

**Título em Português:** Dinâmica super- e subradiante na emissão de luz por nuvem de átomos frios

**Título em Inglês:** Super- and subradiant dynamics in the emission of light by cold atomic clouds

**Autor:** Paola Rebeca Storino Azzar

**Instituição:** Universidade de São Paulo

**Unidade:** Instituto de Física de São Carlos

**Orientador:** Romain Pierre Marcel Bachelard

**Área de Pesquisa / SubÁrea:** Física Atômica e Molecular

**Agência Financiadora:**

## **Dinâmica super- e subradiante na emissão de luz por nuvem de átomos frios**

**Paola Rebeca Storino Azzar**

**Noel Araujo Moreira**

**Romain Pierre Marcel Bachelard**

Universidade de São Paulo

paolaazzar@usp.br

### **Objetivos**

Existe hoje um debate sobre a natureza da subradiância (radiação com grande tempo de vida) em grandes nuvens desordenadas: enquanto ela pode ser entendida usando uma abordagem de espalhamento coerente de luz (modelo de dipolos acoplados), o “armazenamento de radiação” é um fenômeno incoerente que também pode explicar os grandes tempos de vida das radiações relatadas em alguns experimentos. Durante o desenvolvimento do projeto, propomos um teste para diferenciar entre o espalhamento coerente (que leva em conta as correlações entre dipolos) e armazenamento de luz, induzindo fases aleatórias nos dipolos, e esperamos que isso permita descartar o armazenamento de radiação como explicação dos grandes tempos de vida observados nos experimentos. Essa proposta é factível de ser realizada experimentalmente com a inserção de um campo magnético externo desordenado sintonizável.

### **Métodos e Procedimentos**

Na simulação, com a geração de uma nuvem de átomos feita de forma aleatória,

descrevendo a interação de cada um dos átomos com um feixe gaussiano incidido na amostra, e em seguida analisando a intensidade da luz emitida pela nuvem através em um detector, estudamos os estados dos dipolos em longos tempos de vida, com a evolução temporal de um sistema de equações diferenciais acopladas pertinente ao nosso problema. Em um dado momento da evolução temporal, fases aleatórias são adicionadas aos dipolos, e buscamos quantificar o impacto dessa alteração em quantidades mensuráveis, como a intensidade da luz espalhada, ou a potência total emitida. Todo o projeto é feito por meio de simulações computacionais utilizando a linguagem de programação Julia, e ferramentas e pacotes disponíveis no seu ecossistema.

### **Resultados**

Logo após a mudança de fases, observamos através da intensidade da luz, que há um aumento na radiação emitida de curta duração, e em seguida a dinâmica continua de forma similar ao sistema equivalente sem a mudança de fase. O ponto é que o armazenamento de radiação não é sensível

à mudança de fase, já que descreve a trajetória difusiva de uma “partícula” de luz, sem fase nem interferência: isso permite descartar o armazenamento de radiação como origem do aumento da radiação, e aumentar tal mudança na dinâmica da intensidade como uma assinatura da presença de modos coletivos de espalhamento. Ainda não está claro como acontece a redistribuição de energia entre os modos, e isso será feito na próxima fase do projeto. Uma vez identificados os modos coletivos do sistema (super- e sub-radiantes), buscaremos quantificar como a redistribuição acontece monitorando a população desses modos antes, e após a manipulação das fases.

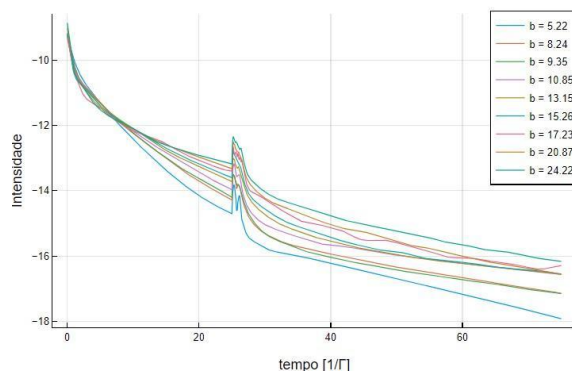


Figura 1: Intensidade da luz emitida ao longo do tempo para diferentes densidades ópticas da amostra.

## Conclusões

Após esses resultados preliminares, está sendo realizado um estudo sistemático para entender se o método adotado com um campo magnético pode ser implementado em um experimento de átomos frios (tipicamente com uma ordem de bilhões de partículas e detectores com um tempo de resposta finito), em colaboração com um grupo experimental na França.

