
POLARIZAÇÃO DA LUZ: UMA PROPOSTA DE EXPERIÊNCIAS SIMPLES^{*1}

Elisa Colombo
Mirta Jaén
Instituto de Física
Universidade Nacional de Tucumán
Sain Miguel de Tucumán – Argentina

Resumo

Propõe-se uma série de experiências simples a partir das quais os alunos possam estudar os fenômenos com luz polarizada. Resgata-se o valor da experiência na compreensão de temas que, como o mencionado, apresentam certa dificuldade para a aprendizagem pelo fato de envolverem conceitos pouco intuitivos. As observações e experiências foram escolhidas de maneira que pudessem ser realizadas por grupos pequenos de estudantes e com elementos acessíveis e de baixo custo. Faz-se a descrição dos experimentos e os elementos necessários para realizá-los, destacando-se os objetivos de cada um deles. Questões finais de síntese, preparadas para serem discutidas com os estudantes de modo a enfatizar tais objetivos, são também apresentadas.

Palavras-chave: *Polarização, polarização por reflexão, polarização por refração em materiais birrefringentes, polarização por dispersão, educação em polarização.*

I. Objetivos

O estudo do tema “Polarização da luz” apresenta certa dificuldade para a aprendizagem pois trata de conceitos físicos pouco intuitivos. O objetivo do presente trabalho é resgatar o valor da experiência na compreensão desse tipo de fenômeno

* Publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 8, n. 1, abr. 1991.

¹ Traduzido pelo Conselho Editorial do CBEF e revisado pelo Prof. Rosendo Augusto Yunes, do Departamento de Química – UFSC.

físico. Para isso, propõe-se uma série de experiências e observações de laboratório que permitam um trabalho direto e ativo do estudante em grupos pequenos².

Acredita-se que a importância que deve ser dada ao rigor conceitual em uma primeira etapa de aprendizagem é fundamental. Antes de manipular as fórmulas operacionais, os alunos devem ter claros os conceitos, os modelos usados e suas limitações, como única maneira de evitar aplicações mecânicas de expressões matemáticas ou cálculos vazios de conteúdo físico.

As concepções prévias do estudante sobre o tema são escassas; conhece, por exemplo, o uso de vidros polarizadores em óculos de sol e em filtros fotográficos, porém sua experiência prévia não é comparável com a que conta em outros campos da física, como, por exemplo, na mecânica. Por isso, busca-se aproveitar ao máximo todos os fenômenos simples que estão ao seu alcance e sobre os quais, em geral, se passa por alto. Neste sentido, também tem importância que o estudante possa “jogar” com seus elementos de trabalho, propondo variações e criando situações novas.

Os equipamentos de baixo custo, introduzidos como necessidade nos cursos universitários básicos, tipicamente numerosos, têm, por suas características, um grande valor intrínseco que pode ser aproveitado no processo de aprendizagem.

As experiências propostas têm sido organizadas segundo a estrutura temática que destaca as diferentes formas de obter luz polarizada: por reflexão em meios não metálicos, por refração em meios birrefringentes e por dispersão. Para finalizar, apresentam-se dois exemplos de uso e aplicação da luz polarizada: medição de efeitos mecânicos por birrefringência artificial e determinação da concentração de sacarose a partir da atividade ótica. (Algumas dessas experiências são mencionadas na bibliografia. Elas foram selecionadas e complementadas em função dos objetivos do trabalho.)

Em cada um dos temas, faz-se uma descrição das experiências, dos objetivos de cada uma delas e dos elementos necessários para realizá-las. Por último, propõe-se, como exemplo, algumas questões para serem discutidas com os estudantes.

Em geral, a bibliografia aparece ao final do trabalho, já que todos os temas são tratados nos livros citados, ainda que com distinta extensão e profundidade. Em relação ao nível secundário, o professor deverá selecionar aquelas referências que se adequem a seus objetivos.

² Esta proposta surge a partir de uma experiência de trabalho com docentes de nível médio e universitário em um Encontro sobre o tema, mencionado pelos autores na Revista de Ensino de Física, v. 5 (Tucumán, 1985), e da prática docente com alunos de segundo ano dos cursos de Engenharia e Licenciatura em Física no Laboratório de Física (FCEYT – Universidade Nacional de Tucumán), coordenado pela Prof^a Leonor Colombo de Cudmani.

