

Caracterização ótica de soluções

Física Experimental IV - 2016 - Prof. Dr. Valmir Antonio Chitta

1. Resumo

O projeto tem como objetivo principal determinar o comportamento da luz ao passar por meios dielétricos e translúcidos, com diferentes propriedades eletromagnéticas. Por um lado, pretende-se analisar a mudança na polarização das ondas, e por outro, estudar o índice de refração de meios que sejam inhomogêneos e meios que sejam misturas de outros.

No caso dos meios inhomogêneos, pretende-se trabalhar com uma aproximação discretizada do meio, ou seja, que existam trechos contínuos de uma mesma substância, de forma que possamos exprimir o índice de refração do sistema completo como uma relação entre os índices de refração individuais de cada meio. O que se espera é justamente uma comprovação experimental do modelo teórico, indicando que é válido. E além disso, o estudo de como se comporta o índice de refração quando se misturam duas soluções diferentes, ou seja, como ficará o índice de refração do sistema e como ele pode ser escrito em função dos índices das soluções prévias.

O estudo da atividade ótica em soluções tem como objetivo verificar como a luz polarizada linearmente deflete ao atravessar diferentes soluções. Espera-se observar mudança de polarização em todos os casos, além da dependência entre deflexão e concentração da substância óticamente ativa e comprimento de onda do feixe polarizado.

Através dos dois estudos combinados, tanto dos meios inhomogêneos quanto da atividade ótica, pretende-se relacionar as soluções utilizadas em ambas experiências para determinar as implicações de diferentes índices de refração na ótica geométrica (refração da luz) e na ótica física (polarização de ondas).

2. Fundamentação teórica

2.1. Meio inhomogêneo e mistura de soluções

Associações de resistores, capacitores e molas possuem fórmulas simples para calcular a respectiva grandeza equivalente, ou seja, um(a) único(a) resistor/capacitor/mola que representa o sistema todo. A pergunta que surge é se é possível fazer o mesmo para os índices de refração.

A primeira situação considerada foi um sistema com várias camadas ^[1], no qual cada camada era uma substância homogênea com seu índice de refração. Um exemplo da situação é representado na figura 1:

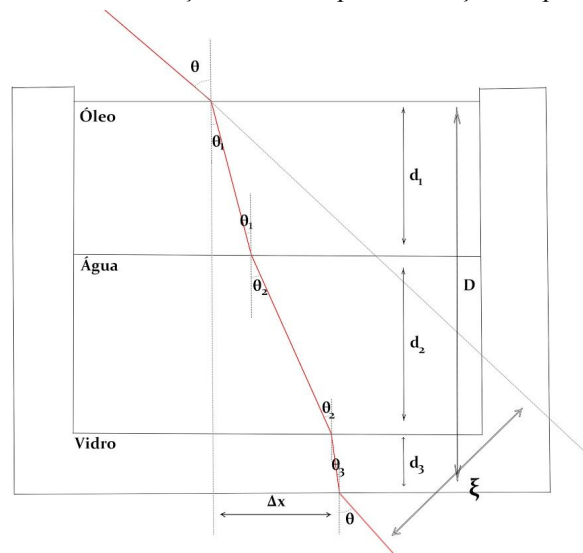


Figura 1: Sistema composto por substâncias homogêneas com índices de refração distintos.

Em geral, tem-se n meios, cada um com espessura d_i . Sendo θ o ângulo de entrada do raio luminoso no primeiro meio, considerando a aproximação $\sin\theta \approx \theta$ para ângulos pequenos, $n_{ar} = 1$, e considerando que após o n -ésimo meio o raio volte para o ar, a Lei de Snell fica:

$$n_i \sin\theta_i = n_{ar} \sin\theta \rightarrow n_i \theta_i = \theta \quad (1)$$

Onde θ_i é o ângulo de refração para o i -ésimo meio.

