

Aula 13

INSTRUMENTOS ÓPTICOS

META

- Fazer com que o estudante pense no ensino de ciências como algo “orgânico” que está em profunda transformação;
- Fazer com que os alunos percebam através de uma atividade lúdica, que podemos ensinar física através de experimentos muito simples, e que a Física é uma ciência aplicada e que pode ser aprendida através da observação de vários dispositivos do nosso cotidiano;
- Fazer com que os alunos percebam as aplicações da física no cotidiano;
- Mostrar que existem muitas animações virtuais sobre o tema, e que ensinar e aprender física podem ser uma atividade divertida e interessante.

OBJETIVOS

- Ao final desta aula, o aluno deverá:
 - Estar cientes das novas possibilidades e dos desafios que envolvem o ensino de ciências em geral;
 - Perceber que para se ensinar física não precisamos ficar presos ao livro didático;
- Considerar que ensinar física não é ensinar a resolver problemas e que a física é uma mera aplicação da matemática;
- Entender que podemos ensinar a física das coisas e não as coisas da física;
- Estar cientes que é possível explorar vários recursos de multimídias e de experimentos de baixo custo em sala de aula.

PRÉ-REQUISITOS

- Os alunos deverão ter cursado as disciplinas de Psicologia da Educação, Física A, B e C.

Vera Lucia Martins de Mello

INTRODUÇÃO

Esta é mais uma aula que é um subtópico do curso de Física C. Mas, ele é central na abordagem de se ensinar a física das coisas e não se ensinar física a partir de teorias desconexas da realidade. Esta aula é longa, mas possui um caráter mais informativo do que formativo para o futuro professor.

Assim, para os instrumentos mais simples como, por exemplo, a lupa, utilizamos textos de *sites* de ensino, preparados para o ensino médio. Já para o telescópio newtoniano tivemos autorização do professor Roberto Frangetto para utilizar seu material.

Existem muitos exemplos de *applets* de ensino e experimentos de baixo custo, o que faz o tema desta aula muito interessante de ser trabalhado em sala de aula.

Instrumentos ópticos desempenham um papel importante no nosso modo de viver. Uma lupa, um microscópio ou um telescópio são exemplos de instrumentos ópticos. Alguns instrumentos envolvem apenas um componente (uma lente – como a lupa) ou podem envolver vários componentes (prismas, espelhos e lentes). Vamos estudar em linhas gerais, o princípio de funcionamento dos instrumentos ópticos.

INSTRUMENTOS DE OBSERVAÇÃO

Lupa

A lupa é um instrumento óptico munido de uma lente com capacidade de criar imagens virtuais ampliadas. É utilizada para observar com mais detalhe pequenos objetos ou superfícies. Também denominada microscópio simples - é constituída de uma única lente esférica convergente. Quanto maior for o aumento desejado, menor deve ser sua distância focal. A lente só se comportará como lupa quando o objeto estiver colocado numa distância inferior à sua distância focal.

Para compreender como utilizamos a lupa, precisamos analisar tanto como ela conjuga as imagens e como estas imagens (objetos virtuais para o nosso olho) acabam sendo projetadas na nossa retina. (Só vemos imagens reais projetadas na nossa retina) A lupa é composta, normalmente, por uma lente biconvexa (convergente) de pequena distância focal. O sistema óptico do nosso olho é similar a de uma lente convergente (córnea + cristalino + humor aquoso + humor vítreo) e um anteparo (retina).

Apesar da ampliação da imagem possibilitada pela lupa, ela não serve para a observação de objetos muito pequenos como células e bactérias, pois nesses casos se faz necessário um aumento muito grande. A solução é associarmos duas ou mais lentes convergentes, como no microscópio composto.

A lupa foi criada por Roger Bacon em 1250, por meio de sua primeira invenção: os óculos (Wikipédia. Lupa. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Lupa>).



Figura 1 – Lupa. Wikipédia. Lupa. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Lupa>.

Periscópio

Para quê serve um periscópio? Serve para observar objetos que não estão no mesmo nível dos olhos. Vocês já devem ter visto, pelo menos em filmes, que um submarino tem um periscópio acoplado, para observar objetos fora da água.

Um periscópio é constituído, basicamente, de dois espelhos colocados inclinados de 45° como mostra a figura abaixo, ou de dois prismas de reflexão total.

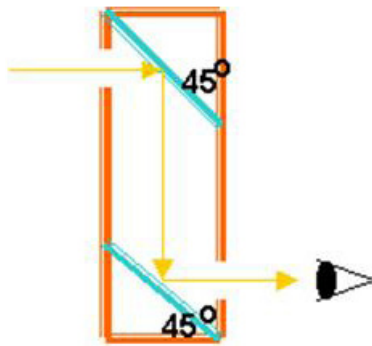


Figura 2 – Periscópio. Disponível em: <http://educar.sc.usp.br/optica/>.

O raio de luz ao incidir no primeiro espelho reflete, incidindo no segundo espelho. Após incidir no segundo espelho, o raio de luz reflete novamente, atingindo o olho do observador.

Lunetas e Luneta Astronômica

A luneta ou telescópio de refração é utilizada para observar objetos distantes. A luneta astronômica tem, como o microscópio, duas lentes convergentes: a objetiva que ao contrário do microscópio apresenta grande distância focal e a ocular.

O esquema da figura abaixo mostra como é obtida a imagem de um objeto distante.

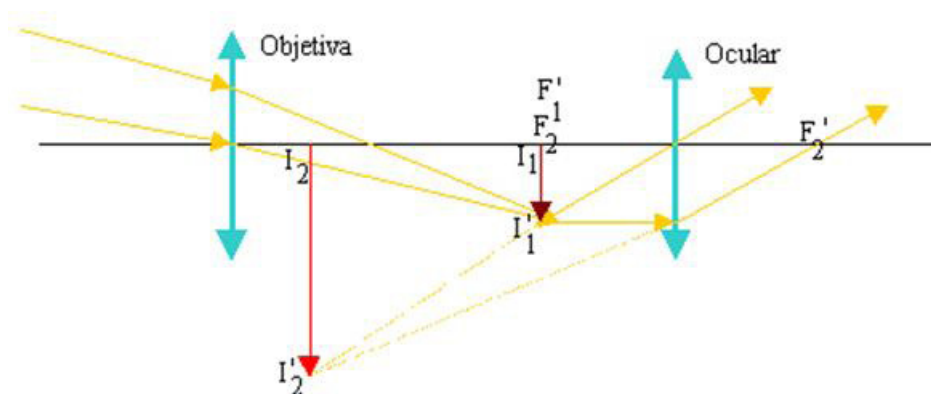


Figura 3 - Esquema simplificado de formação da imagem em uma luneta astronômica. Disponível em: <http://educar.sc.usp.br/otica/>.

A objetiva forma a imagem I_1I_1' sobre seu foco e esta imagem vai servir como objeto para a ocular que fornece a imagem final do sistema I_2I_2' que é virtual e invertida.