Em algumas notas assinala-se a possibilidade de incorporar outros elementos mais sofisticados às experiências (goniômetro, um laser, um fotômetro), no caso em que o laboratório disponha deles; porém, em geral, as experiências podem ser executadas contando com um par de lâminas polarizadoras, um pedaço de calcita (caso se consiga) e... muita habilidade e interesse para analisar a fundo cada situação experimental, tirando o máximo proveito possível das mais simples observações.

II. Observações introdutórias

O objetivo destas primeiras observações é que o estudante caracterize o estado de polarização da radiação que recebe das diferentes fontes de luz a seu alcance, usando um filtro polarizador como “detector de luz polarizada”. Introduce-se, assim, o conceito de luz total ou parcialmente polarizada e aprofunda-se no estudo de um modelo de emissão da luz.

Experiência 1: Análise do estado de polarização de uma radiação luminosa

Elementos necessários

- Um filtro polarizador. (Pode-se usar um filtro polarizador do tipo utilizado em fotografia. Caso se trate de um curso freqüentado por muitos estudantes, pode-se adquirir uma prancha polaróide.)

Descrição

Os estudantes devem observar através do filtro polarizador, fazendo-o girar orientado para diferentes fontes de luz: uma lâmpada de filamento incandescente, um tubo fluorescente, a luz refletida em uma mesa, na borda de uma janela ou em qualquer superfície. Pode-se observar o diferente grau de polarização de diferentes zonas do céu, caso esteja sem nuvens.

Questões para aos alunos

➤ *Analise o que você observa com cada fonte: a intensidade transmitida pelo polarizador muda à medida que este é girado?*

➤ *O que se pode dizer do estado de polarização da luz proveniente das diferentes fontes?*

➤ *Como se explica a luz polarizada a partir de um modelo de emissão do átomo?*

➤ *Como se explica o fato de que a luz natural não é polarizada, utilizando o mesmo modelo de emissão do átomo?*

➤ *Proponha alguma analogia mecânica para representar cada uma dessas situações.*

Experiência 2: A lei de Malus e um modelo da onda

Elementos necessários

- Dois polarizadores;
- Uma fonte de luz (pode-se utilizar a da sala de aula).

Descrição

Os alunos olham para uma fonte de luz através de dois polarizadores. Fixam a posição do primeiro (isto significa fixar uma direção de transmissão) e fazem girar o segundo polarizador (analisador), relacionando a intensidade transmitida com o ângulo entre os polarizadores.

Nota: No caso de haver um fotômetro no laboratório, pode-se verificar, posteriormente, em forma quantitativa, a lei de Malus.

Questões para aos alunos

- *Qual a dependência entre a intensidade do feixe observado e o ângulo formado pelas direções de transmissão dos dois polarizadores?*
- *Que modelo é utilizado para representar a onda luminosa tal que possa explicar a relação encontrada?*

III. Produção de luz polarizada

O objetivo das experiências que são propostas a seguir é o de revisar, de maneira integrada, as diferentes formas de se obter luz polarizada. Em cada caso pretende-se que o estudante busque um modelo sobre a interação onda-matéria que explique os fenômenos observados.

III.1 Por reflexão

Experiência

Elementos necessários

- Um polarizador;
- Várias lâminas de vidro (utilizadas em microscópio ou similares);
- Uma fonte de luz (pode-se utilizar a da sala de aula).

Descrição

Empilham-se as lâminas de vidro, pegando-as pelas extremidades de maneira a formar um “sanduíche de vidro e de ar de várias camadas”. Analisa-se a luz refletida com um polarizador, fazendo variar o ângulo (ψ) que forma a linha de visão com a direção normal (Fig. 1). Com este dispositivo o aluno pode determinar,

aproximadamente, o ângulo para o qual a luz refletida está totalmente polarizada (ângulo de Brewster).

Repete-se a experiência com uma superfície metálica para comparar resultados.

Nota

No caso de haver um goniômetro no laboratório, os alunos podem realizar, como complemento da experiência, uma determinação mais precisa do ângulo de Brewster.

