

TRAVAMENTO DE LASER DE DIODO PARA ESPECTROSCOPIA

Alexandre Andrade Cavalcanti de Almeida¹; Sandra Sampaio Vianna²

¹Estudante do Curso de Física - CCEN – UFPE; E-mail: alexandreaca@live.com,

²Docente/pesquisador do Depto de Física – CCEN – UFPE. E-mail: sandra@df.ufpe.br.

Sumário: O trabalho executado consistiu em duas partes principais: (i) realização de um experimento para observação de efeitos dispersivos em vapor de Rubídio (Rb); (ii) montagem de um circuito para travamento de laser de diodo e integração deste a uma armadilha magneto-óptica (AMO). Na primeira, estudou-se efeitos de auto-focalização e auto-desfocalização causado por um laser com varredura de frequência em uma amostra fixa de Rubídio (Rb). A análise teórica do problema indica ser possível estimar a parte não linear do índice de refração com este experimento. Já na segunda parte, o principal resultado obtido foi o próprio circuito de travamento em sua forma final e integrado ao sistema experimental.

Palavras-chave: absorção saturada; armadilha magneto-óptica; efeitos dispersivos; laser de diodo; vapor atômico

INTRODUÇÃO

Os fenômenos dispersivos estudados, em primeiro lugar, estão ligados à parte não-linear do tensor suscetibilidade elétrica gerando um índice de refração no meio que depende da intensidade. Esses efeitos foram observados inicialmente na década de 70 por D. Grischowsky em um vapor de potássio utilizando um laser de rubi [1].

Uma técnica experimental para obter e estudar esse efeito de auto-focalização e auto-desfocalização é o *z-scan*. Desenvolvida originalmente em 1989 por M. Sheik-Bahae *et al* [2,3], essa técnica utiliza a varredura da posição da amostra em relação ao foco do feixe. É observada então uma curva com perfil dispersivo, de onde podem ser obtidos os coeficientes de interesse.

Para este trabalho, propôs-se então observar estes mesmos efeitos dispersivos mantendo a posição da amostra fixa (vapor de Rb) e varrendo a frequência do laser através de uma ressonância atômica. A mudança no comportamento do foco do laser nesse tipo de situação já foi utilizado para gerar um sinal de erro para estabilização de frequência [4,5].

Já na parte do trabalho ligada à montagem do circuito de travamento foi utilizado como base um circuito de detecção síncrona montado no Laboratório de Ótica Quântica e Não Linear do Instituto de Física da USP. Este último foi modificado para ser utilizado com lasers de diodo, estabilizando a frequência destes lasers para que eles fossem utilizados em uma AMO.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento realizado para a observação de efeitos dispersivos consiste em medir o perfil da transmitância do feixe gerado por um laser de diodo, através de uma pequena abertura posicionada depois de uma célula de Rubídio. Foram utilizadas duas células a temperatura ambiente (~20°C) com concentração natural dos isótopos i.e. 72% de ⁸⁵Rb e 28% de ⁸⁷Rb e um laser de diodo de 780 nm.

Com a primeira célula foi montada uma absorção saturada para servir de referência para o experimento. Já na segunda célula é onde ocorre o experimento propriamente dito.

Diferentemente da técnica do *z-scan*, a célula é mantida fixa e a frequência do laser foi varrida através de uma das ressonâncias atômicas.

Após a passagem pela segunda célula, o feixe foi dividido em dois: uma parte foi focalizada em um detector e a outra passou por uma íris e incidiu sobre um fotodiodo de alta velocidade. Uma pequena parte do feixe após a íris foi enviada para um medidor de potência para se medir a porcentagem central do feixe que está sendo analisada.

Dessa maneira o detector que recebe todo o feixe deve ser capaz de observar uma absorção simples, e o detector após a íris deve ter um sinal dispersivo. Isto ocorre pois a parte central do feixe é mais sensível às mudanças de focalização, dado o perfil gaussiano. Foram realizadas medidas variando a abertura da íris com uma intensidade do feixe fixa.

