

INSTRUMENTOS ÓPTICOS

INTRODUÇÃO

Instrumentos Ópticos são dispositivos construídos a partir de componentes ditos ópticos. Prismas, lentes e espelhos são de longe os componentes mais utilizados. Os instrumentos são voltados para o processamento e, ou, armazenamento de imagens. Alguns instrumentos (como óculos e máquinas fotográficas) já se incorporaram ao dia a dia das pessoas. Outros são voltados para a pesquisa científica são altamente sofisticados e dispendiosos. Nesse caso o interesse é por instrumentos que aumentam o tamanho dos objetos (ou seja, cujas imagens são maiores do que os objetos). Esse é o caso, por exemplo, dos telescópios e microscópios.

É importante lembrar que a relação de instrumentos ópticos apresentada abaixo não é exaustiva. Existe uma gama muito grande de instrumentos ópticos voltados para a análise de propriedades da luz (como polarímetros, fotômetros) e de propriedades ópticas de materiais (como refratômetros e refletômetros) que não serão tratados aqui.



ORIGENS

A origem dos instrumentos ópticos tem sido creditada a um grupo de holandeses da cidade de Middelburg, que se especializaram no polimento de lentes para a confecção de óculos e pince-nez. Há um relato oficial de 1608 em que se discute a patente das aplicações, primeiro por Hans Lipperhey de Middelburg e posteriormente por Jacob Metius de Alkmaar, de um dispositivo que permitia “ver coisas distantes como se estivessem próximas”. Esse dispositivo era composto de duas lentes, uma convexa e outra côncava, fixadas em um tubo, cuja combinação resultava em uma imagem cerca de 3 a 4 vezes maior que o objeto.

No caso do telescópio ele é mais associado, apesar de controvérsia, ao nome de Hans Lippershey. No caso do microscópio, sua descoberta (ainda lembrando de uma possível imprecisão) ao nome De Hans e Zacharias Janssen (pai e filho). Nesse caso, os microscópios teriam surgido em 1590, bem antes portanto dos telescópios.

Os primeiros telescópios datam de 1608. Galileu tomou conhecimento da existência desses instrumentos quando de sua visita a Veneza, em 1609, e logo depois construiu o seu próprio telescópio.

Ao tomar conhecimento da existência desse dispositivo óptico, Galileu entende seu princípio de funcionamento e constrói um telescópio que ampliava as imagens em cerca de 10 a 20 vezes e tinha campo de visão de 15 minutos de arco (1/4 do tamanho da Lua). A lente objetiva era esverdeada (devido ao alto teor de ferro no substrato de vidro), tinha bolhas no seu interior, o polimento das superfícies era ruim, e a imagem produzida pelos bordos da lente era distorcida. As primeiras observações devem ter sido muito difíceis. Na primavera de 1610, ninguém possuía um telescópio com qualidade para observar os satélites de Júpiter, mas era possível verificar algumas características lunares descritas por Galileu no famoso Sidereus Nuncius (Mensageiro Sideral), publicado em Veneza, naquele ano. Dessa forma, Galileu forneceu, com suas observações, um conjunto de evidências para confirmar o modelo de Universo proposto por Copérnico. Contribuiu assim para o fim do modelo geocêntrico de Universo.

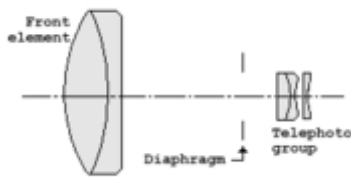
Nas décadas seguintes outros instrumentos mais aperfeiçoados e maiores foram surgindo, todos baseados em lentes difíceis de serem construídas sem defeitos (substratos isentos de imperfeições, polimento mais adequados, superfícies curvadas etc.).

Uma mudança de rumo ocorreu quando Newton descobriu que a luz branca era composta de várias cores, que convergiam em pontos focais distintos conforme cor. e que as lentes (ver Figura 3.3). Como conhecia as propriedades refletivas dos espelhos curvos, Newton projetou e construiu um telescópio com espelhos no lugar das lentes. Ele usou um substrato metálico, basicamente cobre com um pouco de estanho, para moldar uma curvatura esférica. Esse espelho metálico foi fixado na base de um tubo e utilizou um espelho plano fixado em 45° para refletir a imagem sobre uma ocular localizada fora do tubo. Esta inovação causou sensação até mesmo na Royal Society. Mas havia duas dificuldades sérias na época: a primeira era conseguir superfícies curvas regulares, a segunda era o surgimento de manchas no substrato metálico que obrigava repolir as superfícies temporariamente, o que deteriorava ainda mais a qualidade óptica. De qualquer forma, esta seria a proposta vitoriosa, pois os telescópios atuais são baseados em espelhos.

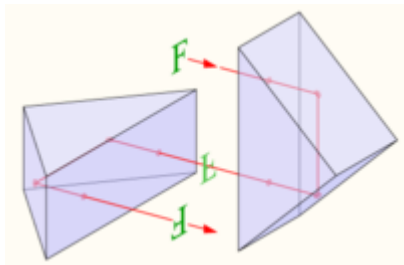
COMBINAÇÃO DE COMPONENTES

A maior parte dos instrumentos ópticos mais sofisticados faz uso de uma combinação de componentes ópticos. Tais componentes têm basicamente duas funções: desviar o caminho de um feixe luminoso e alterar o tamanho de

um objeto, mediante a produção de uma imagem do mesmo. Alguns componentes podem exercer as duas funções.



Um prisma pode efetuar uma mudança de direção dos feixes luminosos. Uma combinação de dois prismas, por exemplo, permite inverter uma imagem.

