

AST-203-4 | 2026.2
Técnicas Observacionais

Aula 7
TELESCÓPIOS



Links úteis



Site do Curso
2026.2 (bloco 2)



Descrição
do curso



Calendário de
aulas e atividades

AST-203-4 - 2026.2

Professores: *Dr. Felipe Almeida-Fernandes*
Dr. Ted Leandro de Almeida

Visão Geral da Estrutura do Curso

Total de aulas expositivas: 17

Provas: 3

Noite de observação: 2 (miniobservatório do INPE)

Atividades: 3

Atividade Final: 1

			Qua	Qui	Sex	Sab
Julho			1	2 Aula 6	3	4
Dom	Seg	Ter	5	6	7 Prova #1	8
9	10	11	12	13	14 Aula 7	15
16	17	18	19	20	21 Aula 8	22
23	24	25	26	27	28 Aula 9	29
30	31		32	33	34 Aula 10	35
36	37	38	39	40	41 Aula 11	42
43	44	45	46	47	48 Aula 12	49

28/07 **Atividade 2** - Construção de um espectrógrafo (prazo 10/08)

Atividade final

30/07 Parte 1 - *Pedido de tempo* (prazo 12/08)

21/08 Parte 2 - *Observação da proposta aceita*

28/08 Parte 3 - *Redução das observações*

09/09 Relatório final da atividade

Agosto

						Sab
Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	1
2	3	4 Prova #2	5	6 Aula 13	7	8
9	10	11 Aula 14	12	13	14	15
16	17 Entrega Ativ. #2	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36

Bloco 2 - Ted

☐ **Aula 7** - 14/07

Telescópios

☐ **Aula 8** - 16/07

Detectors

☐ **Aula 9** - 21/07

Imageamento e fotometria

☐ **Aula 10** - 23/07

Espectroscopia

☐ **Aula 11** - 28/07

Processamento de dados

☐ **Aula 12** - 30/07

Pedido de tempo

☐ **Atividade #2**

Disponibilizada: 28/07

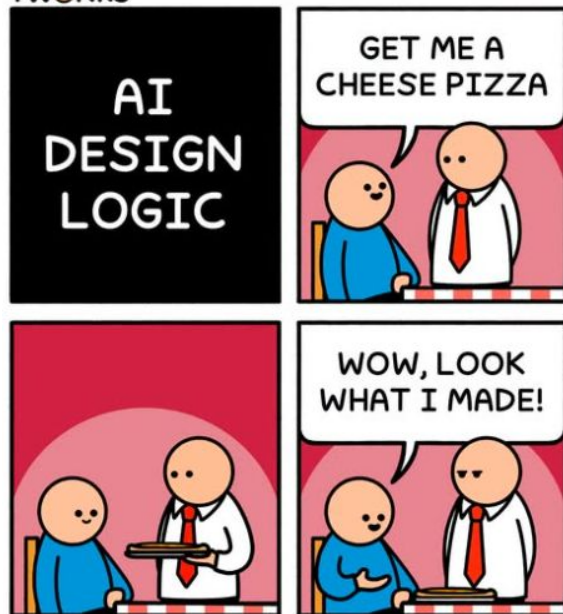
Data de Entrega: 10/08

☐ **Prova #2** - 04/08

Uso de Inteligência Artificial na disciplina

Se identificado, o uso indevido de inteligência artificial irá resultar em considerável perda de pontos na atividade, **inclusive nota zero em casos mais graves.**

TWONKS



Atividades	Estudo/Provas
O uso moderado é encorajado ^{aceito}. Pode ser usado para gerar ^{melhorar} uma versão preliminar de códigos. Pode ser usado para perguntar sobre soluções.	Pode ser usado na busca por referências. (Mas não deveria ser necessário)
Não pode ser usado para gerar o código inteiro da atividade de uma vez. Não pode ser usado para gerar o texto a ser entregue.	Não é recomendado usar IA para os estudos Não pode ser usado durante a prova, obviamente.

Uso de Inteligência Artificial na disciplina

Se identificado, o uso indevido de inteligência artificial irá resultar em considerável perda de pontos na atividade, **inclusive nota zero em casos mais graves.**

Uma super matéria super completa (sqn)

Tipos de Telescópios

Sugestão de leitura:

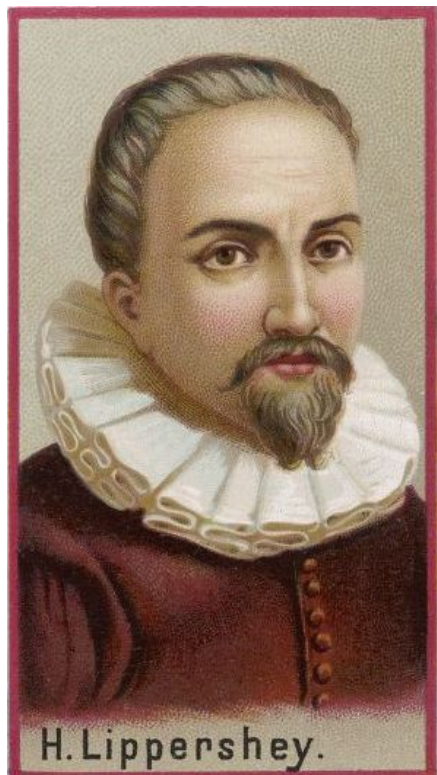
Kepler - <https://astro.if.ufrgs.br/telesc/index.htm>

Vik Dhillon - [vik dhillon: phy217 - course information - syllabus](#)



O telescópio como extensão do olho

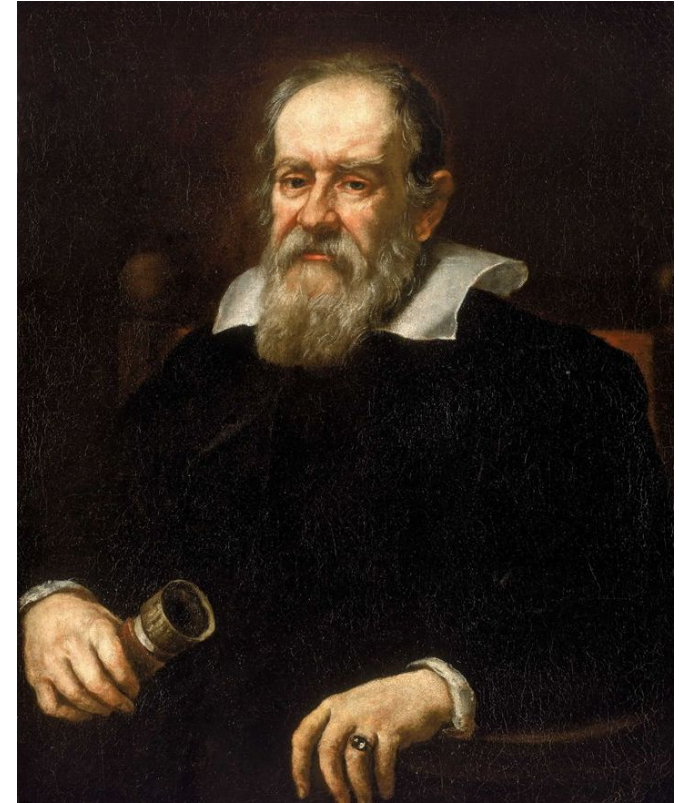
Antes de ser “um equipamento astronômico”, o telescópio foi uma tecnologia de aumentar informação angular.

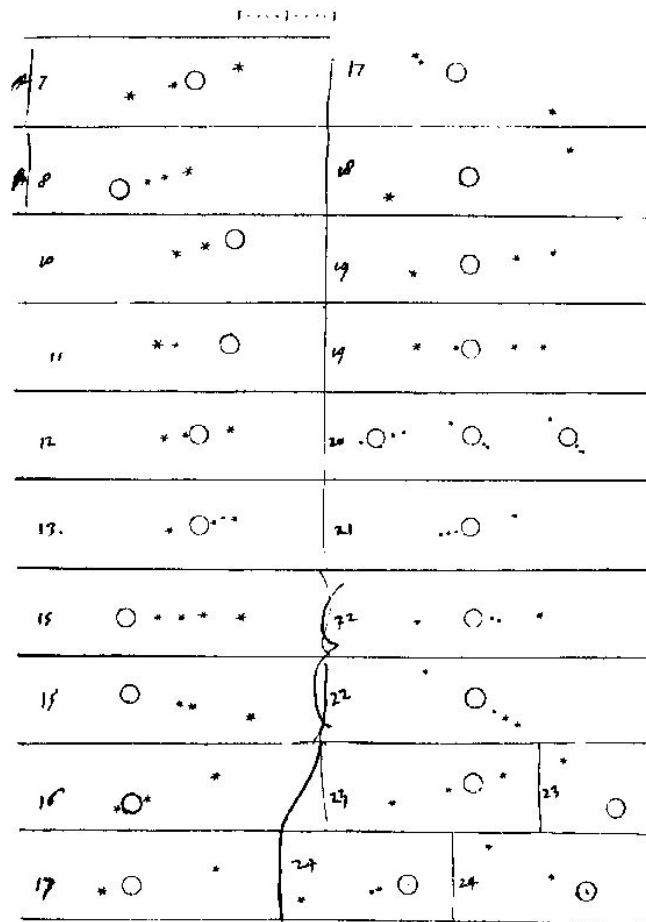


Reza a lenda que a primeira “luneta” foi criada para observar “objetos distantes” em terra por volta de 1600

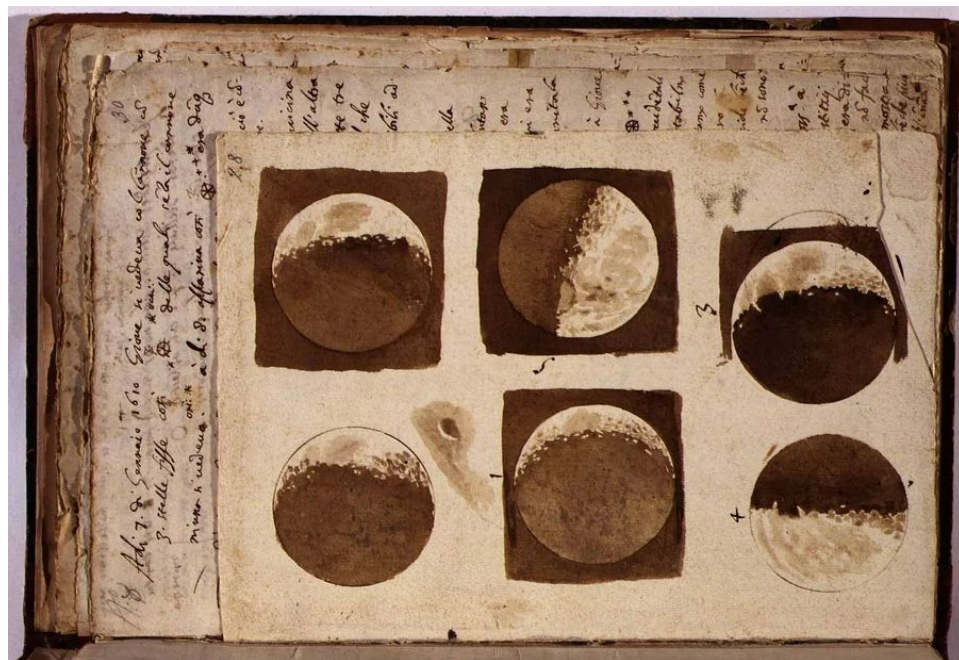
Em 1609, curioso que só, Galileu fabricou sua primeira luneta apenas com os rumores do que de fato era o instrumento.