Além do experimento de absorção saturada e efeitos dispersivos também foi iniciada a montagem do circuito de travamento do laser de diodo. O circuito utiliza o sinal de uma absorção saturada como sinal de erro para travar a frequência de um laser de diodo. Esse travamento é necessário pois esse tipo de laser é muito sensível a variações de corrente e temperatura.

O circuito funciona recebendo o sinal de uma das ressonâncias atômicas e toma a derivada deste introduzindo uma perturbação senoidal. Esta derivada é utilizada então como sinal de erro para corrigir os desvios de frequência em relação à posição de travamento. Após a montagem do circuito, foi realizado o primeiro ajuste dos parâmetros do circuito, que consiste em ajustar os diversos *trimpots* para que as frequências dos geradores internos do circuito fiquem adequadas para manter o travamento.

RESULTADOS

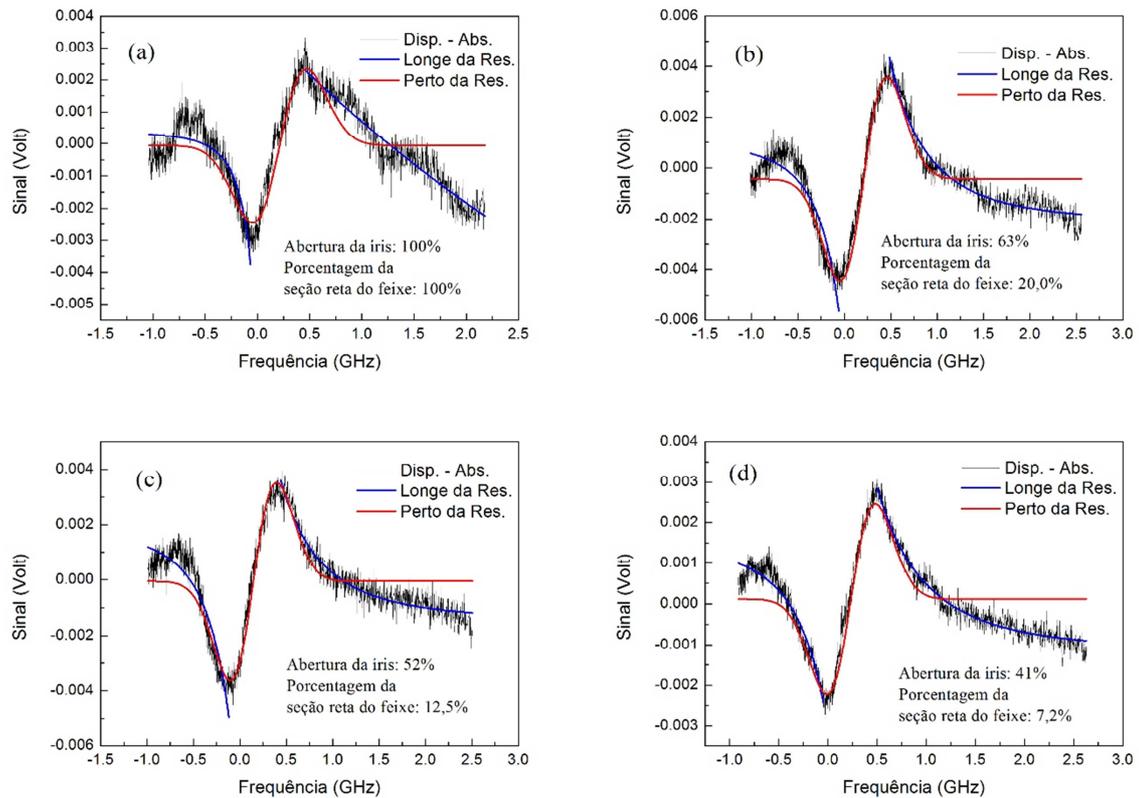
Foram realizadas séries de medidas para diferentes intensidades do feixe passando pela amostra. Na figura 1 estão os gráficos de uma destas séries para uma intensidade de 796 mW/cm². As curvas em preto são resultado da subtração entre o sinal de dispersão (detector após a íris) e o sinal de absorção (detector antes da íris). Para cada gráfico também foi calculado a abertura da íris e a porcentagem da seção reta do feixe que passava pela abertura. As curvas azuis e vermelhas apresentam ajustes utilizando expressões que são apresentadas na seção seguinte.