Como o raio de luz vem do ar e volta para o ar, a equação (1) permite concluir que o ângulo de entrada é igual ao de saída e portanto os raios serão paralelos. É possível definir então o desvio lateral, (2), que é a distância entre estes dois raios paralelos:

$$\xi = D \sin \theta \left(1 - \frac{\cos \theta}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \right) \rightarrow D \theta \left(1 - \frac{1}{n} \right) \quad (2)$$

Em (2), o n representa o índice de refração efetivo, pois toda informação sobre o sistema (índices de cada camada, espessuras, etc) estão contidas nesse valor.

Outra grandeza geométrica notável é o desvio horizontal do raio, nomeado de Δx , como na figura 1. Ela representa a distância que o raio luminoso percorreu na direção horizontal, e é dada por:

$$\Delta x = \sum_i \operatorname{tg} \theta_i d_i \rightarrow \sum_i \theta_i d_i = \theta \sum_i \frac{d_i}{n_i} \quad (3)$$

Foi utilizada (1) no último passo de (3), e a aproximação $\operatorname{tg} \theta \approx \theta$ para ângulos pequenos.

Dividindo (2) por (3), e chamando a somatória em (3) de M por simplicidade, elimina-se a dependência de θ :

$$\frac{\xi}{\Delta x} = \frac{D(1-\frac{1}{n})}{M} \Rightarrow n = \frac{\Delta x}{\Delta x - \frac{\xi D}{M}} \quad (4)$$

Além dessa forma, também pode-se determinar n considerando um triângulo equivalente com a hipotenusa ligando a entrada e saída da luz no composto de fluidos. Assim, o ângulo equivalente θ_{eq} pode ser escrito como (5).

$$\operatorname{tg} \theta_{eq} = \frac{\sum_i d_i \operatorname{tg} \theta_i}{D} \quad (5)$$

Pela lei de Snell e com aproximação paraxial, é obtido (6).

$$n = \frac{\operatorname{sen} \theta}{\operatorname{sen} \theta_{eq}} \approx \frac{\theta}{\theta_{eq}} = \frac{\theta D}{\sum_i d_i \theta_i} = \frac{\theta D}{\sum_i \frac{d_i}{n_i} \theta} = \frac{D}{\sum_i \frac{d_i}{n_i}} \quad (6)$$

Agora considera-se outra situação. Tem-se duas ou mais soluções (por exemplo, água misturada com dois solutos diferentes) cada uma com seu índice de refração [2]. Misturando-se as soluções (se forem miscíveis), ter-se-á, a priori, outro índice de refração. O intuito é tirar conclusões a partir da análise de dados, já que não foi possível construir um modelo para a situação.

2.2. Atividade ótica

Jean-Baptiste Biot observou que a deflexão da luz linearmente polarizada em soluções é dependente do comprimento do caminho que ela percorre no meio ativo, do comprimento de onda e da temperatura [3]. Adicionalmente, sabe-se que essa deflexão também é proporcional à concentração da substância ativa na solução [4].

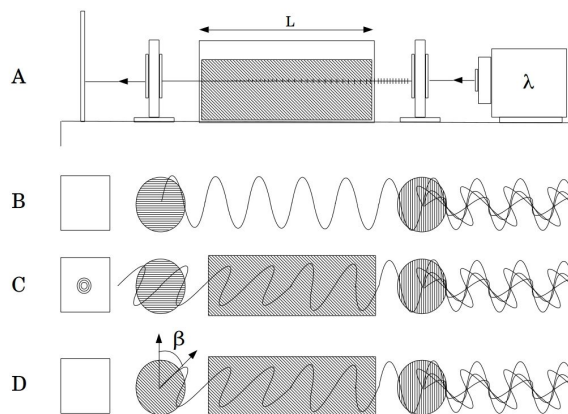


Figura 2: A) Arranjo para as medidas relacionadas à atividade ótica. B) Feixe luminoso na ausência de solução entre os polarizadores. C) Feixe de luz na presença de uma solução opticamente ativa entre os polarizadores. D) Mudança angular associada à polarização.

