

## 215 – Óptica – Kit básico



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:  
*Oswaldo Guimarães* – PUC-SP

### Alguns experimentos de óptica básica

Este item é composto por um conjunto de peças avulsas que permitem uma grande variedade de experimentos.

Apresentamos, como sugestão, apenas duas montagens.

Esperamos a colaboração das universidades com suas versões de aproveitamento e composição de experimentos, além dos resultados obtidos.

### Equipamento

	127 V	220 V	
Filtro de Polarização, 50 x 50 mm <sup>2</sup>	08613.00	08613.00	4
Base prato para montagem dos componentes ópticos E	11600.00	11600.00	2
Base Magnética	11602.00	11602.00	3
Disco óptico com articulação	11604.03	11604.03	1
Prendedor de Diafragma, ajustável	11604.09	11604.09	2
Prendedor de Diafragma, ajustável	11604.09	11604.09	2
Prendedor graduado com base magnética	11608.02	11608.02	2
Lentes, vidro, biconvexa, 1pol. diam.f=50mm	41734.1E	41734.1E	5
Lentes, vidro, biconvexa, 1" diam., f=+100mm	41734.2E	41734.2E	5
Lentes, vidro, biconvexa, 1" diam., f=+200mm	41734.3E	41734.3E	5
Lentes, vidro, biconvexa, 1" diam., f=+300mm	41734.4E	41734.4E	5
Lentes, vidro, bicôncava, 1" diam., f=-50mm	41734.5E	41734.5E	5
Lentes, vidro, bicôncava, 1" diam., f=-100mm	41734.6E	41734.6E	5
Adaptador prato para Lentes para fixação/proteção nos suportes de lentes	41734.7E	41734.7E	30
Espelhos côncavos, 2" diâm., r=200mm	41734.8E	41734.8E	5
Espelhos convexo, 2" diâm., r=-200mm	41735.0E	41735.0E	5
Espelho plano, 25 x 25 mm	41735.3E	41735.3E	5
Adaptador prato para espelhos para fixação /proteção nos suporte de lentes	41735.4E	41735.4E	15
Prisma, 60°, 25 mm	41735.5E	41735.5E	5
Prisma, 90°, 25 mm	41735.6E	41735.6E	5
Fibra multimodo, 1 diâm., coberta com camada de PVC , o.d.2.5, l= 500 mm com conector	41735.7E	41735.7E	5
Adaptador prato para fibra	41735.8E	41735.8E	2
Módulo Laser 670 nm, 3mW, com 1m cabo de conexão, 12/35 diâm., l=55 mm	41735.9E	41735.9E	1
Módulo Laser 670 nm, 7 mW	41736.0E	41736.0E	1
Módulo Laser 1300 nm, 3.5 mW	41736.1E	41736.1E	1
Módulo Laser 1550 nm, 5 mW	41736.2E	41736.2E	1
Fonte de alimentação Laser para todos os tipos de módulos laser, 220V/6V	41736.3E	41736.3E	1
Adaptador para fixação, para módulos laser	41736.4E	41736.4E	3
Fotodetector (Silício) para medidas fixada em suporte mecânico diâm. 12, l=30mm, cabo de conexão comprimento 1 m	41736.5E	41736.5E	2
Fotodetector (Germânio) para medidas fixado em suporte mecânico, diâm. 12, l=30mm, cabo de conexão comprimento 1 m	41736.7E	41736.7E	2
Prendedor para componentes (veja 11603.01 modificado)	41737.0E	41737.0E	5

## 215 – Óptica – Kit básico

Fixador de componentes com haste (veja 09821.00 modificado)	41737.2E	41737.2E	3
Cartão sensor IR , detectividade 1microW/cm2, luz laranja, faixa de detecção: 0.7-1.5micron	41737.5E	41737.5E	1
Caixa com espuma	42651.4E	42651.4E	1

### Leis da reflexão

#### Princípios

Comumente observamos luz sendo refletida em superfícies lisas, tais como espelhos, na superfície da água e em vidros planos de janelas.