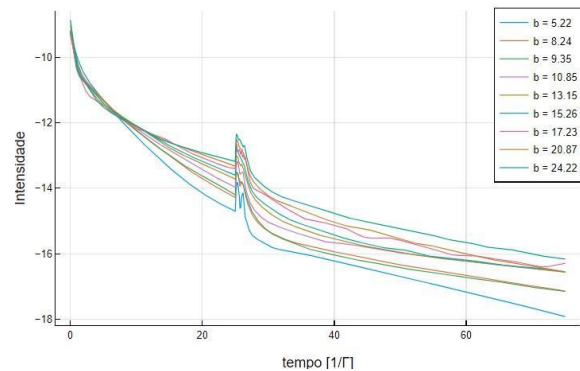
## Referências

- [1] LEHMBERG, R. H. Radiation from an N-Atom System. I. General Formalism. *Physical Review A*, v. 2, n. 3, p. 883–888. set. 1970.
- [2] COTTIER, F. A. J. Light-atom interaction: mean-field approach and intensity fluctuations. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 147. 2018.
- [3] William Guerin, Araujo O. Michelle, Robin Kaiser. Dicke subradiance in a large cloud of cold atoms. 2015. hal-01189090v1
- [4] GUERIN, W.; ARAÚJO, M. O.; KAISER, R. Subradiance in a Large Cloud of Cold Atoms. *Physical Review Letters*, v. 116, n. 8, 22 fev. 2016.

## Results

Immediately after the phase shift, by analyzing the intensity of the emitted light, we observe an increase in the emitted fast radiation (superradiance), and then the system evolves again in a manner similar to the equivalent system without the phase-change.

The key point is that the radiation trapping is not sensitive to phase-change, since it describes the diffusive trajectory of a light “particle” without interference: it allows us to discard radiation trapping as the source of the increased radiation, and attribute such changes in the light intensity dynamics as a signature of the presence of collective scattering modes. It is still not clear how the energy redistribution between modes occurs, and this will be analyzed in the next phase of the project. Once we identify the collective modes of the system, we will seek to quantify how the redistribution happens by monitoring the population of these modes before and after the phase manipulation.



Picture 1: Intensity of emitted light over time for different values of optical density in the system.

## Conclusions

After these preliminary results, a systematic study is being realized to understand if our scheme with a magnetic field can be implemented in a cold atom experiment (with typically millions to billions of particles, and detectors with a finite-time response), in collaboration with an experimental group in France.

## References

- [1] LEHMBERG, R. H. Radiation from an N-Atom System. I. General Formalism. *Physical Review A*, v. 2, n. 3, p. 883–888. set. 1970.
- [2] COTTIER, F. A. J. Light-atom interaction: mean-field approach and intensity fluctuations. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 147. 2018.
- [3] William Guerin, Araujo O. Michelle, Robin Kaiser. Dicke subradiance in a large cloud of cold atoms. 2015. hal-01189090v1
- [4] GUERIN, W.; ARAÚJO, M. O.; KAISER, R. Subradiance in a Large Cloud of Cold Atoms. *Physical Review Letters*, v. 116, n. 8, 22 fev. 2016.

## **Super- and subradiant dynamics in the emission of light by cold atomic clouds**

**Paola Rebeca Storino Azzar**

**Noel Araujo Moreira**

**Romain Pierre Marcel Bachelard**

Universidade de São Paulo

paola.azzar@usp.br

### **Objectives**

There is currently a debate regarding the nature of subradiance (radiation with a long lifetime) in disordered atomic clouds: while it can be understood using an approach of coherent light scattering (coupled-dipole model), the so-called “radiation trapping” is an incoherent phenomenon that can also explain the long lifetimes of the radiation observed in some experimental works.

During the project’s development, we propose a test to differentiate between these processes of coherent scattering and radiation trapping, by inducing random phases in dipoles, and observing if it allows to discard radiation trapping. This proposal is experimentally feasible through the introduction of a tunable disordered external magnetic field.

### **Materials and Methods**

In our simulations, generating a random atomic cloud, we describe the interaction between each atom with an incident gaussian beam on the sample. Subsequently, by analyzing the intensity of light emitted by the cloud through a detector we investigate the dipole states over extended lifetimes, computing the temporal evolution of the system of coupled differential equations which describe the atomic dipoles. At a particular moment in the temporal evolution, random phases are introduced in the dipoles, and we aim to quantify the impact of this alteration on measurable quantities such as scattered light intensity or total emitted power. All the project is conducted through computational simulations using the Julia programming language, along with other tools and packages available in its ecosystem.