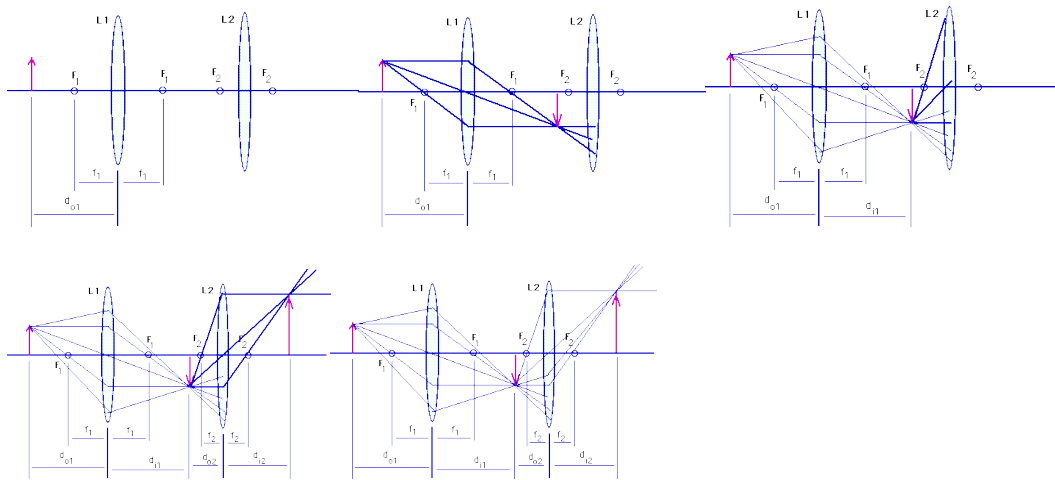


No estudo de sistemas ópticos existe o interesse em se determinar a imagem quando dispomos lentes delgadas de tal forma que seus eixos ópticos coincidam. Veremos a seguir que para entendermos o microscópio composto ou para entendermos um telescópio simples basta analisarmos a associação de duas lentes.

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.

Uma grande variedade de instrumentos faz uso de duas lentes (ou dois conjunto de lentes). Essas lentes são conhecidas como Objetiva e Ocular. A lente objetiva coleta a luz proveniente de um objeto e associa a ele uma imagem (em alguns casos, um espelho desempenha esse papel). A lente ocular (muitas vezes se trata de um conjunto de lentes) recebe esse nome em função da sua proximidade com o globo ocular.

O princípio básico de funcionamento de instrumentos ópticos voltados para a magnificação de uma imagem, é que a imagem produzida pela primeira lente se torna o objeto para a próxima lente. Isto será ilustrado abaixo para o caso de duas lentes



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

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p_1'} = \frac{1}{f_1}$$

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_1' , esta será dada, para a segunda lente, por

$$\frac{1}{-p_1'} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f_2}$$

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

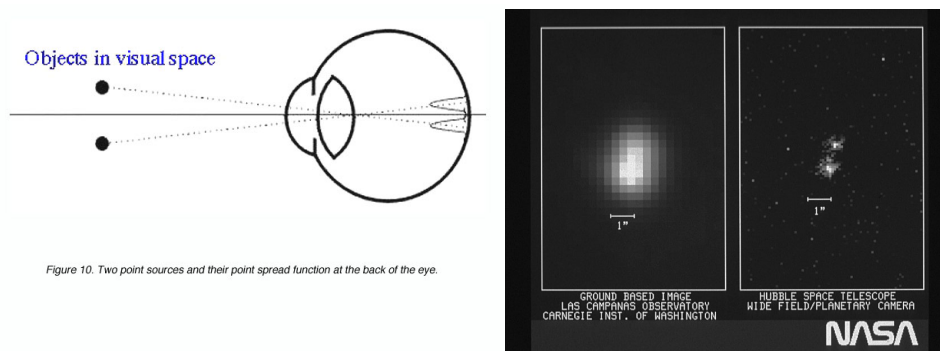
$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

PODER DE RESOLUÇÃO DE UM INSTRUMENTO ÓPTICO

O poder de resolução de um instrumento óptico está intimamente ligado à sua capacidade de fazer a separação de imagens de objetos distintos localizados próximos (do ponto de vista de separação angular) um do outro. O melhor exemplo de uma tal situação é aquele de corpos celestes (em geral estrelas) localizados em direções angulares muito próximas.

O olho humano tem uma capacidade limitada de separar imagens de objetos muito próximos. Muitas vezes olhamos para duas estrelas no céu e temos a impressão que vemos uma só. Com a ajuda de um telescópio podemos separar as imagens das estrelas.

A nossa dificuldade de separar imagens de objetos próximos, em termos de separação angular, tem a ver com a dificuldade inerente aos seres humanos associados com a formação de uma imagem na retina e relacionada com o fenômeno da difração da luz.



Veremos posteriormente que, para um orifício circular, o padrão de máximos e mínimos associados ao fenômeno da difração, é tal que eles têm uma separação angular θ . Essa separação angular depende das dimensões da abertura d e do comprimento de onda λ . Essa separação angular associada à difração da luz é dada por

e luz de comprimento de onda λ , então, sendo θ o ângulo que para a separação angular entre o primeiro máximo e o primeiro mínimo, vale a relação:

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{d}$$

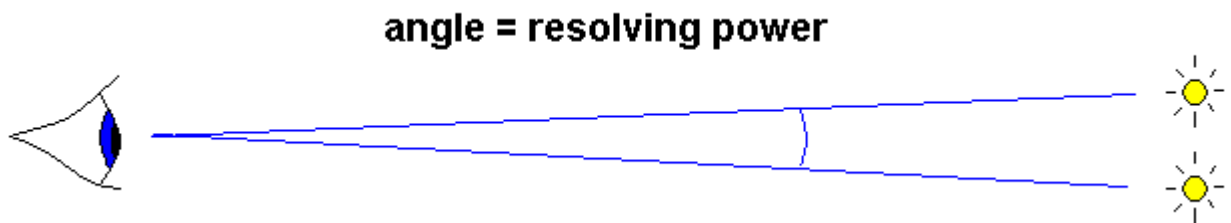
Para o olho humano d corresponde ao diâmetro da pupila. Para uma lente d corresponde ao diâmetro da lente.

Ao olharmos dois objetos distintos, a eles corresponderão não dois pontos mas dois padrões de difração. Um para cada objeto. Se houver uma superposição desses dois padrões na retina não haverá como distingui-los. Quanto menor o afastamento angular, tanto maior é a chance de se superporem e, portanto, de não sermos capazes de distingui-los. O critério de Rayleigh para que não haja superposição dos padrões de difração, é que o limite para não ocorra a superposição é quando o pico central de um cai na posição do primeiro mínimo do outro.