Observe que os focos da ocular e da objetiva praticamente coincidem.

O aumento visual de uma luneta é expresso pela relação entre as distâncias focais da objetiva (f_1) e da ocular (f_2): $A = f_1 / f_2$.

A desvantagem da luneta astronômica para observar objetos terrestres é que ela fornece uma imagem invertida.

Luneta Terrestre

A luneta terrestre é semelhante à astronômica só que a imagem final obtida é direita. A figura da página seguinte mostra a luneta terrestre construída por Galileu em 1609.

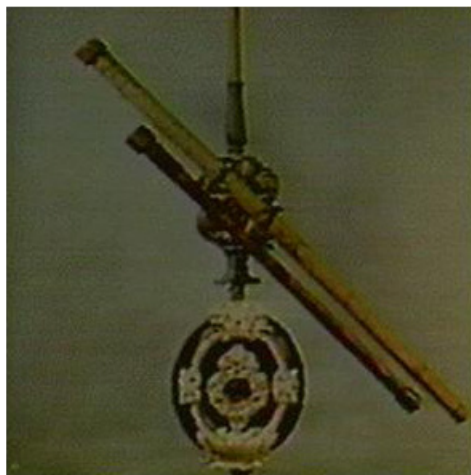


Figura 4 - Luneta construída por Galileu. Disponível em: <http://educar.sc.usp.br/optica/>.

Esta luneta tem como elemento característico uma ocular divergente. A objetiva é uma lente convergente.

A distância entre as duas lentes é aproximadamente igual à diferença entre as duas distâncias focais (na construção do telescópio coloca-se esta distância igual). A primeira imagem I_1I_1' , fornecida pela objetiva, se forma sobre o foco imagem da objetiva (F_1'). Esta imagem vai servir como objeto virtual para a ocular. A imagem final I_2I_2' é direita, virtual e maior (ver figura abaixo).

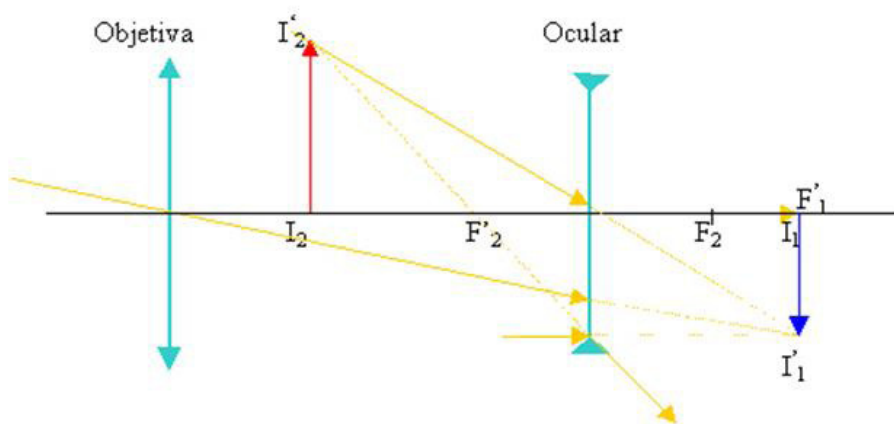


Figura 5 - Formação da imagem em uma luneta terrestre. Disponível em: <http://educar.sc.usp.br/optica/>.

O aumento angular de uma luneta (A) é dado pela expressão: $A = - f_1 / f_2$ onde f_1 é a distância focal da objetiva e f_2 é a distância focal da ocular.

Observação: Os telescópios de reflexão utilizam um espelho parabólico côncavo no lugar da lente objetiva. A vantagem é que se têm menos aberrações e por causa disto os telescópios de reflexão são mais utilizados nos observatórios. Outra vantagem é o baixo custo.



Figura 6 - Telescópio de reflexão de Newton. Disponível em: <http://educar.sc.usp.br/optica/>.

Para quem gosta de astronomia, visite o *site* do Programa Educar CDCC: <http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/index.html>.

INSTRUMENTOS DE PROJEÇÃO

Máquina Fotográfica

Instrumento óptico muito utilizado no cotidiano, seu funcionamento é bem semelhante ao olho humano. As máquinas fotográficas evoluíram muito. Antigamente a objetiva da máquina fotográfica era constituída de uma única lente (figura 7(a)) e atualmente é constituída de várias lentes (figura 7(b)). Esse instrumento é constituído por um sistema de lentes, denominado objetiva, que se comporta como uma lente convergente que forma uma imagem invertida e real do objeto fotografado. Na máquina fotográfica existe também uma série de dispositivos que permitem afastar ou aproximar a lente para melhor focalizar a imagem. Se essa focalização não é bem feita a imagem não se forma corretamente sobre o filme e assim a fotografia não fica nítida. A imagem ao ser captada fica gravada no filme por meio de reações químicas, as quais ocorrem quando a luz que vem do objeto incide sobre o filme.



Figura 7 – (a) Máquina fotográfica do início do século; (b) Máquina fotográfica moderna.

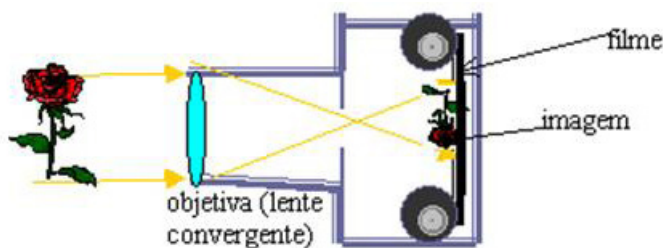


Figura 8 - Formação da imagem em uma máquina fotográfica.

Na figura 8 está representada a câmara fotográfica simplificada, sem os refinamentos óticos ou mecânicos. A objetiva está representada por uma única lente convergente que forma uma imagem real e invertida do objeto fotografado, sobre o filme situado na parte posterior da máquina.

A luz, ao incidir sobre o filme, provoca reações químicas, fazendo com que a imagem fique gravada. O filme vai apresentar a imagem em negativo, ou seja, as partes do filme que recebem mais luz tornam-se escuras e vice-versa.

Para que seja fornecida sobre o filme uma imagem real e menor do objeto, o objeto deve estar situado antes da dupla distância focal.

Projetor de *Slides*

Um projetor de *slides* (diapositivos) serve para projetar em uma tela uma imagem real e aumentada do objeto que está no *slide*.

Basicamente, ele é constituído de uma lente convergente, como objetiva, e uma lâmpada cujo filamento está situado no centro de curvatura do espelho côncavo que juntos servem para iluminar com bastante intensidade o *slide*. A figura abaixo mostra um esquema bem simplificado de um projetor de *slides*.