E foi o primeiro (historicamente) a utilizar a luneta para observar o céu

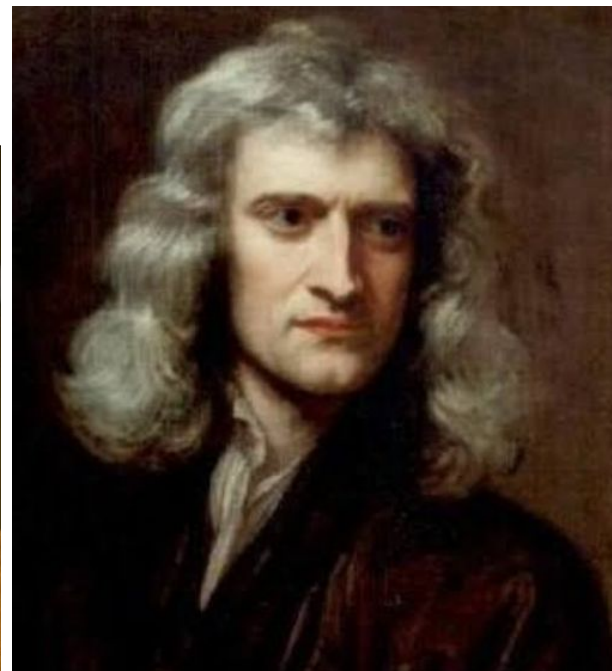
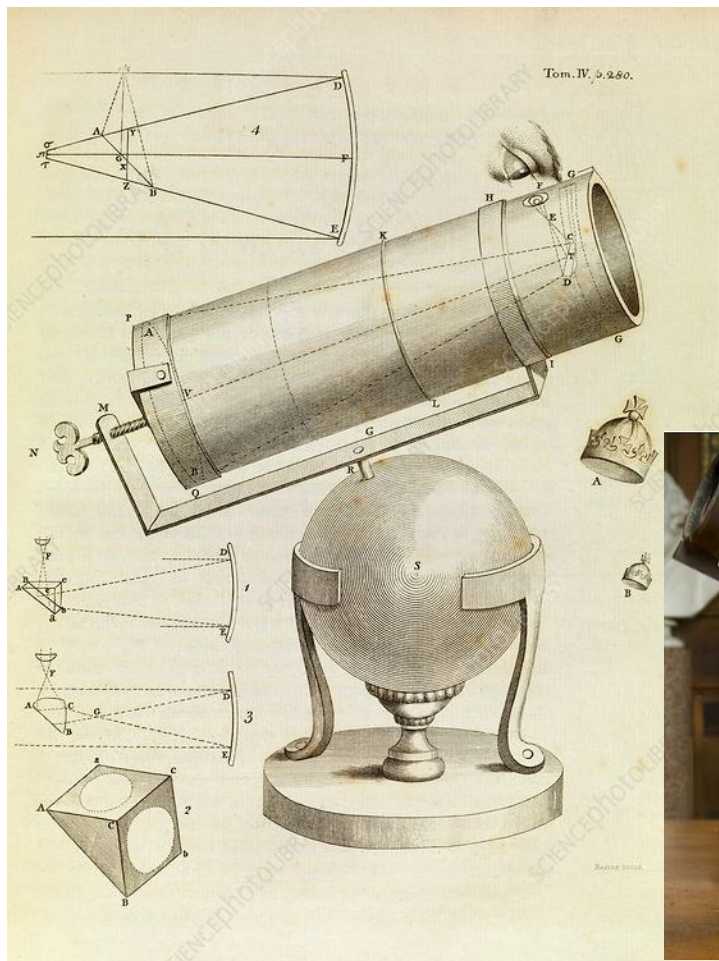




A luneta de Galileo mostrou que o céu tem estrutura física: a Lua não é uma esfera perfeita, Júpiter tem corpos orbitando ao seu redor, e Vênus apresenta fases. Ou seja, o instrumento cria novos observáveis, e esses observáveis pressionam os modelos teóricos.



Já em 1668, Sir Isaac Newton criou o primeiro telescópio com o uso de espelhos. Que ficou conhecido como telescópio Newtoniano.



Já começa ganhando

**Como se focalizava no primeiro
telescópio de espelho de Newton?**

(0.2 ponto na prova 2)

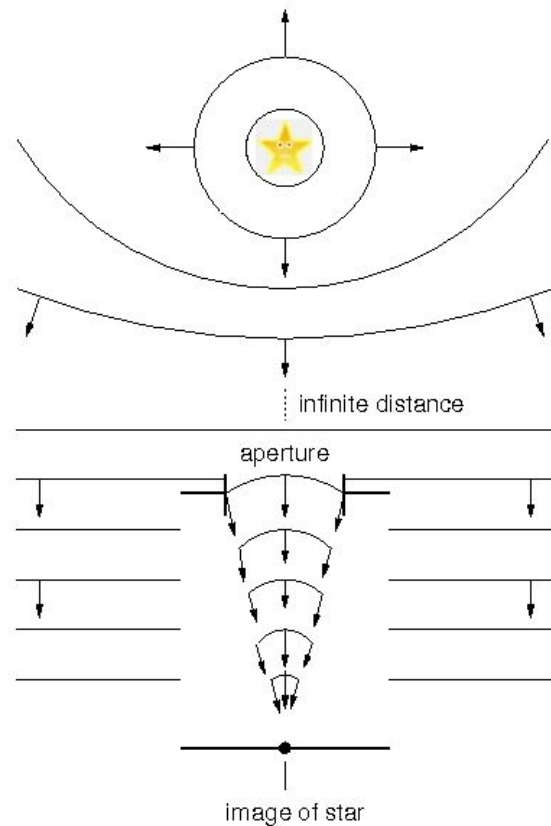
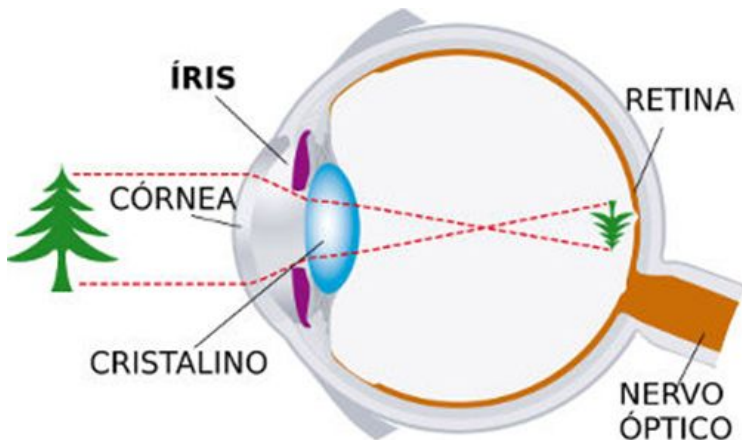
Telescópio moderno não é só o “telescópio”. É o sistema: óptica + montagem + detector/instrumento + atmosfera.

O básico do básico

A chamada “frente de onda” da radiação de um objeto no infinito chega no instrumento óptico paralela.

Esse instrumento óptico é o responsável por focalizar essa luz no que fará o “registro” dessa energia.

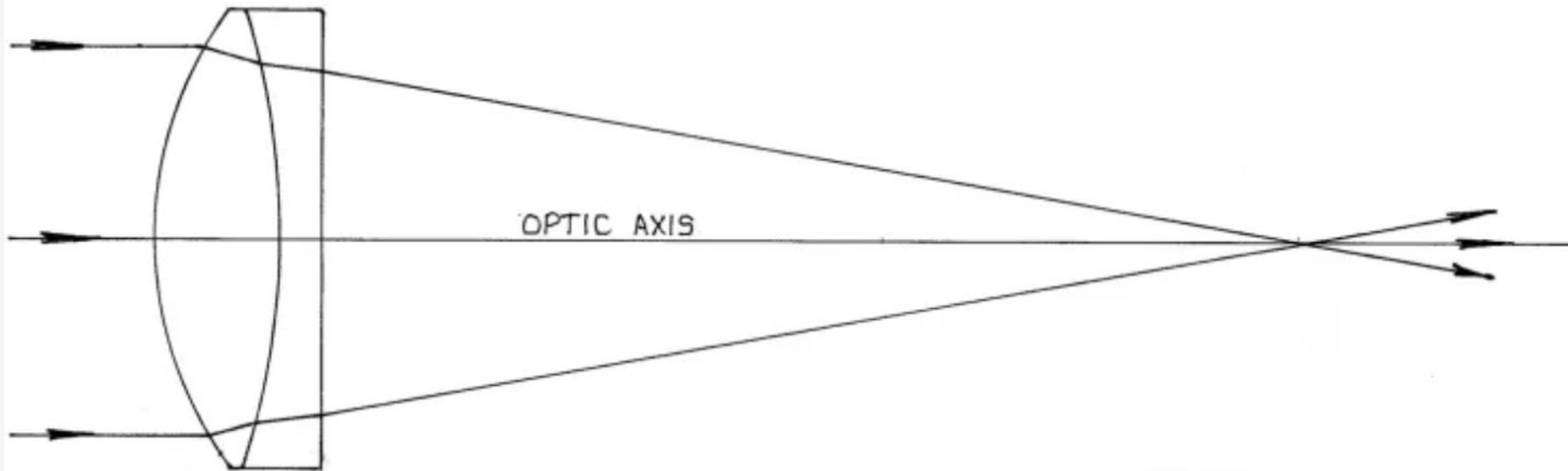
O exemplo mais comum de um sistema observacional completo são os nossos olhos.



Refratores

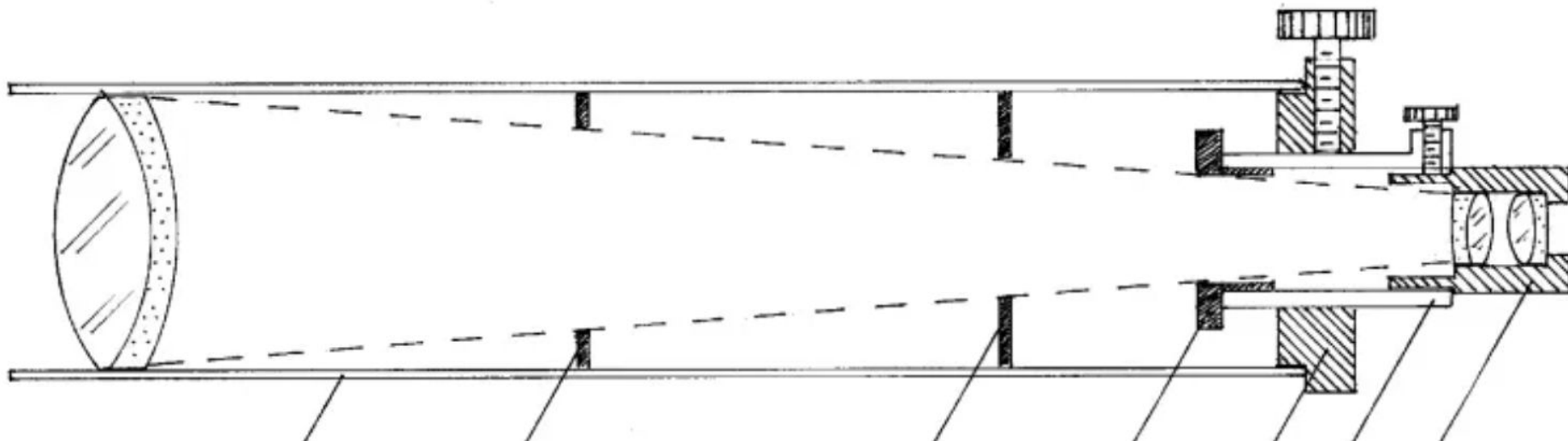


Refratores



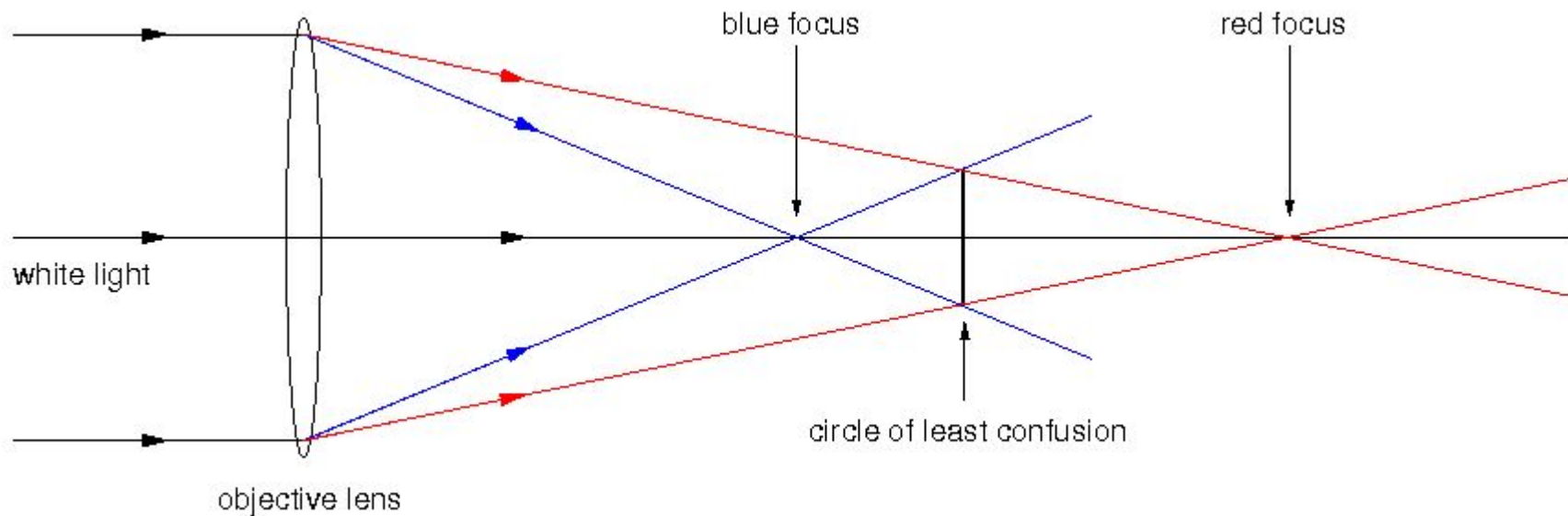
<https://irpoyser.co.uk/how-to-build-a-telescope/>

