

Título em Português:	Estudo da Correlação Temporal em Átomos Frios.
Título em Inglês:	study of temporal correlation in cold atoms.
Autor:	Leonardo Lima da Silva
Instituição:	Universidade de São Paulo
Unidade:	Instituto de Física de São Carlos
Orientador:	Vanderlei Salvador Bagnato
Área de Pesquisa / SubÁrea:	Física Atômica e Molecular
Agência Financiadora:	FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

Estudo da Correlação Temporal em Átomos Frios

Leonardo Lima da Silva

Dr. Amilson Fritsch

Prof. Dr. Vanderlei Salvador Bagnato

Instituto de Física de São Carlos - Universidade de São Paulo

leonardols.lsilva@usp.br

Objetivos

Os objetivos desta primeira etapa do projeto foram implementar os equipamentos necessários, estudar as funções de correlação e técnicas experimentais para obter as correlações temporais de fótons em uma armadilha magneto-óptica (MOT). Mais especificamente, buscamos encontrar a curva característica da função de correlação dos fótons espalhados pelos átomos (^{87}Rb) aprisionados no MOT e verificar que o resultado experimental concorda com os esperados teoricamente. Feitas estas medidas, nos preparamos para futuramente realizar a análise em condensados de Bose-Einstein.

Métodos e Procedimentos

A análise das flutuações dos fótons é importante para o entendimento das propriedades de sua fonte ou dos átomos que os emitem. Fundamentalmente, as fontes de luz podem ser divididas em dois tipos, caótica e coerente. O primeiro deles pode ser encontrado, por exemplo, em uma lâmpada de gás, que produz luz pela excitação dos átomos do gás através da passagem de uma corrente elétrica e eles emitem radiação de maneira independente. Por outro lado, um exemplo de fonte coerente é o laser de modo único operando acima do limite de uma única frequência e em uma direção espacial bem definida.

A correlação temporal de fótons é um conceito central na mecânica quântica que descreve a relação entre a probabilidade de detectar fótons em momentos diferentes. Isso é medido usando a função de correlação

intensidade-intensidade conhecida como $g^{(2)}(\tau)$. Esta é uma medida da probabilidade de detecção do segundo fóton no intervalo de tempo $t + \tau$ após a detecção do primeiro fóton em t .

Quando a função $g^{(2)}(\tau)$ assume valores maiores que 1, isso indica que a detecção de um fóton aumenta a probabilidade de detectar um segundo fóton em um curto espaço de tempo. Entretanto, $g^{(2)}(\tau) < 1$ indica que detectar um fóton diminui a probabilidade de detectar um segundo fóton em um curto intervalo de tempo. Para átomos frios, é esperado teoricamente que $g^{(2)}(0) = 2$ [1], e portanto, se trata de uma fonte incoerente de luz.

Para a análise dos fótons espalhados, é realizada a coleta dos fótons em dois fotodetectores ultra rápidos, os quais são utilizados em conjunto com um correlator. Este correlator é capaz de identificar as bordas dos sinais elétricos e determinar as diferenças de tempo entre elas. Controlado por um software, os dados podem ser visualizados em tempo real e posteriormente salvos para análise.

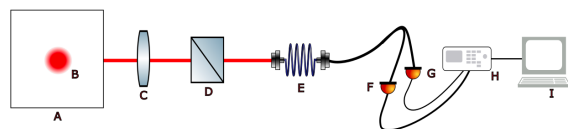


Figura 1: Esquema experimental utilizado. A: célula do MOT; B: átomos aprisionados; C: lente; D: polarizador; E: colimador e fibra óptica; G e F: fotodetectores; H: correlator; I: computador.