Na parte do projeto relacionada ao circuito de travamento do laser diodo, o principal resultado obtido é o próprio circuito finalizado. Com o circuito finalizado, a etapa seguinte foi de otimização dos parâmetros de travamento e.g. tempo de integração, amplitude da perturbação senoidal, offset DC. Esta otimização baseou-se no sinal de fluorescência dos átomos armadilhados em uma AMO. Utiliza-se a fluorescência como referência para a ajuste pois esta tem uma relação linear com o número de átomos armadilhados.

O objetivo do circuito de travamento é manter a fluorescência estável e com um valor alto. Se observou que a posição de travamento onde a fluorescência é máxima é muito instável, mantendo os átomos armadilhados por poucos minutos. As melhores tentativas de travamento em termos de estabilidade tem uma fluorescência em torno da metade do valor máximo.

Calculando-se a relação entre a fluorescência e o número de átomos armadilhados, foi verificado que para a região onde o travamento é mais estável tem-se na AMO da ordem de 10⁶ átomos armadilhados. Este valor deve ser suficiente para o experimento que se pretende realizar na AMO, uma mistura de quatro onda com conjugação de fase.

Figura 1: Curvas a-d apresentam o sinal resultante da subtração dispersão - absorção em preto, o ajuste para frequências próximas à ressonância em vermelho e o ajuste para frequências distantes da ressonância em azul.



DISCUSSÃO

O objetivo de experimento realizado era analisar a dependência da auto-focalização e auto-desfocalização com a abertura da íris. Essa dependência é resultado do perfil gaussiano do feixe, onde a maior parte da intensidade está localizada na região central.

Analisando qualitativamente os gráficos da figura 1, percebe-se que no gráfico 1.a é difícil reconhecer a forma dispersiva do resultado experimental (curva preta). O que se observa é uma composição de efeitos de absorção com efeitos de dispersão. Isso acontece por causa da falta da abertura antes da detecção do sinal.

Nas medidas subsequentes, onde a íris é fechada gradativamente de 63% até 41% da potência, é possível perceber o caráter dispersivo nas curvas experimentais. O fato destas serem claramente simétricas indica que o fenômeno é de fato uma auto-focalização e uma auto-desfocalização. Além disso, os resultados reforçam a hipótese de que é a parte central do feixe que é mais sensível ao fenômeno, e portanto, é essencial utilizar uma íris.

Para realizar uma análise teórica do problema, é necessário antes discutir o fenômeno estudado. Como já mencionado, a auto-focalização é um fenômeno não-linear de terceira ordem. Isto implica que o índice de refração deve ser escrito com uma parte dependente da intensidade da luz incidente. Segundo R.W. Boyd, no livro *Nonlinear Optics* [6], a relação entre n_2 , a parte do índice de refração que depende da intensidade, e o termo de terceira ordem da susceptibilidade é:

$$n_2 = \frac{3}{4n_0^2 \epsilon_0 c} \text{Re} \chi^{(3)}.$$

Onde ϵ_0 é a permissividade do vácuo, c é a velocidade da luz e $\text{Re} \chi^{(3)}$ é parte real do termo de terceira ordem da susceptibilidade. M.O. Araújo *et al* [7] realizam o cálculo

de $Re\chi^{(3)}$ e obtêm duas expressões para n_2 , as quais foram utilizadas nos ajustes teóricos apresentados nos gráficos da figura 1. Para frequências próximas à ressonância, tem-se:

$$n_2 \left(\frac{cm^2}{W} \right) = 10^4 \times \frac{8\pi^{7/2} \mu_{0j}^4 N}{3c\epsilon_0^2 h^3} \frac{2\pi\delta}{\Gamma(ku)^3} e^{-4\pi^2 \delta^2 / (ku)^2}.$$