Refratores



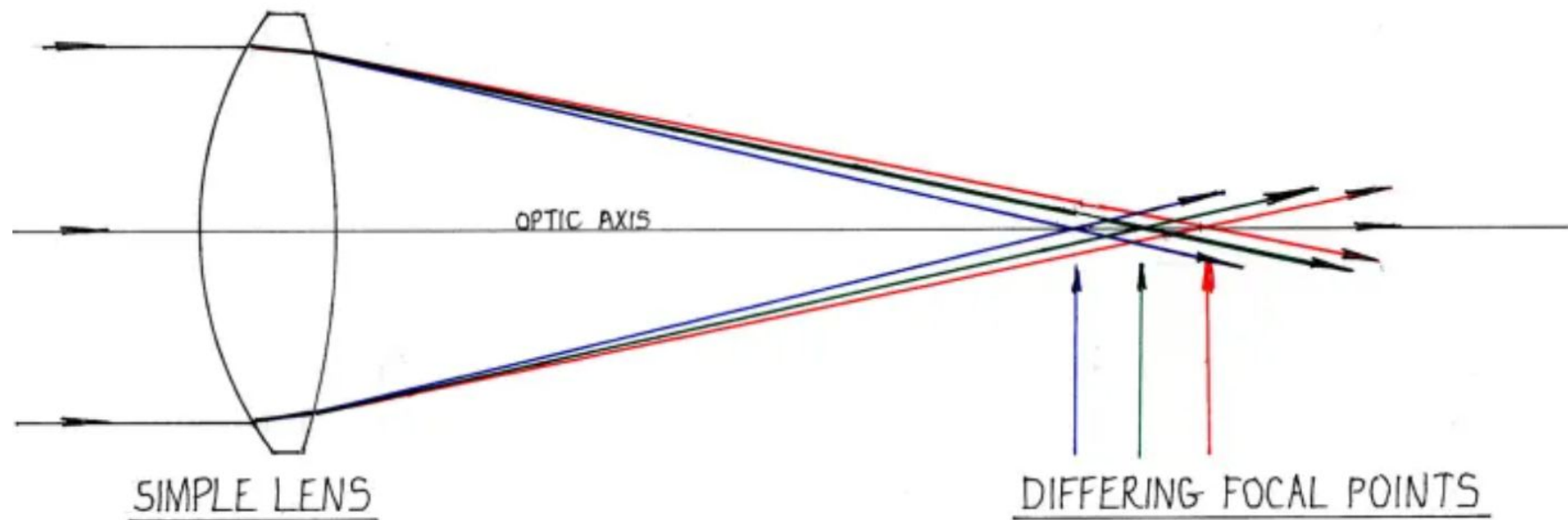
<https://irpoyser.co.uk/how-to-build-a-telescope/>

Refratores



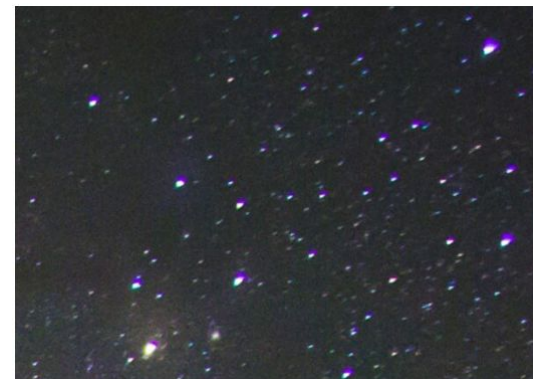
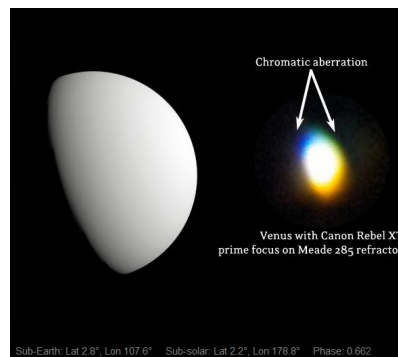
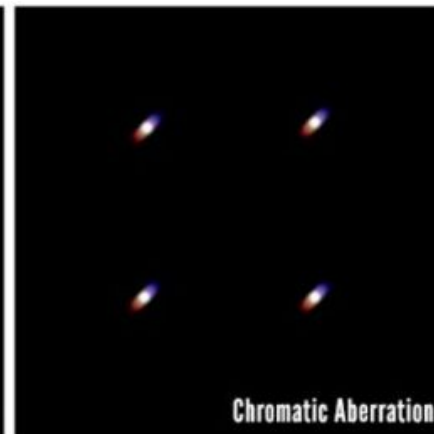
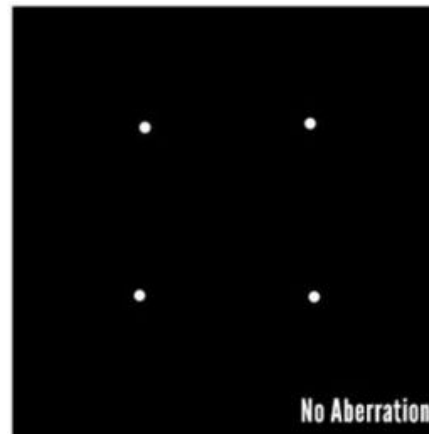
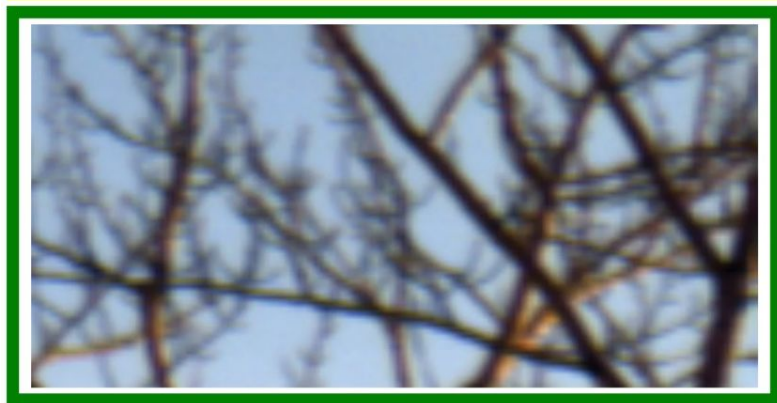
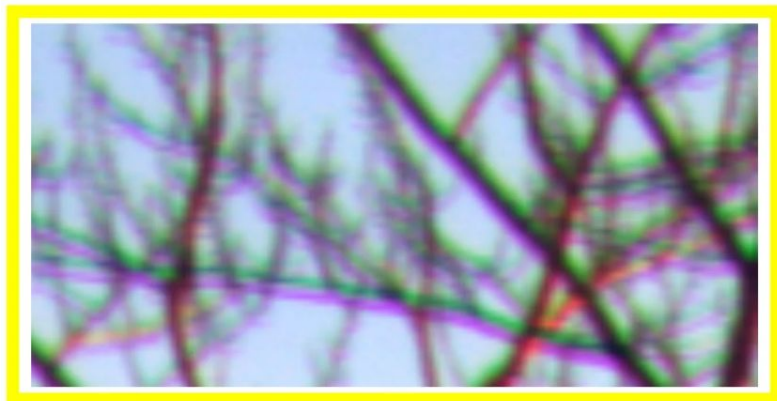
Já de cara você ganha uma aberração cromática

Refratores

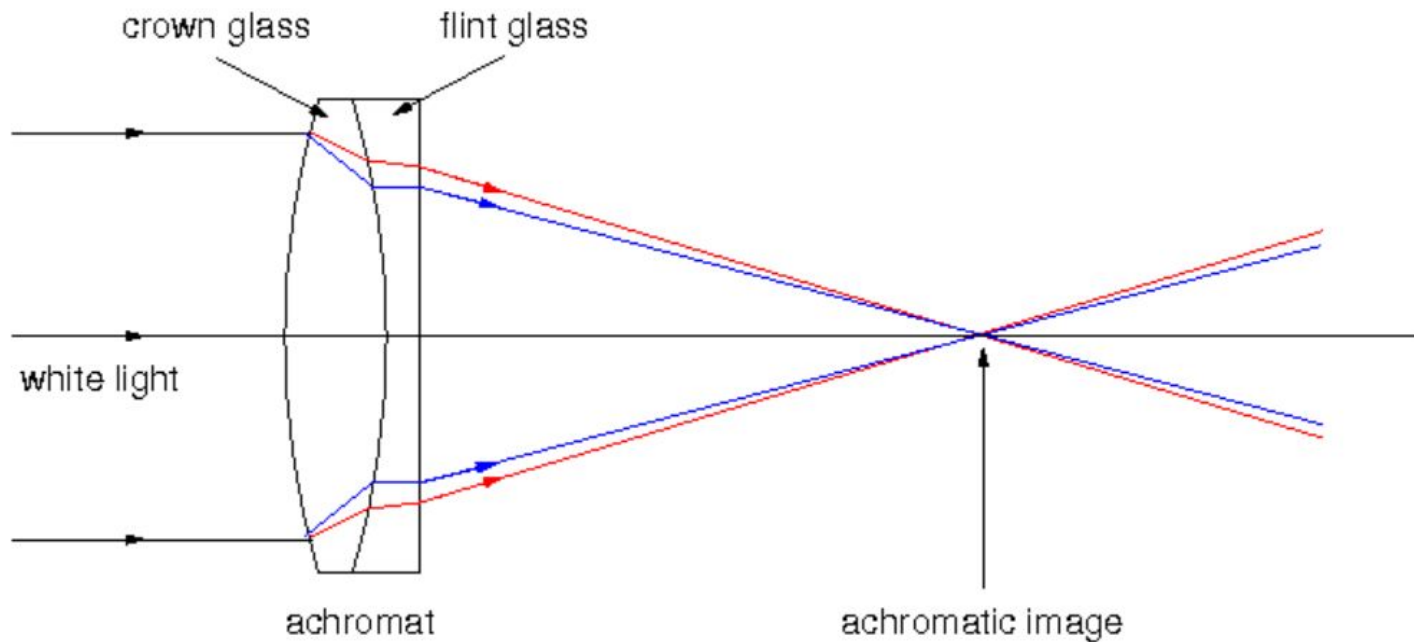


Já de cara você ganha uma aberração cromática

Refratores

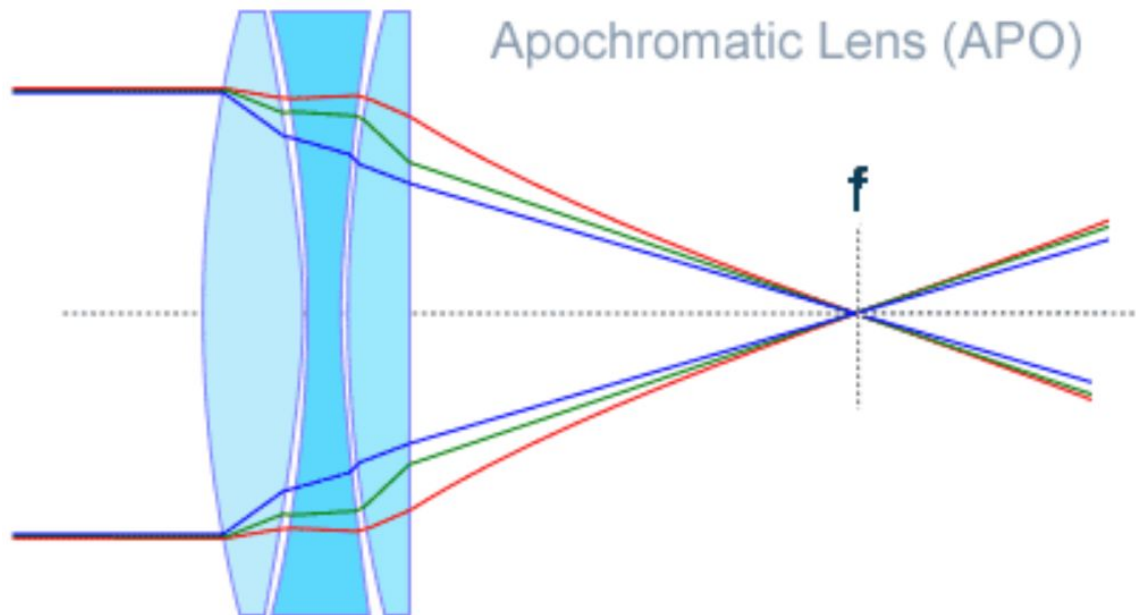


Refratores



Objetivas acromaticas

Refratores



Objetivas apocromáticas

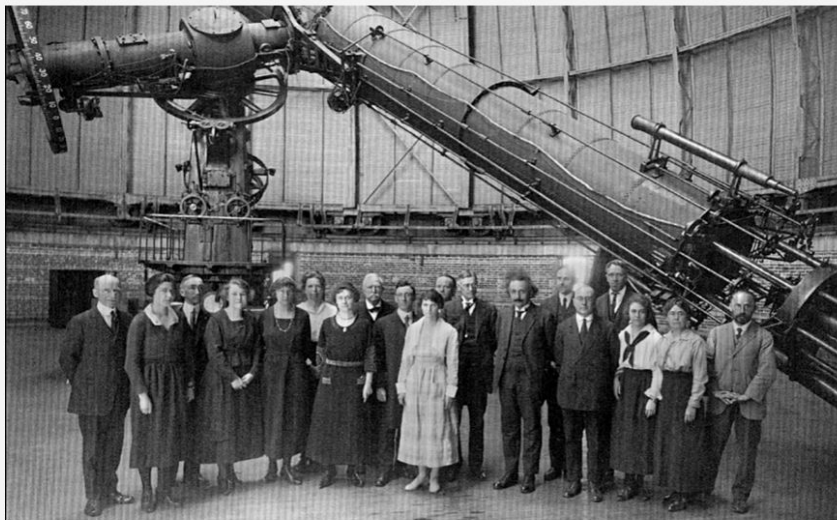
Refratores

[OptiBench](#)