Como o ângulo θ é muito pequeno, e adotando-se o critério de Rayleigh definimos o poder de resolução como o ângulo que é associado á separação angular mínima para distinguirmos objetos:

$$\theta_{\min} = 1.22 \frac{\lambda}{d}$$

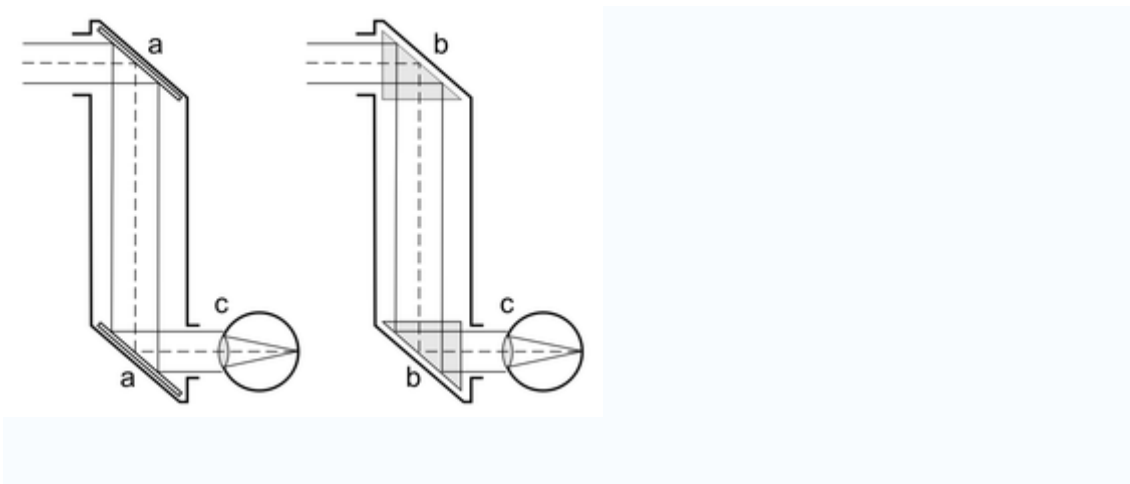
Podemos aumentar a separação angular olhando um objeto mais de perto.



PERISCÓPIO

O periscópio é um instrumento óptico voltado para auxiliar a visão de um objeto a partir de uma posição que não permite receber os raios luminosos diretamente. Isto é, sem o auxílio instrumental.

Na sua versão mais simples ele é constituído de um tubo no qual instalamos dois espelhos planos paralelos a 45 graus nas suas extremidades. Na sua versão mais sofisticada, empregamos dois prismas. Periscópios ainda mais sofisticados, como aqueles que equipam submarinos modernos, empregam lentes de aumento funcionando também como telescópios.



LENTE DE AUMENTO

A lupa é um instrumento óptico muito simples uma vez que faz uso de apenas uma lente convergente. Em geral essa lente é biconvexa. Ela é utilizada para aumentar, aparentemente, o tamanho dos objetos. Quando fixada num suporte, para lhe dar sustentação, esse novo arranjo recebe o nome de microscópio simples. O microscópio composto, a ser estudado depois, faz uso de mais de uma lente.

Lupas comerciais provêm aumento de até vinte vezes. Assim ela permite observar detalhes que não estão ao alcance a olho nu. Esse é o caso de ranhuras ou defeitos em pedras preciosas.

Existe documentação comprovando a utilização das lupas como instrumentos ópticos, a partir do início do século XI . Na Europa eram conhecidas como “pedras para leitura”. Eram feitas de cristais de quartzo. Um desses relatos não deixa margem a dúvidas. No seu De Iride (sobre o arco-iris) Grosseteste escreveu, em 1235:

This part of optics, when well understood, shows us how we may make things a very long distance off appear as if placed very close, and large near things appear very small, and how we may make small things placed at a distance appear any size we want, so that it may be possible for us to read the smallest letters at incredible distances...

O princípio de funcionamento de uma lupa é apresentado abaixo.

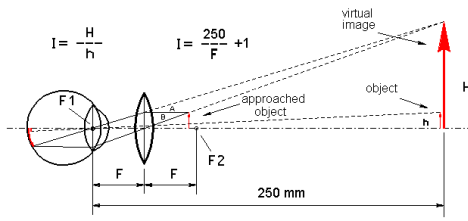


Fig. 4. The magnifying lens allows objects to be brought closer to the eye while still seeing them clearly. This produces an increase in their apparent size.
 F = focal length
 250 mm = conventional distance of the near vision



MONOCULOS e ÓCULOS

São instrumentos voltados para corrigir defeitos ou deficiências visuais. Alguns são voltados apenas para produzir uma sensação de conforto. Nesse último caso se encaixam os óculos voltados para reduzir a luz solar. Estão entre os instrumentos mais antigos.

Tem-se registros do uso de lentes para a confecção de óculos para corrigir o problema da vista cansada por volta dos séculos 13 e 14. Isso ocorreu no norte da Itália.

Esses instrumentos serão analisados quando estudarmos a óptica da visão.



TELESCÓPIOS

A partir do séc. 17, a astronomia deu um salto em qualidade ao empregar o telescópio como instrumento de trabalho auxiliar. Nesse período os telescópios reinaram absolutos como instrumentos, mesmo na era espacial.

Telescópio é um instrumento voltado para fazer observações de objetos localizados a grandes distâncias, isto é, remotos. Originalmente esses instrumentos eram voltados para observar os corpos celestes utilizando-se apenas a luz, ou seja, parte do espectro eletromagnético. Tais telescópios são denominados telescópios ópticos. No entanto, na moderna astronomia utilizamos a radiação emitida por estrelas, por exemplo, em todo o espectro eletromagnético. Radiotelescópios, por exemplo, analisam as ondas de rádio

emitidas pelos corpos celestes. A seguir analisaremos apenas os telescópios ópticos.



Legenda aqui



Essencialmente, telescópio é um instrumento que coleta luz (radiação eletromagnética) e a concentra numa região pequena denominada foco. Quanto maior for sua área coletora, maior será quantidade de luz concentrada no foco. Essas características capacitam esse instrumento a “enxergar” objetos de brilho débil, seja porque eles são pouco brilhantes ou porque estão muito longe. Originalmente os telescópios eram voltados para observar os corpos celestes utilizando-se apenas a luz visível, que, sabemos, é uma parte do espectro eletromagnético. Tais telescópios são denominados de telescópios ópticos. À medida que novas regiões espectrais foram sendo descobertas, instrumentos foram sendo adaptados ou construídos para operarem nessas regiões do espectro eletromagnético. Atualmente dispomos de telescópios e sensores para observar em praticamente todo o espectro eletromagnético, de raios-gama a ondas radiométricas.

A seguir analisaremos resumidamente os principais tipos de telescópios.