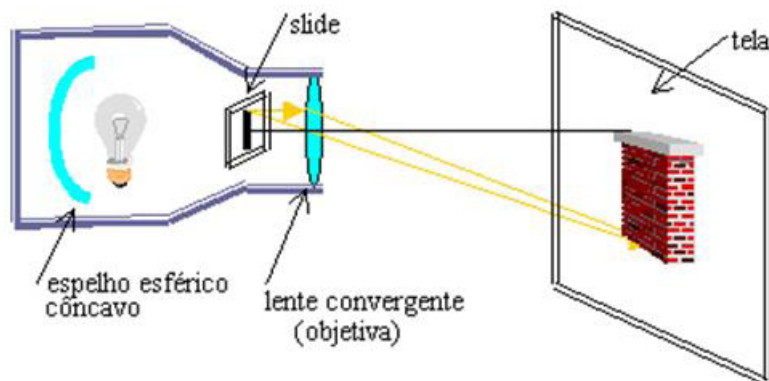


Figura 9 - Esquema simplificado do projetor de slides.

Para obter uma imagem real, maior e aumentada, o *slide* precisa estar situado a uma distância menor que a dupla distância focal (antes do foco).

ASSOCIAÇÃO DE LENTES

No estudo de sistemas ópticos existe o interesse em se determinar a imagem quando dispomos de lentes delgadas de tal forma que seus eixos ópticos coincidam. Veremos a seguir que para entendermos o microscópio composto mais simples ou para entendermos um telescópio simples basta analisarmos a associação de duas lentes.

Consideremos o caso em que dispomos de duas lentes L_1 e L_2 . Nesse caso, basta considerarmos que a lente L_1 conjuga ao objeto O uma imagem i_1 . Esta imagem se torna o objeto para a segunda lente.

Um caso relativamente simples de associação de lentes é aquele em que as lentes são justapostas. Quando justapostas elas estarão encostadas uma na outra. Nessa situação elas funcionam como uma única lente equivalente ao conjunto. Pode-se mostrar que para um conjunto de lentes justapostas, a lente equivalente ao conjunto tem uma vergência que é a soma das vergências das lentes que compõem o conjunto. Isto é, se C_1 for a vergência da primeira lente, C_2 a vergência da segunda lente e assim por diante, então a vergência da lente equivalente será: $C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots$

Pode-se facilmente demonstrar a propriedade acima para duas lentes justapostas. De fato, admitimos p como a abscissa para o objeto. Para a primeira lente escrevemos:

$$\frac{1}{p_0} + \frac{1}{p_1} = \frac{1}{f_1}$$

A imagem de L_1 é o objeto para a segunda lente. Portanto, $p_2 = -p_1$.

A imagem estando no ponto cuja abscissa é p' , esta será dada, para a segunda lente, por:

Somando as equações anteriores, teremos:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_1} = C_1 + C_2$$

Portanto, a vergência equivalente será:

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

PRINCÍPIOS BÁSICOS DE UM TELESCÓPIO NEWTONIANO

Nessa aula pretendemos abordar os aspectos fundamentais relativos ao projeto do tipo de telescópio mais utilizado pelo astrônomo amador, o Newtoniano [Roberto Frangetto]. Aqui, poderemos ver na prática como os conceitos de ótica geométrica, interferência e difração da luz se aplicam na construção e utilização de instrumentos óticos.



Figura 10 - Telescópio Espacial Hubble



Figura 11 - Telescópio Refrator

RELAÇÕES GEOMÉTRICAS RELEVANTES

DIÂMETRO INTERNO DO TUBO

Como se pode verificar na figura, para que os raios luminosos 1 e 2 atinjam o espelho principal, se faz necessário que o diâmetro interno do tubo seja maior que o diâmetro do espelho principal.

Por simples considerações geométricas, chega-se à seguinte relação que fornece o diâmetro interno mínimo do tubo em função do diâmetro do espelho principal e da abertura máxima da ocular;

$$D_{\min} = d + a$$

O que acontecerá se usarmos um tubo que tenha um diâmetro interno menor do que o mínimo? Pode-se ver na figura 12, que os raios luminosos 1 e 2 não penetrarão no tubo, o que fará com que o campo visual, com a ocular considerada, se apresente desigualmente iluminado. Brillante no centro e se apagando na periferia.

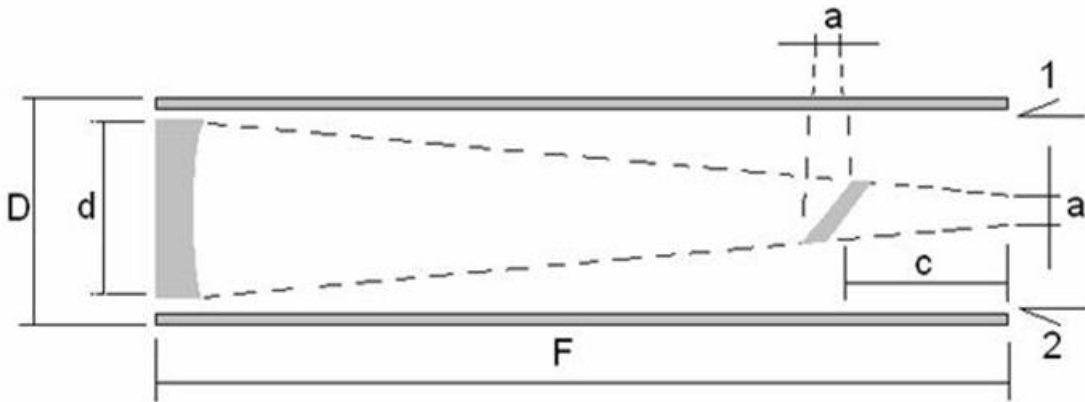


Figura 12 - Esquema de um telescópio refletor

- A = diâmetro do círculo focal [mm];
- C = projeção do plano focal [mm];
- D = diâmetro do espelho principal [mm];
- D = diâmetro interno do tubo [mm];
- F = distância focal do espelho [mm];
- 1 = eixo maior do espelho diagonal [mm];
- 2 = eixo menor do espelho diagonal [mm].



Figura 13 - Exemplos de Telescópios Refletores Newtonianos Comerciais.

DIMENSÃO DO ESPELHO DIAGONAL

Para que se obtenha a melhor qualidade possível da imagem, é essencial que o espelho diagonal tenha um contorno elíptico. Suas dimensões podem ser calculadas pelas expressões que se seguem, as quais podem ser deduzidas a partir da figura.

$$l_2 = a + \frac{c(d-a)}{F} \quad \text{e} \quad l_1 = \sqrt{2} \cdot l_2 = 1,414 \cdot l_2$$

Se o valor de l_1 for menor que $\frac{c \times d}{F}$, o resultado é simplesmente desastroso, pois somente uma parte do campo visual é preenchida pelo espelho diagonal, o que torna impraticável o uso do telescópio.