Questões para aos alunos

➤ *Por que quando se olha através do polarizador, na direção correspondente ao ângulo de Brewster, deixa-se de ver os objetos refletidos na superfície das lâminas?*

➤ *Por que é necessário que o meio seja não metálico para se observar a polarização parcial?*

➤ *Os tubos de emissão laser têm, em suas extremidades, janelas de Brewster (o ângulo que forma o feixe emergente com a normal à janela é igual ao ângulo de Brewster). Qual você considera ser sua função? (CRAWFORD, p. 446.)*

➤ *Qual é a finalidade de um filtro polarizador em óculos de sol, Filtros fotográficos e pára-brisas de automóveis? (MAIZTEGUI, p. 170; SEARS, p. 183.)*

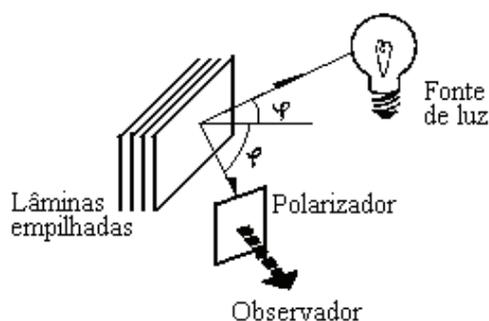


Fig. 1

III.2 Por refração em materiais birrefringentes

Através das experiências a seguir, estuda-se o fenômeno da dupla refração determinada pela anisotropia óptica do material, que define uma ou mais direções privilegiadas neste (eixo óptico). Desta forma, a diferença entre os índices principais de refração aparece como uma medida da anisotropia do meio. Assim, revisa-se o efeito que produzem as lâminas retardadoras nas quais o eixo óptico está contido na superfície da lâmina perpendicular à direção de propagação da luz.

Junta-se a esses conceitos o dicroísmo, que soma à birrefringência a absorção seletiva de uma das componentes da luz incidente.

Por último, introduz-se o efeito de cor produzido por interferências com lâminas retardadoras.

Experiência 1: Obtenção dos raios ordinário e extraordinário

Elementos necessários

- Um pedaço de calcita³ (pode ser conseguida em um Instituto de Geologia);
- Dois polarizadores;
- Um pequeno diafragma (lâmina metálica com um orifício de 1 ou 2 mm de diâmetro);
- Uma fonte de luz potente (pode ser usada a lâmpada de um projetor de slides);
- Uma lente convergente (distância focal da ordem de 30 cm);
- Uma tela (papel branco opaco para ver por reflexão ou papel vegetal para ver por transmissão, fixados a um marco).

Descrição

Os alunos montam sobre a sua mesa de trabalho o dispositivo mostrado na Fig. 2.

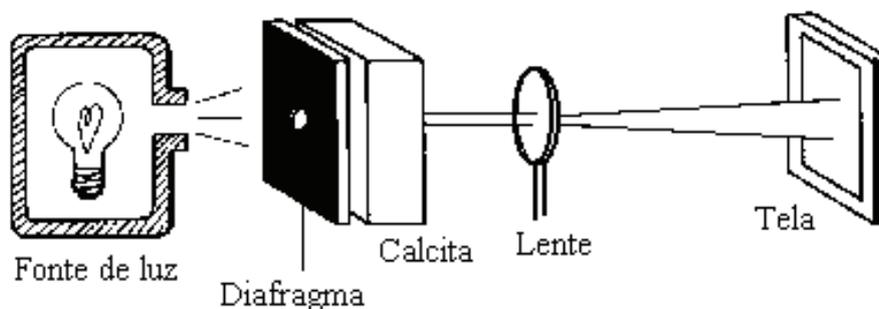


Fig. 2

O diafragma deve ser colocado muito próximo da calcita. As distâncias calcita-lente e lente-tela podem ser calculadas a partir da distância focal da lente e do aumento desejado.

Os estudantes observam o duplo feixe de luz que incide na tela.

Intercala-se um polarizador (analisador) entre o cristal de calcita e a tela, girando-o para determinar o estado de polarização desses dois feixes. Agora, intercala-se o outro polarizador entre a fonte e o diafragma para ver como se modificam os resultados quando se faz incidir luz polarizada na calcita.

³ Caso não consiga a calcita, a experiência pode ser evitada.

