

**Título em Português:** Armadilha bidimensional arbitrária para gases atômicos degenerados

**Título em Inglês:** Two-dimensional trap for degenerate quantum gases

**Autor:** Matheus Poli Chiarelli

**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

## Armadilha bidimensional para gases atômicos degenerados

Matheus Poli Chiarelli

Patrícia Christina Marques Castilho

Universidade de São Paulo

matheuspolichiareli@hotmail.com

### Objetivos

O objetivo deste projeto de iniciação científica é simular os potenciais bidimensionais arbitrários produzidos por um feixe de laser com perfil de intensidade modulado por um “spatial light modulator” (SLM) e sujeitos à uma resolução óptica finita a fim de aprisionar gases atômicos ultrafrios.

### Métodos e Procedimentos

Sistema óptico real: O sistema óptico consiste no uso de um DMD (“digital micromirror device”) para a criação do potencial bidimensional arbitrário. O DMD é em um conjunto de micro-espelhos que, a partir de um controle individual (ligado ou desligado) altera o perfil de intensidade de um feixe refletido. A configuração usada será a de “imagem direta” [1], na qual o perfil impresso no DMD é o mesmo que será criado no plano atômico. Os feixes de luz possuem frequência voltada para o azul da transição atômica, dessa forma os átomos são aprisionados nas regiões escuras (mínimos de intensidade). Além disso, há um conjunto de telescópios, responsável por uma demagnificação da imagem do DMD, e uma lente objetiva microscópica. Abaixo segue um esquema simplificado do aparato experimental:

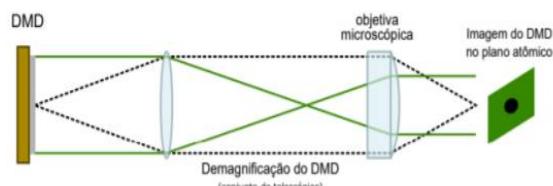


Figura 1: Esquema simplificado do aparato experimental

Devido às dimensões finitas dos componentes ópticos utilizados, o sistema possuirá uma resolução óptica finita. A resolução óptica de um sistema real está ligada com a capacidade deste sistema em resolver detalhes da imagem que está sendo projetada e como as dimensões são finitas, parte da informação do objeto será perdida no momento em que sua imagem for projetada

Simulação: A simulação deste procedimento será feita da seguinte maneira: O DMD é representado por uma matriz que contém apenas os valores 0 (desligado) e 1 (ligado), simulando assim cada um de seus micro-espelhos. A resolução óptica do sistema é simulada através de uma função gaussiana e seu efeito no experimento é quantificado através da convolução entre esta função gaussiana e a imagem do DMD.

### Resultados

Focou-se, primeiramente, no potencial bidimensional do tipo “caixa” pois, além da maior simplicidade na produção de potenciais deste tipo, ele é de fácil comparação com as previsões teóricas esperados para o comportamento dos átomos. O potencial “caixa” consiste num potencial que possui valores 0 numa determinada região (onde os átomos serão aprisionados) e não nulo fora desta região, com bordas abruptas.

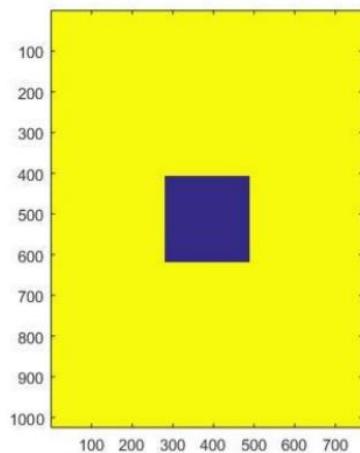


Figura 2: Potencial do tipo “caixa”

O efeito da resolução óptica finita do sistema é, justamente, atenuar estas bordas abruptas do potencial conferindo a eles um tamanho característico. Isso fará com que os átomos não fiquem exatamente contidos nesta região delimitada.