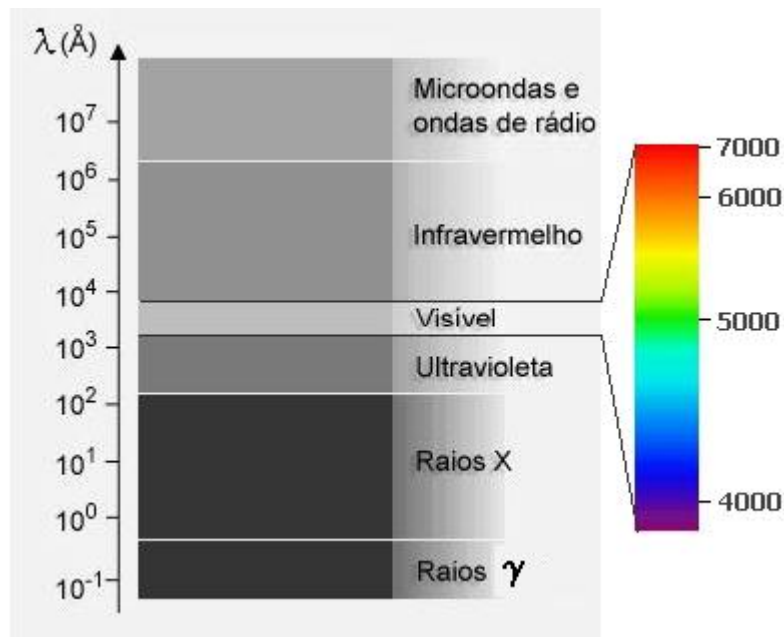


Figura 3.1 O espectro eletromagnético ($1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$) Fonte: CEPA

Telescópios ópticos

Os primeiros telescópios ópticos utilizavam lentes, portanto se baseavam no princípio da refração da luz. Neste caso, a luz passa pela lente e converge para o foco dessa lente. Posteriormente, espelhos côncavos foram utilizados como elementos ópticos. Desta vez, a luz reflete na superfície do espelho e converge para o foco desse espelho. Por utilizar a refração como princípio de convergência da luz o primeiro tipo é denominado telescópio refrator, e o segundo tipo, telescópio refletor. Ambos têm vantagens e desvantagens, que discutiremos adiante.

Essencialmente, há três características básicas que especificam o desempenho de um telescópio. São as seguintes:

1-Potência de captura de luz.

A potência de captura de luz é proporcional à área coletora, ou ao quadrado do diâmetro da lente ou do espelho. Assim, dobrando-se o diâmetro da abertura aumenta-se em quatro vezes a quantidade de luz coletada. O telescópio havaiano Keck (em Mauna Kea) tem espelho de 10 m de diâmetro; o maior telescópio brasileiro Perkin&Elmer (em Brazópolis) tem espelho de 1,6 m. Enquanto a relação de tamanho entre espelhos é 6,25, a de área é 39. Precisaríamos de 39 telescópios iguais ao que temos para coletar a mesma quantidade de luz que coleta o telescópio Keck. Isto nos mostra a razão de se construir telescópios cada vez maiores.

2-Poder de Resolução

O poder de resolução é uma medida da capacidade de um instrumento óptico distinguir pontos próximos. Quanto maior o poder de resolução, mais nítida será a imagem produzida no foco do telescópio. Essa distinção se faz através da separação angular que, pelo critério de Rayleigh, é dada pela expressão

$$\theta (rad) = 1,22 \frac{\lambda}{D}; \quad \text{ou} \quad \theta (seg \text{ arc}) = 484,8 \frac{\lambda (angstrom)}{D(cm)};$$

onde, λ é o comprimento de onda da luz incidente e D é o diâmetro da lente, ou do espelho. Portanto, a resolução de um telescópio depende diretamente do comprimento de onda da luz e inversamente do tamanho de sua abertura. Um mesmo telescópio tem melhor resolução no visível que no infravermelho. Na realidade, o detalhe que pode ser visto com um telescópio depende da qualidade do conjunto óptico, lentes e espelhos, e das condições atmosféricas. Isto pode degradar a resolução para o dobro do valor teórico.

O olho humano tem uma capacidade limitada de separar imagens de objetos muito próximos. Só conseguimos distinguir objetos (ou pontos) que estejam separados de mais de 60 segundos de arco. Muitas vezes olhamos para duas estrelas no céu e temos a impressão que vemos uma só. Com a ajuda de um telescópio podemos separar melhor suas imagens. Este é o caso do sistema binário Rigel (beta orionis), a 6ª estrela mais brilhante do céu: as duas estrelas estão separadas de 9,5 segundos de arco.

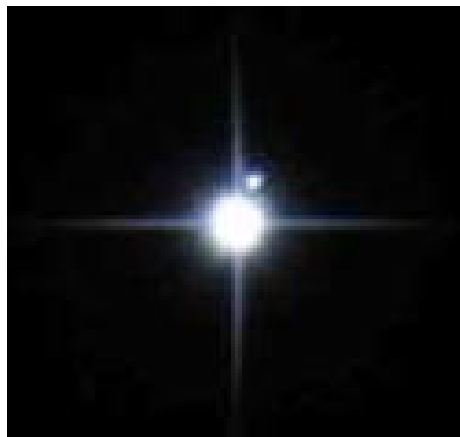


Figura 3.2 Sistema binário Beta Orionis: a componente maior (Rigel A) é 500 vezes mais brilhante que sua companheira (Rigel B). A olho nú vemos apenas Rigel A.

TELESCÓPIO	PODER DE RESOLUÇÃO (em segundo de arco)	DIÂMETRO DO ESPELHO (em metro)	LOCAL
HUBBLE	0,05	2,4	Órbita terrestre
SOAR	0,03	4,2	Chile
KECK	0,013	10	Havai

3-Magnificação

Magnificação é a razão entre os tamanhos da imagem e do objeto. O tamanho da imagem de um instrumento óptico depende das características dos elementos ópticos do conjunto. As características de uma imagem produzida por uma lente (ou espelho) dependem da sua distância focal. Quanto maior for a distância focal, menor será o campo de visão e maior o tamanho da imagem. Uma objetiva grande-ocular de câmera fotográfica tem campo de visão grande e distância focal curta, ao contrário de uma teleobjetiva que tem campo de visão pequeno e distância focal longa.