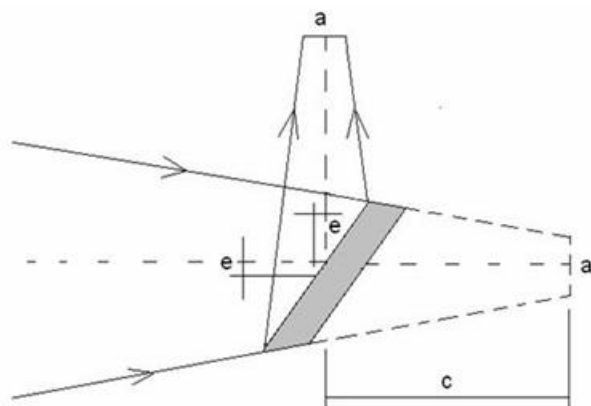


Figura 14 - e = deslocamento do centro do espelho diagonal em mm.

Campo Angular Máximo

A partir da figura 14, obtém-se a expressão que fornece o campo angular visual do telescópio em função da abertura da lente de campo da ocular e da distância focal do espelho principal:

$$\alpha = \frac{a}{F} \times 3438$$

No caso do instrumento ser projetado para uso geral, geralmente impõe-se para α um valor ao redor de 60 minutos de arco, o que permite a observação de uma grande variedade de objetos.

Já para observação específica do Sol ou da Lua, o projeto requer $\alpha = 35'$ e para observação de alta resolução de planetas e de estrelas binárias, basta projetar o instrumento para α situando-se entre 5 e 10 minutos de arco, com oculares de grandes aumentos.

Pupila de saída

Quando, num telescópio, colocamos uma ocular com distância focal equivalente igual a f_e e, em seguida, focalizamos um objeto distante, a configuração dos raios luminosos 1 e 2 se verifica conforme esquematizados na figura da páginas seguinte.

O disco (E) formado pela convergência desses raios incidentes na periferia do espelho parabólico é chamada “pupila de saída”, e nada mais é do que a imagem do espelho principal formada pela ocular em uso.

É possível medir o diâmetro da pupila de saída, bastando dispor-se de um dispositivo de medição de grande precisão.

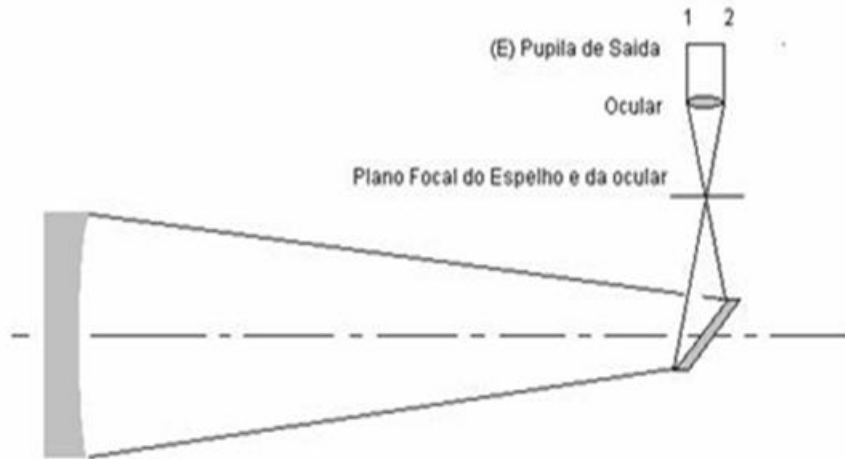


Figura 15 - Esquema do caminho óptico da luz desde a entrada até a pupila de saída.

Essa medição apresenta certo interesse para o amador, pois, através dela é possível determinar experimentalmente a distância focal equivalente de uma ocular ou de um sistema *Barlow-ocular*, cujas características sejam duvidosas.

Para isso, depois de medir o diâmetro (p) da pupila de saída, aplica-se a seguinte expressão:

$$f = \frac{F \cdot p}{d}$$

onde:

F = distância focal do espelho parabólico (mm);

f = distância focal do ocular (mm);

p = diâmetro da pupila de saída (mm);

d = diâmetro do espelho parabólico (mm).

Além dessa importante utilidade, o conhecimento da pupila de saída nos permite avaliar se a ocular em questão é adequada para o nosso telescópio, pois, para observação visual, o diâmetro da pupila de saída não deve nunca ultrapassar o diâmetro da pupila do observador.

Conceito de Magnitude

A noção de magnitude ou grandeza foi originada na antiga Grécia, quando Hipparco, no segundo século antes de Cristo, agrupou os astros visíveis a olho nu em seis classes conforme o seu brilho decrescente.

Modernamente, verificou-se que a escala de Hipparco correspondia razoavelmente bem uma progressão geométrica com razão de 2,5 aproximadamente.

Adotando-se como unitário o valor do brilho das estrelas de sexta grandeza, obtém-se a seguinte expressão, que relaciona o brilho B de uma estrela qualquer, a sua grandeza m :

$$B=2.512^{\sigma-m}$$

Na forma logarítmica,

$$\log B=0,4(\sigma-m)$$

Magnitude Limite de um Microscópio Newtoniano

Considerando-se que, à vista desarmada pode-se perceber uma estrela de grandeza 6.2, deduz-se, por simples considerações sobre as áreas relativas de um telescópio e a do olho humano com a pupila toda dilatada e quando a pupila de saída tiver diâmetro ao redor de 7 mm, que a grandeza limite de um telescópio é dada pela expressão:

$$M=0,8+5\log d$$

Poder de Resolução

O olho normal é capaz de distinguir dois pontos luminosos ou duas linhas paralelas, desde que estejam separadas o suficiente para que o ângulo de observação seja, no mínimo, um minuto de arco.

Para que haja certa comodidade de observação, adota-se, para efeito de projeto de sistemas ópticos, como quatro minutos de arco o valor do poder de resolução da vista desarmada.

A Imagem de Difração de uma Estrela

A distância das estrelas é tão grande que, mesmo as gigantes como Betelgeuse, são observadas sob ângulos tão pequenos, que, para todos os fins práticos, podem ser considerados como meros pontos luminosos.

No entanto, ao observarmos as estrelas com oculares de grandes aumentos, percebe-se que as mesmas produzem uma imagem constituída por um disco central luminoso acompanhado por um ou mais anéis concêntricos.

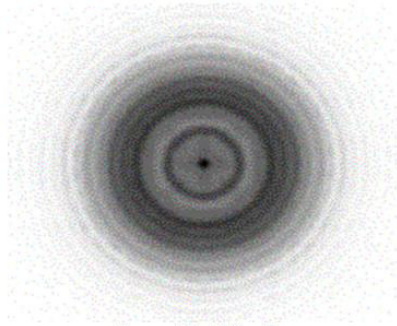


Figura 16 – Difração.

Disco de Airy

O disco central dessa figura, que, num sistema óptico perfeito, concentra cerca de 84% de toda a luz que penetra no telescópio é denominada Disco de *Airy*, em homenagem a *Sir George Airy*, sétimo astrônomo Real da Inglaterra, o qual, estudou detalhadamente o fenômeno da formação de imagens em telescópios.

