

Percée en physique : démonstration d'un cristal photonique temporel

30.7.2026 - | École Polytechnique

L'équipe de Yannis Laplace au Laboratoire des solides irradiés (LSI*), vient de réaliser une prouesse en démontrant le fonctionnement d'un « cristal photonique temporel ». Ce résultat est publié dans la revue Nature. Il s'agit d'une collaboration avec le Collège de France et le Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, le Laboratoire Albert Fert de Thales et le Laboratoire de physique des interfaces et couches minces (LPICM*)

Façonner les propriétés de la lumière lorsqu'elle interagit avec les matériaux est à la base de nombreuses découvertes théoriques et d'avancées technologiques, que ce soit dans les télécommunications (fibres optiques), les sources de lumière (laser) ou encore les capteurs pour la chimie ou la biologie. C'est un domaine de recherche très actif.

En physique, le terme « cristal » désigne un système dont les constituants sont organisés de façon régulière et périodique. Dans les matériaux solides par exemple, les atomes sont placés à intervalle régulier et bien définis. Cet arrangement détermine grandement les propriétés des électrons des matériaux comme les énergies qu'ils peuvent avoir ou non, et donc les propriétés des photons (les grains de lumière) qu'ils émettent (comme leur « couleur », caractérisée par la longueur d'onde ou la fréquence).

Dans les années 1980, les scientifiques ont mis au point des cristaux dits « photoniques », c'est-à-dire fabriqués en alternant régulièrement plusieurs matériaux dont les caractéristiques affectent différemment les photons (en particulier, l'indice de réfraction des matériaux). Cette modulation spatiale des propriétés optiques constitue aujourd'hui beaucoup de dispositifs photoniques.

Faire varier les propriétés optiques au cours du temps

Mais récemment, les chercheurs se sont posés une nouvelle question fondamentale : est-il possible de créer des cristaux photoniques « temporels » ? Autrement dit, des matériaux dont les propriétés optiques alternent au cours du temps. Jusqu'à présents, les travaux restaient théoriques ou limités à des dispositifs à base de circuits électriques. Dans l'article qui vient de paraître dans Nature, les scientifiques présentent un tel dispositif avec des composants optiques, qui fonctionne dans le domaine du térahertz (THz), où la lumière oscille à des fréquences de l'ordre de 1000 milliards de fois par seconde.

Ce dispositif se compose de structures micrométriques en créneaux en or, sous laquelle se trouve une couche isolante et enfin un matériau semiconducteur (ici, un mélange d'indium et d'antimoine). Ces créneaux se comportent comme des cavités qui piègent les photons de lumière entre la couche d'or et la couche de semiconducteur.

En envoyant sur ce dispositif des impulsions laser térahertz, les chercheurs ont montré que les propriétés optiques du matériau, sa capacité à réfléchir la lumière en particulier, était très fortement modulée au cours du temps. C'est un tour de force expérimental car obtenir une modulation à la fois forte et très rapide (à l'échelle de la picoseconde, un milliardième de milliardième de seconde) était extrêmement difficile.

Vers un laser plasmonique ?

Le cœur du dispositif est la couche semiconducteur : les impulsions lasers y créent ce que les scientifiques appellent des « plasmons de surface », c'est-à-dire que les électrons forment de sortent de vagues collectives. Tout se passe comme si leur masse (leur masse dite « effective ») se mettait à osciller, devenant d'autant plus lourde que leur vitesse est élevée. C'est cet effet qui est à l'origine de l'alternance des propriétés optiques du dispositif.

D'autres phénomènes nouveaux sont donc susceptibles de se produire, comme l'amplification les photons piégés à l'intérieur de la structure. Les chercheurs ont déjà commencé à observer des indices en ce sens et espèrent observer prochainement un effet laser.

A terme, ces cristaux photoniques temporels pourraient servir à créer de nouvelles sources de lumière ou de nouveaux détecteurs dans le domaine TéraHertz, dont les fréquences sont situées entre celles de l'électronique et de la lumière visible.

Référence :

Guo, T., Sueiro, J., Andolina, G.M. *et al.* Plasmonic metamaterial time crystal. *Nature* (2026).
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10825-9>

*LSI : une unité mixte de recherche CEA, CNRS, École polytechnique, Institut Polytechnique de Paris, 91120 Palaiseau, France

*LPICM : une unité mixte de recherche CNRS, École polytechnique, Institut Polytechnique de Paris, 91120 Palaiseau, France

<https://www.polytechnique.edu/actualites/percee-en-physique-demonstration-dun-cristal-photonique-temporel>