Refratores

Prós e contras:

É maravilhoso, até o momento que não é mais

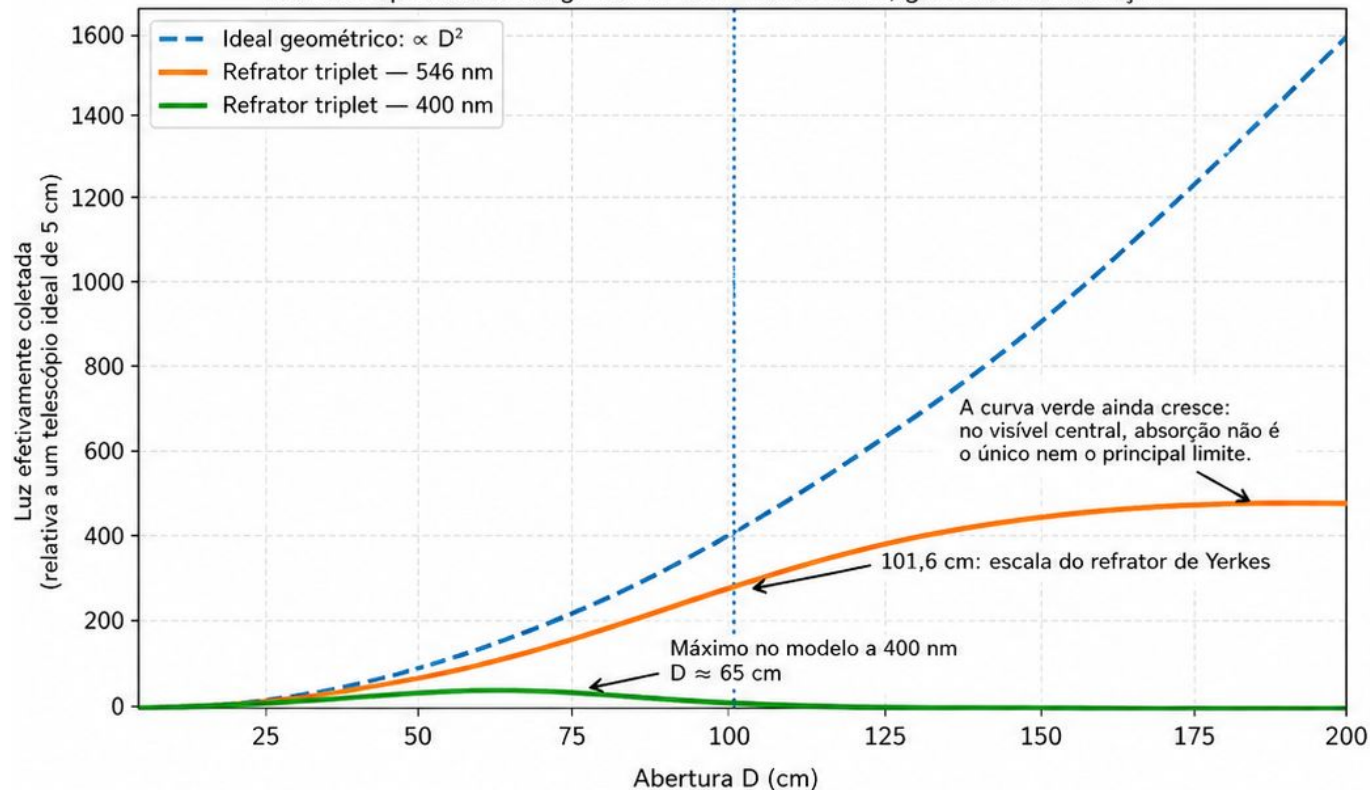


The 40-inch (1.02 m) Refractor backdrops Einstein's visit to the Observatory in May 1921



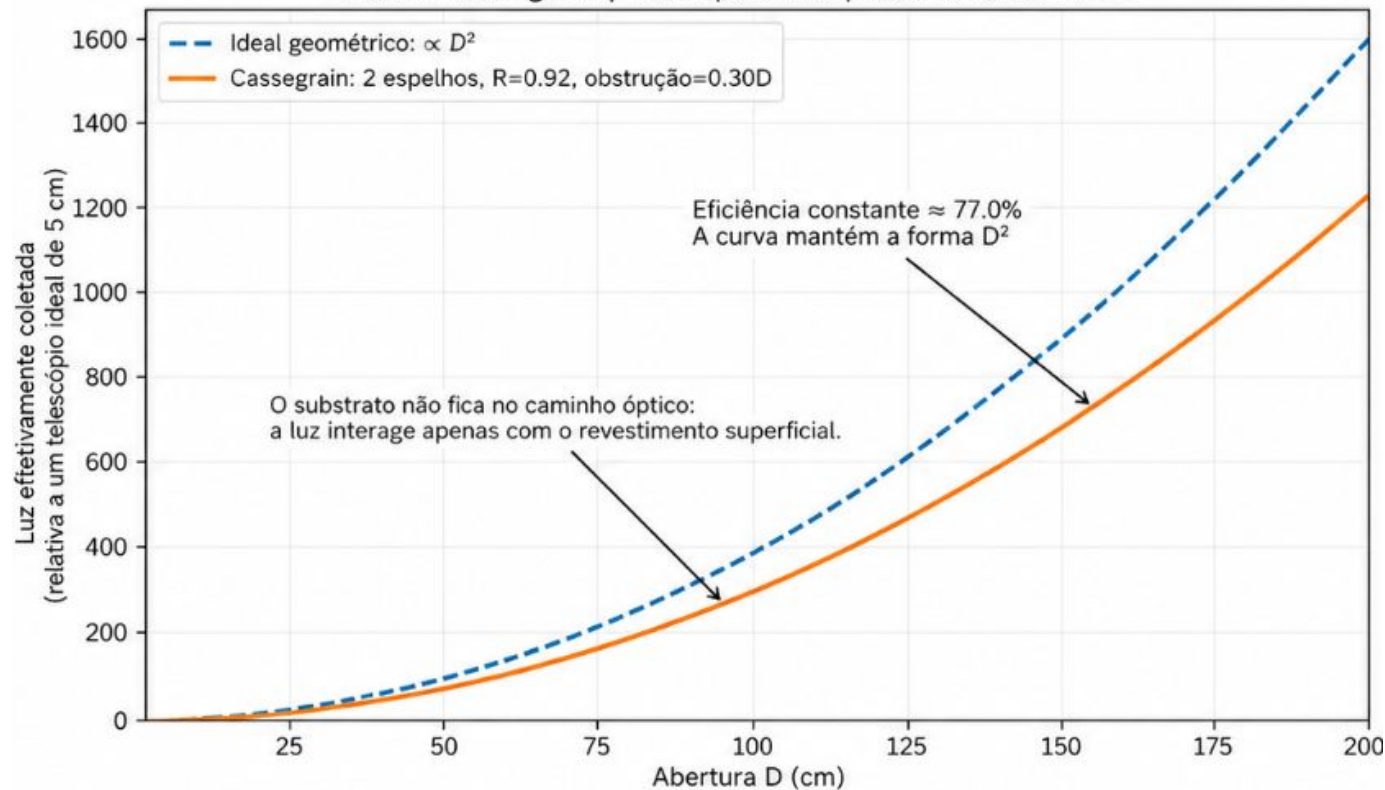
Refratores

Refrator apocromático: ganho de área versus vidro, gravidade e absorção

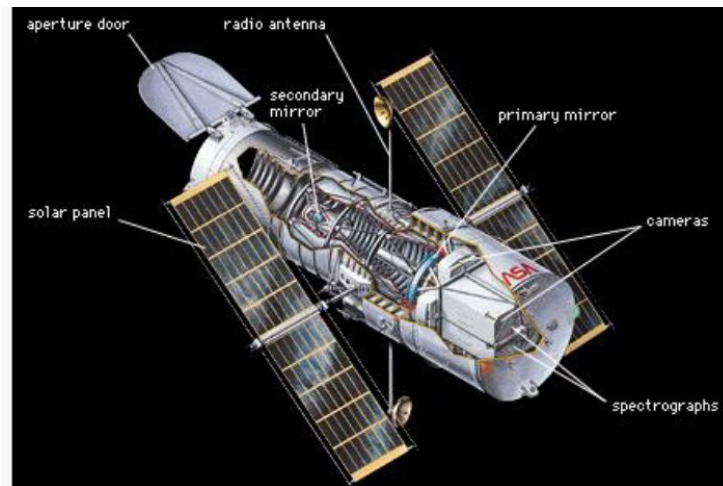


Refletores

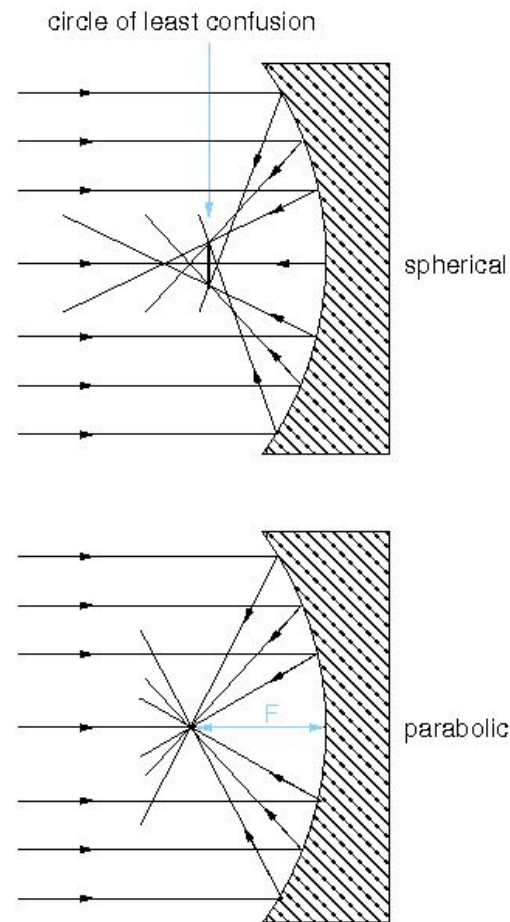
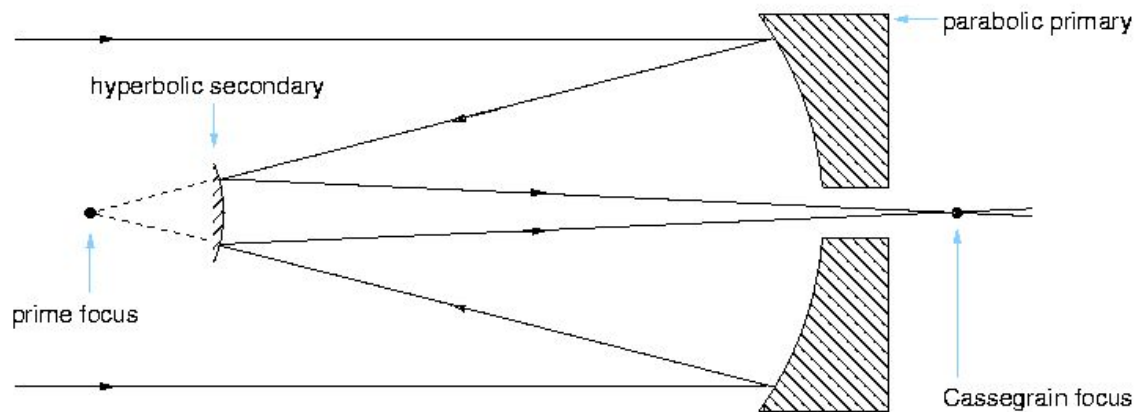
Refletor Cassegrain: perdas quase independentes da abertura



