

Mesure de la Biréfringence Magnétique du Vide quantique : un test de la QED

Paul Berceau^{1,*}, Rémy Battesti¹, Mathilde Fouché^{1,2} et Carlo Rizzo^{1,2}

1. Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, CNRS / INSA / Université Joseph Fourier / Université Paul Sabatier - Toulouse

2. Laboratoire Collisions Agrégats et Réactivité, CNRS / Université Paul Sabatier - Toulouse

* paul.berceau@lncmi.cnrs.fr

Dans le vide, en présence d'un champ magnétique transverse, la vitesse de propagation de la lumière dépend de sa polarisation : le champ magnétique induit dans le vide une biréfringence. Une onde polarisée linéairement traversant un milieu où règne un champ magnétique B perpendiculaire à sa direction de propagation acquiert alors une ellipticité : $\Psi = \pi \Delta n B^2 L / \lambda$ où λ est la longueur d'onde de la lumière, Δn est la différence entre les indices de réfraction dans le vide de la lumière polarisée parallèlement et perpendiculairement par rapport au champ magnétique, et L est la longueur du trajet dans la région magnétisée.

La valeur de Δn a été calculée au cours des années 70 [1] en partant du lagrangien de Heisenberg établi en 1935 [2] pour décrire l'interaction photon – photon dans le cadre de la théorie de l'électrodynamique quantique (QED) basée sur le modèle du vide de Dirac. La mesure de cette valeur : $\Delta n = 4.03 \times 10^{-24} B(T)^2$ est un véritable challenge.

Notre dispositif expérimental s'articule autour d'un ellipsomètre de grande précision (détaillé en référence [3]). Un faisceau laser (Nd:Yag) polarisé linéairement est injecté dans une cavité Fabry-Perot de 2,3 m de longueur et de finesse 500 000 (à ce jour la plus étroite en fréquence au monde). Cette cavité est utilisée pour augmenter le trajet optique de la lumière dans la région du champ magnétique. La fréquence du laser est asservie sur la résonance de l'interféromètre grâce à la méthode de Pound – Drever – Hall. De plus, on constate dans l'expression de l'ellipticité ci-dessus qu'un des paramètres critiques est le facteur $B^2 L$, notre choix a été d'atteindre une valeur de $B^2 L$ approchant les 500 T²m avec B aussi grand que possible et L aussi petit que possible pour mettre en place une expérience sur une seule table optique. La production de champs magnétiques transverses pulsés très intenses est assurée par le LNCMI de Toulouse.

Notre mesure de biréfringence est réalisée via une mesure d'ellipticité. Pour cela on analyse le faisceau transmis par la cavité : on mesure simultanément l'intensité lumineuse correspondant à la lumière polarisée parallèlement (ordinaire : I_o) et perpendiculairement (extraordinaire : I_e) par rapport à la lumière incidente. En corrélant l'évolution temporelle de l'ellipticité au carré du champ magnétique pulsé, nous pouvons déduire la biréfringence du milieu. Nous avons mesuré l'effet Cotton-Mouton de différents gaz dont celui de l'hélium qui est le plus petit effet que l'on trouve dans la nature (excepté celui du vide) :

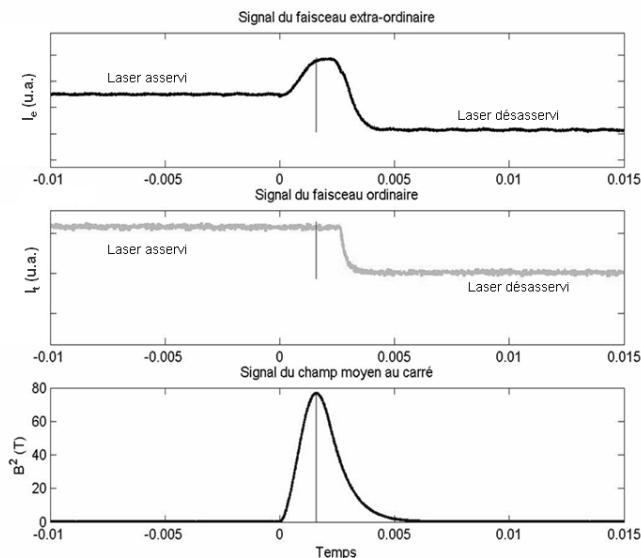


Fig. 1: Mesure de l'effet Cotton-Mouton de l'hélium : analyse des polarisations transmises et corrélation temporelle de l'ellipticité avec le champ magnétique pulsé.

Notre valeur préliminaire de la biréfringence induite Δn pour 1 tesla et pour 1 atmosphère d'hélium vaut $\Delta n = (2.1 \pm 0.4) \times 10^{-16}$. Elle corrobore les prédictions théoriques et les 3 autres valeurs expérimentales publiées à ce jour [4]. De plus, ceci nous permet de calibrer notre ellipsomètre.

Nous avons également effectué des mesures dans le vide, qui donnent pour l'instant des valeurs compatibles avec zéro, à l'incertitude des mesures près.

Le système de détection est en cours d'amélioration. Nous projetons d'effectuer des tirs dans le vide avec des bobines pulsées de 30 T déjà testées et une cavité de finesse dépassant les 600 000. Nous espérons dans les prochaines années atteindre notre but ultime : la mesure de la biréfringence magnétique du vide.

Références

- [1] Z. Bialynicka-Birula and I. Bialynicki-Birula, *Phys. Rev. D*, vol. 2, pp. 2341 1970.
- [2] W. Heisenberg and H. Euler, *Z. Phys.*, vol. 38, pp. 714, 1936.
- [3] R. Battesti et al., *Eur. Phys. J. D*, vol. 46, pp. 323, 2008.
- [4] R. Cameron et al., *Phys. Lett. A*, vol. 157, pp. 125, 1991; K. Muroo et al., *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 20, pp. 2249, 2003; M. Bregant et al., *Chem. Phys. Lett.*, vol. 471, pp. 322, 2009.

Je souhaite concourir au prix « présentation orale » et je déclare être un doctorant n'ayant pas encore soutenu ma thèse.