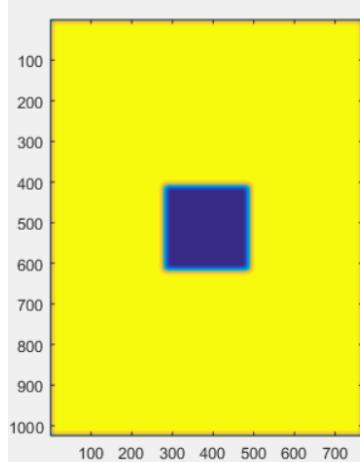


Figura 3: Potencial do tipo “caixa” sujeito a uma resolução óptica finita

O intuito é realizar um potencial do tipo “caixa” com as bordas mais abruptas possível mas temos estas limitações experimentais. Foi então, feito um gráfico da largura de borda do potencial em função da resolução óptica do sistema afim de observar esta atenuação:

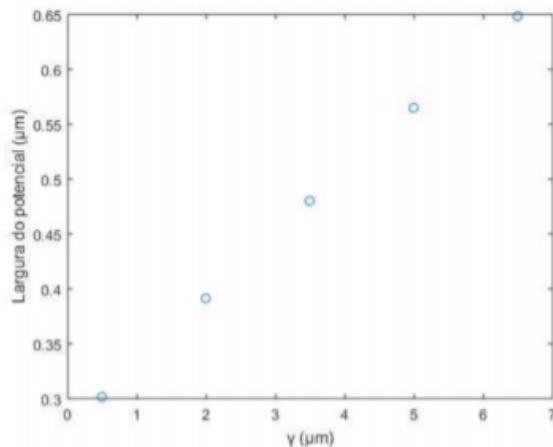


Figura 4: Largura de borda do potencial em função da resolução óptica do sistema

Desta forma, é possível visualizar o efeito que o aparato experimental terá nos resultados finais do projeto. Iremos trabalhar com  $\gamma = 1 \mu\text{m}$ , o que nos dá uma largura do potencial de aproximadamente  $0.33 \mu\text{m}$ , mantendo assim a característica de um potencial do tipo “caixa”.

## Conclusões

Foi possível simular o potencial do tipo “caixa” e avaliar os efeitos da resolução óptica neste potencial. Para a resolução óptica estimada do sistema experimental que será desenvolvido no laboratório encontramos um tamanho característico da borda de  $0.33 \mu\text{m}$ , ou seja, muito menor que a largura da caixa, o que não altera significativamente a dinâmica dos átomos aprisionados neste potencial. Posteriormente, será simulado potenciais com diferentes níveis de intensidade, potenciais bidimensionais arbitrários com correção ativa e os efeitos da resolução óptica nestes potenciais.

## Referências Bibliográficas

- [1] VILLE, J. L. *et al.* Loading and compression of a single two-dimensional bose gas in an optical accordion. *Phys. Rev. A* **95**, 013632 (2017).

## Two-dimensional Trap for Degenerate Atomic Gases

Matheus Poli Chiarelli

Patrícia Christina Marques Castilho

Universidade de São Paulo

matheuspolichiareli@hotmail.com

### Objectives

The objective of this undergraduate research project is to simulate the arbitrary two-dimensional potentials produced by a laser beam with an intensity profile modulated by a spatial light modulator (SLM) and subjected to a finite optical resolution in order to trap ultracold atomic gases.

### Materials and Methods

Real optical system: The optical system consists of the use of a DMD (digital micromirror device) for the creation of arbitrary two-dimensional potential. The DMD is a set of micro-mirrors that, from an individual control (on or off) change the intensity profile of a reflected beam. The configuration used will be the "direct image", in which the profile printed on the DMD is the same that will be created in the atomic plane. The light beams have a frequency turned towards the blue of the atomic transition, thus the atoms are trapped in the dark regions (minimum of intensity). In addition, there is a set of telescopes, responsible for a demagnification of the DMD image, and a microscopic objective lens. Below is a simplified scheme of the experimental apparatus:

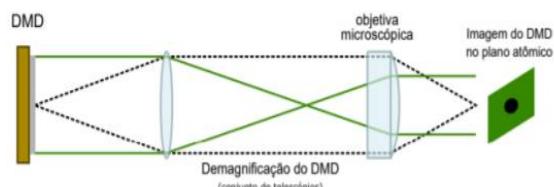


Figure 1: Simplified scheme of the experimental apparatus

Due to the finite dimensions of the optical components used, the system will have a finite optical resolution. The optical resolution of a real system is linked with this system's ability to resolve details of the image being projected and as the dimensions are finite, part of the object's information will be lost when its image is projected.

