabilisation.

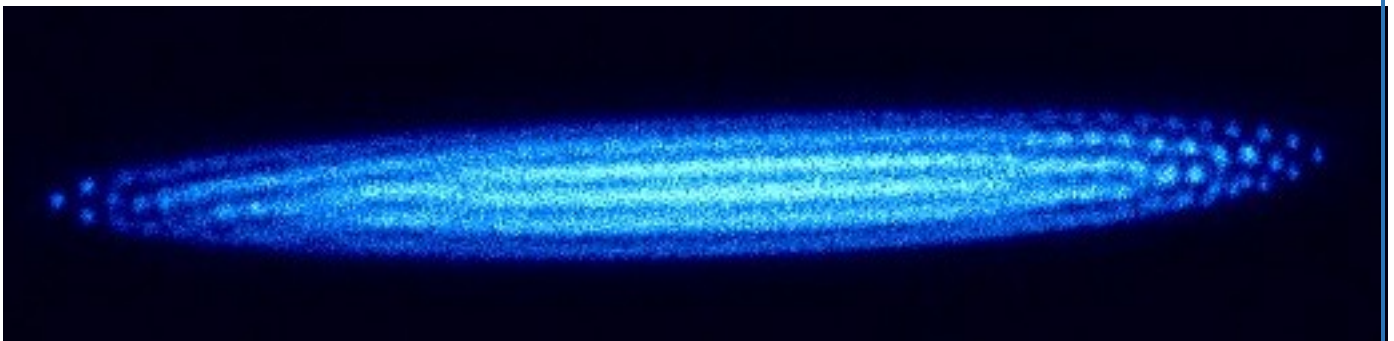
Pictures with captions (curve, photo, scheme ...):



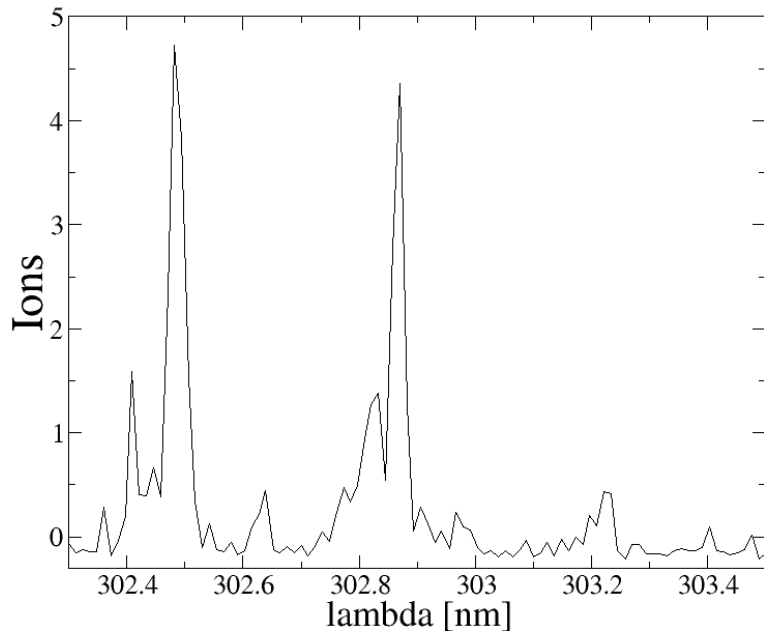
Linear Paul Trap made of molybdenum electrodes mounted on insulating alumina rods. The electrode diameter is 8 mm and the total length of the electrodes is 36 mm.



Frequency doubling cavity producing 313 nm light for Ba^+ cooling from 626 nm beam. The 626 nm laser frequency is stabilized against the WS7 wavemeter purchased thanks to First-TF.



Ion Coulomb crystal made of a few hundred Be^+ ions (false colors) observed at 313 nm on a UV-enhanced EMCCD camera.



3+1 REMPI state selected H_2^+ ion signal observed in our hyperbolic trap.