

EXERCICES

- Montage et réglage d'un interféromètre de Mach-Zehnder
- Observation d'un motif d'interférence pour une information sur le parcours optique impossible, possible et gommée.

OBJECTIF

Démonstration de la gomme quantique dans le cadre d'une expérience analogique

RESUME

En mécanique quantique, la lumière est, elle aussi, décrite à l'aide de fonctions d'ondes qui permettent de calculer la répartition spatiale de la densité de probabilités en tant que carré de la fonction d'onde. La lumière convient ainsi à la démonstration de phénomènes de mécanique quantique dans le cadre d'expériences analogiques. Pour effectuer la démonstration de ce que l'on appelle la gomme quantique, on effectue le montage d'un interféromètre de Mach-Zehnder dans le cadre d'une expérience analogique et on observe l'interférence des deux sous-faisceaux sur un écran. Si deux polariseurs se trouvent positionnés à la verticale l'un par rapport à l'autre dans la trajectoire des rayons des sous-faisceaux, l'interférence disparaît, étant donné que du point de vue de la mécanique quantique, une information pourrait être obtenue sur le parcours suivi par le photon. Un troisième polariseur placé directement devant l'écran à un angle de 45° permet de supprimer l'information sur ce parcours et d'observer à nouveau l'interférence.

DISPOSITIFS NECESSAIRES

Nombre	Appareil	Référence
1	Interféromètre de Mach-Zehnder	1014617
1	Laser Hélium-Néon	1003165

GENERALITES

En mécanique quantique, la lumière est, elle aussi, décrite à l'aide de fonctions d'ondes qui permettent de calculer la répartition spatiale de la densité de probabilités en tant que carré de la fonction d'onde. La réunion de deux trajectoires de rayons correspond à la superposition de deux fonctions d'ondes. La densité de probabilités contient alors un terme de mélange qui décrit le motif d'interférence. La lumière convient ainsi à la démonstration de phénomènes de mécanique quantique dans le cadre d'expériences analogiques.

2

Un interféromètre de Mach-Zehnder est utilisé dans le cadre d'une expérience analogique pour effectuer la démonstration de la gomme quantique. Un faisceau laser élargi sert de faisceau de lumière cohérente. A l'aide d'un séparateur de faisceaux BS1, il est divisé en deux sous-faisceaux, un polariseur P garantissant une intensité identique dans les deux faisceaux (cf. fig. 1). Les sous-faisceaux suivent ensuite des parcours différents et finissent par se retrouver à nouveau superposés dans un deuxième séparateur de faisceaux BS2.

Ce faisant, les champs électriques E_1 et E_2 des deux sous-faisceaux s'additionnent – du point de vue de l'ondulation classique – pour donner

$$(1) \quad E = E_1 + E_2$$

et – du point de vue de la mécanique quantique – leurs fonctions d'ondes Ψ_1 und Ψ_2 pour donner

$$(2) \quad \Psi = \Psi_1 + \Psi_2$$

On a donc

$$(3) \quad |E|^2 = |E_1|^2 + |E_2|^2 + 2 \cdot E_1 \cdot E_2$$

ou

$$(4) \quad |\Psi|^2 = |\Psi_1|^2 + |\Psi_2|^2 + 2 \cdot \langle \Psi_1 | \Psi_2 \rangle,$$

le terme de mélange en (3) et (4) décrivant respectivement le motif d'interférence qui peut être observé sur un écran. L'équation n°4 décrit le comportement d'un photon individuel. Il interfère avec lui-même aussi longtemps que l'on n'observe pas ou qu'il ne serait pas possible d'observer « quel parcours il suit » à l'aide d'un processus de mesure. Dans ce contexte, on dit que le photon « se comporte comme une onde en l'absence d'une information sur son parcours » et affiche une interférence. En présence d'une information disponible sur son parcours, le photon se « comporte » néanmoins comme une particule classique et aucune interférence n'est possible.

Deux polariseurs supplémentaires P1 et P2 situés dans les sous-faisceaux 1 et 2 influencent le motif d'interférence. Si les polariseurs sont dirigés à la verticale l'un vers l'autre, dans la description classique (3) le produit scalaire ou dans la description fournie par la mécanique quantique (4) le terme d'interférence $\langle \Psi_1 | \Psi_2 \rangle$ disparaît et avec eux le motif d'interférence. Tel est le cas du point de vue de la mécanique quantique parce que la polarisation permet de constater clairement si le photon suit le parcours 1 ou le parcours 2.