O diâmetro angular do Disco de *Airy* é quem determina o poder de resolução de telescópios de pequeno e médio porte. Já para os grandes telescópios, é a turbulência atmosférica que limita o seu desempenho como teremos oportunidades de discutir mais adiante. O diâmetro angular do Disco de *Airy*, expresso em segundos de arco, é dado pela expressão a seguir:

$$g = \frac{203}{d}$$

Poder de Resolução de um Telescópio

Suponhamos que estamos observando um par de estrelas de sexta-grandeza sob grande aumento, e que as mesmas estão tão próximas umas das outras, que os seus Discos de *Airy* se apresentem interpenetrantes como na figura abaixo.

O valor de separação angular mínima, expressa em segundos de arco, que ainda nos permite perceber as duas estrelas separadas denomina-se "Poder de Resolução".

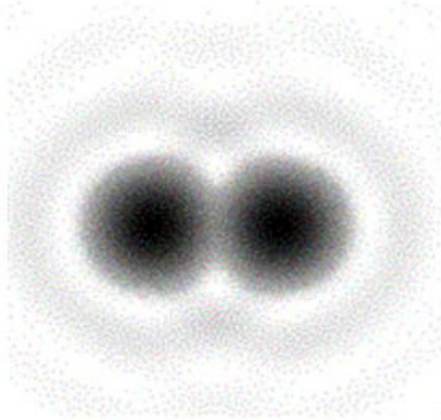


Figura 17 – Difração.

Sua expressão em função da abertura do telescópio foi estabelecida experimentalmente por W. R. Dawes no século dezanove, sendo por isso, também conhecido como "Limite de Dawes". Esse limite vale:

$$P. R. = \frac{115,8}{d}$$

MICROSCÓPIO ÓPTICO

O olho humano tem poder de resolução de aproximadamente 0,1 mm ou 100 μm . Isto significa que se você olhar dois pontos separados por uma distância menor que 100 μm , esses pontos aparecerão como um ponto único. Para distinguir estruturas separadas uma das outras por menos de 100 μm , há necessidade de instrumentos ópticos que tenham poder de resolução aumentada. É importante salientar a diferença entre poder de resolução e poder de aumento. Se você ampliar várias vezes uma mesma fotografia comum, a imagem aumenta, mas os pontos separados por menos de 100 μm continuarão a aparecer como um só ponto borrado. É possível, portanto, aumentar a ampliação, sem, contudo melhorar a resolução. Os microscópios permitiram ao homem observar estruturas com ampliação maior e maior resolução.

O limite de resolução dos microscópios ópticos, que são aqueles que utilizam a luz para iluminar o objeto que está sendo analisado, é de cerca de 0,2 μm (ou 200 nm ou 2 000 \AA); é melhor que o olho humano cerca de 500 vezes. Não se consegue construir microscópios ópticos com desempenho melhor que este, pois o fator limitante é o comprimento de onda da luz.

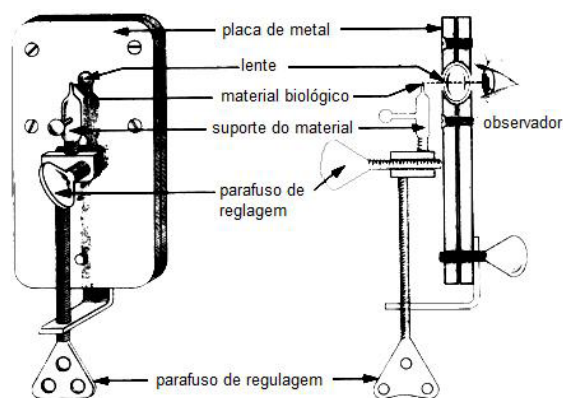


Figura 18 - Microscópio óptico.

O APARECIMENTO DO MICROSCÓPIO

No final do século XVI, depois de quatro séculos aperfeiçoando e dando novas utilizações às lentes, foi criada a lupa por Galileu e, usando-a, efetuou as primeiras observações de objetos e seres. Com ele os cientistas da época foram capazes de encontrar nos seres que já conheciam novos detalhes e características.

No século XVI, o aperfeiçoamento do microscópio, particularmente do sistema de lentes, expandiu-se. Antonie Van Leeuwenhoek e Zacharias Jansen, fabricantes de óculos, desenvolveram os primeiros microscópios

simples e compostos, respectivamente. Estes aparelhos utilizavam a luz refletida pelo objeto fortemente iluminado. Vários modelos foram a seguir construídos, entre os quais alguns de valor histórico, como por exemplo, o de Robert Hooke. Mas, teria de decorrer quase um século até que o microscópio óptico composto, sucessivamente aperfeiçoado, fosse capaz de permitir imagens de grande qualidade.



Figura 19 – Modelos Históricos.

CONSTITUIÇÃO DO MICROSCÓPIO ÓPTICO COMPOSTO

Atualmente, o microscópio óptico composto (M.O.C.) é constituído por duas partes – uma parte mecânica e uma parte óptica. Cada parte engloba uma série de componentes constituintes do microscópio. A parte mecânica serve para dar estabilidade e suportar a parte óptica. Esta parte é constituída por:

Pé ou Base – suporta o microscópio, assegurando a sua estabilidade;

Braço ou Coluna – peça fixa à base, na qual estão aplicadas todas as outras partes constituintes do microscópio;

Tubo ou Canhão – cilindro que suporta os sistemas de lentes, localizando-se na extremidade superior a ocular e na inferior o revólver com objetivas;

Platina – peça circular, quadrada ou retangular, paralela à base, onde se coloca a preparação a observar, possuindo no centro um orifício circular ou alongado que possibilita a passagem dos raios luminosos concentrados pelo condensador;

Parafuso Macrométrico – engrenagem que suporta o tubo e permite a sua deslocação a da platina. É indispensável para fazer a focagem;

Parafuso Micrométrico – imprime ao tubo ou à platina movimentos de amplitude muito reduzida, completando a focagem. Permite explorar a profundidade de campo do microscópio;

Revólver – disco adaptado à zona inferior do tubo, que suporta duas a quatro objetivas de diferentes ampliações: por rotação é possível trocar rapidamente e comodamente de objetiva.

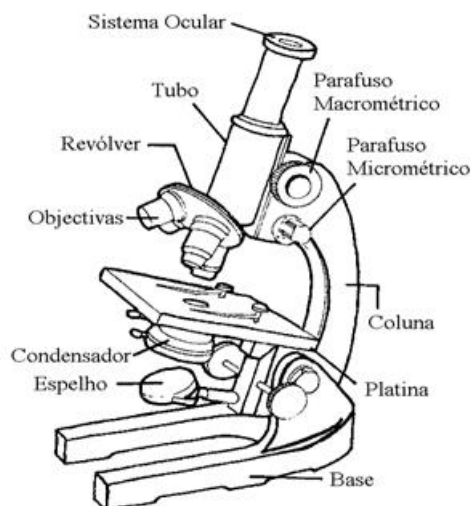


Figura 20 - Esquema de um microscópio óptico composto (parte mecânica).

