

TAREFAS

- Montagem e ajuste de um interferômetro de Mach-Zehnder.
- Observação do padrão de interferência com informação de caminho impossível, possível e apagada.

OBJETIVO

Representação visual do apagador quântico em experiência de analogia

RESUMO

Na mecânica quântica, a luz também é descrita com auxílio de funções de ondas, das quais se pode calcular a distribuição espacial da espessura provável como o quadrado do calor absoluto da função de onda. A luz é, portanto, adequada para a representação visual de fenômenos da mecânica quântica em experiências de analogia. Para a representação visual do chamado apagador quântico, é montado, em uma experiência de analogia, um interferômetro de Mach-Zehnder e a interferência de ambos os feixes parciais é observada em uma tela. Se dois polarizadores perpendiculares um ao outro se encontrarem nos caminhos dos feixes parciais, a interferência desaparecerá, pois, observando-se sob a ótica da mecânica quântica, uma informação poderá ser obtida sobre que caminho o fóton trilhou. Com um terceiro polarizador ajustado a 45° imediatamente à frente da tela, pode-se apagar esta informação sobre o caminho e seguir observando a interferência.

APARELHOS NECESSÁRIOS

| Número | Instrumentos                   | Artigo Nº |
|--------|--------------------------------|-----------|
| 1      | Interferômetro de Mach-Zehnder | U10353    |
| 1      | Laser de He-Ne                 | U21840    |

FUNDAMENTOS GERAIS

Na mecânica quântica, a luz também é descrita com auxílio de funções de ondas, das quais se pode calcular a distribuição espacial da espessura provável como o quadrado do calor absoluto da função de onda. A junção de dois caminhos de feixe corresponde a uma sobreposição de duas funções de onda. A espessura provável contém então um termo misto, que descreve o padrão da interferência. A luz é, portanto, adequada para a representação visual de fenômenos da mecânica quântica em experiências de analogia.



Para a representação visual do apagador quântico, um interferômetro de Mach-Zehnder é montado em experiência de analogia. Como feixe de luz coerente, é empregado o feixe ampliado de um laser. Com o auxílio de um divisor de feixes BS1, ele é dividido em dois feixes parciais, onde um polarizador P garante a mesma intensidade em ambos os feixes parciais (vide Fig. 1). Em seguida, os feixes percorrem caminhos diferentes e são finalmente trazidos de volta à sobreposição com um segundo divisor de feixes BS2. Nisto – observado na figura clássica de onda – os campos elétricos  $E_1$  e  $E_2$  de ambos os feixes parciais se somam

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

e – observando sob a ótica da mecânica quântica – suas funções de ondas  $\Psi_1$  e  $\Psi_2$  se somam

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

Portanto, vale

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

ou

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

onde o termo misto em (3) e (4) descreve respectivamente o padrão de interferência observado em uma tela. A equação 4 descreve o comportamento de um único fóton. Ele interfere consigo mesmo, enquanto não for observado ou puder ser observado por um processo de medição, “que caminho ele percorre”. Diz-se, neste contexto, que o fóton se “comporta com uma onda em caso de indisponibilidade de informação de caminho” e que mostra interferência. Em caso de disponibilidade de informação de caminho, entretanto o fóton se “comporta” como uma partícula clássica e não é possível qualquer interferência.

Através de dois polarizadores adicionais, P1 e P2 nos feixes parciais 1 e 2, o padrão de interferência é influenciado. Em caso de ajuste perpendicular dos polarizadores, desaparece o produto escalar  $E_1 \cdot E_2$  na descrição clássica (3) ou o termo de interferência  $\langle \Psi_1 | \Psi_2 \rangle$  na descrição da mecânica quântica (4) e também o padrão de interferência. Este último é o caso, sob a ótica da mecânica quântica, porque pode ser estabelecido sem sombra de dúvida, por conta da polarização, se o fóton percorreu o caminho 1 ou o caminho 2.

