



## Mesure de la phase spectrale du rayonnement harmoniques laser d'ordre élevé dans un cristal

**Spécialité** Interaction laser-matière

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [LIDYL/DICO](#)

**Candidature avant le** 29/03/2023

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [BOUTU Willem](#)  
+33 1 69 08 51 63  
[willem.boutu@cea.fr](mailto:willem.boutu@cea.fr)

### Résumé

Le but du stage est d'installer et de tester un nouveau dispositif expérimental pour mesure la phase spectrale du rayonnement harmonique laser d'ordre élevé issu de l'interaction entre un laser femtoseconde et un cristal semi-conducteur dans le domaine spectral de l'ultraviolet lointain, inaccessible aux détecteurs standards.

### Sujet détaillé

Utiliser la lumière afin de contrôler le mouvement des électrons au sein d'un semiconducteur ouvre la voie vers l'optoélectronique petahertz, c'est-à-dire la fabrication de dispositifs électroniques commutant 1000 fois plus rapidement que les transistors les plus rapides actuellement. En effet, dans un cristal semiconducteur ou diélectrique, l'excitation des électrons de valence vers la bande de conduction crée des porteurs de charge qui peuvent transporter du courant électrique au sein de dispositifs électroniques. En utilisant une lumière laser intense, ces porteurs peuvent être accélérés au sein des différentes bandes électroniques, à volonté et de façon réversible. En mettant en forme le champ électromagnétique du laser à l'échelle du cycle optique, ces processus peuvent être contrôlés à l'échelle de l'attoseconde (1 attoseconde =  $10^{-18}$  seconde).

Lorsque ces électrons accélèrent sous l'effet du champ fort dans les bandes de conduction ou se recombinent vers la bande de valence un rayonnement de courte longueur d'onde est émis. Dans le domaine spectral, ce rayonnement cohérent est constitué des harmoniques d'ordre élevé du rayonnement incident [1]. Dans le domaine temporel, cela correspond à une émission d'impulsions ultrabrèves, a priori attosecondes, bien que cette mesure n'ait pas encore été réalisée à ce jour. Le rayonnement harmonique est une conséquence directe des dynamiques électroniques dans le champ laser. Caractériser temporellement l'émission harmonique permettrait par conséquent de déduire précisément la dynamique des électrons, notamment en différenciant les processus intra et inter-bandes. Cependant, le domaine d'émission de ce rayonnement (dans le vacuum ultraviolet (VUV, 200-120nm) et l'extrême ultraviolet (EUV, 120-50 nm)) rend la mesure du profil temporel non triviale. Le groupe Attophysique du LIDYL possède l'expertise pour ce type de mesure dans l'EUV [2,3], mais le domaine VUV n'est à l'heure actuelle pas accessible. Le stage consistera à modifier un spectromètre de photoélectrons pour permettre les mesures dans cette gamme spectrale, puis à l'intégrer au sein d'un dispositif de mesure temporelle par la technique RABBITT [2]. Les premiers tests seront effectués sur

---

des cristaux semi-conducteurs classiques. En fonction de l'avancement du stage, des échantillons présentant de très fortes corrélations entre électrons pourront être étudiés. En effet, la caractérisation temporelle de l'émission harmonique nous permettra d'étudier ces dynamiques particulières. Ce stage se déroulera sur l'installation NanoLight, un tout nouveau laboratoire du groupe DICO du LIDYL, équipé notamment d'un nouveau système laser, un OPCPA intense de 100kHz, délivrant des impulsions de quelques cycles optiques dans l'infrarouge rouge proche.

[1] Ghimire et al., Nature Physics 7, 128 (2011)

[2] Mairesse et al., Sciences 302, 1540 (2003)

[3] Boutu et al., Nature Physics 4, 545 (2008)

### **Mots clés**

Physique attoseconde, laser femtoseconde, génération d'harmoniques d'ordre élevé, semiconducteur

### **Compétences**

Optique EUV, spectroscopie de photoélectrons, dispositifs pompes-sondes

### **Logiciels**

Python

---

## Spectral phase measurement of laser high order harmonic emission from crystals

### Summary

The aim of this internship is to install and test a new experimental setup to measure the spectral phase of the laser high order harmonic generation radiation resulting from the interaction between femtosecond laser pulses and semiconducting crystals, in the deep ultraviolet spectral range, inaccessible to standard detectors.

### Full description

Using light to control the motion of electrons in a semiconducting crystal opens the way towards petahertz optoelectronics, which would relies on electronic devices switching 1000 times faster than the current fastest transistors. In a semiconducting or dielectric crystal, the excitation of electrons from the valence to a conduction band generate charge carriers, which can carry electric current in electronic devices. Using intense laser light, those carriers can be accelerated in the different electronic bands in a controllable and reversible way. By shaping the laser electromagnetic field at the optical cycle level, these processes can be controlled at the attosecond time scale (1 attosecond =  $10^{-18}$  second).

When those electrons accelerate in the strong laser field inside the conduction bands or recombine towards the valence band, a short wavelength radiation is emitted. In the spectral domain, this coherent radiation consists in successive high order harmonics of the incident radiation [1]. In the temporal domain, this corresponds to the emission of ultrashort pulses, in the attosecond scale, although this measurement has not been performed yet. The harmonic emission is a direct consequence of the electron dynamics in the laser field. The temporal characterization of the emission would therefore allow to know precisely the dynamics of the electrons, in particular by differencing the intra and inter band processes. However, the spectral domain of this radiation (in the vacuum ultraviolet (VUV, 200-120 nm) and the extreme ultraviolet (EUV, 120-50 nm) domains) complicates this measurement. The DICO group from LIDYL has the expertise for this measurement in the EU [2,3], but the VUV range has not been accessible up to now. The aim of the internship will be to modify an electron time of flight spectrometer to gain access to this spectral range, and to integrate this tool in an experimental setup for temporal characterization through the RABBITT technique [2]. The first tests will be performed in usual semiconducting crystals. Depending on the progress, samples with strong electronic correlations may be studied. Indeed, temporal characterisation of the harmonic emission will enable the study of their specific electron dynamics.

This internship will take place in the NanoLight facility, a brand new laboratory of the Attophysics group, equipped with a new OPCPA laser system that delivers intense ultrashort pulses of just a couple optical cycle duration at a 100kHz repetition rate, in the near infrared spectral domain.

[1] Ghimire et al., Nature Physics 7, 128 (2011)

[2] Mairesse et al., Sciences 302, 1540 (2003)

[3] Boutu et al., Nature Physics 4, 545 (2008)

### Keywords

Attophysics, femtosecond laser, high order harmonic generation, semiconductor

### Skills

EUV optics, photoelectron spectroscopy, pump-probe setups

### Softwares

Python