A parte óptica é constituída por:

Sistema de Oculares e Sistema de Objetivas – o conjunto de lentes que permitem a ampliação do objeto. A ampliação dada ao microscópio é igual ao produto da ampliação da objetiva pela ampliação da ocular;

Fonte Luminosa – existem vários tipos de fontes luminosas, podendo ser uma lâmpada (iluminação artificial), ou um espelho que reflete a luz solar (iluminação natural);

Condensador – distribui regularmente, no campo visual do microscópio, a luz refletida pelo espelho;

Diafragma – regula a intensidade luminosa no campo visual do microscópio.

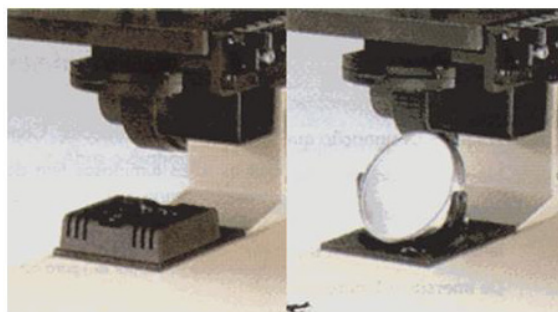


Figura 21 – Esquema de um microscópio óptico composto (parte óptica).

CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM DO M.O.C.

O objeto a ser observado deve ser colocado muito perto do foco do sistema da objetiva, para que se forme uma imagem real, invertida, de maiores dimensões, que vai servir de objeto em relação à ocular. Esta dá uma imagem virtual, invertida (nos dois sentidos) em relação ao objeto a ser observado.

Sistemas de Lentes

Temos cinco tipos de oculares:

Huygens

Hi-Point

WideField

Hyperplane Compensating

Ultraplane

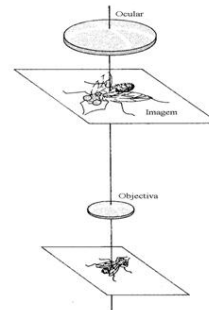


Figura 22 - Formação de imagens

Resolução

Segundo Raleigh dois objetos podem ser distinguidos quando o máximo central de um coincide com o primeiro mínimo do outro. A intensidade entre dois picos descreve de 80% do pico inicial.

A resolução é a mínima distância entre pontos ou partes de um objeto. A equação (1) define o limite de resolução de um microscópio óptico segundo o critério de Raleigh:

$$\delta := \frac{0.61\lambda}{n \cdot \sin(\theta)} \quad \text{OU} \quad \delta := \frac{0.61\lambda}{NA} \quad (1)$$

A abertura numérica que aparece na equação acima expressa o poder de resolução das lentes e o brilho da imagem formada, quanto maior a abertura numérica melhor a qualidade da resolução. Em compensação há um comprimento da profundidade de foco definida pela equação (2):

$$D_{focus} := \frac{\lambda}{4 \cdot (NA)^2} \quad (2)$$

As lentes objetivas são responsáveis pela ampliação da amostra. Para uma alta ampliação e uma alta resolução necessita-se de lentes objetivas com uma grande abertura numérica (NA). Esse parâmetro determina o poder separador do microscópio e é dado pela equação (3):

$$NA := n \cdot \sin(\theta) \quad (3)$$

onde n é o índice de refração do meio em que está imersa a lente frontal da objetiva e θ é o ângulo do cone de luz que penetra na objetiva.

Poder Separador

Já o poder separador do microscópio é a medida da capacidade de um instrumento óptico discriminar objetos pontuais muito próximos. Esta capacidade depende das figuras de difração, desde que as aberrações tenham sido corrigidas na equação (4).

$$P := \frac{NA}{61.l} \quad (4)$$

onde: l é o comprimento de onda da radiação que ilumina o objeto.

Limite do M.O.C.

“... No início do século XIX estava definido o limite de resolução do microscópio óptico. Segundo o físico alemão Ernst Abbe (1840-1905), esse limite dependia principalmente do comprimento de onda (λ) da luz com que se observa o objeto. O MO não pode ver pontos do objeto mais próximos do que 0,2 micrometros ($1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{mm}$), ou seja, seu aumento máximo está em torno de mil vezes. (Não muito mais do que Leeuwenhoek conseguiu!)”.

O conhecimento dos fenômenos ondulatórios permite-nos saber que a imagem de um ponto luminoso obtido através de uma lente é formada por um círculo central luminoso cercado de anéis claros, com intensidades decrescentes (difração). Quando buscamos aumentos baixos, não observamos essa figura, mas é ela que determina o limite de aumento para cada diâmetro da lente e para cada cor da luz de iluminação. Quanto maior o λ , mais crítica é a situação. Daí concluirmos que já atingimos o aumento máximo permitido pelo MO, pois as aberrações (distorções) das lentes já foram suficientemente bem corrigidas, mas o nosso olho infelizmente não vê a luz com λ menor que o violeta. É então que entramos com um novo universo que o ME pode proporcionar.



Experimentos de Baixo custo

1- A câmera escura de orifício

O funcionamento de uma câmera escura de orifício pode ser entendido a partir de um arranjo bem simples. Tomemos uma caixa completamente fechada e nela fazemos um pequeno orifício. Uma vela colocada na frente do orifício produzirá uma imagem semelhante ao objeto (a vela), porém invertida. O tamanho de imagem (i) e o tamanho do objeto (o) são relacionados com as distâncias do objeto (d) ao orifício e a distância da imagem ao orifício (d') através da relação.

$$\frac{o}{i} = \frac{d}{d'}$$

Observe que a relação acima segue da semelhança entre os triângulos OA'B. Tais relações decorrem da propagação retilínea, assim como a inversão da imagem.

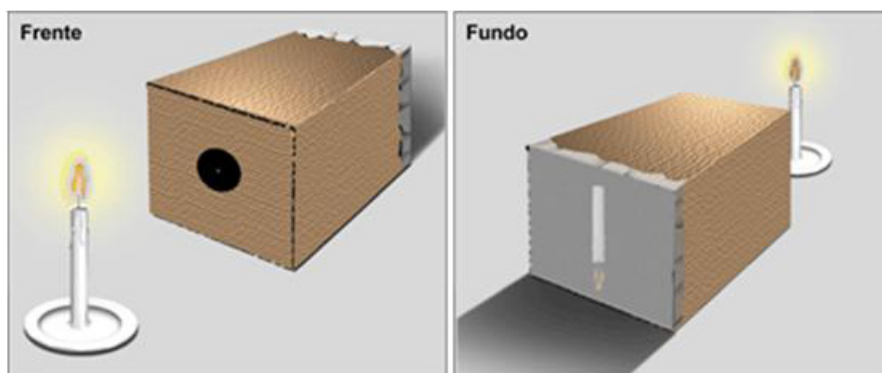


Figura 23

Conforme a posição da vela, a imagem pode não ficar muito nítida, assim, mude a posição da vela em frente à caixa até obter uma imagem mais nítida.