A rotação específica de um feixe luminoso de comprimento de onda λ que atravessa uma solução opticamente ativa a uma dada temperatura T é denotada por $[\alpha]_{\lambda}^T$. Essa grandeza pode ser calculada a partir da mudança α no ângulo de polarização do feixe através da seguinte relação:

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{Lc} \quad (7)$$

Onde L é o comprimento do recipiente que contém a solução, em decímetros, e c é a concentração do soluto opticamente ativo, em g/mL.

Em sólidos opticamente ativos como quartzo há uma relação entre a rotação de deflexão β e o comprimento de onda λ do feixe incidente ^[5], dada por (8):

$$\beta = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad (8)$$

Onde A e B são constantes a serem determinadas. Não foram encontradas informações confirmando se (8) também descreve a maneira como a rotação devido a soluções depende do comprimento de onda.

3. Descrição experimental e técnicas de análise de dados

3.1. Meio inhomogêneo e mistura de soluções

O arranjo experimental a ser utilizado para as medições do meio com vários índices de refração consiste em um recipiente de vidro na forma de paralelepípedo, cuja parte superior é vazada. Nesse recipiente podem ser colocados uma série de meios diferentes, na forma de líquidos imiscíveis. O recipiente é colocado contra uma folha na qual está impresso um transferidor, e acima de uma mesa na qual está colocada uma régua. Dessa forma, é possível medir o ângulo de incidência no primeiro meio, a espessura de cada meio, e a grandeza Δx , a qual é medida através da determinação da distância entre o ponto no qual o raio luminoso atinge a régua e o ponto no qual o laser incide perpendicularmente. A partir destas grandezas, com a relação teórica determinada, obtém-se o índice de refração.

Para realizar as medições de índice de refração em soluções (e misturas) será utilizado um método que permitirá melhor acurácia nas medidas ^{[2][6]}. O arranjo é basicamente composto de um prisma oco (onde coloca-se a solução), que fica em cima de uma plataforma giratória, um anteparo e um laser. Girando o prisma, encontra-se a situação em que o ângulo de desvio é mínimo ^[7] e daí é possível calcular o índice de refração do sistema. Os solutos das soluções serão preferivelmente os citados na seção 3.2.

3.2. Atividade ótica

As medidas relacionadas à atividade ótica das soluções serão feitas segundo o arranjo ilustrado na figura 2-A: Posiciona-se um recipiente com soluções ativas entre dois polarizadores. Sabendo que, na ausência de solução entre eles, observa-se um mínimo de intensidade no anteparo quando um feixe de luz passa por dois polarizadores ajustados de tal forma que a diferença entre o ângulo do segundo menos o ângulo do primeiro seja 90° , conforme a figura 2-B, e que a substância opticamente ativa causará uma mudança no ângulo associado à polarização, gerando um aumento de luminosidade no anteparo conforme ilustrado na figura 2-C, pode-se encontrar esse ângulo ajustando o analisador até se obter um novo mínimo, como ilustrado na figura 2-D.

Para verificar a dependência entre este ângulo de deflexão e outros parâmetros como concentração e comprimento de onda do feixe, usaremos lasers de pelo menos quatro comprimentos de onda diferentes: 650 nm , 633 nm , 532 nm e 405 nm . Usaremos como solutos terebintina ($\alpha = 37^\circ$ levorrotatório, $\alpha = 14^\circ$ dextrorrotatório) ^[3], dextrose ($\alpha = 53^\circ$) ^[8], cânfora ($\alpha = 43^\circ$) ^[3] e maltodextrina ($\alpha = 180^\circ$) ^[9]; e álcool e água como solventes. Todos os alfas correspondem à rotação específica dos solutos a 20°C , para feixes de comprimento de onda compatíveis à linha espectral D. Estes valores variam ligeiramente de acordo com a referência consultada.