Resultados

As medidas foram feitas variando o número de átomos no MOT e o tempo de coleta de fótons pelos fotodetectores. Notamos que quanto menor o número de átomos aprisionados, menor a contagem de fótons por segundo, e portanto, a curva da função $g^{(2)}(\tau)$ apresenta bastante ruído. Aumentando o tempo de medida, os ruídos vão diminuindo. Porém, conforme a quantidade de átomos no MOT aumenta, menor é o tempo necessário para um bom resultado da função de correlação.

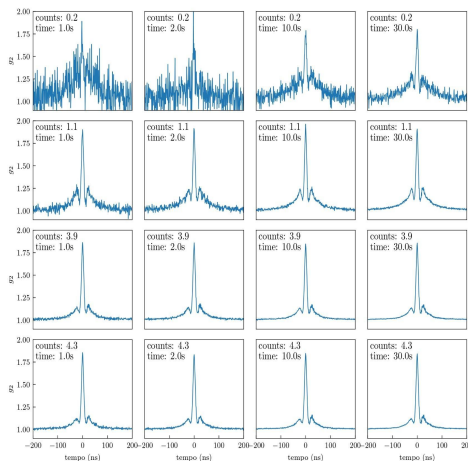


Figura 2: Função de correlação $g^{(2)}(\tau)$ medida para diferentes quantidades de átomos aprisionados no MOT, em diversos tempos de medida.

Notamos nas medidas da correlação o segundo pico que ocorre aproximadamente para $\tau = 28$ ns. Este pico tem origem em um efeito coletivo dos átomos, que pode ser explicado considerando o rubídio como um sistema de dois níveis. A irradiação de luz coerente e quase ressonante com os átomos de rubídio causa a absorção e a emissão aleatória espontânea, a uma taxa que cai exponencialmente com um tempo de vida característico, que, para o estado excitado de ^{87}Rb , é de cerca de 28 ns. Todos os átomos sofrem oscilações de Rabi na mesma frequência e, portanto, têm uma alta

probabilidade de emissão no mesmo intervalo regular.

Nas próximas etapas deste projeto, investigaremos a relação entre o segundo pico e os parâmetros da armadilha magneto-óptica, como, por exemplo, a intensidade do laser utilizado.

Conclusões

Após as medidas realizadas, podemos concluir que, para contagens de fótons da ordem de 10^6 por segundo, conseguimos observar o perfil característico da função $g^{(2)}(\tau)$ para tempos de espera relativamente pequenos. Além disso, foi possível observar que $g^{(2)}(\tau = 0)$ é próximo de 2, valor teórico esperado.

Agradecimentos

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento deste projeto de iniciação científica.

Referências

- [1] MATALONI, P. Photon Statistics and Coherence Theory. [S.l.: s.n.], 2005. 280-286 p. ISBN 9780123694010.

Study of Temporal Correlation in Cold Atoms

Leonardo Lima da Silva

Dr. Amilson Fritsch

Prof. Dr. Vanderlei Salvador Bagnato

Institute of Physics of São Carlos - University of São Paulo

leonardols.lsilva@usp.br

Objectives

The objectives of this first stage of the project were to implement the necessary equipment, study correlation functions and experimental techniques to obtain temporal correlations of photons in a magneto-optical trap (MOT). More specifically, we aimed to find the characteristic curve of the photon correlation function scattered by the trapped atoms (^{87}Rb) in the MOT and verify that the experimental results agree with theoretical expectations. Completed these measurements, we are preparing for future analysis in Bose-Einstein condensates.

Materials and Methods

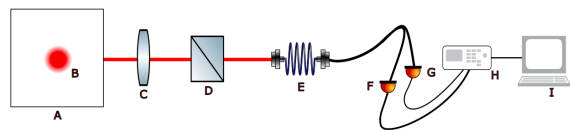
The analysis of photon fluctuations is important for understanding the properties of their source or the atoms that emit them. Fundamentally, light sources can be divided into two types: chaotic and coherent. The former can be found, for example, in a gas lamp, which produces light by exciting the gas atoms through the passage of an electric current, and they emit radiation independently. On the other hand, an example of a coherent source is a single-mode laser operating above the threshold of a single frequency and in a well-defined spatial direction.