Questões para aos alunos

➤ *Como você fez para identificar qual era a imagem produzida pelo raio ordinário e qual era a produzida pelo raio extraordinário, na tela?*

➤ *O efeito observado depende do estado de polarização da luz incidente?*

➤ *Se fizermos uma superposição dos dois feixes que emergem da calcita com algum sistema óptico, serão observadas franjas de interferência em uma tela?*

➤ *Por que é necessário introduzir um diafragma e uma lente no dispositivo experimental?*

➤ *Você pode estimar a espessura da calcita necessária para obter feixes não superpostos? (Especifique o diâmetro do diafragma, verifique todas as hipóteses que sejam necessárias e, logo após, comprove-as.)*

Experiência 2: Análise do efeito das lâminas retardadoras

Elementos necessários

- Dois polarizadores;
- Uma fonte de luz (pode-se usar a da sala de aula);
- Fita durex;
- Papel celofane;
- Polietileno;
- Lâminas de mica (pode-se usar a de uma resistência de ferro de passar);
- Lâminas de vidro (utilizadas em microscópios) ou lâminas de plástico não birrefringentes (pode-se comprovar que um plástico é não birrefringente se, ao colocá-lo entre dois polarizadores cruzados, não reaparece a luz).

Descrição

Coloca-se sobre uma lâmina de vidro um pedaço de fita durex e posiciona-se esse conjunto entre dois polarizadores cruzados. Com o segundo polarizador, analisa-se a luz transmitida através desse dispositivo (Fig. 3).

Modifica-se agora a direção da fita durex em relação aos polarizadores.

Pode-se inclinar a lâmina de vidro de maneira a variar a espessura da fita atravessada pela luz.

Propõe-se ao estudante que tire o primeiro polarizador e, depois, o segundo.

Repete-se esta experiência com mica, papel celofane, plástico comum e plástico esticado (HECHT, p. 264; CRAWFORD, p. 447).

Questões para aos alunos

- Para que direção da fita durex a luz transmitida tem intensidade máxima?
- O que se observa quando incide luz natural sobre a fita? Explique a função de cada polarizador no dispositivo experimental.
- Estabeleça semelhanças e diferenças com a experiência realizada com a calcita.
- Os elementos que você usou em suas experiências se comportam como lâminas retardadoras: de que tipo?
- Que papel desempenham os sulcos que apresentam o papel celofane e os plásticos?
- Qual é o princípio de funcionamento do filtro polarizador que está usando? Como é construído?
- Discuta possíveis aplicações das lâminas retardadoras.

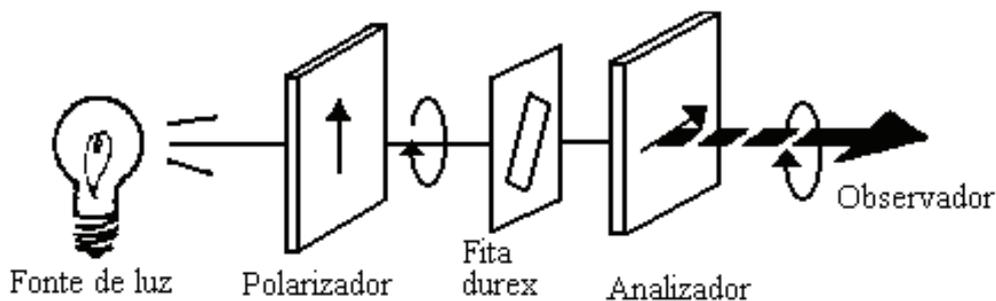


Fig. 3

Experiência 3: Produção de luz linear, circular ou elipticamente polarizada

Elementos necessários

- Dois polarizadores;
- Um pedaço de polietileno;
- Mica;
- Um filtro de cor (papel celofane verde ou vermelho ou vidro colorido);
- Uma fonte de luz (pode-se usar a da sala de aula).

Descrição

Prende-se (pelos extremos), a uma lâmina de vidro de microscópio, várias camadas de polietileno esticadas (cuidando para que os sulcos estejam na mesma direção). Faz-se incidir luz linearmente polarizada (luz mais polarizador).

Em geral, o estudante observará na saída luz elipticamente polarizada. Para um determinado número de camadas (aproximadamente seis) obterá um tipo

especial de lâmina retardadora que lhe permitirá produzir luz linear, circular ou elipticamente polarizada, de acordo com o ângulo de polarização da luz incidente.

Um segundo polarizador permite analisar o feixe emergente do material birrefringente (CRAWFORD, p. 467). O mesmo efeito pode ser obtido com lâminas de mica (HECHT, p. 265).