Magnificação não é uma propriedade do telescópio (objetiva), mas sim da lente, ou o conjunto de lentes, colocada na extremidade junto ao olho (ocular). A melhor magnificação para um telescópio amador ou binóculo é aquela que produza uma imagem de diâmetro da ordem de 5 mm, que é o tamanho médio da pupila de uma pessoa normal, após a adaptação ao escuro. O tamanho desta imagem (pupila de saída) é dado dividindo-se a abertura do telescópio (lente de entrada no caso de refrator ou binóculo, e espelho primário no caso de refletor) pela magnificação. Um telescópio simples, composto por duas lentes, uma objetiva (na entrada) e uma ocular (na saída), o poder de ampliação é dado pela razão entre as distâncias focais da objetiva (f_{ob}) e da ocular (f_{oc}):

$$m = -\frac{f_{ob}}{f_{oc}}$$

Como a distância focal do telescópio é fixa, a magnificação se dá através da troca de oculares com distâncias focais distintas.

Outros fatores influenciam na qualidade da imagem de um telescópio. Alguns decorrem de aberrações características de superfícies cônicas de revolução, como aberração esférica, coma, astigmatismo, curvatura de campo e distorção. Outros, como aberração cromática e absorção, provêm do processo refrativo. Espelhos precisam ter superfícies perfeitamente polidas e espelhamento homogêneo para evitar defeitos adicionais. Todos, porém, estão limitados pela difração. Além disso, os telescópios de solo estão sujeitos à turbulência atmosférica local (seeing).

TELESCÓPIO REFRATOR

Os telescópios ópticos que utilizam lentes são chamados refratores. Eles foram muito utilizados no passado, mas hoje estão restritos a telescópios de pequeno porte. São várias as razões. A refração provoca absorção parcial da luz e aberração cromática, que é a multiplicidade de focos para luz de cores diferentes. Ela ocorre porque a luz branca, composta por radiação de diferentes comprimentos de onda, ao atravessar um meio sofre um desvio que é diferente para cada comprimento de onda. Forma-se assim um arco-íris. Este efeito pode ser corrigido com lentes adicionais (uma objetiva de câmara fotográfica com $f = 50\text{mm}$, por exemplo, pode ter até nove elementos), mas isto aumenta a absorção. Além disso, a lente não pode conter imperfeições no substrato. Tudo isto torna a manufatura muito cara. Como se não bastasse, grandes telescópios utilizam grandes objetivas, que pesam muito.

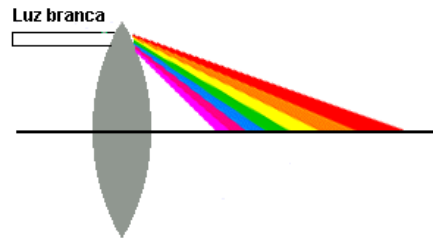


Figura 3.3 O ângulo de refração de uma lente depende do comprimento de onda da luz. Este efeito, chamado aberração cromática, produz focos diferentes e deixa a imagem sem nitidez. Imagem fora de escala.

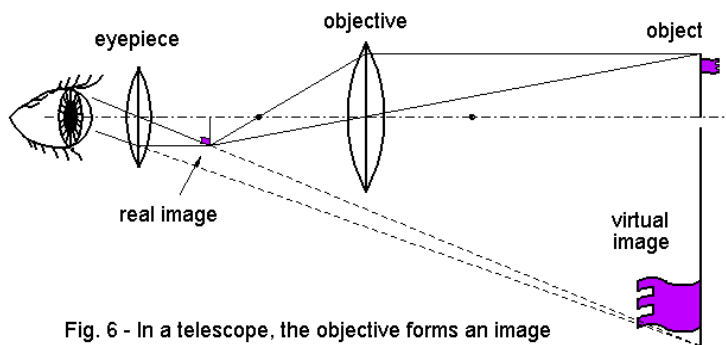


Fig. 6 - In a telescope, the objective forms an image which in its turn is magnified by the eyepiece.

TELESCÓPIO GALILEANO

O telescópio de Galileu fazia uso de uma lente convexa como a lente objetiva e uma lente concava como lente ocular. Tem como característica, a não inversão da imagem dos objetos. Esse seria também o telescópio produzido pelos descobridores holandeses desse instrumento.

TELESCÓPIO DE KEPLER

Faz uso de duas lentes convexas. Tem vantagens em relação ao telescópio de Galileu apesar da imagem, para duas lentes, aparecer invertida. Em particular, tinha melhor capacidade de focalização. Como o nome indica, esse telescópio foi criado por Johannes Kepler em alguma época ao redor do ano de 1611. Os seus argumentos em favor do seu arranjo de lentes consta no seu texto *Catoptics*, texto esse de 1611. O primeiro grande telescópio desse tipo foi construído por Christian Huygens. Com esse instrumento ele foi capaz de descobrir o satélite mais brilhante de Saturno, Titã, em 1655. A partir das suas observações Huygens formulou uma teoria a respeito dos anéis de Saturno.

TELESCÓPIO REFLETOR

Telescópio refletor é aquele que utiliza espelhos no lugar das lentes, portanto utiliza o princípio da reflexão. Os defeitos característicos da refração são praticamente eliminados na reflexão. A luz é refletida na superfície, logo não há absorção de luz, nem aberração cromática. Além disso, o substrato do espelho não precisa ser maciço (isto diminui o peso), apenas sua superfície é que precisa ser bem preparada. Os telescópios refletores possuem pelo menos dois espelhos: o principal, côncavo com curvatura esférica ou parabólica, e o secundário, convexo ou plano.

Espelhos esféricos apresentam aberração esférica, isto é, multiplicidade de foco: quanto mais próximo o raio de luz estiver do eixo óptico do espelho, maior será a distância do ponto focal. Isto pode ser corrigido por lentes adicionais com perfis específicos. Os telescópios com espelhos esféricos propiciam campos visuais grandes, e são muito utilizados para obtenção de imagens de regiões extensas. O telescópio tipo Schmidt é um exemplo deste caso.

