

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ÓPTICO MECÂNICO DE UM INTERFERÔMETRO TIPO FABRY-PEROT

Leandro Estevão Martins¹, Paulo Roberto Fagundes²

¹ Bolsista, Univap, Universidade do Vale do Paraíba, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000, email: L_estevao@yahoo.com

² Orientador, Univap, Universidade do Vale do Paraíba, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000, email: fagundes@univap.br

Resumo -. Este projeto tem como finalidade desenvolver um interferômetro do tipo Fabry-Perot de alta resolução espectral para estudar a dinâmica da atmosfera superior. Serão medidos o deslocamento e alargamento Doppler da emissão do oxigênio atômico OI 630 nm e assim inferir a velocidade dos ventos e temperatura termosféricos, respectivamente.

Palavras-chave: Fabry-Perot, Desenvolvimento mecânico, ionosfera e termosfera.

Área do Conhecimento: I - Ciências Exatas e da Terra

1. Introdução

O interferômetro do tipo Fabry-Perot, construído por Charles Fabry e Alfred Perot em 1899, representa uma melhoria significativa sobre interferômetro de Michelson, no entanto sua concepção básica segue o mesmo princípio geral do interferômetro de Michelson. O interferômetro Fabry-Perot é utilizado geralmente para medidas de comprimentos de onda com alta precisão e para o estudo da estrutura fina de linhas espectrais. Um interferômetro deste tipo consiste essencialmente de dois espelhos parcialmente refletivos de vidro ou quartzo, podendo ser planos ou esféricos, mas estando alinhados para se obter o contraste de franjas máximo. Se a distância entre as placas puder ser variada mecanicamente, o dispositivo é chamado *interferômetro*, mas se as placas forem fixas o termo usado é *étalon*. A Figura 1 (a) e (b) mostram as duas situações.

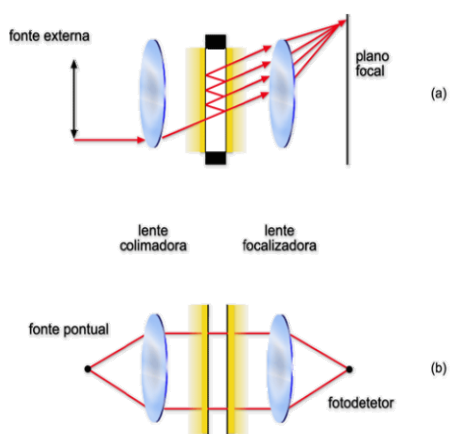


Figura 1 - (a) étalon Fabry-Perot e (b) interferômetro de Fabry-Perot.

O desenvolvimento de interferômetros tipo Fabry-Perot de alta resolução espectral acoplado

com detectores com alta sensibilidade revolucionaram a técnica de medida de ventos e temperatura termosférica. O Fabry-Perot é um instrumento óptico passivo que realiza medidas do deslocamento e alargamento Doppler da linha espectral de uma determinada emissão. O deslocamento Doppler é provocado pela velocidade de uma parcela de ar para uma determinada direção (velocidade do vento) e o alargamento Doppler é devido ao movimento aleatório das partículas no interior da parcela de ar (temperatura). Considere o caso de uma parcela de ar movendo-se para a direção sul. Quando o Fabry-Perot está posicionado para o norte a parcela de ar movimentada-se na direção do instrumento. Neste caso a linha espectral aparecerá deslocada para o “azul”. Mas quando o Fabry-Perot está direcionado para o sul o vento aparecerá se afastando do instrumento. Aqui a linha de emissão aparecerá deslocada para o “vermelho”. Assim a medida do deslocamento da linha espectral permite determinar a velocidade da atmosfera neutra.