Para visualizar melhor a luz circular ou elíptica, convém utilizar um filtro de cor após a fonte.

Questões para aos alunos

➤ *Por que é importante o cuidado quanto à orientação das distintas camadas de plástico?*

➤ *Por que deve incidir luz polarizada?*

➤ *Por que convém usar um filtro de cor?*

Experiência 4: Obtenção de cores por interferência com luz polarizada

Elementos necessários

- Dois polarizadores;
- Uma fonte de luz (pode-se usar a da sala de aula);
- Fita durex;
- Papel celofane;
- Placa fina de gelo;
- Mica;
- Uma lâmina de vidro ou lâmina de plástico não birrefringente.

Descrição

Sobre uma lâmina de vidro, superpõem-se várias camadas de fita durex, de maneira a se ter zonas com diferentes números de camadas (duas, três, quatro...). Coloca-se essa lâmina entre dois polarizadores cruzados e observa-se a luz transmitida (ver Foto 1) (HECHT, p. 270).

Repete-se a experiência com papel celofane “enrugado”, uma placa fina de gelo e várias lâminas de mica.



Questões para aos alunos

➤ *O que você observa se girar o primeiro polarizador? E se girar o segundo?*

➤ *Qual é a espessura máxima de cada lâmina retardadora que permite que o efeito de interferência seja observado?*

➤ *Analise a diferença de superpor pedaços de fitas de mesma ou com diferentes direções. Observe e explique.*

➤ *O que você observaria se um desses materiais tivesse a forma de cunha? Explique a diferença com o fenômeno de interferência em uma cunha delgada.*

➤ *Os fenômenos por você observados são usados para esculpir formas estéticas que aparecem com cores distintas de acordo com a espessura da amostra birrefringente. Utilize a fita durex para realizar uma figura com estas características.*

III.3 Por dispersão

Nas observações introdutórias, os estudantes já analisaram um caso particular de polarização por dispersão: a luz do céu. Propõe-se agora montar uma experiência simples, usando como meio dispersor uma emulsão, para observar outro exemplo desse mesmo fenômeno. É de interesse que o estudante analise que a origem da dispersão nos dois casos é diferente. No primeiro, deve-se a flutuações na densidade do meio, as quais produzem variações no índice de refração, e, no segundo, trata-se de moléculas suspensas em um meio homogêneo formando a emulsão.

Experiência

Elementos necessários

- Um polarizador;
- Uma fonte de luz (pode-se utilizar a lâmpada do projetor de slides);
- Uma fenda (em cartolina preta);
- Um recipiente de vidro (pode-se utilizar um aquário);
- Água;
- Leite.

Descrição

Ilumina-se com uma fonte não muito potente (utiliza-se uma fenda para limitar o feixe incidente) o recipiente de vidro com água (deve-se ter o cuidado de

usar água limpa). Observa-se a diferente tonalidade da luz transmitida na direção de propagação do feixe incidente e na direção perpendicular.

É conveniente trabalhar em local escuro.

Adiciona-se algumas (poucas) gotas de leite e repete-se as observações, utilizando um filtro polarizador, para detectar como varia o estado de polarização do feixe transmitido para as diferentes direções de observação (Fig. 4) (LANDSBERG, p. 192).

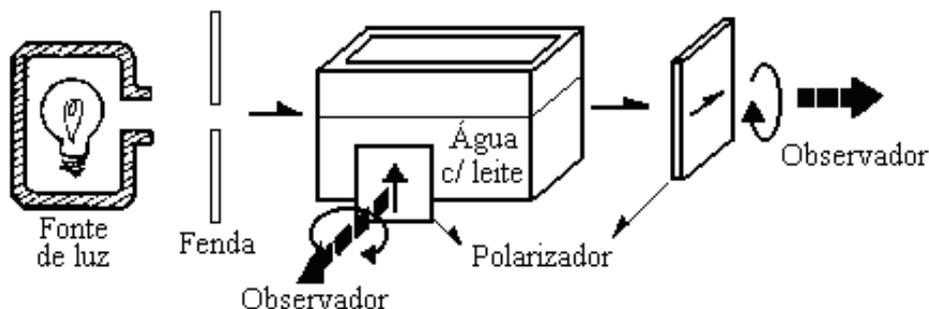


Fig. 4

Caso se adicione mais leite, observa-se o efeito de despolarização por dispersão múltipla.