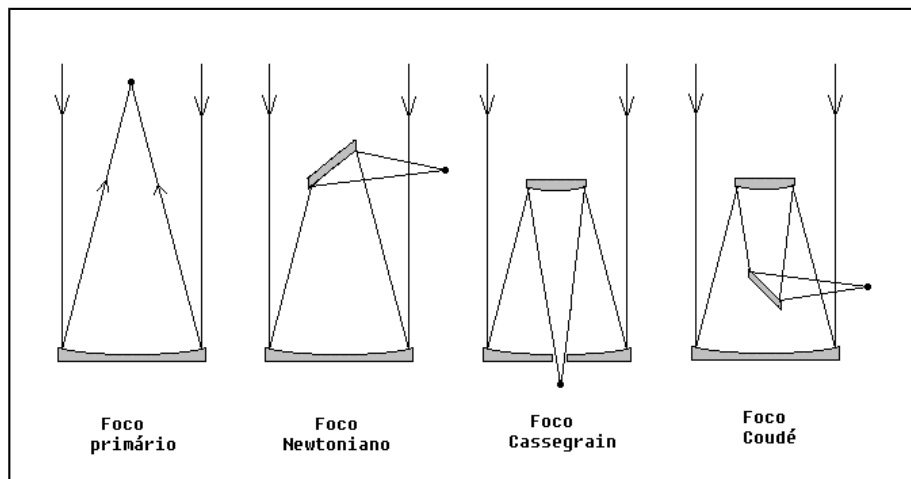
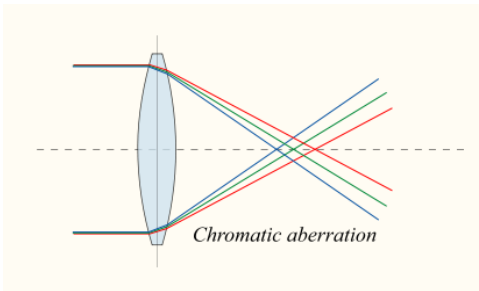


Figura 3.4 Configurações ópticas mais usuais de telescópios

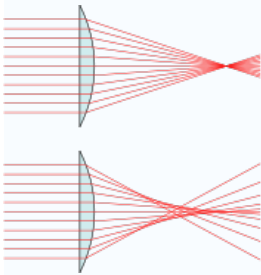
Uma das virtudes dos telescópios refletores é a eliminação de um dos problemas associados aos telescópios refratores conhecido como **aberração cromática**. Ela ocorre porque a luz branca, composta por radiação de diferentes comprimentos de onda, ao atravessar um meio sofre um desvio que é diferente para cada comprimento de onda. Forma-se assim um arco-íris. A correção desse problema é muito mais difícil e tem um grande custo para lentes. As lentes nas quais esse problema é corrigido, são denominadas de **lentes acromáticas**.



É muito difícil construir uma lente livre de imperfeições, e isso vale especialmente lentes grandes. Isso ocorre porque no caso da lente estamos falando de um grande volume (para lentes grandes). Num espelho o problema fica reduzido àquele de tratar apenas a superfície.

Pelas razões expostas acima, os telescópios ópticos utilizados em pesquisas são telescópios refletores.

Quando o espelho não é parabólico, um telescópio refletor exibe uma **aberração esférica**. Nesse caso a imagem não se forma num plano focal, mas numa superfície não plana.



Credita-se a Niccolò Zucchi o mérito de ter construído o primeiro telescópio refletor, em 1616. Coube no entanto Robert Hooke, muito tempo depois, o mérito de construir o primeiro telescópio desse tipo funcionando adequadamente.

TELESCÓPIO NEWTONIANO

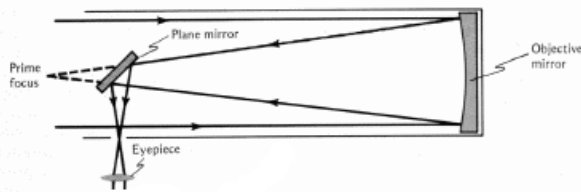
Sir Isaac Newton era o que denominaríamos hoje de um físico experimental e ao mesmo tempo um físico teórico. Suas habilidades como experimental capacitaram-no a construir, para efeitos práticos, o primeiro telescópio refletor ao redor do ano de 1670.

De acordo com a figura abaixo, seu projeto fazia uso de um espelho concavo (a objetiva) e um espelho plano colocado numa posição diagonal em relação à direção da luz incidente. Uma lente ocular é necessária quando se quer uma observação visual. Pode-se no entanto substituí-la por um filme ou sensor digital para gravar as imagens. Nos telescópios mais modernos pode-se utilizar tanto um espelho esférico como um parabólico. É muito popular entre os telescópios utilizados por amadores em função do seu baixo custo.

TELESCÓPIO CASSEGRAIN E VARIANTES

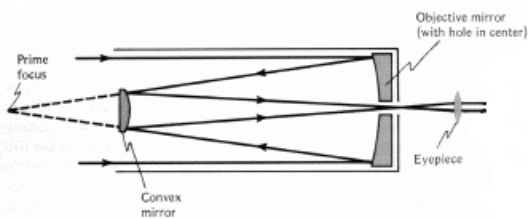
Nesse tipo de telescópio, fazemos uso de dois espelhos mas sem fazer uso de um espelho plano. O espelho que faz o papel da objetiva (o espelho primário) é um espelho parabólico. O espelho secundário é um espelho hiperbólico. Faz-se uma abertura no espelho primário para a passagem da luz refletida no secundário.

De maior uso entre os profissionais é uma variante do telescópio de Cassegrain proposto por George Willis Ritchey e Henri Chrétien em 1910. Nessa variante, faz-se uso de dois espelhos hiperbólicos. Elimina a coma e aberrações esféricas. É muito adequado para registros fotográficos. Recebe o nome de telescópio de **Ritchey-Chrétien**.

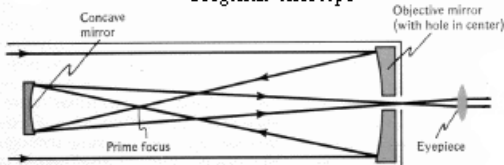


Newtonian telescopes

Cassegrain telescope



Gregorian telescope



O avanço tecnológico tem proporcionado a construção de telescópios que utilizam vários espelhos primários. Os dois telescópios Keck (Mauna Kea, Havaí) têm espelhos primários de 10m, composto de 36 segmentos hexagonais justapostos numa estrutura semelhante a de uma colméia. Eles também podem operar em sincronia por interferometria. O VLTI (Very Large Telescope Interferometer) do Observatório Europeu Austral (Chile) é um conjunto de telescópios trabalhando sincronizadamente através da interferometria. Esta técnica proporciona resoluções angulares iguais àquelas que seriam alcançadas com um telescópio cujo diâmetro fosse equivalente à soma dos diâmetros dos telescópios usados na interferometria. O VLTI tem uma linha



base que pode alcançar 200 me

Figura 3.5 Telescópio SOAR (Southern Astrophysical Research, Chile) de 4,2 m, de propriedade de um consórcio entre Brasil e instituições dos Estados Unidos (EUA), situado em Cerro Pachon (Chile), a 2.700 metros de altitude.