Se, entretanto, um terceiro polarizador A, ajustado a 45° e colocado em posição atrás do segundo divisor de feixes, o padrão de interferência volta a aparecer. Observado sob a ótica da mecânica quântica, isto ocorre porque o polarizador A “apaga” a informação do caminho, ou seja, porque atrás do polarizador A não é mais possível decidir que caminho o fóton percorreu. Na figura clássica de onda da luz, o terceiro polarizador garante que os feixes parciais polarizados sejam enfraquecidos, mas que tenham novamente a mesma polarização.

ANÁLISE

Sem os dois polarizadores P1 e P2, não há informação do caminho; a interferência surge.

Após colocação dos dois polarizadores, pode-se obter uma informação sobre o caminho; a interferência não surge.

O terceiro polarizador A apaga a informação do caminho; a interferência volta a surgir.

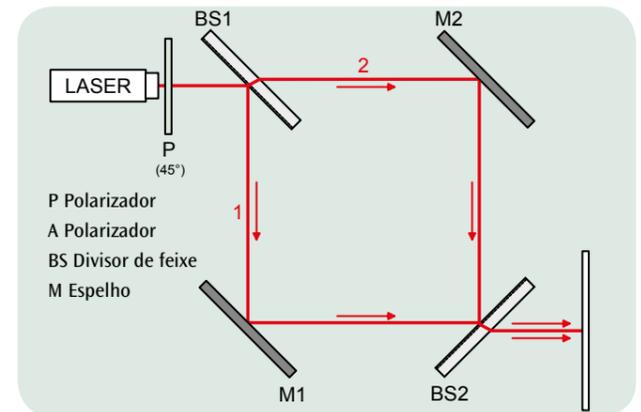


Fig. 1: Percurso do feixe no interferômetro de Mach-Zehnder (sem informação de caminho)

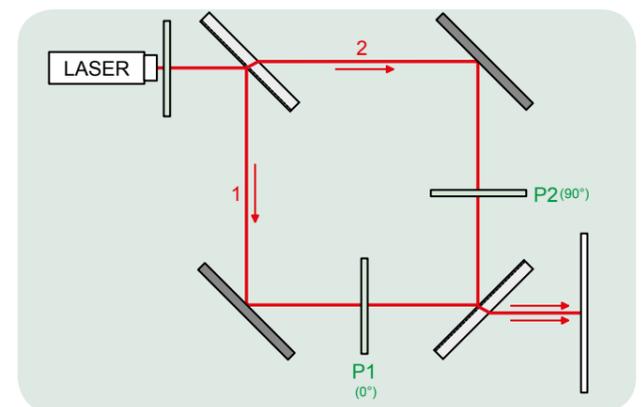


Fig. 2: Percurso do feixe no interferômetro de Mach-Zehnder (com polarizadores P1 e P2 nos feixes parciais para obtenção da informação do caminho)

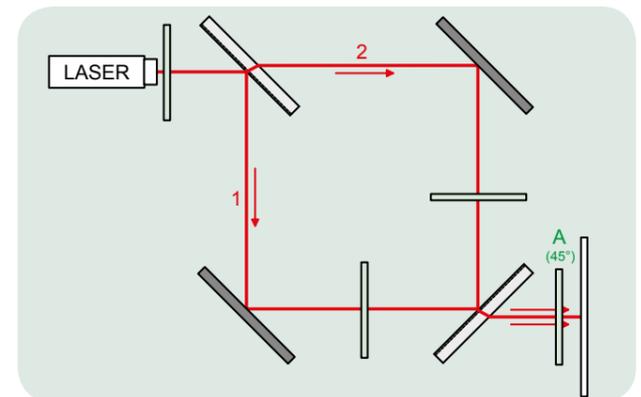


Fig. 3: Percurso do feixe no interferômetro de Mach-Zehnder (com polarizador A para remoção da informação do caminho)