



Institut de physique

Actualités scientifiques

Des états photoniques quantiques pour caractériser les propriétés optiques des matériaux

Avril 2018

Grâce à l'exploitation de paires de photons intriqués, des physiciens ont introduit le concept d'interférométrie quantique en lumière blanche et l'appliquent à la caractérisation ultra précise de propriétés optiques des matériaux.

La détection de la phase optique représente l'une des mesures les plus avancées en métrologie classique. Elle a permis, notamment, la détection directe des ondes gravitationnelles. La précision maximale pour la mesure d'une phase relative Φ est donnée par la limite quantique standard, $\delta\Phi \sim 1/\sqrt{N}$, où N représente le nombre de photons utilisés pour la mesure. Du point de vue fondamental, cette limite peut être dépassée en utilisant de la « lumière quantique », par exemple un état dit « *NOON* ». Si l'on considère un interféromètre, l'état *NOON* signifie qu'il y a N photons dans le bras 1, et aucun dans le bras 2, et en même temps aucun photon dans le bras 1 et N photons dans le bras 2. Les deux états $N0$ et $0N$ se superposent de manière cohérente en permanence, d'où le concept de « lumière quantique ». Il est possible de les faire interférer et, dans ce cas, on peut montrer que la sensibilité au changement de phase est multipliée par N , et la précision sur une mesure de phase peut atteindre la limite de Heisenberg, $\delta\Phi \sim 1/N$.

Afin d'atteindre un tel niveau de sensibilité, il convient d'exploiter l'interférométrie quantique en lumière blanche qui, dans sa plus simple expression, nécessite la production d'un état *NOON* à deux photons ($N = 2$) dont la gamme de fréquence est aussi étendue que possible. Les états (20) et (02) forment une figure d'interférence qui est sensible à deux fois la phase relative entre les deux bras de l'interféromètre.

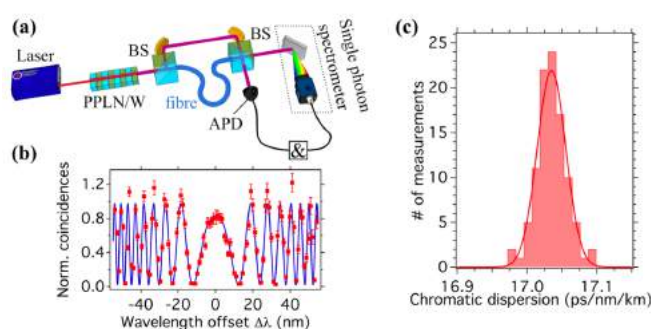
Pour produire un état *NOON* à deux photons, les chercheurs ont utilisé comme source de lumière blanche quantique un laser à 780 nm pompant un cristal non linéaire (cf. figure (a)). Des paires de photons intriqués en énergie-temps

sont produites autour de 1560 nm avec une largeur spectrale de ~ 120 nm. Les photons sont envoyés dans un interféromètre de type Mach-Zehnder fortement déséquilibré. Un bras est entièrement en espace libre (référence) et l'autre contient la fibre à tester. Les paires de photons sont mesurées grâce à un détecteur de photons uniques à une sortie et un spectromètre sensible aux photons uniques dans l'autre sortie. Un spectrogramme typique (une figure d'interférence) est montré en figure (b).

Au-delà du doublement de la sensibilité en phase donnée par l'état *NOON*, l'interférométrie quantique apporte plusieurs avantages importants qui dépassent les capacités de l'interférométrie en lumière blanche standard. Notamment, la version quantique ne nécessite pas que l'interféromètre soit équilibré, permettant ainsi des séries de mesures avec des échantillons (matériaux ou fibres optiques) possédant diverses épaisseurs/longueurs et/ou propriétés optiques. L'exploitation de ces avantages a permis d'effectuer une mesure avec une précision inédite de la dispersion chromatique (dépendance des temps de propagation des diverses composantes spectrales d'une impulsion optique) dans une fibre optique. Sa connaissance est indispensable pour un grand nombre d'applications, comme la fabrication de fibres spéciales pour les lasers dans les domaines de la médecine, des télécoms à très haut débit, de la spectroscopie, etc.

La précision issue de l'analyse statistique est montrée en figure (c), et est obtenue en répétant cette mesure 100 fois sur la même fibre. Ainsi, la dispersion chromatique de la fibre vaut $D = 17,035$ ps/nm.km à 1560 nm, qui est en excellent accord avec les spécifications du fabricant. La précision obtenue est de $\pm 0,021$ ps/nm.km, ce qui est 2,4 fois meilleur que la mesure standard ($\pm 0,054$ ps/nm.km) effectuée en parallèle, selon la même démarche scientifique et en utilisant 60 fois moins de photons en moyenne par rapport aux meilleures réalisations classiques.

Du fait de ces nombreux avantages (haute précision, rapidité de mesure accrue), l'exploitation de paires de photons intriqués devrait avoir des répercussions importantes dans la caractérisation systématique et en temps réel des propriétés optiques de nombreux matériaux.



(a) Dispositif expérimental. Un laser à 780 nm pompe un guide d'onde non-linéaire de niobate de lithium polarisé périodiquement (acronyme anglais, PPLN/W) afin de générer, par conversion paramétrique autour de 1560 nm, des paires de photons intriqués sur les observables temps-énergie. L'étendue spectrale de ces photons (~ 120 nm) permet de qualifier la dispersion chromatique (D) d'une fibre optique standard via un dispositif d'interférométrie quantique en « lumière blanche » en configuration Mach-Zehnder. (b) Figure d'interférence typique obtenue en sortie du dispositif. L'ajustement des franges permet d'obtenir la valeur de la dispersion chromatique D par le biais d'un seul paramètre libre. (c) Valeur moyenne de D et incertitude associée après 100 mesures. © F. Kaiser, INPHYNI (CNRS/Univ. Nice Sophia Antipolis)

En savoir plus

[Quantum enhancement of accuracy and precision in optical interferometry](#)

F. Kaiser, P. Verger, D. Aktas, C. Babin, L. Labonté et S. Tanzilli

Light Science & Applications (2018), doi 10.1038/lsa.2017.163.

Lire l'article sur la base d'archives ouvertes [ArXiv](#)

Contact chercheur

Sébastien Tanzilli, directeur de recherche CNRS

Informations complémentaires

Institut de physique de Nice (INPHYNI, CNRS/Univ. Nice Sophia Antipolis, membre d'Univ. Côte d'Azur)



www.cnrs.fr

Institut de physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp

Illustration du bandeau : © Cyril FRESILLON / Daumet / CNRS Photothèque