No estudo da deflexão em função da concentração de soluto ativo, a intensidade luminosa no anteparo será estimada com uso de fotodetector ou a partir de estimativas usando fotografias em conjunto com softwares de fotometria. A análise de dados consistirá em primeiro ajuste que fornecerá o ângulo correspondente à intensidade mínima para uma dada concentração. Obteremos máximos para diferentes valores de concentração,

e com essa informação faremos um ajuste baseado em (7) a fim de determinar a rotação específica da solução estudada.

No caso da deflexão em função do comprimento de onda, o fotodetector é dispensável, porém, caso seja usado, a incerteza na medida de intensidade mínima pode ser diminuída. Neste caso a análise de dados não será unicamente baseada em abordagens estatísticas, uma vez que o número de graus de liberdade será insuficiente para um ajuste de função confiável.

4. Primeiras Medições

4.1. Meio inhomogêneo

Para a realização das medidas preliminares foi utilizado um recipiente de vidro de altura $58,0 \pm 0,5 \text{ mm}$ com base retangular, no qual a base é composta por um vidro de espessura de $3,0 \pm 0,5 \text{ mm}$ e cuja parte superior é vazada. Na fase inicial, foram colocados dois meios imiscíveis no recipiente, no qual, na parte inferior, foi colocada uma camada de água de $37,5 \pm 0,5 \text{ mm}$ de altura e, na parte superior, uma camada de óleo com espessura de $17,5 \pm 0,5 \text{ mm}$. A fim de estudar a refração da luz nesses meios foi utilizado um laser de luz monocromática vermelha, o qual foi incidido na superfície superior dos meios. Foram utilizadas duas mesas com regulação de altura, elevando assim o recipiente a uma altura de $34,5 \pm 0,5 \text{ mm}$ para que, dessa forma, fosse possível medir o Δx e o desvio lateral. Para obter o ângulo de incidência do laser nos meios foi colocada, atrás do recipiente, uma folha, a qual possuía um transferidor impresso. Foram tomados os cuidados de alinhar a linha do meio do transferidor com a superfície superior que separa os meios líquidos do ar e incidir o laser no centro do transferidor. Foi ainda utilizada uma régua para medir os dados que possibilitaram obter os valores de Δx e o do desvio lateral.

Em relação a análise dos dados, o grupo fez o gráfico 1.

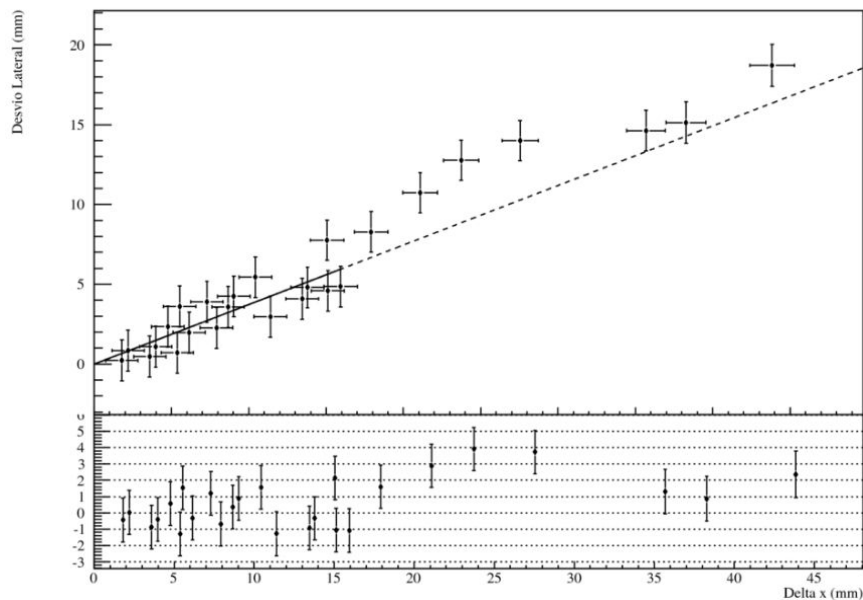


Gráfico 1 - Primeira tomada de dados sobre os meios inhomogêneos.

