

Des lasers mi-lumière, mi-matière

De surprenantes entités quantiques soulèvent l'espoir d'un nouveau laser révolutionnaire, notamment utile en médecine. Plongée dans le monde des polaritons.

PAR DANIEL SARAGA

Dans son laboratoire de l'EPFL, Nicolas Grandjean étudie d'étranges particules à cheval entre matière et lumière: les polaritons. Le but du physicien? Développer dans des semi-conducteurs de nouvelles fonctionnalités optiques et électroniques, qui pourraient révolutionner la fabrication de minuscules lasers moins gourmands en énergie. Le secret des polaritons se cache dans les bizarreries de la physique quantique qui leur permettent d'être à la fois un « grain » de lumière et un « bout » de matière (voir encadré).

Le chercheur travaille avec le nitrure de gallium, un matériau utilisé aujourd'hui pour les

diodes électroluminescentes (LED) blanches ainsi que les lasers bleus développés pour lire les disques Blu-ray (en allant du rouge vers le bleu, les rayons laser deviennent plus précis et permettent d'accumuler davantage d'informations sur les supports optiques). En créant ces étranges polaritons, le chercheur français, arrivé à l'EPFL en 2004, cherche à réaliser un nouveau type de lasers bleus, à la fois miniaturisés (d'une taille comparable à une cellule humaine) et plus efficaces. « Contrairement aux électrons utilisés dans les lasers traditionnels, les polaritons aiment bien être ensemble, explique le scientifique. Cela rend possible la création d'un faisceau laser avec moins de courant électrique. » Le laser à pola-

Grâce au laser à polaritons, la physique quantique pourrait être utile dans l'imagerie médicale.

Photo : Luca Sulmoni, LASPE EPFL

ritons pourra être dix fois plus efficace que les lasers conventionnels.

Des lasers dans le corps humain

« Pour un lecteur Blu-ray, réduire la consommation de courant électrique n'est pas crucial, car le laser en utilise relativement peu comparativement aux autres composants électroniques, poursuit le physicien. Il en va autrement dans le domaine médical, où l'on cherche à produire des dispositifs capables d'embarquer un laser à l'intérieur du corps humain. Il faut alors absolument diminuer la taille, la consommation d'énergie ainsi que les pertes de chaleur susceptibles d'endommager les tissus. De tels appareils pourraient, par exemple, être utilisés pour détecter des cellules cancéreuses repérées par des marqueurs fluorescents. »

Le nouveau laser n'est plus loin. En 2007, le groupe lausannois a déjà réussi à le faire fonctionner à température ambiante, une condition essentielle pour une application courante, en provoquant son démarrage à l'aide d'un autre laser. Reste encore à le générer grâce à un courant électrique. La percée décisive réalisée par l'équipe de Nicolas Grandjean aura été la fabrication de miroirs microscopiques quasiment parfaits, capables de refléter jusqu'à 99,99 pour cent de la lumière, une performance essentielle pour l'émission laser. Ils y sont parvenus en développant un nouvel alliage semi-conducteur.

Mélanger matière et lumière

Les polaritons sont des entités surprenantes, purement quantiques. Ils sont à la fois un grain de lumière (un photon) et un bout de matière. Ce dernier, appelé exciton, est lui-même un couple : une paire électron-« trou ». Dans son état normal, un semi-conducteur conduit mal l'électricité. Pour transmettre du courant, il faut d'abord conférer suffisamment d'énergie à un électron pour qu'il devienne mobile. Il laisse alors derrière lui une trace, un « trou », qui reflète simplement l'absence de l'électron. De la même manière qu'un atome peut émettre de la lumière, l'exciton est susceptible lui aussi d'envoyer des grains de lumière, les photons.

Le secret consiste ensuite à fabriquer autour du semi-conducteur une minuscule cavité composée de deux miroirs parallèles qui réfléchissent la lumière à plus de 99 pour cent. Piégés entre les miroirs, les photons vont se mélanger aux excitons pour former des polaritons. Selon la physique quantique, le bout de matière (l'exciton) et le grain de lumière (le photon) sont mélangés de manière intime et sont impossibles à distinguer. Mi-lumière, mi-matière, il s'agit d'une entité bien définie, manipulable comme une vraie particule.

Des lasers aux interrupteurs

L'alliage développé par l'équipe de Nicolas Grandjean pour les miroirs du laser à polaritons pourrait trouver une application totalement inattendue dans un tout autre domaine : les transistors ultrarapides. En collaboration avec l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich, les physiciens lausannois ont eu recours au même alliage pour fabriquer un transistor à très haute fréquence. En septembre 2010, ils battent un record du monde avec une fréquence d'opération de 205 GHz. « Cette découverte ouvre la porte à la génération d'ondes millimétriques dont l'intérêt est considérable dans l'imagerie médicale, explique Nicolas Grandjean. L'alliage pourrait également s'avérer très utile pour les commutateurs des réseaux électriques à haute puissance, afin de réduire les pertes importantes occasionnées lorsque le courant est enclenché. Avec ce nouvel interrupteur, il serait possible de réduire ces pertes de 20 pour cent. » Une application inattendue de la recherche fondamentale.

Mais les polaritons ne servent pas qu'à fabriquer des lasers. Au contraire de particules usuelles, ces entités manifestent des propriétés quantiques robustes même à température ambiante. Depuis quelques années, les chercheurs les utilisent pour étudier certains systèmes quantiques comme les condensats de Bose-Einstein, un nouvel état de la matière à très basse température prédit en 1924 par Albert Einstein et Satyendra Nath Bose. Sa caractéristique : toutes les particules se trouvent dans le même état quantique et perdent leur individualité, ce qui leur confère d'étonnantes propriétés telles la superfluidité et la superconductivité, à savoir l'absence de toute résistance.

Réussite spectaculaire

Il aura fallu attendre septante ans pour obtenir le premier vrai condensat, réalisé en 1995 à l'aide d'atomes refroidis à 0,0000002 degré au-dessus du zéro absolu (à l'époque, un record de froid). Cette réussite spectaculaire sera récompensée par un prix Nobel six ans plus tard. En 2006, les travaux de Benoît Deveaud-Plédran, de l'EPFL, font la couverture de la revue Nature. Son équipe a créé un condensat de Bose-Einstein à une température cent millions de fois plus élevée (une dizaine de Kelvin), à l'aide de polaritons dans un semi-conducteur. Nicolas Grandjean poursuit ces recherches pour réaliser ce qui serait une première dans l'histoire de la physique : un condensat de Bose-Einstein à température ambiante. Son équipe a déjà obtenu en 2008 les premiers signes d'un condensat. Les mystères quantiques n'ont pas fini d'envahir notre quotidien. ■