Questões para aos alunos

➤ *Como se explica a diferença de coloração da luz transmitida nas várias direções? E os diferentes estados de polarização?*

➤ *Ao se adicionar mais leite, o efeito observado é reforçado ou atenuado? Explique.*

➤ *No início da experiência, você observou outro exemplo de polarização por dispersão: a luz do céu. Qual é a direção de máxima polarização? Qual a influência da presença de partículas de pó na atmosfera?*

IV. Usos e aplicação da luz polarizada

IV.1 Birrefringência artificial (anisotropia ótica produzida por tensões)

Existem diferentes formas de produzir birrefringência artificial em materiais naturalmente isotrópicos: por tensões mecânicas ou por efeitos de campos elétricos ou magnéticos. Propõem-se experiências do primeiro tipo como maneira de introduzir o tema por serem mais acessíveis.

O estudante analisa a diferença fundamental com a birrefringência natural: a direção do eixo óptico muda ponto a ponto e coincide com a direção do esforço neste ponto.

Experiência 1: Descoberta de “tensões internas”

Elementos necessários

- Dois polarizadores;
- Uma fonte de luz (pode-se utilizar a sala de aula);
- Elementos de plástico transparente (esquadro, molde de desenho, colher de remédio, etc.);
- Um pedaço de vidro super-resfriado (pode ser obtido em uma vidraçaria).

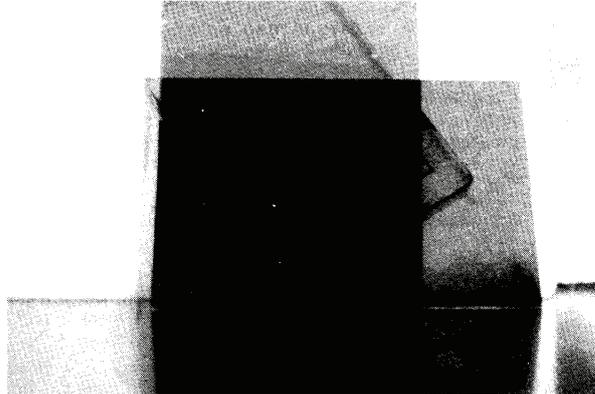


Foto 2

Descrição

Propõe-se ao estudante que coloque entre dois polarizadores cruzados qualquer elemento de plástico a seu alcance (ver foto 2) e observe o feixe de luz transmitido (Fig. 5). O estudante deve ainda comparar o que ocorre ao refazer a experiência com uma régua (ou esquadro) comum, de baixa qualidade, e com uma de boa qualidade.

Repete-se a experiência com um pedaço de vidro super-resfriado.

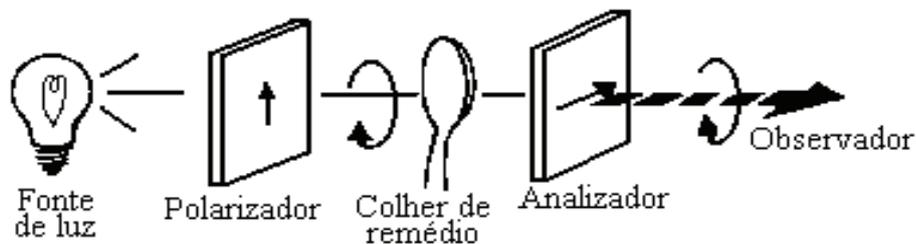


Fig. 5

Questões para aos alunos

- *Identifique aqueles elementos que apresentam esforços internos “congelados”.*
- *O que você observa caso se modifique a direção de polarização do feixe incidente? E caso se gire o analisador?*

➤ *Por que se observam linhas escuras (isóclinas)? E zonas de igual coloração (isóchromas)?*

➤ *Pode-se observar o efeito sem o primeiro polarizador? E sem o segundo? (ROSSI, p. 289; HECHT, p. 277)*

➤ *Você considera de utilidade o fenômeno que acaba de analisar?*

Experiência 2: Produção de anisotropia com tensões mecânicas

Elementos necessários

- Dois polarizadores;
- Uma fonte de luz (pode-se utilizar a da sala de aula);
- Um suporte com parafusos;
- Uma barra de plástico transparente (isotrópico).