A finalidade desse experimento é verificar como se processa a reflexão de uma radiação que incide num espelho.

#### Montagem e procedimentos

##### Leis da Reflexão

Prenda o laser à base magnética e o coloque na extremidade esquerda da base metálica provida de escala numerada, Coloque o disco óptico com escalas para medidas de ângulos a cerca de 30 cm da extremidade do laser.

Faça cuidadosamente o ajuste para que a linha que demarca 0° fique paralela ao trilho metálico de base.

Prenda agora o espelho ao suporte magnético sobre a linha perpendicular à de 0° que contém o centro do disco de medidas.

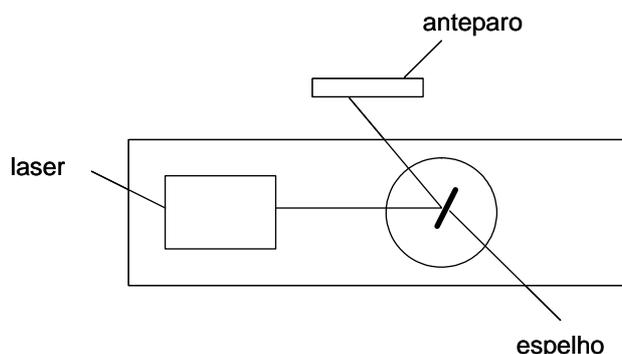
Em seguida, coloque o anteparo branco no suporte magnético e a posicione sobre o disco graduado.

Ligue o laser e o ajuste até que se obtenha um ponto vermelho sobre a tela branca.

Gire o disco graduado passo a passo (por exemplo, de 5° em 5°).

Qual é a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão?

O experimento pode ser feito utilizando-se o diodo emissor de infravermelho, fazendo-se a detecção tanto do raio incidente como do refletido com o uso do cartão sensor de infravermelho fluorescente.



**Figura: Montagem do experimento**

## 215 – Óptica – Kit básico

### Lentes

As lentes são sistemas ópticos constituídos de duas superfícies em que pelo uma delas é curva. As mais comuns e práticas para os experimentos são as lentes esféricas.

O foco-objeto principal é um ponto tal que se uma fonte puntual de luz é colocada nele, todos os raios que emergem da lente após a refração o fazem paralelos ao eixo. Analogamente, considerando a reversibilidade dos raios de luz, os raios que incidem na lente paralelos ao eixo principal emergem passando pelo foco-imagem principal.

Considerando lentes delgadas em relação às distâncias focais, e considerando ainda que os índices de refração dos materiais que estão à esquerda e à direita da lente são iguais, as distâncias focais objeto e imagem têm o mesmo valor, ou seja, o foco-objeto e o foco-imagem são simétricos em relação ao plano que contém a lente.

### Montagem e procedimentos

Prenda o laser à base magnética e o coloque na extremidade esquerda da base metálica (trilho) provida de escala numerada. Ponha uma lente bi-convexa em um dos suportes com base magnética e coloque a tela branca à direita da lente. Ajuste a posição da tela de tal forma que a mancha luminosa projetada tenha a menor dimensão possível. Nessa condição, como os raios do laser incidem paralelos na lente, a distância entre o centro da lente e a pequena mancha é a distância focal.

Comece com a lente de + 50 mm de distância focal e em seguida repita o experimento com outras lentes.

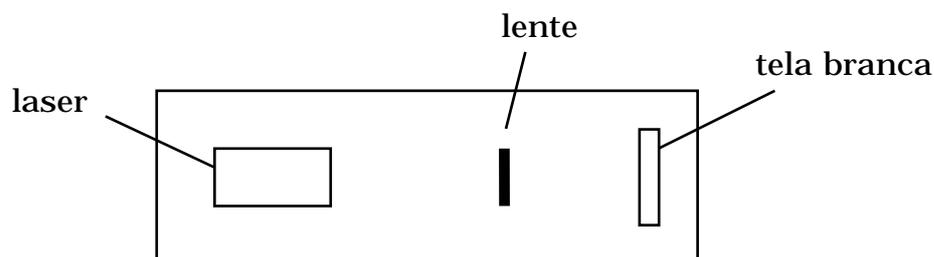


Figura. Montagem do experimento.