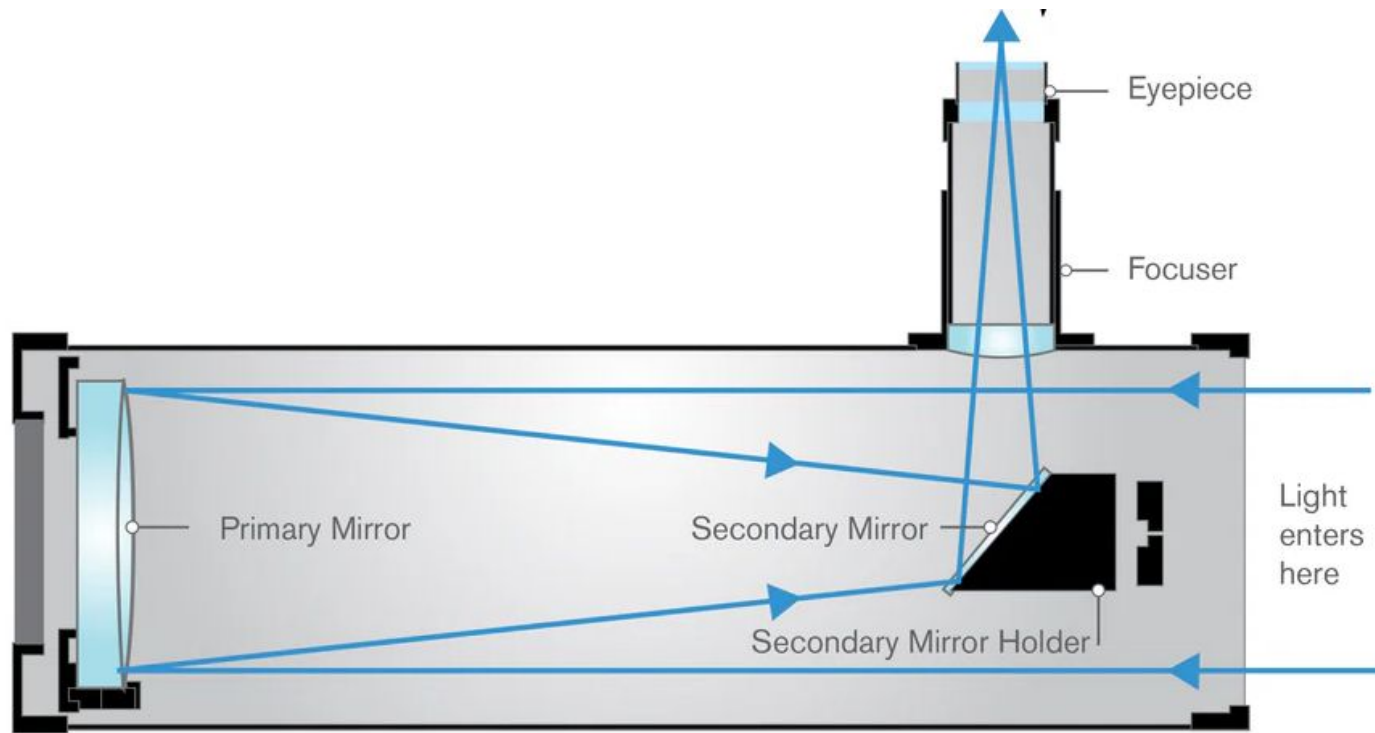
Refletores



Refletores

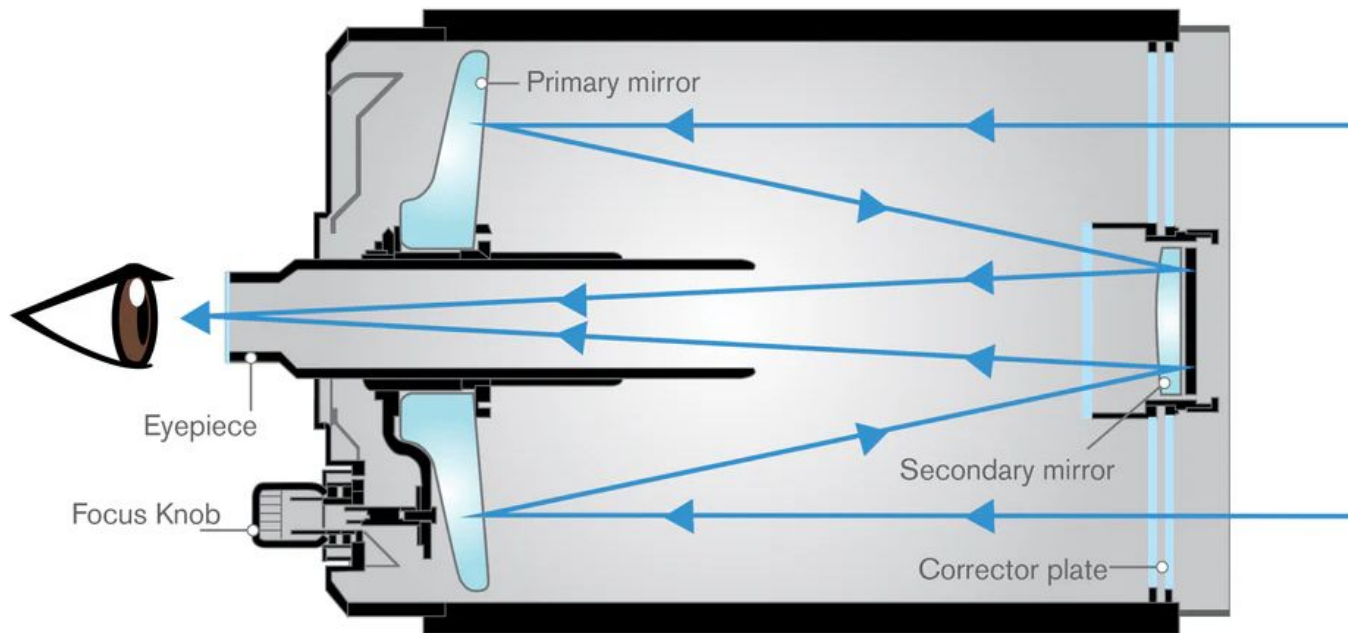


Refletores



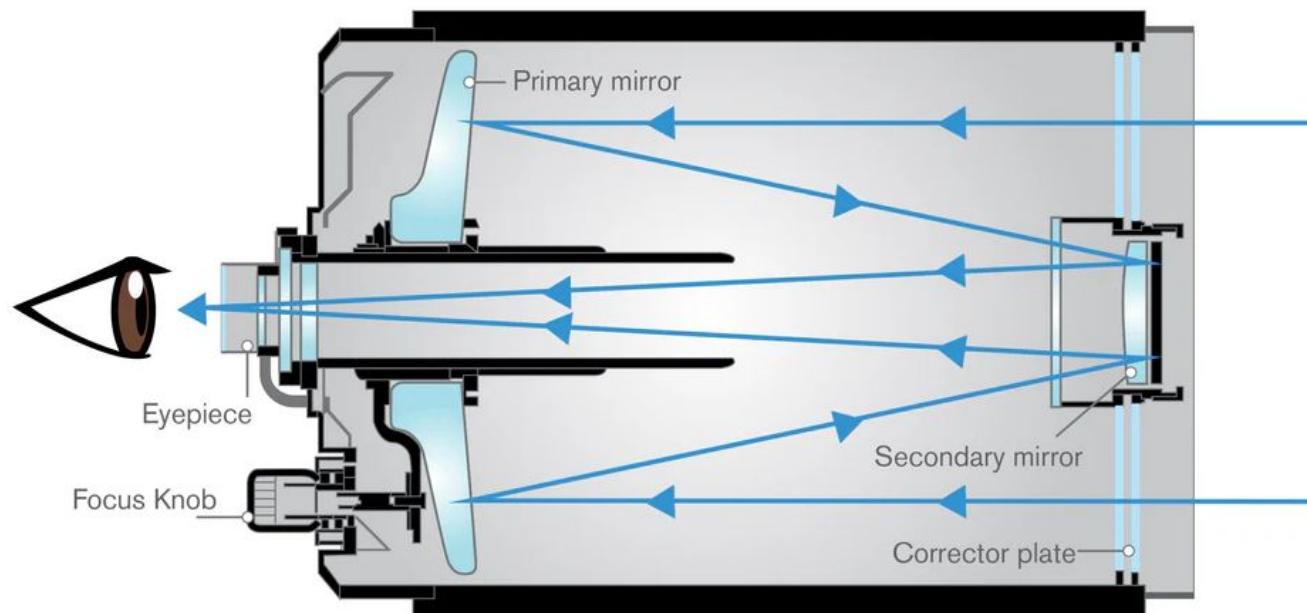
Dobsonian/Newtonian Reflector Telescope

Refletores



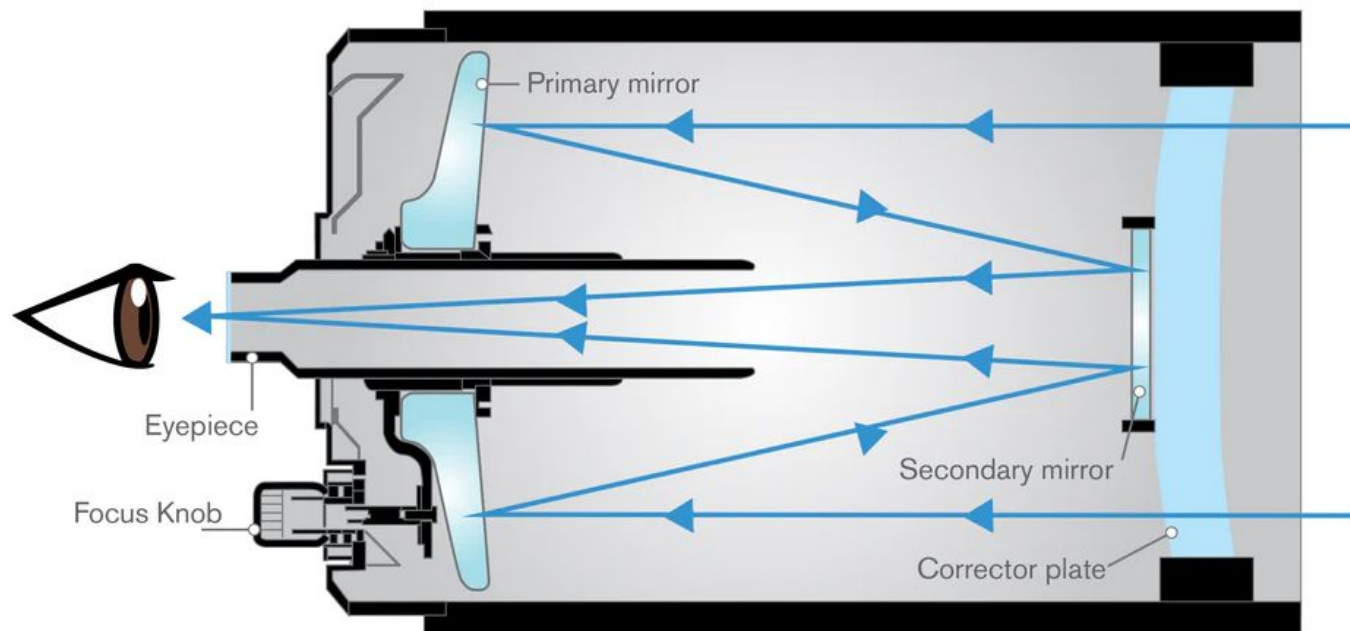
Schmidt-Cassegrain Telescope

Refletores



EdgeHD Telescope

Refletores (mais ou menos)