Descrição

Verifica-se primeiro que a barra de plástico é isotrópica (não apresenta tensões internas) seguindo os passos da experiência anterior. Coloca-se barra em um suporte com parafusos de tal forma que se possa exercer tensões em diferentes direções (Fig. 6).

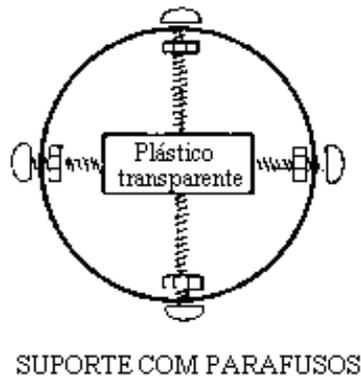


Fig. 6

Coloca-se a amostra entre dois polarizadores cruzados e observa-se (ver Foto 3).

Questões para aos alunos

➤ *Analise a relação entre as tensões que você exerce com a aparição de isóclinas e isóchromas.*

➤ *Construa um mapa de isóclinas para uma posição fixa do primeiro polarizador. Faça outro mapa em uma segunda posição. Explique a diferença naquilo que observa.*

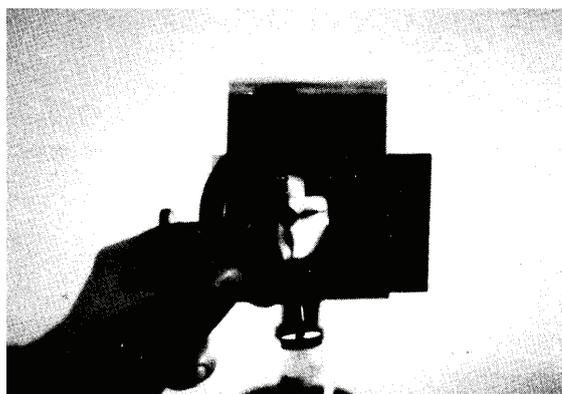


Foto 3

IV.2 Giro do plano de polarização com substâncias opticamente ativas

As experiências que são propostas a seguir permitem introduzir o estudo da propriedade que têm certas substâncias de modificar a direção de polarização do feixe incidente. Trata-se de um exemplo muito útil de como se pode conhecer as propriedades de um material analisando a troca do estado de polarização de um feixe de luz incidente.

As aplicações técnicas e científicas desse efeito são inumeráveis, desde o uso dos tradicionais sacarímetros das indústrias químicas ao estudo de estruturas moleculares ou estimativas sobre a origem da vida no planeta (HECHT, p. 271).

Experiência 1: Detecção de substâncias opticamente ativas

Elementos necessários

- Dois polarizadores;
- Seis lâminas de vidro ou plástico não birrefringente;
- Grãos de açúcar, cânfora e sal.

Descrição

“Aprisionam-se” grãos de açúcar entre duas lâminas de vidro de microscópio presas nas extremidades com fita durex. Preparam-se amostras do mesmo tipo com sal. Esses dispositivos são colocados entre dois polarizadores cruzados; olha-se através deles para uma fonte de luz e observa-se que na amostra de açúcar, opticamente ativa, a luz reaparece ao atravessar os grãos, o que não ocorre com a amostra de sal (ver Foto 4).

Questão para aos alunos

➤ Explique as diferenças no comportamento dos grãos. De que parâmetros dependem?

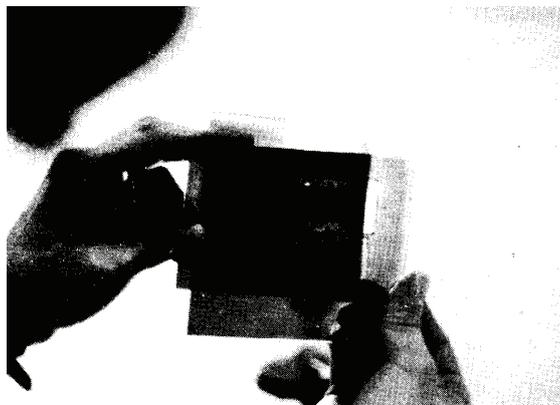


Foto 4

Experiência 2: Um método conhecido para determinar a concentração de sacarose

Elementos necessários

- Dois polarizadores;
- Uma pequena cuba de vidro (pode-se utilizar um aquário) ou um vaso de fundo largo;
- Uma fonte de luz (pode-se utilizar a lâmpada do projetor de slides);
- Água e açúcar.

