IRAMIS : Institut Rayonnement Matlère de Saclay

Saclay

LIDYL/ATTO

Génération d'impulsions attosecondes portant un moment angulaire orbital dans des réseaux transitoires

Spécialité Interaction laser-matière

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 2

Unité d'accueil LIDYL/ATTO

Candidature avant le 31/05/2022

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact RUCHON Thierry
+33 1 69 08 70 10
thierry.ruchon@cea.fr

Résumé

Au cours de ce stage, l'étudiant mettra en place, sur un laser femtoseconde intense, un dispositif interférométrique pour étudier, lors de la génération d'impulsions attosecondes, les couplages entre moment angulaires orbitaux et de spin de la lumière. Ce stage d'expérimentation met en jeu des concepts d'optique non linéaire, d'optique quantique et d'interaction laser matière.

Sujet détaillé

Résumé
Ces dernières années, la génération d'impulsions sub-femtosecondes, dites attosecondes (1as=10−18s), 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 l'interaction très fortement non linéaire d'impulsions laser brèves (10 à 50 femtosecondes) et intenses avec des gaz atomiques ou moléculaires. 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 quelques 100 attosecondes [MdF+03]. Une des voies d'application de ces impulsions est leur utilisation dans des schémas pompe-sonde. Un échantillon de gaz ou un solide est porté dans un état excité par une première impulsion IR et une deuxième, l'impulsion attoseconde, vient le sonder à un délai ajustable, moins d'une femtoseconde plus tard. L'impulsion attoseconde ayant un spectre dans l'XUV elle photoionise les échantillons. Il y a donc deux façons de "lire" l'interaction: en analysant le défaut de photons transmis ou réfléchis, ou les photoélectrons émis. Jusqu'à présent, ces techniques ont été utilisées en sondant la matière avec un rayonnement attoseconde polarisé linéairement et présentant un front d'onde à symétrie cylindrique. Récemment, nous avons étendu la gamme de ces expériences en utilisant d'une part des impulsions polarisées circulairement [FHD+15], d'autre part, des impulsions dont le front d'onde est hélicoïdal [GCA+16, GRA+17, CBA+19]. Alors que les premières sont associées à des photons portant un moment angulaire de spin, les secondes correspondent à des photons portant un moment angulaire orbital. Les perspectives sont à la fois appliquées, en particulier à la femtochimie de molécules chirales ou la magnétisation ultrarapide [FBV+21, FPP+21], et fondamentales, en particulier liées aux lois de conservation des

moments angulaires dans les processus d'optique non linéaire.

Au cours de ce stage, nous proposons de mettre en place un dispositif optique original permettant de tester les lois de conservation des moments angulaires au cours du phénomène extrêmement non linéaire à la base de la synthèse d'impulsions attosecondes, la génération d'harmoniques d'ordre élevé (GHOE). Celle-ci est maintenant établie pour des faisceaux courts ($\simeq$ 25 fs) : l'harmonique q du faisceau généré porte simplement q fois la charge de moment angulaire orbital du faisceau pilote. En revanche, pour des impulsions ultracourtes ($\lesssim$ 10 fs), le spectre généré devient progressivement continu, faisant apparaitre des harmoniques non entières du faisceau pilote. La question qui se pose est la forme et la distribution en moment du faisceau généré. Nous mettrons en œuvre deux faisceaux femtoseconde intenses, qui se croiseront dans un gaz atomique où aura lieu la GHOE. À cet endroit, les deux faisceaux formeront un réseau transitoire dont nous varierons l'épaisseur et la profondeur. Chacun des deux faisceaux pourra porter un moment angulaire de spin et/ou un moment angulaire orbital, ajustable rapidement. Le diagnostic de l'interaction se fera à la fois par polarimétrie du rayonnement XUV, et par mesure du moment angulaire orbital par interférométrie. Outre les aspects fondamentaux mis en jeu, la mise au point de cette technique ouvrira des champs d'explorations nouveaux comme par exemple l'étude de birefringences ou dichroïsmes transitoires attosecondes qui donneront une nouvelle image des processus à l'œuvre dans des systèmes asymétriques à cette échelle de temps. Ce stage sera effectué sur les lasers FAB1 & 10 d'Attolab

Compétences développées
Le ou la stagiaire acquerra une pratique de l'optique des lasers femtoseconde et des techniques de spectrométrie de particules chargées. Il ou elle étudiera également les processus de physique des champs forts sur lesquels se basent la génération d'harmonique d'ordre élevé. Finalement des développements théoriques pourront également être inclus selon les goûts du ou de la candidat(e). La poursuite en thèse est possible après un M2.

Compétences requises
Des compétences en optique, physique atomique et moléculaires seront appréciées pour un stage de M2.