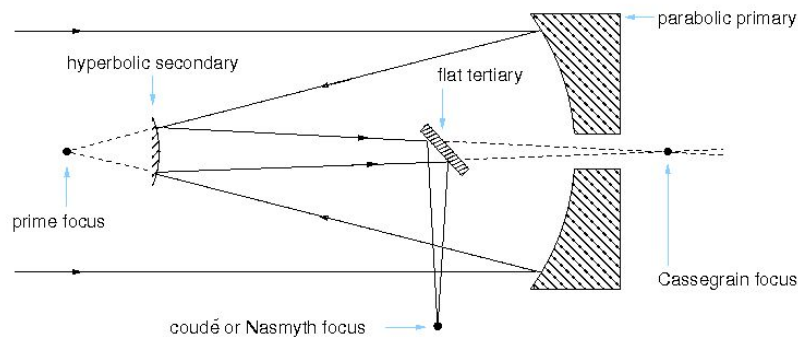


Maksutov-Cassegrain Telescope

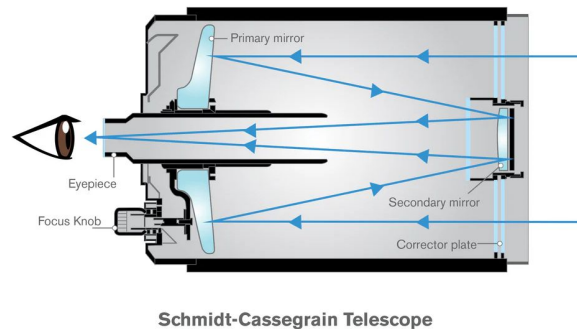
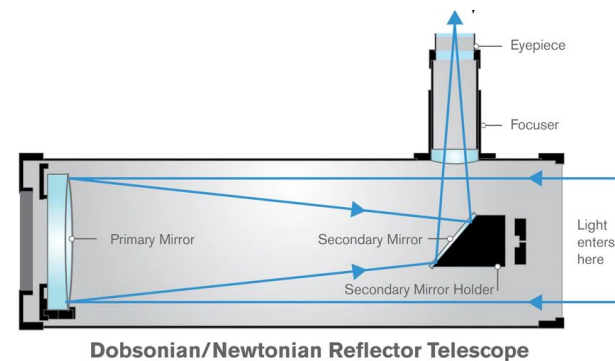
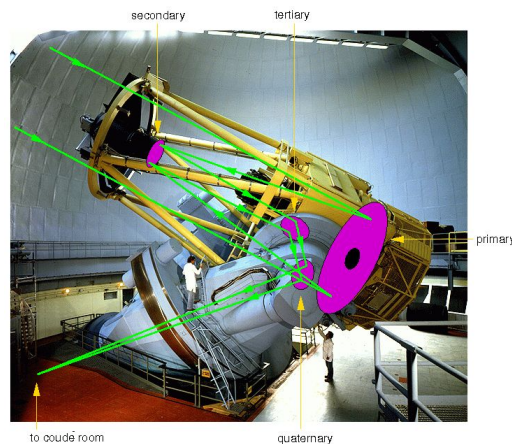
Refletores



Focos



Os três principais focos utilizados na astronomia: Newtoniano, Cassegrain e COUDE (Nasmyth).
Mais adiante veremos isso.

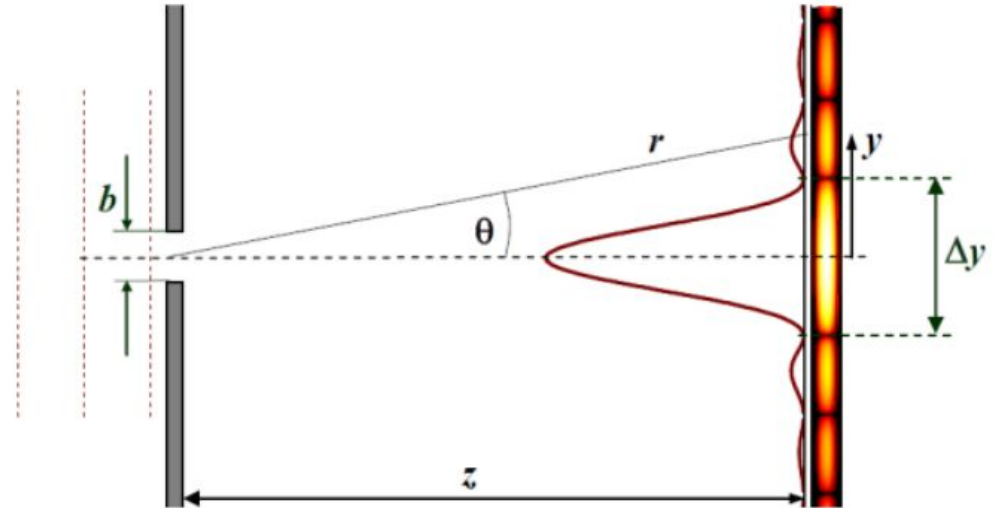


Resolução

$$\sin(\theta) = \lambda/b$$

O poder de resolução de um telescópio é calculado a partir do princípio da difração. Quando a luz (que se comporta como onda) atravessa um buraco ela muda de direção e essa mudança de caminho faz com que as ondas de luz passem umas pelas outras, e essas ondas (por agora viajarem distâncias diferentes) podem ter uma interferência construtiva ou destrutiva dependendo da fase relativa que estiverem

Luz



Princípio da difração
(para uma abertura retangular)

Resolução

Princípio da difração (para uma abertura circular)

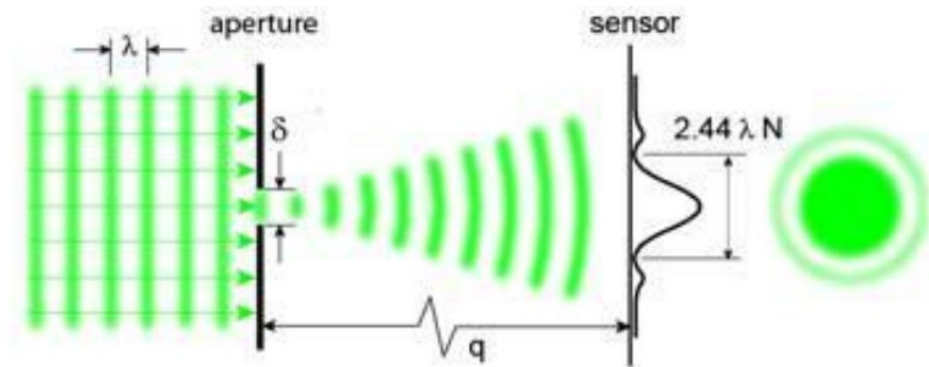
Hipóteses:

- Abertura circular sem secundário
- Iluminação uniforme
- Sem aberrações ópticas
- Luz monocromática
- Regime de difração de Fraunhofer (longe)
- Aproximação paraxial (ângulos pequenos)

O padrão de difração de uma abertura é o espectro de potência da transformada de Fourier da forma da abertura (nesse caso, circular).

Seguindo o trabalho de Airy, chegamos a conclusão que o raio desse disco central (R em radianos) vale:

$$R = 1,22 * \frac{\lambda}{D_T}$$



Resolução

No regime de Fraunhofer, o campo complexo no plano focal é proporcional à transformada de Fourier da função da abertura circular.

$$U(x', y') = C \iint_{\text{abertura}} \exp \left[-i \frac{2\pi}{\lambda f} (xx' + yy') \right] dx dy$$

Daqui pra baixo passa pra polares, entra em funções de Bessel, entra na forma angular e primeiro mínimo no padrão de Airy. (ótimo exercício de Física matemática). Chegamos nos finalmente para a ordem zero

$$\sin \theta_1 = 1,22 \frac{\lambda}{D} \implies \theta_1 \approx 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

Para a demonstração completa, ver:

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/HXbR5Lw5BZv8SBY7pBgGVYd/?format=pdf&lang=pt>

Princípio da difração (para uma abertura circular)

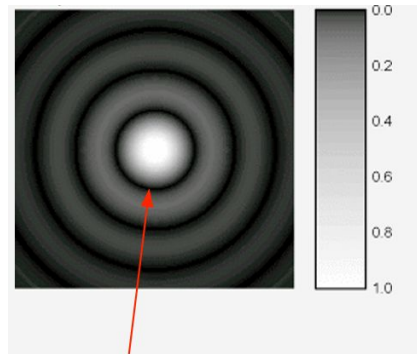
(x, y) na abertura e (x', y') no plano focal.

U é a amplitude do campo

f é o comprimento focal

λ é o comprimento de onda (lembra que é monocromático)

C é uma constante que junta tudo que é normalização



Disco de Airy

- disco central definido pelo primeiro mínimo do padrão de difração
- contém 84% do fluxo
- O primeiro anel contém < 2% do fluxo

Resolução

Princípio da difração (para uma abertura circular)

Crítério de Rayleigh

Consideramos dois objetos resolvidos espacialmente se a distância entre os máximos primários de seus padrões de difração é maior que o raio do primeiro mínimo do padrão.

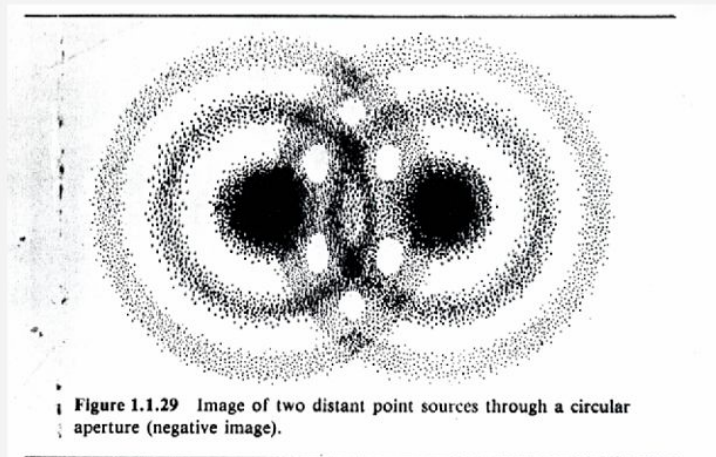


Figure 1.1.29 Image of two distant point sources through a circular aperture (negative image).

O primeiro mínimo ocorre a um raio a dado por:

$$\alpha = \frac{1,22\lambda}{d}$$

O angulo de rayleigh é em radianos. Transformando em segundos de arco e considerando o comprimento de onda monocromático de 550nm, temos:

$$R = \frac{138,4(arcseg)}{D_T(mm)}$$

O tamanho disso no plano focal (no detector) é o que é considerado o disco de Airy. Usando N como f/D. Chegamos em:

$$d_{Airy} = 2,44\lambda N$$

Ou seja, o tamanho físico no detector depende da razão focal f/D

Resolução

Considere um telescópio com abertura de 20 cm comprimento focal de 2 metros e estamos observando um objeto com pico de energia em 550nm. Qual é a resolução angular? E qual é o tamanho físico do disco de Airy no detector?

$$\theta_R = 1,22 \frac{5,50 \times 10^{-7}}{0,20}.$$

$$\theta_R = 3,36 \times 10^{-6} \text{ rad.}$$

Passando isso para segundos de arco:

$$\theta_R = 3,36 \times 10^{-6} \times 206\,265$$

$$\theta_R \approx 0,69''$$

Princípio da difração (para uma abertura circular)

Para encontrar o tamanho físico:

$$d_{\text{Airy}} = 2,44\lambda N$$

Ou seja:

$$d_{\text{Airy}} = 2,44\lambda N.$$

$$d_{\text{Airy}} = 2,44(550 \text{ nm})(10) \approx 13,4 \mu\text{m}.$$

Um comprimento focal maior espalha o mesmo padrão angular sobre uma distância linear maior no detector. Por exemplo. Para uma mesma abertura (a resolução angular continua a mesma) em f5 o disco de Airy é pequeno no CCD, e em f10 tem o dobro do diâmetro linear.

Resolução

Em 1867, William Rutter Dawes determinou de forma prática a resolução de um telescópio como sendo o quão perto duas estrelas podem estar no céu, mas ainda serem vistas como duas estrelas. E chegou no resultado de 4,56 segundos de arco divididos pelo diâmetro do telescópio em polegadas. Passando isso para o sistema métrico, temos:

$$R = \frac{116}{D_T}$$

Princípio da difração Limite de Dawes

O interessante deste resultado é que Dawes em 1967 demonstrou que se tivermos uma visão 20/20, teríamos, juntamente com o telescópio, uma resolução maior do que a prevista teoricamente por Airy em 1834.

