

Limite quântico para medida de força clássica sondada por um oscilador quântico ruidoso.

Tese de doutorado de Camille Lombard

Orientador: Luiz Davidovich

Resumo da tese:

O objetivo desse trabalho é estimar uma força clássica via um oscilador em contato com um reservatório térmico, tema de grande importância para a física de sistemas optomecânicos e para diversas aplicações tecnológicas e fundamentais, envolvendo a medida de pequenos deslocamentos e forças muito fracas, que ocorrem por exemplo em detetores de ondas gravitacionais. A precisão alcançada em experimentos recentes, bem como a necessidade de precisão ainda maior, levam a usar sondas cujas dinâmicas são determinadas pela mecânica quântica. Por isso mesmo, torna-se importante considerar a versão quântica da teoria de estimação de parâmetros.

As principais novidades em relação à teoria clássica são a indistinguibilidade de estados quânticos correspondentes a diferentes valores do parâmetro a ser estimado, e o retorno de ação (“back-action”), que levam a uma teoria mais complexa e mais rica, chamada de metrologia quântica. A noção central dessa teoria é a informação quântica de Fisher, que caracteriza a quantidade de informação sobre o parâmetro que pode ser extraída a cada medida da sonda. A informação quântica de Fisher determina o limite quântico de precisão de estimação. Apesar das dificuldades ligadas à indistinguibilidade e ao retorno de ação, é possível encontrar protocolos quânticos mais eficientes do que qualquer outro protocolo que use apenas recursos clássicos.

No entanto, a presença inevitável de ruído afeta drasticamente as propriedades quânticas e conseqüentemente reduz a precisão da medida. Esse trabalho leva em conta a presença de ruído (Markoviano) e, para o sistema considerado, as questões relativas ao limite quântico em presença de ruído, ao melhor estado da sonda para a estimação da força, e ao melhor protocolo de medida, são, entre outros pontos, resolvidas exatamente, de forma analítica.

Achar uma expressão analítica da informação quântica de Fisher em presença de ruído é um dos problemas resolvidos neste trabalho. Para uma evolução unitária, há expressões gerais e analíticas para a informação quântica de Fisher. Porém, em presença de ruído, a evolução não é mais unitária, e torna-se muito difícil achar uma expressão analítica. O método adotado é purificar a evolução ruidosa não unitária, para assim poder aplicar os resultados já conhecidos para evoluções unitárias. Assim obtêm-se um limite superior para a informação quântica de Fisher, que provamos ser atingível para o sistema considerado, permitindo assim encontrar, nesta situação de estimação de força, uma expressão analítica da informação quântica de Fisher. Essa expressão, além de fornecer o limite quântico de precisão, mostra a transição entre o uso de recurso quântico e o uso de recurso clássico, permitindo acompanhar a variação da precisão com a intensidade do ruído, do assim chamado limite de Heisenberg para o limite padrão.

Este trabalho supões que a modulação temporal da força é conhecida previamente, estimando-se então a amplitude dessas modulações. Os resultados e as expressões são válidos para qualquer modulação temporal. Considera-se a influência de algumas incertezas ligadas à preparação do estado inicial da sonda e a medidas não ideais. Finalmente, a influência do tempo de interação entre a sonda e a força é analisada. A conclusão é que para uma força que se aplica por um tempo muito maior que a escala de tempo de amortecimento do oscilador, uma medida sequencial permite alcançar uma precisão melhor, que coincide, no limite assintótico de alta energia do estado inicial da sonda, com a precisão encontrada para medidas contínuas por outros autores. Enfim, aplicações para experimentos atuais de íons em armadilha e de sistemas opto-mecânicos são consideradas.