A emissão mais utilizada para este propósito é a linha do oxigênio atômico 630 nm ($O^1D - O^3P$). O estado excitado O^1D possui um tempo de vida muito longo (da ordem de 110 segundos). Esta característica é importante, pois logo após, o átomo de oxigênio ficar excitado ele não reflete o comportamento médio da parcela de ar (atmosfera neutra), mas devido o seu longo tempo de vida finalmente ele refletirá o comportamento médio da atmosfera (temperatura e velocidade). Em outras palavras, o átomo de oxigênio torna-se termalizado com as outras espécies da atmosfera neutra devido às colisões, e quando o átomo excitado emite o fóton ele representa o comportamento médio da atmosfera neutra. Como é esperada a linha do oxigênio

atômico OI 630 nm apresenta um alargamento Doppler, sendo que este alargamento apresenta uma forma Gaussiana pura. Como a emissão OI 630 nm tem origem na termosfera a uma altura de 270 +/- 30 km, a medida do deslocamento e alargamento Doppler desta emissão é utilizada para inferir a velocidade e a temperatura da termosfera.

2. Materiais e Métodos

Um interferômetro Fabry-Perot consiste de dois (02) discos ópticos planos de vidro montados paralelamente entre si (etalon), três lentes, filtro de interferência e um detector CCD.

O etalon é construído por 2 discos separados por 3 espaçadores, os discos são recobertos por uma fina camada parcialmente refletora. O interferômetro baseia-se na múltipla interferência do feixe de luminoso dentro da cavidade do etalon. Quando o etalon é iluminado por um feixe de luz monocromático ou quase monocromático, com diferentes ângulos de incidência, cada ângulo de incidência produz um caminho óptico diferente dentro da cavidade do etalon. Quando a diferença do caminho óptico é um múltiplo inteiro do comprimento de onda do feixe incidente temos a formação de uma franja construtiva. Quando a diferença do caminho óptico é um múltiplo inteiro + 1/2 do comprimento de onda do feixe incidente temos a formação de uma franja destrutiva. As franjas são circulares devido a simetria circular do sistema. Convencionalmente mede-se o ângulo de incidência em relação a perpendicular ao plano do etalon. A equação fornece o máximo de uma franja construtiva é dado por:

$$n \lambda = 2d \cos (\theta)$$

onde n (*italico*) é a ordem de interferência, λ é o comprimento de onda do feixe luz incidente, d (*italico*) é distância entre os discos e θ é o ângulo de incidência do feixe de luz incidente.

Note que a franja de interferência de maior ordem corresponde a maior diferença de caminho, e isto ocorre quando $\cos (\theta) = 1$, portanto $\theta = 0$. Para a configuração do deste Fabry-Perot a maior ordem de interferência é $n = 47619$ ($d = 15 \times 10^6$ nm e $\lambda = 630$ nm). Um parâmetro físico muito útil é o angular “Free Spectral Range” do Fabry-Perot, isto é a distância angular entre duas franjas de interferência vizinhas. Se a primeira franja construtiva ocorre quando $\theta = 0$ ($n\lambda = 2d$), então a segunda ocorre em um ângulo que obedece a equação abaixo:

$$(n-1)\lambda = 2d \cos (\theta_{fsr})$$

Como estamos usando as ordens de interferência superiores podemos então fazer uma aproximação no ângulo de incidência do feixe de luz

$$(n-1)\lambda = 2d (1 - \theta_{fsr}^2 / 2)$$

$$n\lambda - \lambda = 2d - d\theta_{fsr}^2$$

simplificando a equação ($n\lambda = 2d$) temos,

$$\theta_{fsr}^2 = \lambda / d$$

Então o ângulo Free Spectral Range para este caso particular é $\theta_{fsr} = 6.5 \times 10^{-3}$ radianos ou $\theta_{fsr} = 0.37^\circ$ ($d=15$ mm e $\lambda = 630$ nm).

Alternativamente pode-se definir o “Free Spectral Range” em termos de comprimento de onda do feixe de luz incidente. Se o comprimento de onda do feixe de luz incidente aumenta ou diminui, então o sistema de franjas se contraem ou se expandem, respectivamente, para acomodar o mesmo número inteiro de diferença de comprimento de onda. Conforme o comprimento de onda do feixe de luz aumenta a primeira franja desaparece dentro do centro do sistema de franjas e a segunda franja assume a posição da antiga (primeira franja) e torna-se a nova primeira franja. A mudança de comprimento de onda requerido para mover a Segunda franja para a posição da primeira franja é o Free Spectral Range. O FSR é facilmente determinado usando as equações abaixo:

$$n\lambda = 2d \quad (\cos (\theta) = 1 \text{ para } \theta = 0)$$

$$(n-1)(\lambda + \Delta\lambda) = 2d \quad (\cos (\theta) = 1 \text{ para } \theta = 0)$$

então

$$(n-1)(\lambda + \Delta\lambda_{fsr}) = n\lambda$$

$$\Delta\lambda_{fsr} = \lambda / n \quad \text{ou} \quad \Delta\lambda_{fsr} = \lambda^2 / 2d$$