Escala de placa

O cálculo do campo de visão (registro) usando um sensor fotográfico no foco direto do telescópio é também conhecido como escala de Placa. Este resultado é obtido através da análise geométrica do caminho da luz em um telescópio:

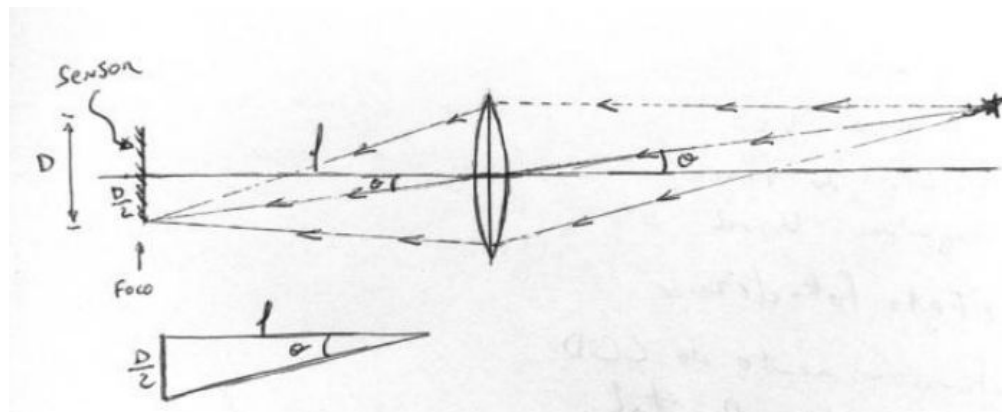
Da figura tiramos que:

$$\tan(\theta) = D/2f$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{D}{2f}\right)$$

Como o campo de visão total é 2 vezes isso:

$$\theta = 2 * \tan^{-1}\left(\frac{D}{2f}\right)$$



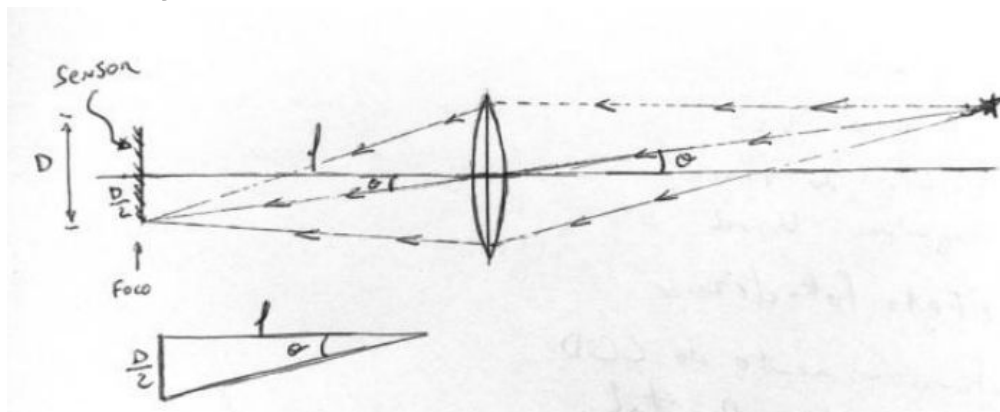
Aqui temos qual o tamanho do céu que seria registrado em um sensor de tamanho \$D\$, em radianos. Mas é mais usual trabalhar em graus, minutos e segundos, para isso vamos multiplicar a equação por \$180 \cdot 60 \cdot 60\$ e dividir por \$\pi\$ para ter o resultado em segundos de arco

$$\theta = 2 * \tan^{-1}\left(\frac{D}{2f}\right) * \frac{180}{\pi} * 60 * 60 \implies \varphi = \frac{D}{f} * 2,06 * 10^5 \implies \varphi = \frac{2 * 10^5}{f} * p$$

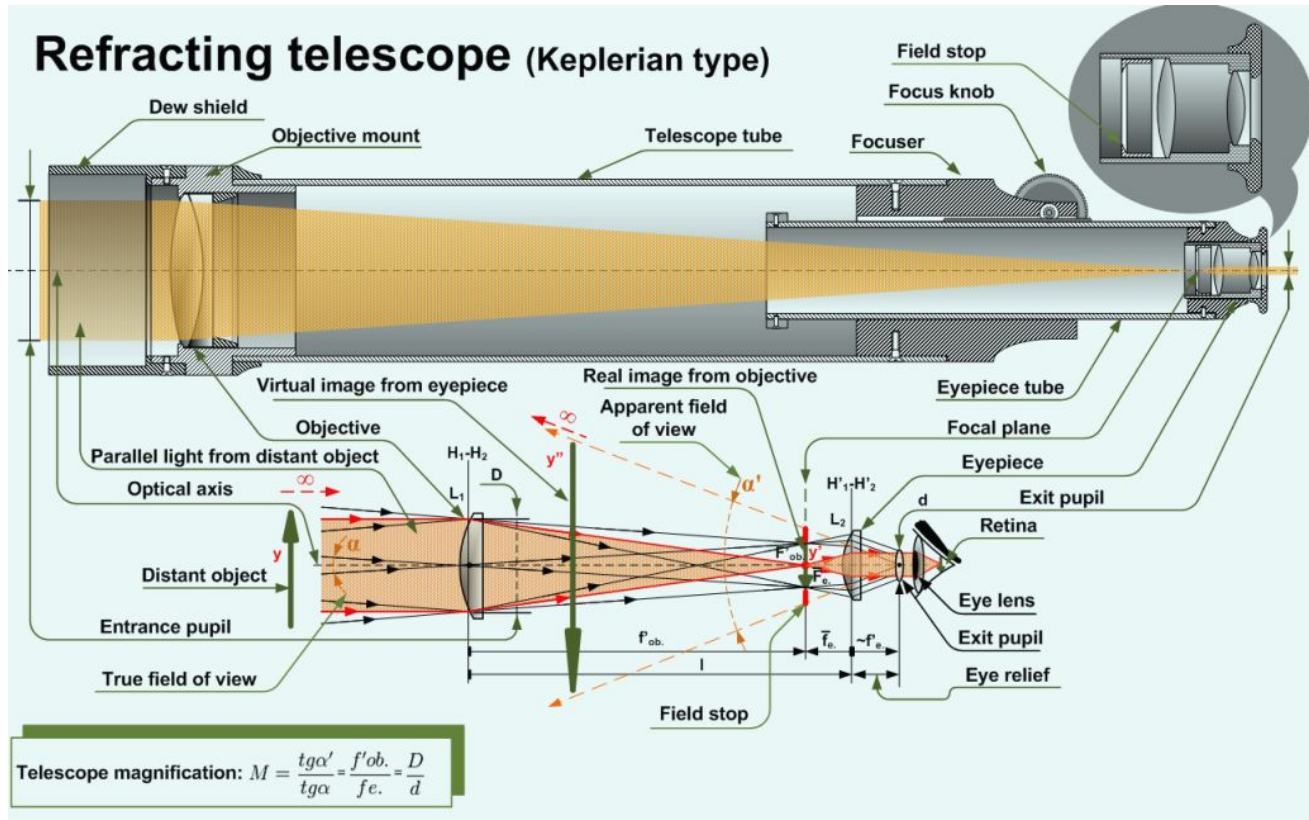
Escala de placa

Juntando esta equação com a equação da resolução do telescópio, chegamos a uma expressão que dá o tamanho otimizado do pixel de uma câmera qualquer para aproveitar ao máximo a resolução do telescópio:

$$\frac{116}{D_T} = \frac{2 * 10^5}{\frac{f}{6 * 10^{-4} f}} * p$$
$$\frac{6 * 10^{-4} f}{D_T} = p$$

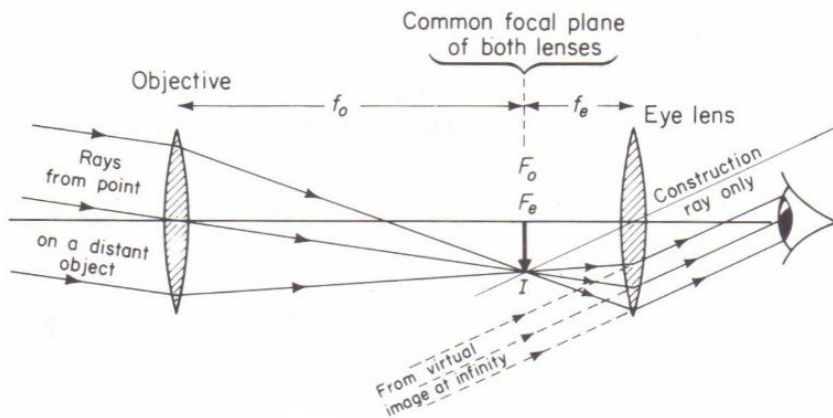
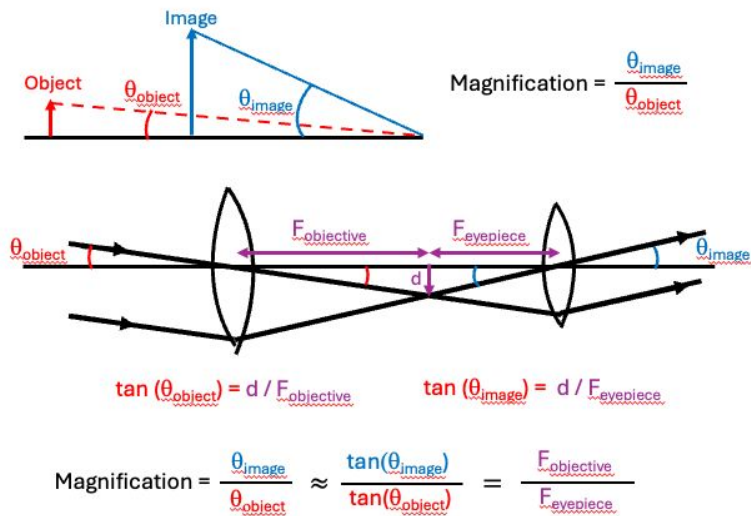