Références :
[CBA+19] Chappuis, C. et al., 2019. Physical Review A, 99(3). ¬10.1103/¬physreva.99.033806
[FBV+21] Fanciulli, M. et al., 2021. Physical Review A, 103(1). ¬10.1103/-physreva.103.013501
[FHD+15] Ferré, A. et al., 2015. Nature Photonics, 9, 93. ¬10.1038/¬nphoton.2014.314
[FPP+21] Fanciulli, M. et al., 2021. Observation of magnetic helicoidal dichroism with extreme ultraviolet light vortices. arxiv.org/¬abs/¬2103.13697
[GCA+16] Géneaux, R. et al., 2016. Nature Communications, 7, 12583. ¬10.1038/-ncomms12583
[GRA+17] Gauthier, D. et al., 2017. Nature Communications, 8, 14971. 10.1038/-ncomms14971
[MdF+03] Mairesse, Y. et al., 2003. Science, 302(5650), 1540. ¬10.1126/¬science.1090277

Mots clés

Physique attoseconde, magnéto-optique

Compétences

Laser femtoseconde, Optiques XUV Méthodes de caractérisation temporelles d'impulsions brèves Post-compression d'impulsions lumineuses

Logiciels

Python

Generation of attosecond pulses carrying an Orbital Angular moment in transient gratings

Summary

During this training, the student will set up, on an intense femtosecond laser, an interferometric device to study, during the generation of attosecond pulses, the couplings between angular orbital moment and spin angular moment of light. This experimental training will require concepts of nonlinear optics, quantum optics and laser-matter interaction.

Full description

Summary
In recent years, the generation of sub-femtosecond pulses, so-called attoseconds (1as = 10-18s), has seen spectacular progress. These ultra-short pulses open up new prospects for the exploration of matter on a previously inaccessible scale of time. Their generation is based on the highly nonlinear interaction of short (10 to 50 femtosecond) intense laser pulses with atomic or molecular gases. The high-order harmonics of the fundamental frequency are produced over a wide spectral range (160-10 nm) covering the extreme ultraviolet spectral range (UVX). In the temporal domain, this coherent radiation appears as a train of light pulses lasting some 100 attoseconds [MdF+03]. One way of applying these pulses is their use in pump-probe schemes. A gas sample is brought into an excited state by a first IR pulse and a second attosecond pulse, is shine at an adjustable delay, less than one femtosecond later. The attosecond pulse having a spectrum in the XUV it photoionizes the samples. There are thus two ways of "reading" the interaction: by analyzing the defect of transmitted or reflected photons or the photoelectrons emitted. Until now, these techniques have been used by probing the material with linearly polarized attosecond radiation having a cylindrical symmetric wavefront. Recently, we have extended the range of these experiments using, on the one hand, circularly polarized pulses [FHD+15] and, on the other hand, pulses whose wave front is helical [GCA+16, GRA+17, CBA+19]. While the former are associated with photons carrying an angular spin moment, the latter correspond to photons carrying an orbital angular momentum. The prospects are both applied, in particular to the femtochemistry of chiral molecules or ultrafast magnetization [FBV+21, FPP+21], and fundamental, in particular related to the laws of conservation of angular moments in the processes of nonlinear optics.
During this training, we propose to set up a unique optical device to test the laws of conservation of the angular momenta during the extremely nonlinear phenomenon at the base of the synthesis of attosecond pulses, the generation of high order harmonics (HHG). This is now established for short beams ($\simeq$ 25 fs): the harmonic q of the generated beam simply carries q times the orbital angular momentum carried by the driving beam. On the other hand, for ultrashort pulses ($\lesssim$ 10 fs), the generated spectrum becomes progressively continuous, causing non-integer harmonics of the driving beam to appear. The question which arises is the shape and the momentum distribution of the generated beam. We will implement two femtosecond intense beams, which will intersect in an atomic gas where the HHG will take place. At this point, the two beams will form a transient grating whose thickness and depth will be adjustable. Each of the two beams will carry an angular moment of spin and / or an orbital angular moment, adjustable rapidly. The diagnosis of the interaction will be carried out by both polarimetry of the XUV radiation and by measurement of the orbital angular momentum by interferometry. In addition to the fundamental aspects involved, the development of this technique will open new fields of investigation, such as the study of birefringences or transient attosecond dichroism which will give a new image of the processes at work in asymmetric systems at this time scale. This training will be hosted on Attabab FAB1 & 10 lasers

Acquired know hows
The trainee will acquire a practice of femtosecond lasers and charged particle spectrometry techniques. He or she will also study strong fields physics on which the high harmonic generation is based. Finally, theoretical developments may also be included depending on the candidate's tastes. The pursuit in PhD thesis is desired for a M2 internship.

Required skills
Skills in optics, atomic and molecular physics will be appreciated for a M2 student.

References :

[CBA+19] Chappuis, C. et al., 2019. Physical Review A, 99(3). ¬10.1103/¬physreva.99.033806
[FBV+21] Fanciulli, M. et al., 2021. Physical Review A, 103(1). ¬10.1103/-physreva.103.013501
[FHD+15] Ferré, A. et al., 2015. Nature Photonics, 9, 93. ¬10.1038/¬nphoton.2014.314
[FPP+21] Fanciulli, M. et al., 2021. Observation of magnetic helicoidal dichroism with extreme ultraviolet light vortices. arxiv.org/¬abs/¬2103.13697
[GCA+16] Géneaux, R. et al., 2016. Nature Communications, 7, 12583. ¬10.1038/-ncomms12583
[GRA+17] Gauthier, D. et al., 2017. Nature Communications, 8, 14971. 10.1038/-ncomms14971
[MdF+03] Mairesse, Y. et al., 2003. Science, 302(5650), 1540. ¬10.1126/¬science.1090277

Keywords

Attosecond physics, magneto-optics

Skills

Femtosecond laser, XUV optics Short pulse temporal characterization methods Post-compression of light pulses

Softwares

Python