Figura 3.6 VLTI (Very Large Telescope Interferometer) no topo da montanha Paranal, no Chile.

ISO/FIRPhoto (1/1/99) (5 Decem/Jan 1999)

técnica revolucionária que melhorou significativamente o desempenho dos telescópios de solo é a da óptica corretiva. O espelho primário de espessura fina é apoiado em um sistema de pinos móveis que, controlados por computador, corrigem as deformações sofridas pelo espelho quando tombados em diferentes posições. Esta técnica, conhecida como óptica ativa, permite a confecção de espelhos mais finos, mais leves e com qualidade superior aos tradicionais. Outra técnica corretiva é a da óptica adaptativa. Um espelho secundário deformável tem sua superfície refletora corrigida de modo a compensar as alterações provocadas pela atmosfera. Monitorando uma estrela que esteja no campo observado, ou um raio laser refletido pela atmosfera, um mecanismo controlado por computador corrige a forma do espelho centenas de vezes por segundo, fazendo com que o feixe de luz tenha a maior concentração possível no foco. Este mecanismo corrige os efeitos da turbulência atmosférica (seeing).

Finalmente, há telescópios de alta qualidade, grandes ou pequenos, que operam acima da atmosfera terrestre, orbitando a Terra. São os telescópios espaciais. Atualmente existem vários deles em operação, observando em várias regiões espectrais.

BINÓCULOS

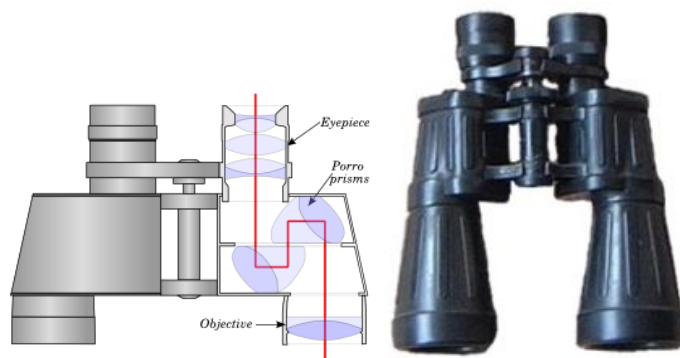
A maneira mais simples de pensarmos a estrutura de um binóculos é de defini-lo como sendo dois telescópios refratores dispostos um ao lado do outro. A distancia entre os dois telescópios é a distancia entre os olhos. Em alguns binóculos essa distancia é ajustável. O foco pode ser obtido através do movimento de aproximação ou afastamento das lentes objetivas das lentes oculares.

Como no caso dos binóculos as imagens têm que aparecer, necessariamente, não invertida, os binóculos fazem uso da óptica galileana, isto é, a lente objetiva é uma lente convexa enquanto que a lente ocular é uma lente côncava.

O uso da óptica galileana limita a capacidade de magnificação.

Uma vez que os binóculos têm o mesmo principio de funcionamento que os telescópios, eles surgiram muito pouco tempo depois dos mesmos, no início do século XVII.

O uso dos dois olhos para a observação de um objeto faz com que tenhamos uma imagem tridimensional do mesmo. A sensação de profundidade, característica da visão com os dois olhos, permite fazer estimativas das distancias entre os objetos. Essa sensação é mantida quando utilizamos binóculos.



MICROSCÓPIO

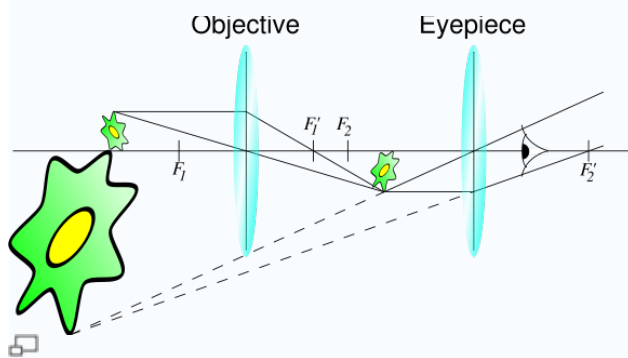
O microscópio foi concebido para a visualização de objetos muito pequenos e, conseqüentemente fora do alcance da visão a olho nu.

Este é outro instrumento que nasceu na Holanda, no inicio do século XVII, e cujo desenvolvimento se deve a profissionais polidores de lentes.

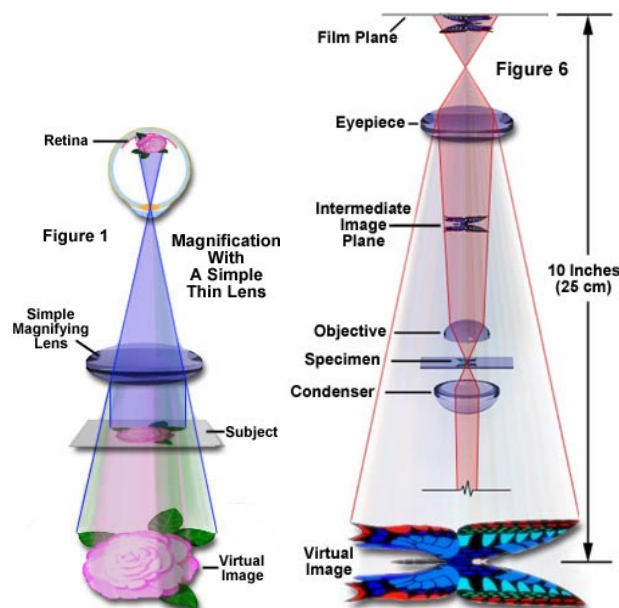
O microscópio contribuiu muito para o avanço de diversas áreas da biologia e da medicina. Robert Hook foi um dos precursores do uso desse instrumento no estudo dos seres vivos.

Um microscópio simples é constituído de apenas duas lentes convergentes. Naturalmente a vantagem do uso de duas lentes tem a ver com o poder de magnificação. Se quisermos aumentar uma imagem cerca de 50 vezes é muito mais fácil fazê-lo utilizando duas lentes. Uma com o poder de aumentar 10 vezes e outra com o poder de aumentar 5 vezes, por exemplo.

Um arranjo que ilustra o princípio de funcionamento de um microscópio é apresentado abaixo. Como explicado anteriormente, a idéia é sempre a de que a imagem de uma lente (no caso a objetiva) se torna o objeto para a outra lente (a ocular). No caso apresentado a imagem aparece invertida.