Descrição

Enche-se uma pequena cuba de vidro com uma solução de água com açúcar e coloca-se esta entre dois polarizadores cruzados; observa-se a luz transmitida, como aparece na Fig. 7.

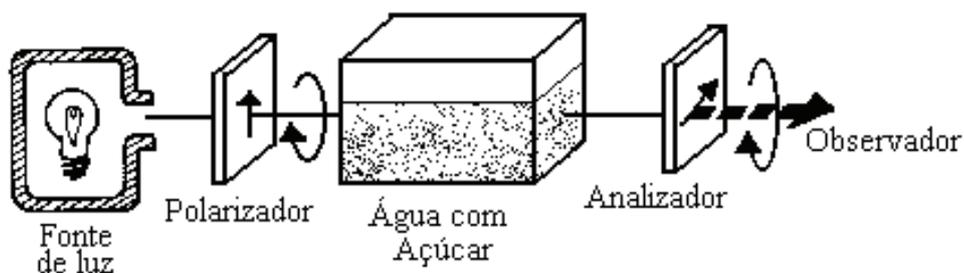


Fig. 7

O estudante pode determinar aproximadamente o ângulo ao qual é necessário girar o analisador a fim de extinguir novamente a luz transmitida. Aumenta-se a concentração de açúcar e repete-se a determinação.

Questões para aos alunos

- *Qual a dependência entre o giro do ângulo de polarização e a concentração da solução?*
- *Analise a conveniência de utilizar um filtro de cor.*
- *Consulte, na bibliografia, as aplicações desse efeito.*

V. Conclusões

Através do conjunto de experiências propostas, acredita-se que o aluno pode realizar um estudo consciencioso dos fenômenos com luz polarizada, visualizar e comprovar efeitos preditos pelos resultados teóricos e alcançar um nível de síntese a partir do qual seja capaz de avaliar limites de validade ou limitações dos modelos envolvidos pelas leis físicas em questão.

Deste ponto de vista, o presente trabalho constitui um aporte válido para professores dos níveis secundário e universitário básico, na medida em que oferece uma proposta diferente de tratar um tema que, em geral, é ensinado de forma teórica ou quando muito com demonstrações em aula, valiosas com certeza, mas limitadas.

Com estes mesmos critérios, pode-se encarar o ensino de outros temas no campo da Física; a transferência será extremamente valiosa.

Em síntese, acredita-se que o fundamental seja resgatar a importância da experimentação no ensino da Física, pois com atividades experimentais existem maiores possibilidades de desenvolver o pensamento divergente do estudante do que nas atividades realizadas nos cursos nos quais ele é um receptor passivo.

Agradecimento

À Lic. Leonor Colombo de Cudmani, Prof^a Titular do Laboratório de Física Experimental I e II (FCEYT-UNT) e Diretora do Grupo de Pesquisa em Docência em Física (SECYT), por sua permanente orientação e valiosas contribuições na elaboração deste trabalho.

Referências Bibliográficas

ALONSO, M.; FINN, E. **Física**. México: Fondo Ed. Interam., 1982. v. 2.

CRAWFORD, F. S. Jr. **Ondas**. Espanha: Reverte, 1971. v. 3. (Berkeley Physics Course).

CUDMANI, L. C. Fenômenos com luz polarizada. Guia para docentes. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de de Ciencias Exactas y Tecnología. Lab. de Física Experimental I e II.

FERNANDEZ, R.; GALONNI, A. **Trabajos prácticos de Física**. Nigar, 1968.

FEYNMANN, R. **Física**. California: Addison-Wesley, 1963. v. 1.

HECHT, E.; ZAJAC, A. **Óptica**. E.U.A.: Fondo Ed. Interam., 1974.

LANDSBERG, G. S. **Óptica**. Moscou: 1984. v. 1, 2.

MAIZTEGUI, A. P.; SABATO, J. A. **Introducción a la Física**. Buenos Aires: Kapelusz, 1955. v. 2.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **Física**. John Wiley & Sons, 1960. v. 2.

ROSSI, T. B. **Fundamentos de Óptica**. Espanha: Reverte.

SEARS, F. W. **Óptica**. Aguilar, 1966.