UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Física

PROJETO DE PESQUISA

Efeitos ópticos não lineares em vapores atômicos: fundamentos e aplicações.

COORDENADOR:

Weliton Soares Martins

Fevereiro de 2022

Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho - UACSA
Rua Cento e Sessenta e Três, 300 – Garapu
54518-430 Cabo de Santo Agostinho/PE
www.ppengfis.ufrpe.br

I- IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

1- Título	
Efeitos ópticos não lineares em vapores atômicos: fundamentos e aplicações.	
2- Vigência	
Início previsto (mês/ano):	03/2022
Término previsto (mês/ano):	03/2026
3- Classificação da área do projeto (classificação definida pelo CNPq)	
Nome da área :	Ciências Exatas e da Terra
Número do código:	1.00.00.00-3
Nome da sub-área :	Física
Número do código:	1.05.00.00-6
Nome da especialidade:	Física Atômica e Molecular
Número do código:	1.05.05.00-8
4- Linhas de pesquisa do PPENGFIS contempladas no projeto	
☐	Materiais Nanoestruturados
☐	Materiais para aplicações ambientais, energéticas e industriais
☐	Metrologia e Instrumentação
☒	Espectroscopia coerente e óptica não linear
☐	Controle e dinâmica não linear
5- Palavras-chaves (máximo 5 palavras)	
• Óptica não-linear	• Difusão de fótons.
• Efeitos coerentes	• EIA e EIT
• Speckles	

Cabo de Santo Agostinho, 10 de fevereiro de 2022

Weliton Soares Martins

Coordenador: Weliton Soares Martins
(SIAPE: [2244892])

6- Participantes docentes:

Nome:	Weliton Soares Martins
CPF:	055580144-66
E-mail:	Weliton.martins@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	◉ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☒ Colaborador ☐

Nome:	Albert Stevens Reyna Ocas
CPF:	700287194-33
E-mail:	albert.reyna@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	○ NÃO ◉ SIM Se sim, qual nível?: 2
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☒

Nome:	Rafael Alves de Oliveira
CPF:	060534824-39
E-mail:	rafael@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	◉ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☒

Nome:	Sergio Vladimir Barreiro Degiorgi
CPF:	01338261479
E-mail:	sergio.barreiro@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	○ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☒

Nome:	Marcos Cesar Santos Oriá
CPF:	16605977491
E-mail:	marcos.oria@ufrpe.br

Bolsista do CNPq:	○ NÃO ● SIM Se sim, qual nível?: 2
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☒

Nome:	Martine Chevrollier
CPF:	201487058-63
E-mail:	martine.chevrollier@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	○ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☒

II- DETALHAMENTO DO PROJETO

1. Resumo

Neste projeto, propomos estudar a interação da luz com vapores de átomos alcalinos, focando na propagação, armazenamento e processamento de informação no meio, além de caracterizar e manipular as propriedades ópticas da amostra utilizando luz estruturada. Nosso objetivo é compreender essa interação, essencial para otimizar a construção de memórias atômicas, desenvolver e aprimorar técnicas ópticas de análise de materiais. Ao ser executado, este projeto terá contribuído para um melhor entendimento da interação radiação-matéria, com impacto direto no aperfeiçoamento de memórias atômicas e no desenvolvimento de uma nova técnica para caracterização óptica de meios não lineares.

2. Introdução

A luz tem um papel central no desenvolvimento tecnológico, sendo importante em temas como: comunicação e computação (clássica e quântica), análise de materiais, nano e microfabricação etc. É notório o crescimento da aplicação da luz nas diversas áreas e no setor industrial. Desde o desenvolvimento de sensores ópticos utilizados nos diversos setores de produção; lasers aplicados em corte e solda; aplicações médicas em cirurgias e diferentes procedimentos; sistemas biológicos utilizando-se principalmente de técnicas de microscopia e espectroscopia óptica [1-4]. Dentro desse contexto destacamos a importância de estudar os fundamentos básicos da interação matéria radiação, explorando não apenas efeitos lineares, como também regimes não lineares da interação da luz com a matéria.

Nesse projeto nos propomos estudar a propagação da luz em vapores atômicos usando feixes que apresentam diferentes padrões espaciais transversais (padrões de luz estruturada) e/ou momento angular orbital. Buscamos compreender como esses padrões afetam a difusão de fótons no meio, e como a estatística de propagação é alterada. Esse estudo será realizado com o meio não linear preparado em diferentes condições. Explorando-se efeitos coerentes como EIT (Electromagnetically Induced Transparency) e EIA (Electromagnetically Induced Absorption) que apresentam propriedades óticas alteradas pela interação com campos coerentes [5-6]. Além disso, iremos estudar o processo de armazenamento de informação utilizando-se desses efeitos coerentes. Como também, estudaremos a resposta óptica não linear do vapor, utilizando feixes com diferentes coerências espaciais, quando o meio for ou não preparado em uma superposição coerente.

Para isto, serão montados arranjos experimentais que permitam a observação e análise dos efeitos não lineares em vapores atômicos, preparando inicialmente o sistema na condição de transparência e absorção eletromagneticamente induzida (EIT e EIA, pelas suas siglas em inglês). Difusores e moduladores espaciais de luz serão utilizados para dar origem a feixes com diferentes perfis transversais de

intensidades e diferentes coerências espaciais. Modelos teóricos e simulações numéricas serão desenvolvidos simultaneamente para dar suporte aos experimentos. A execução deste projeto permitirá um maior entendimento sobre o armazenamento e processamento de informação em meios não lineares, com impacto direto na computação e comunicação quântica, bem como o desenvolvimento de novas técnicas de caracterização óptica de materiais.

