

Título em Português: Sistema de imagem versátil para experimentos com gases ultrafrios

Título em Inglês: A versatile imaging system for ultracold atom experiments

Autor: Gabriel Maciel Novaes

Instituição: Universidade de São Paulo

Unidade: Instituto de Física de São Carlos

Orientador: Patricia Christina Marques Castilho

Área de Pesquisa /
SubÁrea: Física Atômica e Molecular

Agência Financiadora: CNPq - PIBIC

Sistema de imagem versátil para experimentos com gases ultrafrios

Gabriel M. Novaes

Patrícia C. M. Castilho

Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos

gabrielmaciel@usp.br

Objetivos

Esse projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de imagem versátil para estudos de gases frios, imagens as quais serão utilizadas para determinar diversos aspectos observáveis do gás como superfluidez, temperatura e densidade de átomos [1]. O projeto consiste desde a elaboração do sistema de imagem até a instalação no experimento e teste do mesmo. Por fim, esse sistema será instalado no experimento de Condensado de Bose-Einstein (BECs) [1] de potássio-39 e será responsável por realizar as imagens de todas as etapas da nuvem, assim é necessário que o sistema tenha foco variável para capturar as imagens necessárias em alta resolução. O conjunto que será montado é constituído de um sistema óptico de 3 lentes, mais barato e prático que as outras opções cogitadas, em que a lente central é móvel, permitindo que o foco do sistema varie conforme necessário.

Métodos e Procedimentos

O método de imagem que foi utilizado foi de absorção [2], no qual consiste em incidir um feixe de laser nos átomos qual frequência igual a de sua transição de fase [1], assim ocorrendo uma absorção dos fótons e gerando uma sombra, a qual a imagem será capturada por uma câmera CCD e analisada posteriormente. Devido a absorção dos fótons, não tem mais como usar a mesma nuvem para outras medições, caracterizando assim um método de

imagem destrutivo. No contexto do experimento desenvolvido, não é um problema devido ao alto grau de controle dos parâmetros do BEC. A partir da imagem obtida, é possível calcular densidade de átomos, temperatura e magnificação da imagem. A densidade de átomos é calculada a partir de uma relação entre a seção de choque (σ), a intensidade dos átomos anterior (I_0) e posterior (I) a pela nuvem atômica, representado pela seguinte fórmula, a qual advém da Lei de Beer-Lambert [1]:

$$p(x, y) = \frac{-1}{\sigma} \ln \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

Para que o bolsista pudesse se familiarizar com a montagem de um sistema óptico, foi feito um teste de magnificação utilizando um sistema de 2 lentes e uma câmera CCD. Para avaliar a magnificação do sistema, é necessário fazer a razão entre o foco das lentes:

$$M = \frac{f_2}{f_1} \quad (2)$$

O ideal é que a magnificação possa variar entre 0.5 e 2, mas o caso testado foi apenas o fator de 2, envolvendo os pares de lentes com foco 75mm e 150mm. Para verificar se a magnificação está condizente com a realidade, usamos o ImageJ para analisar os pixels da imagem ampliada e, sabendo a resolução da câmera utilizada, é possível determinar o valor

de pixels da imagem original e realizar a comparação através da razão entre esses valores.

Resultados

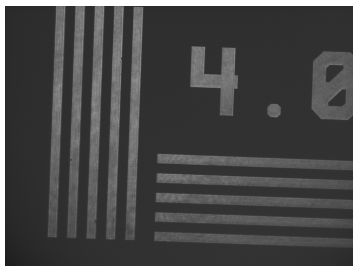


Figura 1: Imagem do alvo usado no teste, envolvendo o conjunto de lentes de 75/150mm

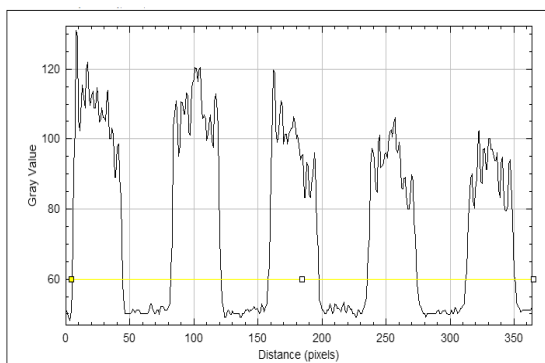


Figura 2: Gráfico da absorção de luz no alvo.
Legenda: Eixo X(Distância em pixels) e Eixo Y(Intensidade)

Usando como teste um alvo de resolução da Thorlabs, a imagem obtida em 1 foi analisada no ImageJ. O foco da análise são as faixas brancas, onde ocorre absorção luminosa. Analisando o gráfico do espectro, presente na figura 2, é possível usar a linha amarela de suporte como referência para contar os pixels da imagem ampliada. Sabendo que o valor de referência é de 21 pixels e os valores obtidos foi de 39.8 pixels, a razão entre esses valores é de 1.9, com uma diferença de 5% do valor esperado.

Conclusões

Com base nos resultados obtidos, é plausível concluir que o aluno obteve um resultado satisfatório envolvendo a magnificação de um sistema óptico, com diferença de apenas 5% do valor teórico. Assim, o aluno poderá desenvolver futuramente o sistema óptico mais avançado que será implementado.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à minha orientadora Patricia C. M. Castilho pelo suporte durante todo o período de iniciação, desde orientação na confecção de relatórios até adaptação às práticas e rotinas desenvolvidas em um ambiente de laboratório. Também gostaria de agradecer aos outros bolsistas presentes no experimento, com destaque a Pedro H. C. Cook, os quais me auxiliaram em todas as etapas da iniciação e no desenvolvimento do experimento.