Si on positionne un troisième polariseur A réglé à un angle de 45° derrière le deuxième séparateur de faisceaux, le motif d'interférence réapparaît. Du point de vue de la mécanique quantique, ceci est vérifié parce que le polariseur A « gomme » l'information sur le parcours, c.-à-d. que derrière le polariseur A, il n'est plus possible de décider quel parcours le photon a choisi. Dans l'interprétation classique de l'ondulation de la lumière, le troisième polariseur fait en sorte que les sous-faisceaux polarisés soient affaiblis tout en retrouvant la même polarisation.

EVALUATION

Sans les deux polariseurs P1 et P2, une information sur le parcours optique n'est pas disponible ; une interférence apparaît.

L'utilisation des deux polariseurs permet d'obtenir une information sur le parcours optique ; il n'y a pas d'interférence.

Le troisième polariseur A gomme l'information sur le parcours optique ; l'interférence réapparaît.

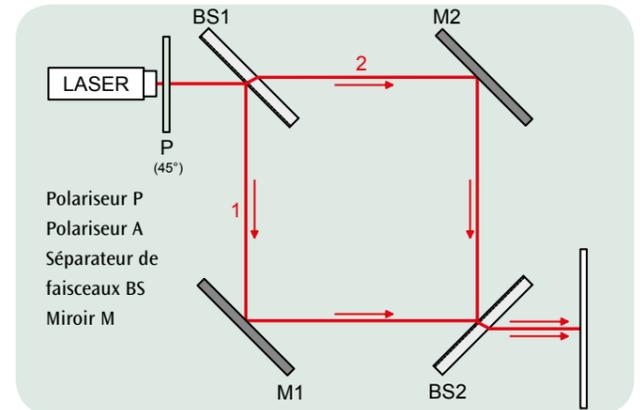


Fig. 1 Trajectoires de rayons dans l'interféromètre de Mach-Zehnder (sans information sur le parcours optique)

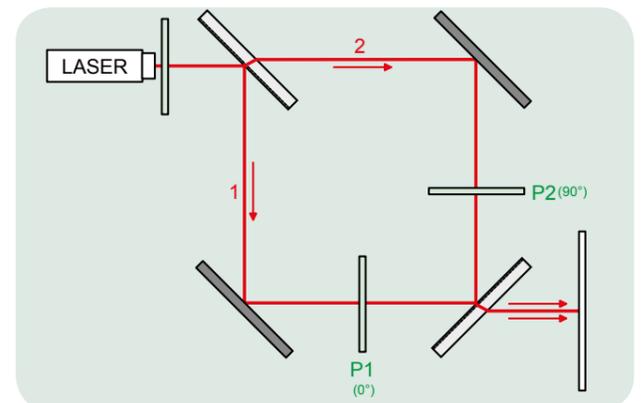


Fig. 2 Trajectoires de rayons dans l'interféromètre de Mach-Zehnder (avec les polariseurs P1 et P2 dans les sous-faisceaux pour obtenir l'information sur le parcours optique)

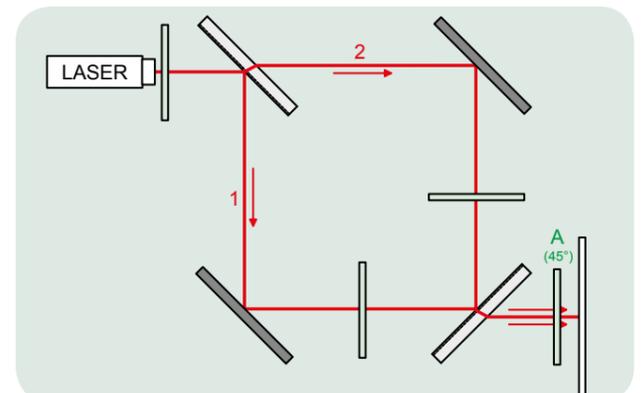


Fig. 3 Trajectoires de rayons dans l'interféromètre de Mach-Zehnder (avec le polariseur A pour supprimer l'information sur le parcours optique)