O ajuste realizado foi $y = ax$, em referência a equação (4), e foi aplicado aos pontos que são condizentes com uma aproximação paraxial, ou seja $0 < \theta < 20^\circ$.

Com isso, obteve-se um índice de refração diante o ajuste, de valor $1,38 \pm 0,04$, e pela geometria, a partir de (6), o índice de refração do sistema é de $1,36 \pm 0,02$. Entre tais valores existe um nível de confiança de 90%. Portanto, o modelo teórico se adequou muito bem ao sistema estudado.

4.2. Atividade ótica

Inicialmente foi montado o arranjo conforme ilustrado na figura 2-A, começando pelo laser vermelho. O polarizador foi regulado em 0° e analisador em 90° e verificou-se que quando não há solução entre eles era possível observar uma intensidade luminosa muito baixa (idealmente zero) no anteparo, como esperado.

Em seguida foi colocado um recipiente com uma solução de água e açúcar (com uma concentração de aproximadamente 400 g/L) entre o polarizador e o analisador, e notou-se um aumento de intensidade. Então o analisador foi ajustado até se tornar possível observar um mínimo de intensidade. Repetiu-se o procedimento com o laser verde.

Para o laser vermelho (633 nm) inicialmente ajustou-se o polarizador e analisador em $0^\circ \pm 1^\circ$ e $(90 \pm 1)^\circ$, respectivamente. Na presença da solução o novo mínimo foi observado quando o analisador foi ajustado em $(40 \pm 6)^\circ$, de modo que essa segunda incerteza, maior que a primeira, reflete a dificuldade de definir o novo mínimo. Então $\beta = (50 \pm 6)^\circ$.

De maneira similar obteve-se $\beta = (64 \pm 4)^\circ$ para o laser verde (532 nm). A incerteza menor em relação ao β do laser vermelho deve-se ao fato de que foi mais simples definir o novo mínimo para o laser verde usado, em particular, por conta de sua potência maior.

Esses resultados são insuficientes para verificar se (8) também vale para água e açúcar, contudo, ao menos qualitativamente, a dependência entre β e o inverso de λ é imediata.

5. Cronograma da execução do projeto

Tabela 1: Cronograma previsto desde a elaboração do experimento até a apresentação final.

<i>Atividade</i>	<i>Data de início</i>	<i>Data de término</i>
Coleta dos materiais necessários para o experimento de polarização; Preparação para a tomada de dados.	26/09	8/10
Tomada de dados em relação a mistura de soluções; Tomada de dados para o experimento de polarização; Análise preliminar dos dados obtidos.	9/10	29/10
Finalização da análise de dados.	30/10	12/11
Discussão sobre os resultado; Preparação da apresentação.	13/11	5/12
Apresentação	6/12	

6. Referências

- [1] NUSSENZVEIG, H. MOYSÉS. *Curso de Física Básica: 4 - Ótica, Relatividade, Física quântica*. 1 Ed. São Paulo - SP: Edgard Blucher LTDA. 1997.p 35-39
- [2] MAHMOOD, W.. Refractive index of dye solution. OSA Publishing. Vol. 28 Issue 20. 1989.
- [3] H. Landolt. *Optical Activity and Chemical Composition*. Whittaker.
- [4] N. Carlin, E. M. Szanto, W. A. Seale, F. O. Jorge, F. A. Souza, I. H. Bechtold, L. R. Gasques. Birrefringência em placas de onda e atividade óptica de uma solução de açúcar. *Revista Brasileira de Ensino de Física*.
- [5] F. A. Jenkins, H. E. White. *Fundamentals of Optics*. McGraw-Hill Education.
- [6] JENKINS, D. D., Refractive indices of solutions. *Physics Education* Vol. 17 No. 2 1982
- [7] HECHT, E.. *Optics*. 2 Ed. Addison-Wesley Publishing Company, 1987 p 163-166
- [8] R. C. Weast. *Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press.
- [9] P. Dokic et al. Molecular characteristics of maltodextrins and rheological behaviour of diluted and concentrated solutions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*.