Simulation: The simulation of this procedure will be done as follows: The DMD is represented by a matrix that contains only the values 0 (off) and 1 (on), thus simulating each of its micro-mirrors. The optical resolution of the system is simulated through a Gaussian function and its effect on the experiment is quantified through the convolution between this Gaussian function and the DMD image.

### Results

Firstly, it focused on the two-dimensional potential of the "box" type because, in addition to the greater simplicity in the production of potentials of this type, it is easy to compare with the theoretical predictions expected for the behavior of atoms. The "box" potential consists of a potential that has values of 0 in a certain region (where the atoms will be trapped) and not null outside this region, with sharp edges.

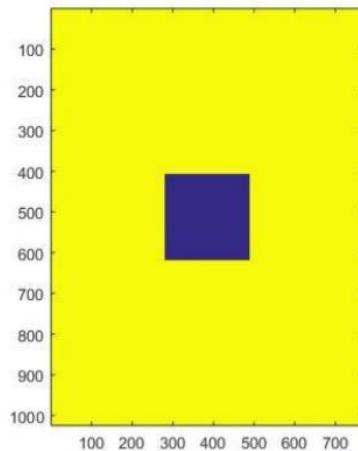


Figure 2: "Box" type potential

The effect of the finite optical resolution of the system is, precisely, to attenuate these sharp edges of the potential, giving them a characteristic size. This will make the atoms not exactly contained in this delimited region.

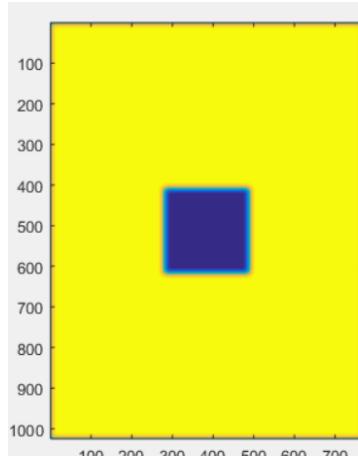


Figure 3: "Box" type potential subject to finite optical resolution

The intention is to realize a "box" type potential with the steepest possible edges but we have these experimental limitations. A graph of the potential edge width as a function of the optical resolution of the system was then made in order to observe this attenuation:

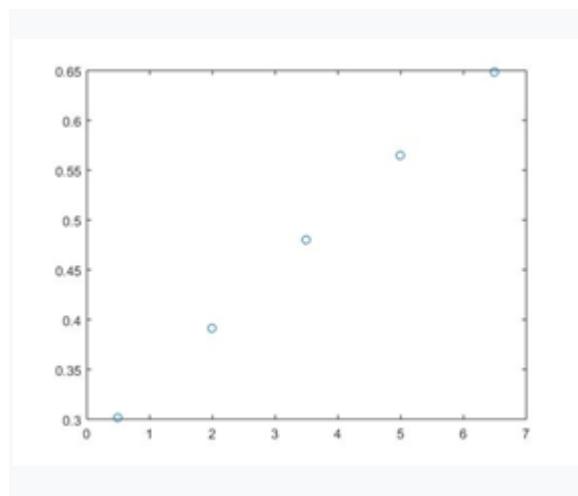


Figure 4: Potential edge width as a function of the optical resolution of the system

In this way, it is possible to visualize the effect that the experimental apparatus will have on the final results of the project. We will work with  $\gamma = 1 \mu\text{m}$ , which gives us a potential width of approximately  $0.33 \mu\text{m}$ , thus maintaining the characteristic of a "box" type potential.

## Conclusions

It was possible to simulate the "box" type potential and evaluate the effects of optical resolution on this potential. For the estimated optical resolution of the experimental system that will be developed in the laboratory, we found a characteristic edge size of  $0.33 \mu\text{m}$ , that is, much smaller than the box width, which does not significantly alter the dynamics of the atoms trapped in this potential. Subsequently, potentials with different intensity levels, arbitrary two-dimensional potentials with active correction and the effects of optical resolution on these potentials will be simulated.

## References

- [1] VILLE, J. L. et al. Loading and compression of a single two-dimensional bose gas in na optical accordion. *Phys. Rev. A* 95, 013632 (2017).