O FSR deste Fabry-Perot é $\Delta\lambda_{fsr} = 0.0132$ nm. Um deslocamento Doppler de 0.0132 nm do feixe incidente representa uma velocidade Doppler de 6300 m/s. Este valor é muito superior aos valores de velocidade do vento termosférico que serão observados.

O Fabry-Perot é um interferômetro de múltiplos feixes de luz. Sendo que, os feixes de luz que incidem sobre o disco superior do etalon num determinado ângulo de inclinação, sofreram múltiplas reflexões na cavidade interna do etalon.

Estes feixes incidentes emergem parcialmente em cada ponto do disco inferior. Os raios emergentes interferem construtivamente e destrutivamente no plano focal; formando círculos concêntricos de interferência devido aos raios incidentes com mesmo ângulo de inclinação. Diferentes λ também formam círculos de interferência com diferentes diâmetros (franjas). A separação entre duas franjas consecutivas é conhecida como Free Spectral Range ($FSR = \lambda^2 / 2d$). Quanto maior a distância entre as placas "d" menor é o FSR e maior é a resolução espectral do Fabry-Perot.

3. Resultados

A Figura 2 é mostra um diagrama de bloco do aparato óptico que está sendo desenvolvido neste projeto. Pode-se dividir o aparato óptico em dois módulos. O primeiro módulo tem a função de alojar o Etalon e uma lente objetiva (diâmetro= 32 cm e distância focal = 75 cm), já o segundo módulo aloja um obturador, uma lente colimadora, uma lente objetiva e o detector tipo CCD.

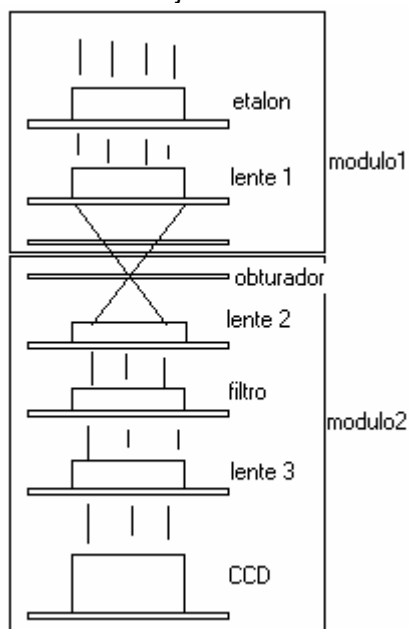


Figura 2. Diagrama de bloco do projeto óptico-mecânico do Fabry-Perot.

O desenvolvimento do primeiro módulo pode ser sub-dividido em 4 fases. Na primeira fase discutiu-se a concepção do projeto mecânico e X bem como a praticidade da localização dos elementos ópticos. Nesta fase também foi definida a especificação do material a ser utilizado e suas dimensões.

Ainda na primeira fase, a proposta inicial era que o sistema ficasse integrado por 4 barras, mas por fim usamos 3 e conseguimos maior espaço livre para facilitar o ajuste dos

componentes ópticos (alinhar o sistema óptico), a praticidade de realizar possíveis consertos e ajustes nos blocos.

Empenhados em economia de material, mudamos as 3 bases, que eram peças de 437x437x15mm para uma forma triangular de 3 eixos defasados de 120° alojando o furo de diâmetro $\Phi = 152\text{mm}$ no centro e os suportes das barras integradoras e rolamentos nos extremos, mas o custo com mão de obra na usinagem não deixou esta proposta viável.

A segunda fase utilizou-se o programa AutoCad para confeccionar os desenhos mecânicos de todas as peças do primeiro módulo. Uma visão detalhada do projeto mecânico pode ser vistas na Figura 3.