2 - Um projetor de feixes de luz

Material:

Lanterna;

Fita adesiva;

Cartolina preta;

Uma caixa qualquer (pode ser uma caixa de sapatos).

Procedimento:

Cortam-se dois círculos do tamanho da frente da lanterna, em cada um desses círculos será desenhada uma fenda ao centro, que permitirá a visualização de um feixe de luz. No círculo 1, a fenda terá 2 milímetros de largura e um comprimento que vai até no máximo 5 milímetros da borda. No círculo 2 a fenda terá de largura 1 milímetro, já o comprimento será da mesma altura do círculo 1, mas a parte de baixo será cortada até a borda. Como mostra a figura da páginas que segue.

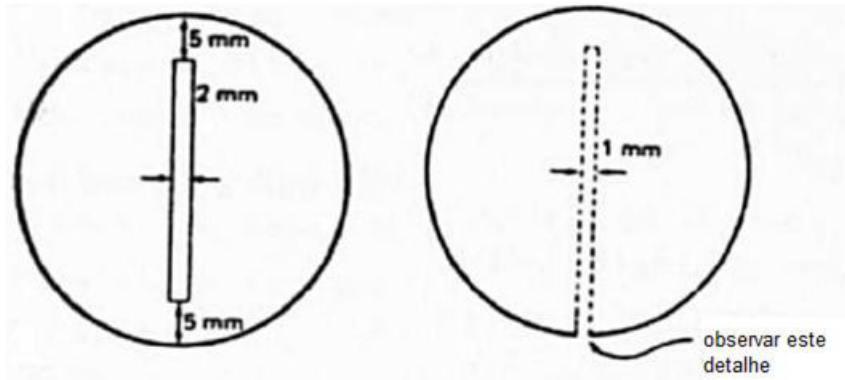


Figura 24 – Círculo 1 e círculo 2 para o projetor. Fonte: Violin (1979).

O círculo 1 deve ser colado na superfície da lanterna com a fita adesiva. Com a cartolina restante é feito um cilindro maior que a lanterna e que envolva de tal forma a permitir que a lanterna se movimente dentro dele.

Em uma das bases do cilindro é fixado o círculo 2, também com a fita adesiva, enquanto a outra base deve ficar livre para ser encaixada a lanterna. As fendas deverão ficar paralelas. Assim como mostrado na figura abaixo.

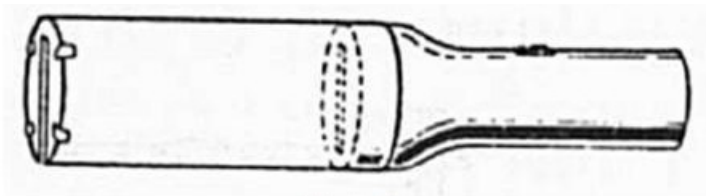


Figura 25

A parte mais difícil do projetor está pronta, agora se coloca a caixa de maneira que seja produzida sombra dentro dela e fixa a lanterna de modo que sua luz seja propagada dentro da caixa.



Figura 26 – Material para o projetor.



Figura 27 – Projetor e a reflexão da luz.

Para realizar esse experimento é necessário: uma cartolina preta; a lanterna; a fita adesiva e uma caixa qualquer.

3 - Projetor Caseiro

Para fabricar um projetor de *slides* caseiro, corte a tampa da caixa de papelão e pinte a caixa nas cores preta por fora e branca por dentro (de preferência). Fazer dois buracos, um para encaixar a lente e outro para passar o fio da lâmpada. Logo após esse procedimento, encaixe a lâmpada no torniquete e cole no meio, um pouco mais para o fundo da caixa. Põe papel alumínio nas laterais internas da caixa, pois se não for colocado, a lâmpada refletirá a sua luz na lente. Fazer um suporte para pendurar o *slide*, pois como terá uma tampa, a pessoa não poderá ficar segurando o *slide* para sua focagem. O suporte do *slide* pode ser feito com a caixa da lâmpada usando nos procedimentos anteriores. Depois de tudo pronto, encaixe o *slide* no seu suporte, põe a tampa e ligue a lâmpada. Depois de tudo ligado, foque a imagem com a lente de acordo com a distância entre o projetor e a parede.

APPLETS

4 – *Walter-Fendt*.

http://www.walter-fendt.de/ph14br/refractor_br.htm

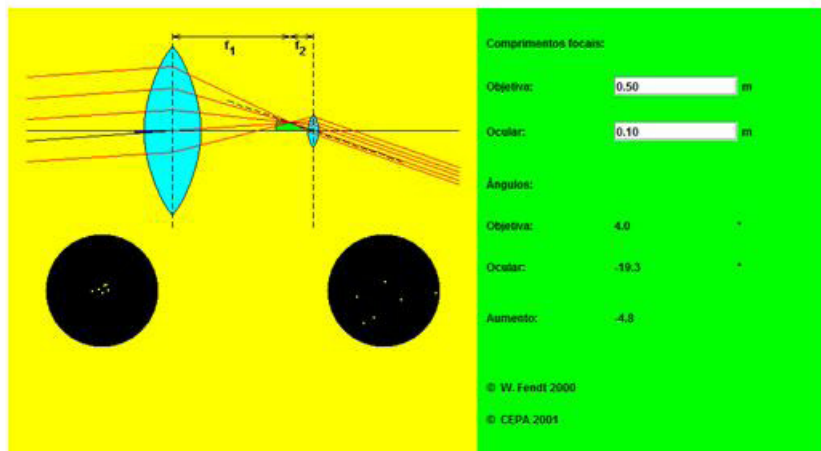


Figura 28

5 – Site de ensino: *Astronomy Education at University of Nebraska-Lincoln*.

<http://astro.unl.edu/classaction/animations/telescopes/telescope10.html>

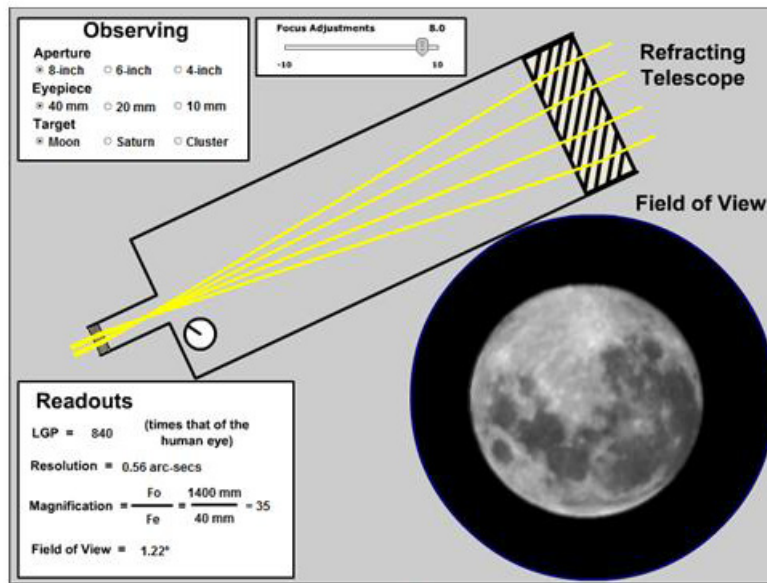


Figura 29

6 – O Microscópio. Projeto TRIPOD.