3. Objetivos

Geral:

Estudar a interação e propagação da luz em vapores atômicos com o meio atômico preparado em diferentes condições.

Específicos:

1 - Estudar o processo de armazenamento e processamento de informação explorando os efeitos de EIT e EIA;

2 – Estudar a propagação de luz em ensembles atômicos quando o meio for ou não preparado em uma superposição coerente;

3 – Estudar a difusão de fótons no meio atômico variando o perfil espacial do feixe, a coerência e usando feixes com momento angular orbital;

4 – Estudar processos de decoerência nos efeitos do tipo EIA e EIT;

5 – Estudar a correlação entre feixes ópticos induzida pelo meio atômico.

4. Metodologia

A pesquisa desenvolvida é estruturada seguindo as etapas: montagem do aparato experimental para o estudo de efeitos não lineares em vapores atômicos, aplicado ao aperfeiçoamento de memórias atômicas e no desenvolvimento de uma técnica para caracterização óptica de meios não lineares, modelagem, simulações numéricas e análise e discussão dos resultados. A equipe será dividida em dois grupos, sendo o primeiro responsável pela montagem experimental e modelo teórico relacionado ao estudo dos processos de escrita, armazenamento e leitura da informação da luz em um meio coerentemente preparado. O segundo grupo atuará nos experimentos e na modelagem teórica associada às medidas das propriedades ópticas do meio, além de estudar a propagação da luz em vapor atômico, usando feixes de diferentes coerências espaciais e diferentes distribuições transversais de intensidade. Os experimentos serão realizados usando um laser semicondutor, componentes ópticos e mecânicos, modulador espacial de luz e moduladores acusto-ópticos. O ensemble atômico será modelado como um sistema de 4 níveis para obtermos o conjunto das equações de Bloch que determinam a dinâmica da interação com a luz.

5. Resultados esperados

O caráter inovador do projeto propõe a investigação experimental, teórica e numérica de novos processos ópticos não lineares induzidos em vapores atômicos usando feixes com luz estruturada. Seu desenvolvimento traz consigo importantes aplicações no desenvolvimento de memórias atômicas e no aprimoramento de técnicas ópticas para caracterização microscópica da matéria. Buscamos então compreender os mecanismos básicos da interação da luz com sistemas atômicos. Essas contribuições têm sua importância tanto do ponto de vista fundamental como para aplicações tecnológicas, pois este tema é de grande interesse no desenvolvimento de sistemas de comunicações óticas, no regime clássico ou explorando as propriedades quânticas da luz. Portanto, o projeto visa à consolidação dos grupos de pesquisas emergentes envolvidos nesta proposta, além de beneficiar a formação de estudantes e tornar à UFRPE numa instituição de referência de pesquisa na área.

6. Cronograma de atividades

Semestre / Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8
I	X	X						
II	X	X	X	X				
III		X	X	X	X			
IV				X	X			
V				X	X	X		
VI					X	X	X	
VII				X	X	X	X	
VIII				X	X			
IX			X		X			X

Atividade I	Revisão bibliográfica;
Atividade II	Elaborar do modelo teórico da interação da luz com sistemas atômicos para estudar os efeitos não lineares, bem como a propagação da luz nesse meio;
Atividade III	Montar o aparato experimental o para obter e analisar o sinal de EIT e EIA;
Atividade IV	Desenvolvimento do sistema de controle e aquisição de dados;
Atividade V	Estudar o armazenamento e processamento de informação nos regimes de EIT e EIA;
Atividade VI	Estudar a difusão de fótons no meio atômico variando o perfil espacial do feixe, a coerência e usando feixes com momento angular orbital;
Atividade VII	Estudar processos de decoerência nos efeitos do tipo EIA e EIT;

Atividade VIII	Estudar a correlação entre feixes ópticos induzida pelo meio atômico;
Atividade IX	Escrita de artigos e elaboração da dissertação.

7. Apoio financeiro e/ou institucional

As pesquisas propostas neste projeto serão realizadas nos laboratórios de Física atômica e Lasers do campus das engenharias da UFRPE. Para isto, dispomos de vários lasers de diodo, componentes optomecânicos, eletrônica de detecção de sinais e equipamentos para caracterização espectral. Para as análises das propriedades não lineares, contamos com um laser contínuo em 852 nm, ressonante com o vapor atômico de césio, com largura espectral fina e potência de 3,5 Watts. Um modulador espacial de luz e câmeras CCDs formam parte dos equipamentos destinados ao estudo de feixes de luz estruturada. Ademais, o coordenador pretende submeter novas propostas para financiamento de projetos nas agências de fomento Federal (CNPq, FINEP, etc), Estadual (editais da FACEPE) e outras oportunidades que surgirem através de projetos de P&D com o setor privado.

8. Referências

[1] Berlien, Hans-Peter. Applied laser medicine. Springer Science & Business Media, 2003.

[2] Lippert, Thomas. "Laser application of polymers." Polymers and Light. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. 51-246.

[3] Mester, Endre, Andrew F. Mester, and Adam Mester. "The biomedical effects of laser application." Lasers in surgery and medicine 5.1 (1985): 31-39.

[4] Ion, John. Laser processing of engineering materials: principles, procedure and industrial application. Elsevier, 2005.

[5] Michael Fleischhauer, Atac Imamoglu, and Jonathan P Marangos. Electromagnetically induced transparency: Optics in coherent media. Reviews of Modern Physics, 77(2):633, 2005.

[6] Dos Santos, F. C., Martins, W. S., Barreiro, S., & De Oliveira, R. A. (2018). Electromagnetically induced absorption free from power broadening. Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, 51(18), 185002.

[7] Martins, Weliton S., et al. "Efficient atomic memory using electromagnetically induced absorption." Physics Open 9 (2021): 100081.