Referências

- [1] Ketterle, W. et al. Making, probing and understanding Bose-Einstein condensates. Amsterdam: IOS Press (1999).
- [2] Szczepkowski, J et al. "Analysis and calibration of absorptive images of Bose-Einstein condensate at nonzero temperatures." The Review of scientific instruments vol. 80,5 (2009): 053103. doi:10.1063/1.3125051.

A Versatile imaging system for ultracold atom experiments

Gabriel M. Novaes

Patrícia C. M. Castilho

Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos

gabrielmaciel@usp.br

Objectives

The goal of this project is to develop a versatile imaging system for studying cold atoms, images which will be used to determine various observable aspects of the gas such as superfluidity, temperature and atom density [1]. The project covers the design of the imaging system to its installation in the experiment and its testing. Finally, this system will be installed in the potassium-39 Bose-Einstein Condensate (BEC) experiment [1] and will be responsible for capturing the images of all the stages of the cloud, so it is necessary for the system to have a variable focus in order to capture the necessary high-resolution images. The set that will be assembled consists of a 3-lens optical system, which is cheaper and more practical than the other options considered, in which the central lens is movable, allowing the system's focus to vary as required.

Materials and Methods

The imaging method used was by absorption [2], which consists of shining a laser beam on atoms with a frequency equal to their phase transition [1], thus absorbing the photons and generating a shadow, which will be captured by a CCD camera and analyzed later. Due to the absorption of the photons, it is no longer possible to use the same cloud for further measurements, thus characterizing a destructive imaging method. In the context of the conducted experiment, this is not a problem

due to the high degree of control over the BEC's parameters.

From the resulting image, it is possible to calculate atom density, temperature and image magnification. The density of atoms is calculated from a relationship between the cross section (σ), the intensity of the atoms before (I_0) and after (I) the atomic cloud, represented by the following formula, which comes from the Beer-Lambert Law[1]:

$$p(x, y) = \frac{-1}{\sigma} \ln \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

Striving to familiarize the student with setting up an optical system, a magnification test was carried out using a 2-lens system and a CCD camera. In order to measure the magnification of the system, the ratio between the focus of the lenses had to be calculated:

$$M = \frac{f_2}{f_1} \quad (2)$$

Ideally, the magnification should range between 0.5 and 2, but the case tested was only a factor of 2, involving the 75mm and 150mm focus lens pairs. To verify that the magnification is consistent with reality, we used ImageJ to analyze the pixels of the enlarged image and, knowing the resolution of the camera used, it is possible to specify the pixel value of the original image and make the comparison using the ratio between these values.

Results

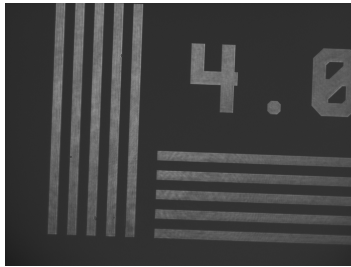


Figure 1: Image of the target used in the test, involving the 75/150mm lens pair

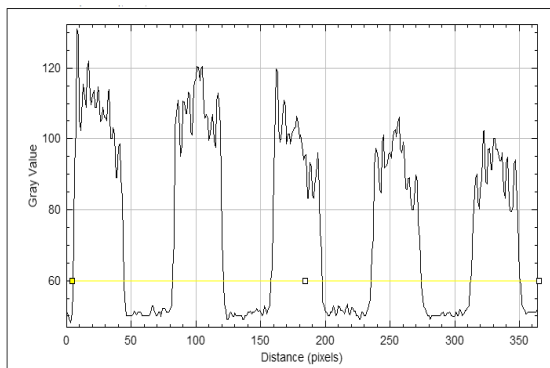


Figure 2: Graph of light absorption in the target.
Caption: X-axis (Distance in pixels) and Y-axis (Intensity)

Using a Thorlabs resolution target as a test, the image obtained in 1 was analyzed in ImageJ. The emphasis of the analysis is on the white bands, where light absorption occurs. By analyzing the spectrum graph shown in the second figure, it is possible to use the yellow support line as a reference to count the pixels of the enlarged image. Knowing that the reference value is 21 pixels and the values obtained were 39.8 pixels, the ratio between these values is 1.9, with a difference of 5% from the expected value.

Conclusions

Based on the results obtained, it is plausible to conclude that the student obtained a satisfactory result involving the magnification of an optical system, with a difference of only 5% from the theoretical value. The student will thus be able to develop the more advanced optical system that will be implemented in the future.

Acknowledgements

I would like to thank my supervisor, Patricia C. M. Castilho, for her support throughout my internship, from guiding me through the preparation of reports to helping me adapt to the practices and routines developed in a laboratory environment. I would also like to thank the other researchers who were involved in the experiment, especially Pedro H. C. Cook, who helped me through all the stages of the internship and the development of the experiment.

References

- [1] Ketterle, W. et al. Making, probing and understanding Bose-Einstein condensates. Amsterdam: IOS Press (1999).
- [2] Szczepkowski, J et al. "Analysis and calibration of absorptive images of Bose-Einstein condensate at nonzero temperatures." The Review of scientific instruments vol. 80,5 (2009): 053103. doi:10.1063/1.3125051.