### Aumento Linear Transversal e Equação dos pontos conjugados

Num dos suportes com base magnética coloque um pequeno objeto bem iluminado, por exemplo, uma carta de baralho. A fonte para iluminação do objeto não é fornecida com o conjunto, mas pode ser uma lanterna comum

## 215 – Óptica – Kit básico

em uma sala bem escurecida. Desloque a lente entre o objeto e o anteparo (tela branca) até que se tenha uma imagem projetada bem nítida.

Meça as dimensões do objeto, da imagem, distância do objeto à lente e também da imagem até a lente.

Nessa montagem, é aconselhável fazer-se as medidas diretamente sobre uma bancada, pois a distâncias devem superar as dimensões dos trilhos, uma vez que a distância entre um objeto real e sua imagem real é no mínimo  $4f$ , onde  $f$  é a distância focal da lente. (demonstre)

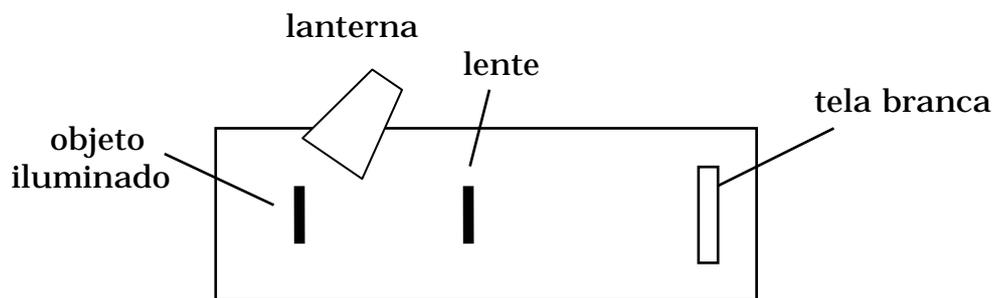
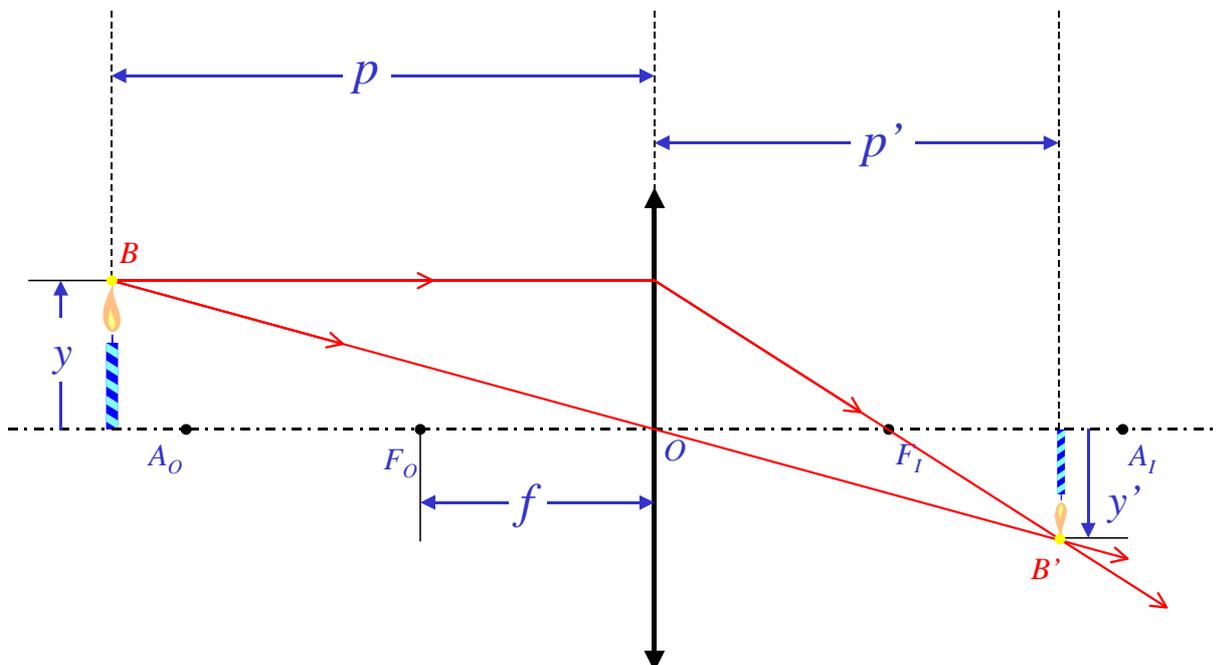