E para frequências longe da ressonância:

$$n_2 \left(\frac{cm^2}{W} \right) = 10^4 \times \frac{\mu_{0j}^4 N}{2c\epsilon_0^2 h^3 \delta^3}.$$

Todos os termos das duas expressões são constantes exceto δ que é a dessintonia, i.e. a distância de uma dada frequência à frequência de ressonância. Utilizando esta única variável foram escritas expressões de ajuste que resultam nas curvas azuis e vermelhas dos gráficos da figura 1.

Apesar das curvas obtidas utilizando a expressão teórica de n_2 se ajustarem bem aos dados experimentais, é importante fazer a ressalva de que os dados obtidos não representam uma medida direta de n_2 . O que se mede é a transmitância do feixe através da amostra. Os ajustes mostram que esta transmitância está ligada diretamente com n_2 , pois apresenta a mesma dependência com a frequência. Ou seja deve ser possível obter uma estimativa de n_2 a partir dos parâmetros das curvas de ajuste.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, mostramos que a abertura circular, permitindo a passagem de 20% a 7% da seção reta do feixe, é essencial para a otimização do sinal dispersivo. Além disso, as análises quantitativas mostram que as expressões obtidas para a parte não-linear do índice de refração a partir de um tratamento de sistema de dois níveis se ajustam aos dados experimentais. Isso indica que deve ser possível retirar dos dados uma estimativa desta parte do índice de refração. No entanto, ainda é necessário discutir melhor como relacionar a transmitância do feixe (sinal medido) com a grandeza de interesse que é o índice de refração.

Quanto ao sistema de travamento para laser de diodo, este já está em uso e integrado ao aparato experimental da AMO. O sistema apresenta funcionamento satisfatório após a otimização dos seus parâmetros. O tempo de travamento aparenta ser suficiente para a realização do experimento de mistura de quatro ondas na AMO.

AGRADECIMENTO

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Mauris pellentesque condimentum fermentum. Curabitur in odio imperdiet erat ultrices lobortis. Sed interdum dolor non orci viverra pharetra. Vestibulum tempor congue lacinia. In sit amet erat et mi accumsan tempus. Cras metus purus, volutpat a posuere et, auctor ut dolor. Ut ut.

REFERÊNCIAS

1. D. Grischkowsky. *Physical Review Letters*. **24**, 866 (1970);
2. M. Sheik-Bahae, A.A. Said, E.W.V. Stryland. *Optical Letters*. **14**, 955 (1989);
3. M. Sheik-Bahae, A.A. Said, T.H. Wei, D.J. Hagan, E.W.V. Stryland. *IEEE Journal of Quantum Electronics*. **26**, 760 (1990);
4. E. Queiroga, W. Soares Martins, V. Mestre, I. Vidal, T. Passerat de Silans, M. Oriá, M. Chevrollier. *Applied Physics B*. **107**, 313 (2012);
5. W. Soares Martins, H.L.D. de S. Cavalcante, T. Passerat de Silans, M. Oriá, M. Chevrollier. *Applied Optics*. **51**, 5080 (2012);
6. R.W. Boyd. *Nonlinear Optics*, 3 ed. Academic, New York, 2008.

7. M.O. Araújo, H. L.D. de S. Cavalcante, M. Oriá, M. Chevrollier, T. Passerat de Silans, R. Castro, D. Moretti. *Physical Review A*. **88**, 063818 (2013).