O poder de aumento de um microscópio é igual ao produto dos poderes de aumento objetiva e da ocular.



MICROSCÓPIOS COMPOSTOS

Os microscópios modernos e mais sofisticados são microscópios compostos que fazem uso de um conjunto de lentes de forma a aumentar o poder de magnificação. O uso de muitas lentes e outros componentes visa, também, reduzir as aberrações.

A lente objetiva é aquela que fica mais próxima do objeto que se quer observar. É a parte mais essencial do ponto de vista do aumento da imagem. Ela tem a função de coletar a luz proveniente dos objetos a serem observados. Nos microscópios mais sofisticados se pode intercambiar facilmente a objetiva através da rotação de uma peça na qual mantemos 3 ou mais objetivas. Em geral o que denominamos de objetiva é de um conjunto de lentes dispostas num contêido cilíndrico. Através da escolha da lente, uma lente objetiva provê aumentos típicos de X4 a X100 (cem vezes)

A lente ocular tem a função de ajustar a imagem produzida pela objetiva ao olho humano. No entanto ela também aumenta a imagem real produzida pela objetiva. Como no caso da ocular o que denominamos de objetiva é um conjunto de lentes dispostas paralelamente num recipiente cilíndrico. Esse conjunto também é intercambiável em função do aumento que se pretende. Tipicamente as lentes oculares aumentam o tamanho em X5, X10, X20. Essa imagem se torna o objeto para o cristalino que é a lente natural localizada no globo ocular. O cristalino associa uma **imagem, na retina, desse objeto**. Assim, uma das funções da lente ocular é, mediante ajustes (afastamento ou aproximação), fazer com que o objeto fique focalizado na retina.

Para que o objeto fique bem focalizado o microscópio dispõe de um ou dois botões que permitem um afastamento do cilindro da ocular (ou aproximação) em relação ao conjunto de lentes da ocular. No caso do uso de dois botões, podemos fazer um ajuste grosso com um deles e um ajuste mais fino com o outro.

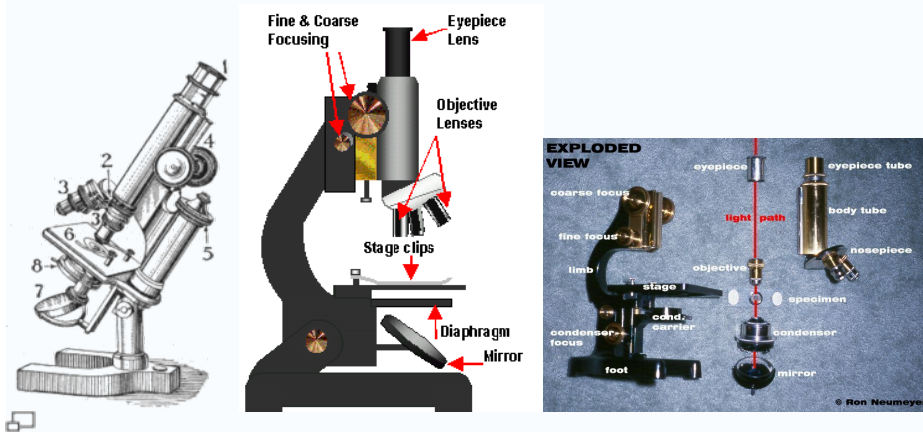
O *palco* é uma plataforma abaixo da objetiva na qual colocamos o objeto que queremos ampliar.

Visando uma melhor visualização é importante iluminar o objeto que se quer observar. Sugere-se assim uma fonte de luz para iluminação. No caso de iluminação através do uso da luz solar basta um simples espelho.

Microscópios mais sofisticados fazem uso de um equipamento óptico conhecido como *condensador*. Antes de entrar no condensador a luz passa por um filtro de luz. O filtro altera a luz que incide sobre o objeto. oEsse equipamento contém dispositivos (como filtros) que permitem o controle de vários parâmetros associados á luz, e em particular, a sua intensidade. O condensador tem a função de transformar (ou condensar) o feixe de luz de uma forma cilíndrica numa forma cônica. Isso provê uma iluminação do objeto bem mais intensa.

The resolution R depends on the [angular aperture](#) α :

$$R = \frac{1.22\lambda}{2n \sin \alpha}$$



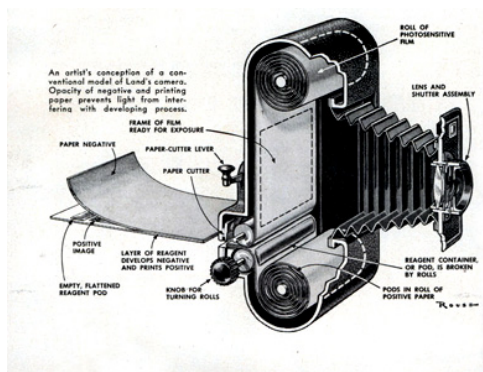
Basic microscope main elements:

1. ocular lens or eye-piece
2. objective turret, or nosepiece
3. [objective lenses](#)
4. coarse adjustment knob
5. fine adjustment knob
6. object holder or stage
7. [mirror](#)
8. diaphragm and [condenser](#)

MÁQUINA FOTOGRÁFICA

A máquina fotográfica difere dos instrumentos anteriores na medida em que ela permite armazenar imagens.

O Princípio de funcionamento de uma máquina fotográfica foi explicado na parte da óptica geométrica, no item câmara escura de orifício. Ela é, de fato uma máquina fotográfica bem simples.



LENTE PARA FOTOGRAFIA

Dependendo do tipo de fotografia que se quer tirar e das circunstâncias nas quais operamos a câmera fotográfica, um tipo de lente pode ser mais adequada do que outro. Uma lente grande angular cobre um grande ângulo sólido. Uma lente para telefoto cobre um ângulo sólido bem menor. Por isso, as máquinas fotográficas mais sofisticadas fazem uso de lentes intercambiáveis. Isso permite fazer uso de um tipo de lente para cada tipo de situação.

O que denominamos lente grande angular, ou lente para telefoto, é, na verdade, um conjunto de lentes montadas num recipiente de forma cilíndrica. Uma lente voltada para Telefoto e Telejornalismo incorpora um grupo de lentes conhecidas como grupo telefoto. O arranjo pode ser resumido no esquema apresentado na figura abaixo.