Figura. Montagem do experimento.

## Teoria e análise

As coordenadas da figura seguinte se aplicam no referencial de Gauss.



## 215 – Óptica – Kit básico

As equações são:

Equação dos pontos conjugados:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$

Aumento linear transversal:  $A = \frac{y'}{y} = -\frac{p'}{p}$

Onde:

- $p$  – abscissa do objeto (em relação ao centro óptico da lente);
- $p'$  – abscissa da imagem;
- $f$  – abscissa focal da lente
- $y$  – ordenada do ponto objeto;
- $y'$  – ordenada do ponto imagem.

### Convenção de sinais

	Natureza real	Natureza virtual
Abscissa	Positiva	Negativa
Abscissa focal	$f > 0$ (convergente)	$f < 0$ (divergente)
Objeto	$p > 0$	$p < 0$ <sup>1*</sup>
Imagem	$p' > 0$	$p' < 0$

Para as ordenadas, temos:  $A > 0$ , imagem direita em relação ao objeto;  
 $A < 0$ , imagem invertida.

1. Combinando as equações acima, podemos obter a distância focal da lente em função da posição do objeto e do aumento linear transversal, por:

$$f = \frac{Ap}{A-1}$$

Observe que se a imagem for invertida, temos:  $A < 0$ .

Compare o valor nominal da distância focal da lente com os resultados experimentais.

2. Se imagem e objeto são reais, então a distância  $d$  entre eles é:

$$d = p + p', \text{ ou seja, } p' = d - p. \text{ Assim: } \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{d-p} \Rightarrow p^2 - pd + df = 0$$

O discriminante da equação do 2º grau é:  $\Delta = d^2 - 4df = d(d - 4f)$

Assim, para que a equação tenha soluções reais, devemos impor:  $d - 4f \geq 0$

Portanto,  $d \geq 4f$

3. Justapondo duas lentes de convergência  $C_1$  e  $C_2$  obtemos um conjunto cuja convergência é:  $C = C_1 + C_2$ .

<sup>1</sup> Objetos virtuais somente são obtidos com associações de sistemas ópticos.

**215 – Óptica – Kit básico**

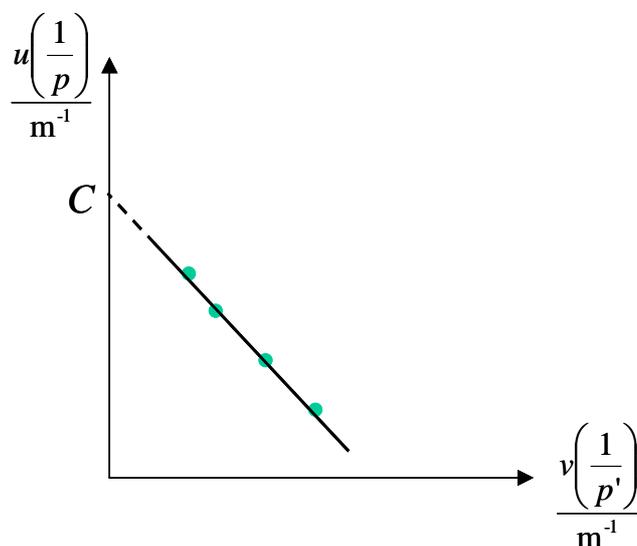
Usando-se várias posições do objeto e medindo-se as respectivas posições das imagens construa um gráfico relacionando o recíproco da abscissa do objeto

