
Resfriamento atômico com laser abaixo do limite Doppler

BEZERRA, Carlos Henrique de Alencar

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Goiânia.

LIMA, Rodrigo Alves

Instituto Federal de Goiás, Goiânia.

O presente trabalho investigou o fenômeno do resfriamento a laser de átomos neutros, com ênfase na compreensão dos mecanismos que permitem atingir temperaturas abaixo do limite Doppler e na análise da força de resfriamento derivada das equações de Bloch ópticas. A justificativa da pesquisa está na importância fundamental que técnicas de resfriamento e aprisionamento atômico desempenham no avanço da óptica quântica, da metrologia de alta precisão e da informação quântica, possibilitando aplicações como relógios atômicos, simulações quânticas, condensados de Bose-Einstein e investigações de moléculas frias e antimatéria. O objetivo central consistiu em deduzir, de forma detalhada, a força média exercida sobre átomos por feixes de laser contrapropagantes em regime de dessintonia negativa, evidenciando a natureza viscosa dessa interação e estabelecendo condições para a redução efetiva da energia cinética do sistema. A metodologia adotada baseou-se em revisão teórica fundamentada nos modelos de dois níveis e nas equações de Bloch ópticas, aplicadas ao contexto de átomos interagindo com campos coerentes. Desenvolveu-se a dedução da força de pressão de radiação e, em seguida, sua expansão no regime de baixas velocidades, resultando na expressão da força de resfriamento proporcional à velocidade atômica, o que caracteriza um efeito de atrito luminoso. Também foi analisado o papel dos deslocamentos de energia (light shifts), a partir da diagonalização do Hamiltoniano no regime de aproximação da onda girante, evidenciando como os estados vestidos explicam as autoenergias deslocadas

pela interação com o campo. Os resultados confirmaram que, para intensidades moderadas e dessintonia negativa, a força de resfriamento é semelhante a força viscosa, com coeficiente de atrito dependente da frequência de Rabi, da largura natural da transição e da dessintonia. A análise mostrou a validade da aproximação em baixas velocidades e a compatibilidade dos resultados com a definição do limite Doppler, temperatura mínima associada ao equilíbrio entre resfriamento e aquecimento por emissão espontânea. A principal conclusão é que o resfriamento a laser fornece um mecanismo robusto para o controle dinâmico do movimento atômico, estabelecendo as bases para técnicas mais avançadas, como o resfriamento sub-Doppler e a implementação de malhas ópticas, fundamentais para o desenvolvimento contemporâneo da física quântica experimental. Além disso, o trabalho reforça a relevância do tema para a formação científica, permitindo que estudantes compreendam os fundamentos que sustentam conquistas laureadas com o Prêmio Nobel e aplicações em tecnologias emergentes.

Palavras-chave

Resfriamento a laser; Óptica quântica; Limite Doppler; Estados vestidos; Informação quântica.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal de Goiás (PIBIC Edital nº 12/2024 PROPPG).