The temporal correlation of photons is a central concept in quantum mechanics that describes the relationship between the probability of detecting photons at different moments. This is measured using the intensity-intensity correlation function known as $g^{(2)}(\tau)$. This is a measure of the probability of detecting the

second photon in the time interval $t + \tau$ after the detection of the first photon at t .

When the function $g^{(2)}(\tau)$ assumes values greater than 1, it indicates that the detection of one photon increases the probability of detecting a second photon in a short time interval. However, $g^{(2)}(\tau) < 1$ indicates that detecting one photon decreases the probability of detecting a second photon in a short time interval. For cold atoms, it is theoretically expected that $g^{(2)}(0) = 2$ [1], and therefore, it represents an incoherent source of light.

For the analysis of scattered photons, the collection of photons is carried out using two ultra-fast photodetectors, which are used in conjunction with a correlator. This correlator is capable of identifying the edges of the electrical signals and determining the time differences between them. Controlled by software, the data can be viewed in real-time and subsequently saved for analysis.



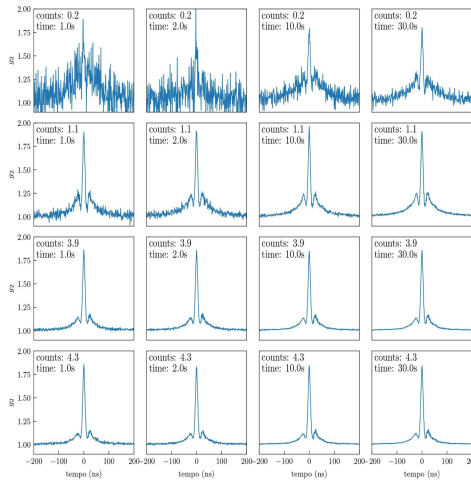
Picture 1: Experimental setup used. A: MOT cell; B: trapped atoms; C: lens; D: polarizer; E: collimator and optical fiber; G and F: photodetectors; H: correlator; I: computer.

Results

The measurements were taken by varying the number of atoms in the MOT and the photon collection time by the photodetectors. We

observed that the smaller the number of trapped atoms, the lower the photon count per second, and therefore, the $g^{(2)}(\tau)$ curve exhibits significant noise. Increasing the measurement time reduces the noise.

However, as the quantity of atoms in the MOT increases, the time required for a good correlation function result decreases.



Picture 2: Correlation function $g^{(2)}(\tau)$ measured for different quantities of trapped atoms in the MOT at various measurement times.

We observed in the correlation measurements the second peak occurring at approximately $\tau = 28$ ns. This peak originates from a collective effect of the atoms, which can be explained by considering rubidium as a two-level system. Coherent and nearly resonant light irradiation with rubidium atoms causes absorption and random spontaneous emission at a rate that exponentially decreases with a characteristic lifetime, which, for the excited state of ^{87}Rb , is about 28 ns. All atoms undergo Rabi oscillations at the same frequency and, therefore, have a high

probability of emitting in the same regular interval.

In the next stages of this project, we will investigate the relationship between the second peak and the parameters of the magneto-optical trap, such as laser intensity, for example.

Conclusions

After the measurements conducted, we can conclude that for photon counts on the order of 110^6 per second, we were able to observe the characteristic profile of the $g^{(2)}(\tau)$ function for relatively short waiting times. Additionally, it was possible to observe that $g^{(2)}(\tau = 0)$ is close to 2, the expected theoretical value.

Acknowledgements

I would like to express my gratitude to the São Paulo Research Foundation (FAPESP) for the financial support provided for the development of this scientific research project.

References

- [1] MATALONI, P. Photon Statistics and Coherence Theory. [S.l.: s.n.], 2005. 280-286 p.
ISBN 9780123694010.