$$u = \frac{1}{p} \text{ com o recíproco da abscissa da imagem } v = \frac{1}{p'}.$$

Como  $C = \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ , obtemos:

$$u = C - v.$$

Traçando-se o gráfico, pelo coeficiente linear da reta temos a convergência do sistema.



**Figura. Gráfico**  $\left(u = \frac{1}{p}\right) \times \left(v = \frac{1}{p'}\right)$

**Polarização da luz – Lei de Malus****Princípios**

A radiação emitida por lâmpadas comuns corresponde a várias ondas eletromagnéticas, com várias frequências. Mesmo considerando apenas uma das frequências dessa radiação emitida, nela temos ondas com vários planos de vibração e fases diferentes. Já numa fonte LASER temos radiação de frequência única (monocromática), ondas em concordância de fase e com um mesmo plano de vibração (polarizadas).

**Procedimentos**

- Coloque o foto-detector fixado na base magnética na extremidade direita do trilho e o laser em sua extremidade esquerda, de forma que o feixe seja paralelo ao trilho.

## 215 – Óptica – Kit básico

- Ponha os filtros polarizadores nos suportes de diafragmas e então os intercale no trajeto do feixe de forma que uma mancha brilhante apareça em um papel posto bem à frente da janela do foto-detector.
- Agora, gire o filtro polarizador até que se tenha máxima intensidade da mancha luminosa. Caso esteja utilizando o LASER de infravermelho use o cartão detector.
- Insira o segundo filtro entre o primeiro e o foto-detector e ajuste-o da mesma forma até que a pequena mancha apresente máxima intensidade.
- Observe e anote o ângulo indicado no segundo filtro polarizador; prossiga girando esse filtro até que a intensidade seja minimizada, eventualmente imperceptível. A diferença entre o ângulo indicado inicialmente e obtido na minimização deve ser de  $90^\circ$ .
- A rotação do analisador pode ser feita passo a passo (digamos de  $5^\circ$  em  $5^\circ$ ) e as medidas de intensidade feitas ligando-se o foto-detector a um voltímetro (não fornecido com o conjunto).

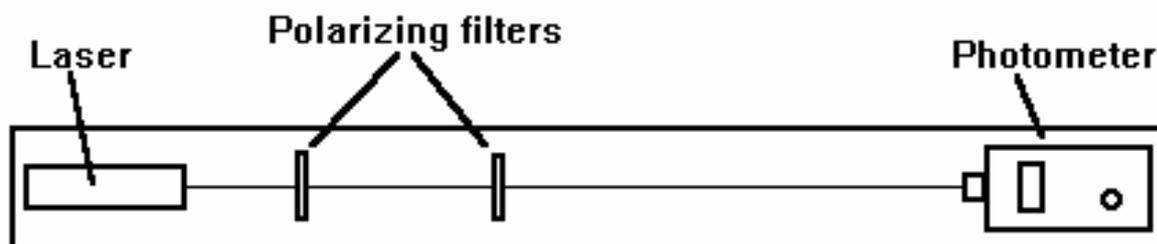


Figura. Montagem do experimento com polarizadores.

### Teoria e análise

Pela Lei de Malus, a intensidade da radiação após transpor o polarizador é:  $I = I_0 \cos^2 \theta$ , onde  $I$  é proporcional à tensão medida na saída do foto-detector.