http://www.discip.crdp.ac-caen.fr/phch/lycee/terminale/app_opt/app_opt.htm

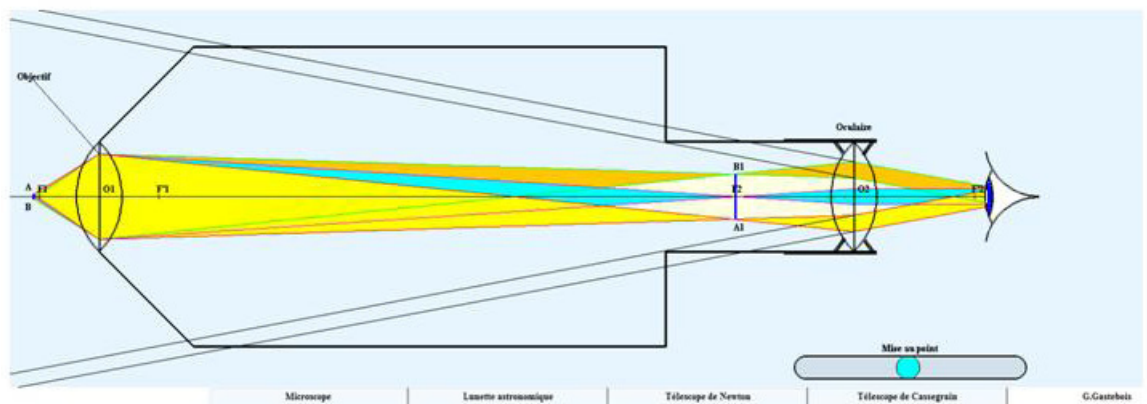


Figura 30

VÍDEO AULAS

7 – Experimento com Lupa. Pondo fogo no papel através da concentração dos raios luminosos.

<http://www.youtube.com/watch?v=X-X2tIkp3rU>

8 - Periscópio Caseiro - Prof. Juary.

http://www.youtube.com/watch?v=x_nnVVRuR8g

9 - Pontociência - Periscópio

Parte1. http://www.youtube.com/watch?v=Dhj4W7_I4&feature=related

Parte2. <http://www.youtube.com/watch?v=qk1KICVSobk>

Parte3. http://www.youtube.com/watch?v=lo_3-CNupJ4&feature=relmfu

10 – Como construir um telescópio caseiro.

a) <http://www.youtube.com/watch?v=PToiv7po-TY&feature=related>

b) <http://www.youtube.com/watch?v=6tWxyCszakY&feature=related>

11 – Os Tipos de Telescópios.

<http://www.youtube.com/watch?v=UbBUqDJjqWs&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=N8Qp9Zh5bk4>

12 – Microscópio caseiro usando luz laser.

<http://www.youtube.com/watch?v=ZJWIRd4SnQg>

13 – Vídeos sobre telescópio

<http://www.youtube.com/watch?v=UoD2tRAqee0&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=92FYjEjLCSl&feature=relate>

http://www.youtube.com/watch?v=SpkrVw_E6Nw&feature=Playlist&p=8DCB3F2E1AF98B48&index=0&playnext=1

<http://www.youtube.com/watch?v=gvpTWeFPWIg&feature=related>

http://www.youtube.com/watch?v=D0F2TK_Tj6Y&feature=Playlist&p=3D58A2EAB6D10187&playnext=1&playnext_from=PL&index=9

CONCLUSÃO

Uma aula sobre o tema “*Instrumentos Ópticos*” seria muito interessante tanto no nível universitário como no segundo grau. Uma aula sobre este tema ilustra muito bem as aplicações da física nos fenômenos e dispositivos do dia a dia. Assim, preparamos uma aula introdutória sobre a física e confecção de alguns instrumentos ópticos, para que o futuro professor possa explicar ou esclarecer possíveis dúvidas de seus futuros alunos. Como era de se esperar, encontramos vários vídeo aulas sobre este tema, experimentos de baixo custo e *applets* de ensino.



RESUMO

Do mesmo modo que na aula sobre o tema “Cores”, nesta aula apresentamos um texto preparado para fazer parte do *e-livro* do *e-física*. Esta aula está ricamente ilustrada com figuras, vídeo aulas e *applets*.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Os experimentos sugeridos são de fácil execução e ilustram e enriquecem os conceitos abordados. Os *applets* de ensino também são fáceis de usar e ilustram e enriquecem bem os conceitos abordados. As vídeo aulas estão bem preparadas e mesmo as mais simples ajudam aos estudantes a refazerem os experimentos de baixo custo.

REFERÊNCIAS

- Wikipédia. **Lupa**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Lupa>>. Acesso em 28/08/2012.
- Educar.SC. Disponível em: <<http://educar.sc.usp.br/optica/instrumente.htm#instrumentos>>. Acesso em 28/08/2012.
- MARQUES, Gil da Costa. **e-física**. Disponível em: <<http://efisica.if.usp.br/optica/basico/instrumentos/>>. Acesso em 28/08/2012.
- Colégio São Francisco. **Aparecimento do Telescópio**. Disponível em: <<http://www.colegiosaofrancisco.com.br/alfa/microscopio/aparecimento-do-microscopio.php>>. Acesso em 28/08/2012.
- SANTOS, Regis Eugenio dos. Disponível em: <<http://www.dsif.fee.unicamp.br/~furio/IE607A/MO.pdf>>. Acesso em 28/08/2012.
- KINGSLAKE, Rudolf (Ed.). **“Applied Optics and Optical Engineering”**, Vol. IV, Parte I, Pág. 31-93, 1967. Disponível em: <www.fisica.ufs.br/...univ/Cap08-MICROSCÓPIO%20ÓPTICO.docx>. Acesso em 28/08/2012.
- BURGGRAAF, Pieter. “Guidelines for Optical Microscopy”, **Semiconductor International**, Vol. 8, No. 2, pág. 52, 1988.
- SOUSA, Daniele Barroso de. **Um curso de ótica baseado em experimentos**. Monografia apresentada ao Curso de Física do Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2010. Disponível em: <www.uece.br/.../71-um-curso-de-otica-baseado-em-experimentos>. Acesso em 28/08/2012.
- Roberto Frangetto. **Telescópio Newtoniano**. Cap. 7. Disponível em: <www.fisica.ufs.br/.../Cap07-TELESCÓPIO%20NEWTONIANO.doc>. Acesso em 28/08/2012.