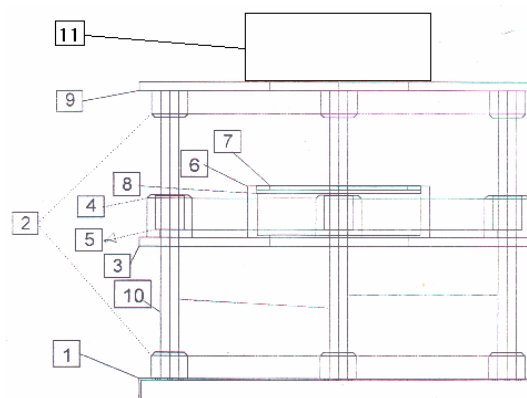


Figura 4. Detalhamento do projeto mecânico. Onde 1 – Base inferior; 2 – Suporte da barra integradora; 3 – Base intermediária; 4 – Suporte do rolamento; 5 – Rolamento; 6 – Suporte da lente; 7 – Tampo da lente; 8 – Lente; 9 – Base superior; 10 – Barras integradoras; 11. – Etalon.

As três bases (inferior, intermediária e superior) foram confeccionadas em alumínio naval, sendo que as bases possuem a mesma dimensão (437x437x15mm). Em cada uma das bases foi feita um orifício no centro com diâmetro de 152 mm, de forma tal a permitir a passagem da luz através do Etalon e lente 1.

Na base superior e inferior se alojam os suportes para fixar as barras integradoras (3 na base inferior e 3 na base superior). Os suportes foram confeccionados em alumínio duro com as seguintes dimensões: 30 mm de altura e 40mm de diâmetro, com um orifício no seu centro de 20 mm de diâmetro, cuja a finalidade é de fixar as barras integradoras nas bases. As barras são de Inox com dimensões 300 mm de comprimento e 20 mm de diâmetro, que além de sustentar todo o bloco, serve de trilho para o deslocamento da base intermediária. Sendo que o deslocamento da

base intermediária é realizado com o auxílio de rolamentos lineares. Na base superior está alojado o Etalon, que é o principal componente óptico do interferômetro Fabry-Perot, cuja explicação foi feita anteriormente.

Na terceira fase as peças foram confeccionadas na Própria oficina da UNIVAP, com a supervisão do aluno de iniciação científica. A Figura 4 mostra em detalhes o modulo 1 que foi confeccionado, bem como o etalon na base superior e a lente na base intermediária.



Figura 4 – Foto do modulo 1 e seus respectivos componentes ópticos.

5. Conclusão

O desenvolvimento deste projeto permitiu o estudante entrar em contato com o aplicativo AutoCad (*referencias usadas*) e desenvolver habilidade para projetar e desenvolver peças mecânicas.

Conhecimentos de óptica
Conhecimentos de física

6. Referência Bibliográfica

Fagundes P.R., Sahai, Y., Bittencourt, J.A. and Takahashi, H. Observation of thermospheric neutral winds and temperatures at Cachoeira Paulista (23°S, 45°W) during a geomagnetic storm. *Advances in Space Research*, 16(5), 27-30, 1995.

Fagundes P.R., Sahai, Y., Bittencourt, J.A. and Takahashi, H. Relationship between generation of equatorial F-region plasma bubbles and thermospheric dynamics. *Advances in Space Research*, 16(5), 117-120, 1995.

Fagundes P.R., Aruliah, A.L., Rees, D. and Bittencourt, J.A. Gravity wave generation and propagation during geomagnetic storms over

Kiruna (67.8°N, 21.4°E). *Annales Geophysicae*, 13, 358-366, 1995.

Hernandez G. *Fabry Perot Interferometers*, Cambridge University Press, 1986.

Rees M.H. *Physics and Chemistry of the Upper Atmosphere*. Cambridge University Press, 1989.

Sahai, Y., Takahashi, H., Fagundes P.R., Clemesha, R.B., Teixeira, N.R. and Bittencourt, J.A. Observations of thermospheric neutral winds at 23° S. *Planetary and Space Science*, 40(6), 767-773, 1992.

Sahai, Y., Takahashi, H., Teixeira, N.R., Fagundes P.R., Clemesha, R.B. and Bittencourt, J.A. Observations of thermospheric temperatures at 23° S. *Planetary and Space Science*, 40(11), 1545-1549, 1992.