



Universidade: presente!



XXXI SIC

21. 25. OUTUBRO • CAMPUS DO VALE

Amplificação da medida de deflexão de um feixe por medida fraca

Autor: Érico Motter Braun
Orientador: Ricardo Rego Bordalo Correia

1. Resumo

O conceito da *medida fraca* de um observável quântico foi proposto em 1988 por Aharonov, Albert e Vaidman [1]. Basicamente, ele é uma espécie de medida seletiva de um sistema quântico, onde a pós-seleção é realizada sobre o próprio sistema. Escolhendo que os estados pré e pós-selecionados sejam *quase* ortogonais faz com que a medida fraca de um observável exceda o intervalo de autovalores desse observável [1, 2]. Essa é propriedade explorada nesse trabalho.

O experimento montado, um interferômetro Sagnac, serve para exemplificar essa propriedade de amplificação da medida. No presente momento, com essa montagem é possível medir deflexões angulares entre 4 e 1 μrad . Medidas de centenas de frad com essa montagem podem ser encontradas na literatura [3].

Por fim, é proposta a utilização dessa técnica para aprimorar a precisão em medidas do índice de refração não-linear.

2. Teoria

Considere o interferômetro Sagnac esquematizado na figura 1a. Como o fóton não pode se dividir em 2 no divisor de feixes (BS), ele pode percorrer o interferômetro no sentido anti-horário (estado $|-\rangle$) ou no sentido horário (estado $|+\rangle$). Devido à combinação da placa de meia onda (HWP) e do compensador Babinet-Soleil (BSC), o estado pré-selecionado do caminho do fóton possui uma fase ajustável ϕ :

$$|i\rangle = (e^{i\phi/2}|+\rangle + e^{-i\phi/2}|-\rangle)/\sqrt{2}$$

Já o estado transversal é descrito por uma gaussiana de largura σ , no caso $\exp(-x^2/4\sigma^2)$, onde x é a posição transversal à propagação.

Quando uma d.d.p. é aplicada ao piezo o espelho gira por um pequeno ângulo θ , dando ao fóton refletido um pequeno momento na direção transversal de $\pm\hbar k$. Como o sentido do momento dado pelo espelho depende do caminho que o fóton tomou, a reflexão é modelada pelo operador evolução unitária

$$U = \exp(ikxW) \approx 1 + ikxW \quad (kx \ll 1)$$

Com W o operador "qual caminho": $W = |+\rangle\langle+| - |-\rangle\langle-|$.

Por fim, o fóton que interagiu com o espelho é pós-selecionado na detecção para o estado

$$|f\rangle = (|+\rangle - |-\rangle)/\sqrt{2}$$

o que resulta em um valor fraco de W de

$$\langle W \rangle_w = \langle f|W|i\rangle / \langle f|i\rangle \approx -2i/\phi \quad (\phi \ll 1)$$

E essa pós-seleção resulta em um deslocamento do estado transversal:

$$\langle f|U|i\rangle \exp(-x^2/4\sigma^2) \approx \langle f|i\rangle \exp\left[-x^2/4\sigma^2 + ikx\langle W \rangle_w\right] \\ \propto \langle f|i\rangle \exp\left[-\frac{1}{4\sigma^2} \left(x + 4k\sigma^2/\phi\right)^2\right]$$

3. Experimento

A figura abaixo mostra um esquema do interferômetro Sagnac montado em laboratório. Nele um feixe de laser com $\lambda = 632,8$ nm incide sobre o BS 50:50, percorre o interferômetro em dois sentidos (horário e anti-horário) e depois é detectado (usando uma CMOS) na saída onde ocorre interferência destrutiva. A HWP gira a polarização em 90° do feixe anti-horário antes dele atravessar o BSC, enquanto que o horário primeiro atravessa o BSC e depois tem sua polarização girada. Como o BSC é composto de duas cunhas birrefringentes de distância variável, essa assimetria na polarização ao passar pelo BSC causa a diferença de fase variável ϕ .

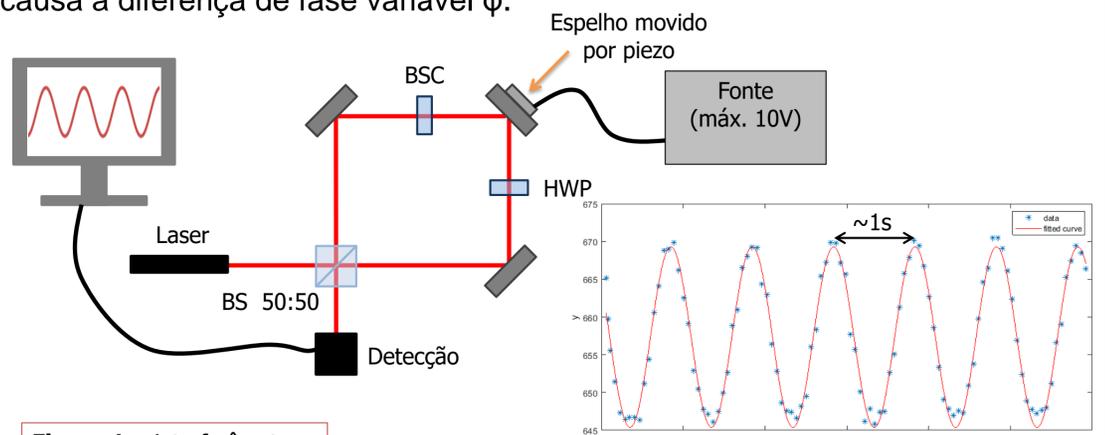


Figura 1a: interferômetro Sagnac

Figura 1b: sinal medido na CMOS.

O piezo é alimentado por uma fonte senoidal de amplitude máx. 10V e frequência 1Hz. A resposta do piezo é se mover $15 \mu\text{m}/1000$ V, o que faz o ângulo que o espelho gira ser proporcional à tensão aplicada. Quando ϕ assume um valor diferente de zero, um pequeno ponto luminoso é detectado na CMOS oscilando com frequência 1Hz. O deslocamento desse ponto é acompanhado por uma rotina em MATLAB (fig. 1b), permitindo medir o momento transversal do feixe e o ângulo máx. do espelho.

5. Resultados e perspectivas

Com essa montagem foi possível medir uma deflexão de $1.7 \mu\text{rad}$ para uma amplitude de 10V, enquanto que o valor calculado a partir das características do piezo é de $3.7 \mu\text{rad}$. Acreditamos que conseguiremos medir deflexões de 10^{-10} rad substituindo a CMOS por um detector de quadrante acoplado a um amplificador lock-in.

Uma aplicação direta da medida fraca é na técnica de desvio de feixe. Nela, um feixe de alta intensidade incide sobre uma amostra, alterando o índice de refração n . Um segundo feixe ao passar pela amostra é defletido devido à mudança de n , e a medida fraca pode ser usada para amplificar a deflexão desse feixe, tornando a medida de n mais precisa.

Referências

- [1] Aharonov, Y.; Albert, D.Z.; Vaidman, L. *How the result of a measurement of a component of the spin of a spin $\frac{1}{2}$ particle can turn out to be 100*. **Physical Review Letters**, v. 60, n. 14, 4 abr. 1988.
- [2] Dressel, J. et al. *Colloquium: understanding quantum weak values*. **Reviews of Modern Physics**, v. 86, n. 1, 28 mar. 2014.
- [3] Dixon, P.B. et al. *Ultrasensitive beam deflection measurement through weak value amplification*. **Physical Review Letters**, v. 102, n. 17, 27 abr. 2009.