Com as medidas efetuadas podemos construir o gráfico  $I \times \theta$ , ou  $I \times \cos^2 \theta$  verificando a Lei de Malus.

### Outros experimentos

- Montagens experimentais para verificar as equações dos espelhos esféricos e as propriedades do espelho plano também podem ser feitas, pois o conjunto inclui esses elementos.
- Além disso, acompanham também o conjunto prismas equiláteros e isósceles retângulos para experimentos de reflexão total, desvio mínimo, determinação de índice de refração, variação do índice de refração com a frequência da radiação utilizada, etc.

## 215 – Óptica – Kit básico

- Com o uso dos fotodetectores podemos determinar a porcentagem de radiação refletida em função do ângulo de incidência e construir a curva de reflexão para diferentes superfícies.
- A abertura do feixe LASER após a refração nas lentes, ou reflexão nos espelhos pode também ser avaliada com os fotodetectores.

### Fibras ópticas

#### Princípios

Há uma redução na intensidade luminosa enquanto o raio percorre uma fibra óptica. A redução de intensidade é tanto maior quanto maior for o comprimento da fibra.

#### Procedimentos

- Coloque o foto-detector fixado na base magnética na extremidade direita do trilho e o laser em sua extremidade esquerda, de forma que o feixe seja paralelo ao trilho.
- Meça a intensidade luminosa com o uso do voltímetro (não fornecido com o conjunto)
- Prenda um segmento de fibra óptica aos adaptadores de fixação nas duas extremidades.
- Coloque esse conjunto entre o emissor LASER e o foto-detector de forma que o feixe emergente incida diretamente sobre o eixo do detector.
- Meça a intensidade da luz e compare com a intensidade inicial.
- Conecte mais fibras à primeira e meça as intensidades após essas inserções.
- Também este experimento pode ser feito utilizando-se o diodo emissor de infravermelho, fazendo-se a detecção tanto do raio incidente como do emergente com o uso do cartão sensor de infravermelho fluorescente.

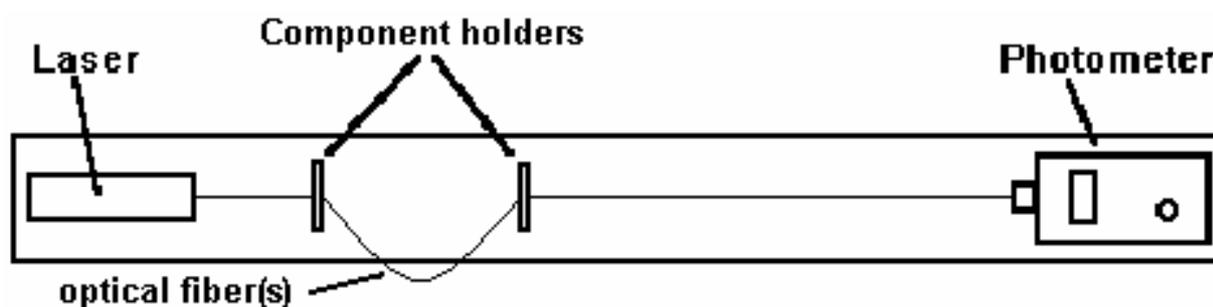


Figura. Montagem do experimento de atenuação em fibras ópticas.

## 215 – Óptica – Kit básico

### Teoria e análise

Considerando a atenuação proporcional ao percurso óptico do feixe, temos:

$dI = -\mu \cdot I \cdot dx$ , onde  $\mu$  é o coeficiente de atenuação.

Assim,  $\frac{dI}{I} = -\mu dx$ .

Integrando a equação acima, obtemos:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu x)$$

onde  $x$  é o percurso do raio que percorre a fibra.

Com diferentes radiações e diferentes quantidades de fibras acopladas podemos analisar a variação do coeficiente de atenuação em função da frequência utilizada e verificar a lei de atenuação.