



Imagerie attoseconde de paquets d'ondes électroniques dans les gaz moléculaires

Spécialité Interaction laser-matière

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [LIDYL/ATTO](#)

Candidature avant le 30/03/2022

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [SALIERES Pascal](#)

+33 1 69 08 63 39

pascal.salieres@cea.fr

Autre lien <http://attolab.fr/>

Résumé

L'étudiant-e produira des impulsions attosecondes à l'aide d'un laser Titane:Saphir intense. Ces impulsions ultrabrèves seront utilisées pour étudier la dynamique ultrarapide d'ionisation de gaz moléculaires, et en particulier, imager en temps réel l'éjection du paquet d'onde électronique.

Sujet détaillé

Ces dernières années, la génération d'impulsions sub-femtosecondes, dites attosecondes ($1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$), a connu des progrès spectaculaires. Ces impulsions ultrabrèves ouvrent de nouvelles perspectives d'exploration de la matière à une échelle de temps jusqu'alors inaccessible. Leur génération repose sur la forte interaction non linéaire d'impulsions laser infrarouges brèves (~ 20 femtosecondes) et intenses focalisées dans des gaz. On produit ainsi les harmoniques d'ordre élevé de la fréquence fondamentale, sur une large gamme spectrale (160-10 nm) couvrant l'extrême ultraviolet (UVX). Dans le domaine temporel, ce rayonnement cohérent se présente comme un train d'impulsions d'une durée de ~ 100 attosecondes chacune [1]. Pour produire des impulsions attosecondes isolées, il faut réduire la durée des impulsions IR fondamentales à $\sim$ un cycle optique (

Avec ces impulsions attosecondes, il devient possible d'étudier les dynamiques les plus rapides dans la matière, celles associées aux électrons, qui se déroulent naturellement à cette échelle de temps. La spectroscopie attoseconde permet ainsi l'étude de processus fondamentaux tels que la photo-ionisation et s'intéresse à la question : combien de temps faut-il pour arracher un électron à un atome ou une molécule ? La mesure de ces délais d'ionisation est actuellement un sujet "chaud" dans la communauté scientifique. En particulier, l'étude de la dynamique d'ionisation près des résonances permet d'accéder à la construction en temps réel du profil des résonances [2,3], ainsi qu'aux réarrangements électroniques dans l'ion suite à l'éjection de l'électron (migration de charge). Un spectromètre récemment installé permet de mesurer également la distribution angulaire des électrons, nécessaire à la reconstruction du film 3D de l'éjection électronique, et à l'étude des effets de décohérence quantique dus notamment à l'intrication électron-ion [4].

Le travail expérimental comprendra la mise en œuvre d'un dispositif, installé sur le laser FAB1 de l'Équipement d'Excellence ATTOLab, permettant :

- i) la génération d'impulsions attosecondes ;
- ii) leur caractérisation par interférométrie quantique ;
- iii) leur utilisation en spectroscopie de photoionisation (détection d'électrons).

Les aspects théoriques pourront également être abordés. L'étudiant-e sera formé-e en optique ultrarapide, physique atomique et moléculaire, optique quantique, et acquerra une bonne maîtrise de la spectroscopie de particules chargées. La poursuite en thèse est souhaitée.

Références :

- [1] Y. Mairesse, et al., Science 302, 1540 (2003)
- [2] V. Gruson, et al., Science 354, 734 (2016)
- [3] L. Barreau, et al., Phys. Rev. Lett. 122, 253203 (2019)
- [4] C. Bourassin-Bouchet, et al., Phys. Rev. X 10, 031048 (2020)

Mots clés

Physique attoseconde, optique non linéaire, optique quantique

Compétences

Laser femtoseconde intense, génération d'harmoniques d'ordre élevé, interférométrie optique et quantique, spectrométrie de photons UVX, spectrométrie d'électrons

Logiciels

Labview, Python

Attosecond imaging of electronic wavepackets in molecular gases

Summary

The student will generate attosecond pulses using an intense Titanium:Sapphire laser. These ultrashort pulses will be used to investigate the ultrafast ionization dynamics of molecular gases, and in particular, to image in real time the ejection of electronic wavepackets.

Full description

Recently, the generation of sub-femtosecond pulses, so-called attosecond pulses ($1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$), has made impressive progress. These ultrashort pulses open new perspectives for the exploration of matter at unprecedented timescale. Their generation result from the strong nonlinear interaction of short intense laser pulses (~ 20 femtoseconds) focused in gases. High order harmonics of the fundamental frequency are produced, covering a large spectral bandwidth in the extreme ultraviolet (XUV) range. In the temporal domain, this coherent radiation forms a train of 100-attosecond pulses [1]. The generation of isolated attosecond pulses requires shortening the fundamental laser pulses to single-cycle duration (

With such attosecond pulses, it becomes possible to investigate the fastest dynamics in matter, i.e., electronic dynamics that occur naturally on this timescale. Attosecond spectroscopy thus allows studying fundamental processes, e.g., photo-ionization, in order to answer questions such as: how long does it take to remove one electron from an atom or a molecule? The measurement of attosecond ionization delays is currently a “hot topic” in the scientific community. In particular, the study of the ionization dynamics close to resonances gives access to the buildup in real time of resonance profiles [2,3] and to electronic rearrangements in the ion upon electron ejection (charge migration). A recently installed spectrometer now gives access to the electron angular distribution allowing the reconstruction of the 3D movie of the electron ejection, as well as the investigation of quantum decoherence effects, e.g., induced by ion-photoelectron entanglement [4].

The experimental work will include the development/operation of a setup installed on the FAB1 laser of the ATTOLab Excellence Equipment allowing:

- i) the generation of attosecond XUV pulses,
- ii) their characterization using quantum interferometry,
- iii) their use in photo-ionization spectroscopy (electron detection).

The theoretical aspects could also be developed. The student will be trained in ultrafast optics, atomic and molecular physics, quantum optics and will acquire a good mastery of charged particle spectrometry. The continuation on a PhD project is advised.

- [1] Y. Mairesse, et al., Science 302, 1540 (2003)
- [2] V. Gruson, et al., Science 354, 734 (2016)
- [3] L. Barreau, et al., Phys. Rev. Lett. 122, 253203 (2019)
- [4] C. Bourassin-Bouchet, et al., Phys. Rev. X 10, 031048 (2020)

Keywords

Attosecond physics, nonlinear optics, quantum optics

Skills

Intense femtosecond laser, high-order harmonic generation, optical and quantum interferometry, spectrometry of XUV photons, electron spectrometry

Softwares

Labview, Python