Magnificação visual



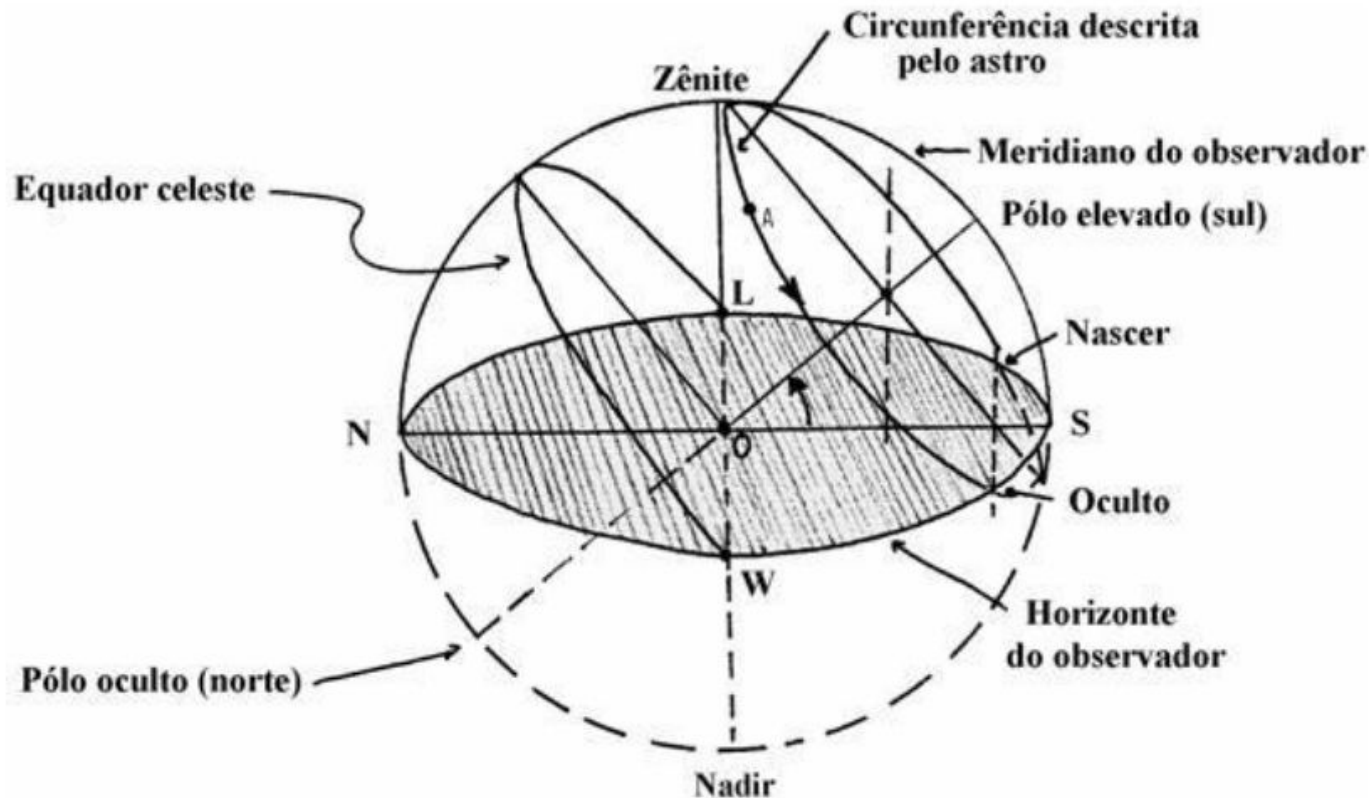
Magnificação visual

Com ocular



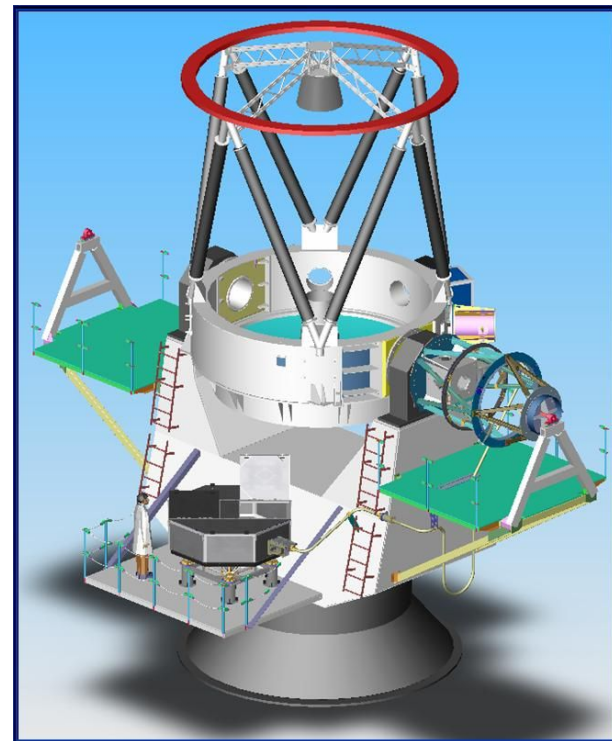
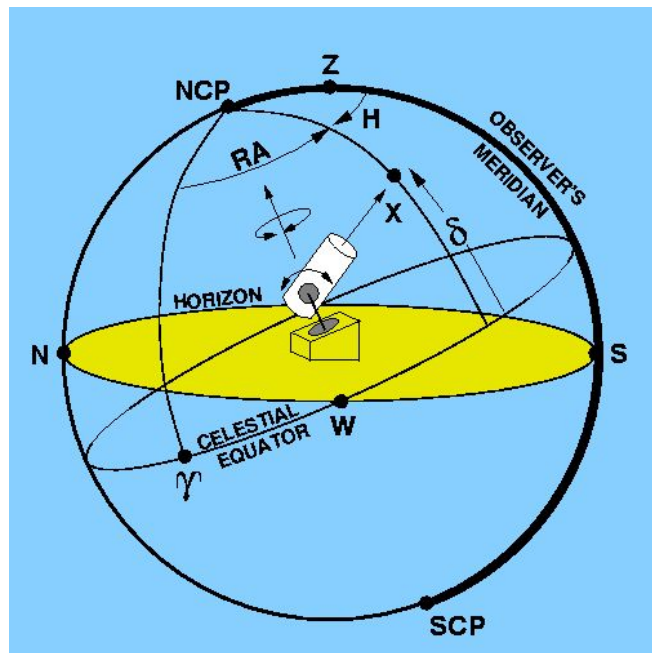
Montagens

(O pesadelo do bloco 1)



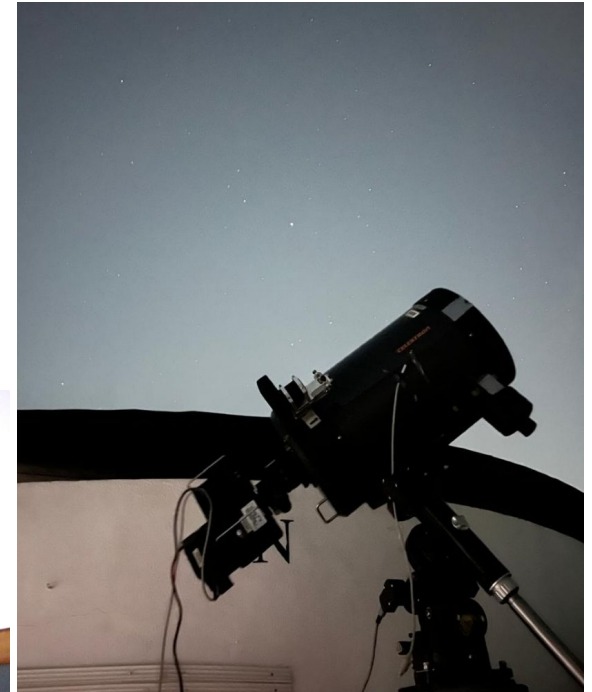
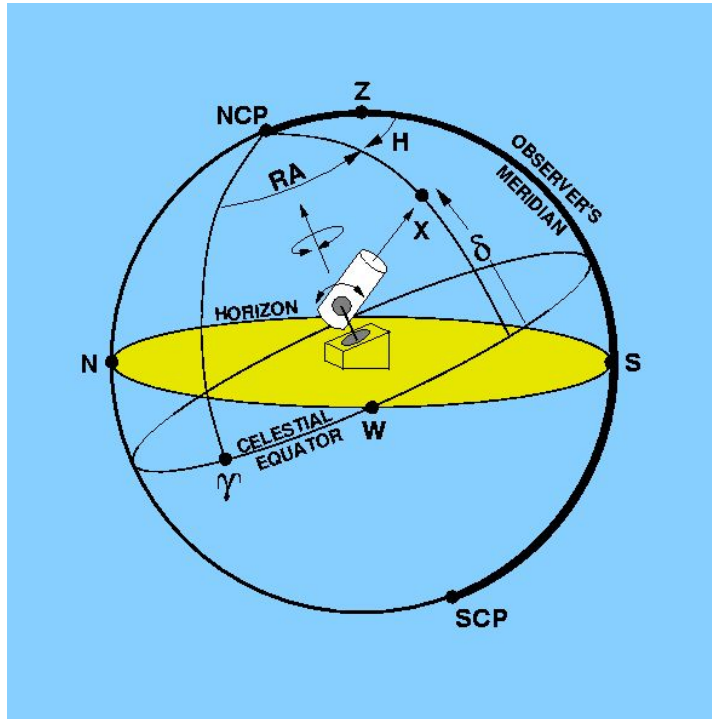
Montagens

alt-azimuth



Montagens

Equatoriais

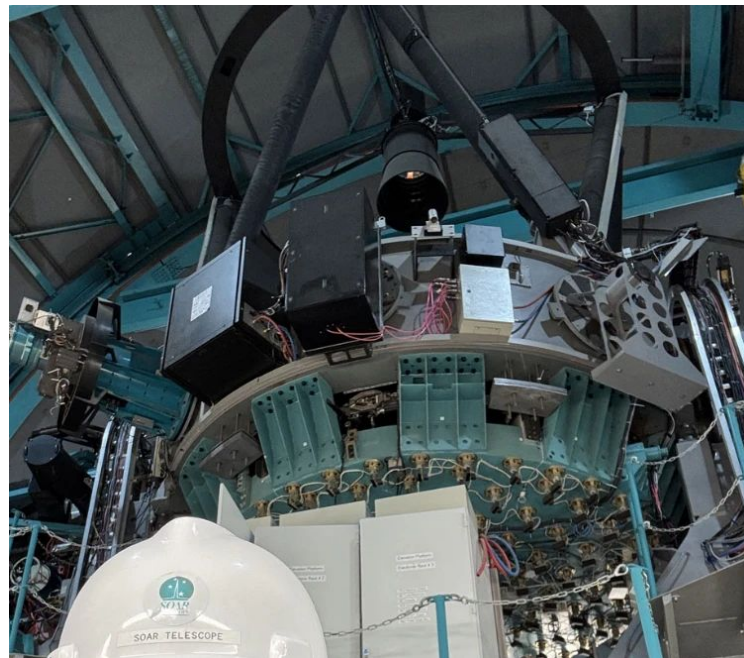
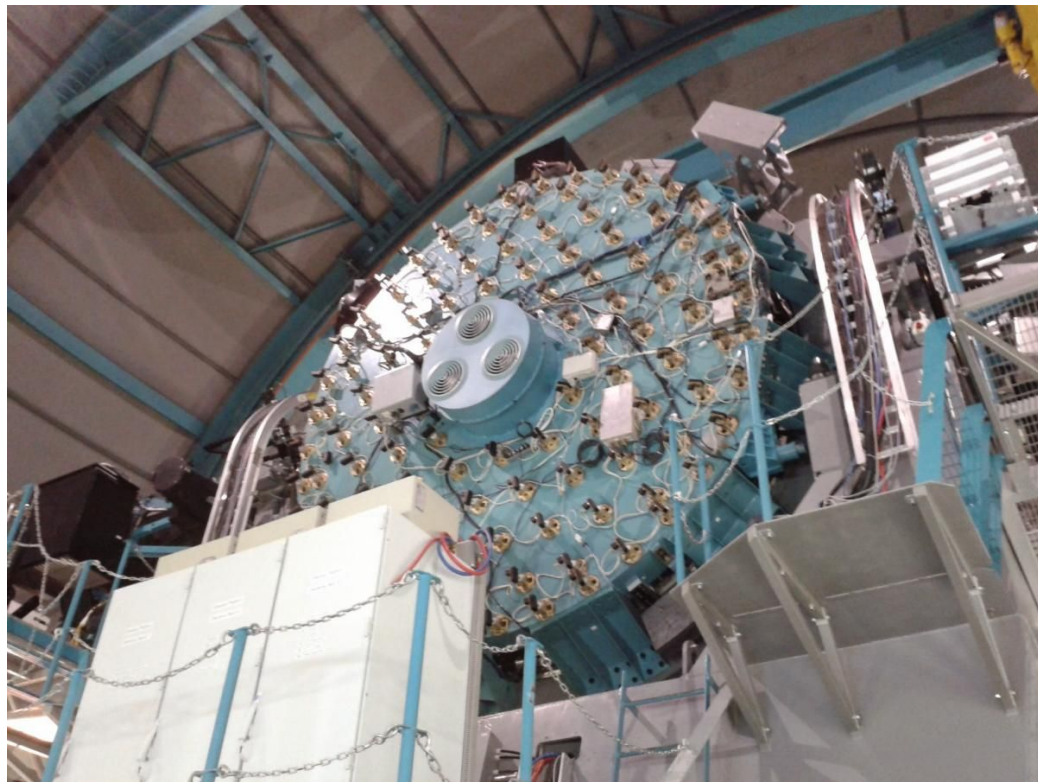


Conjuntos

Óptica + Montagem

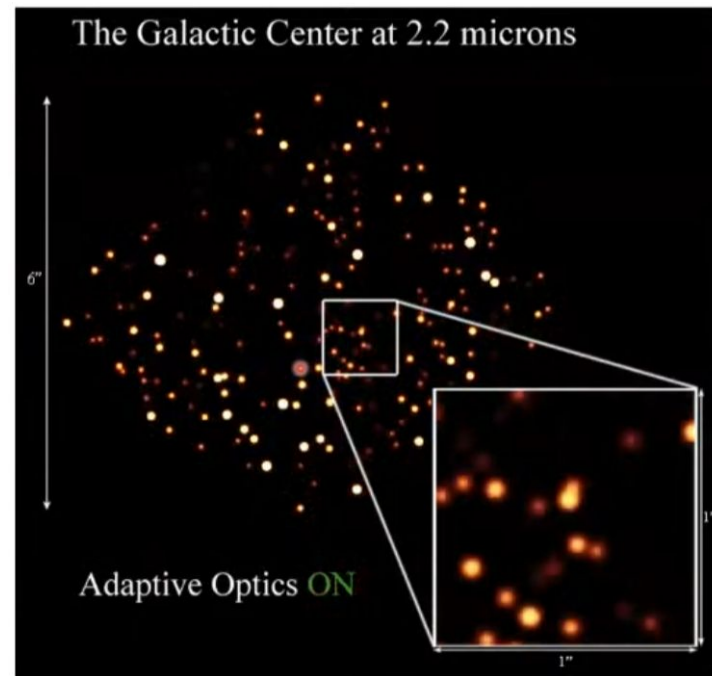
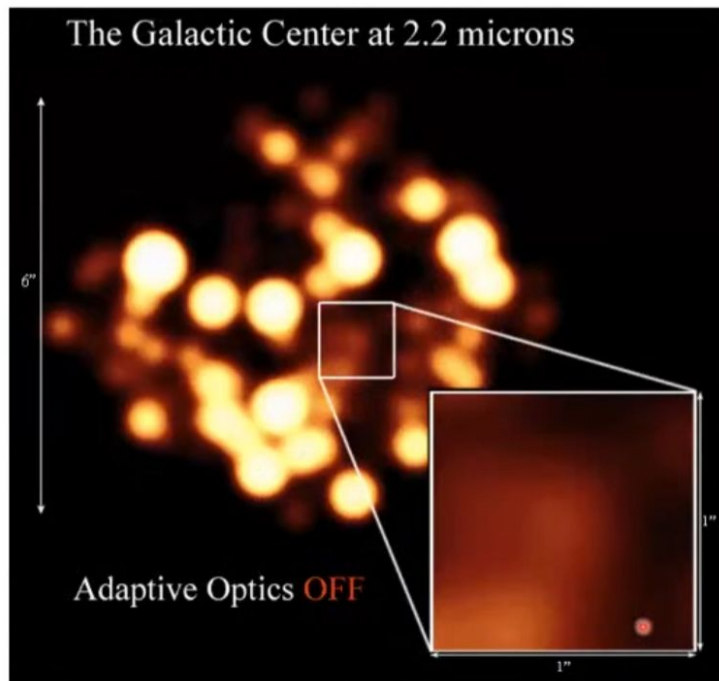


Óptica Ativa

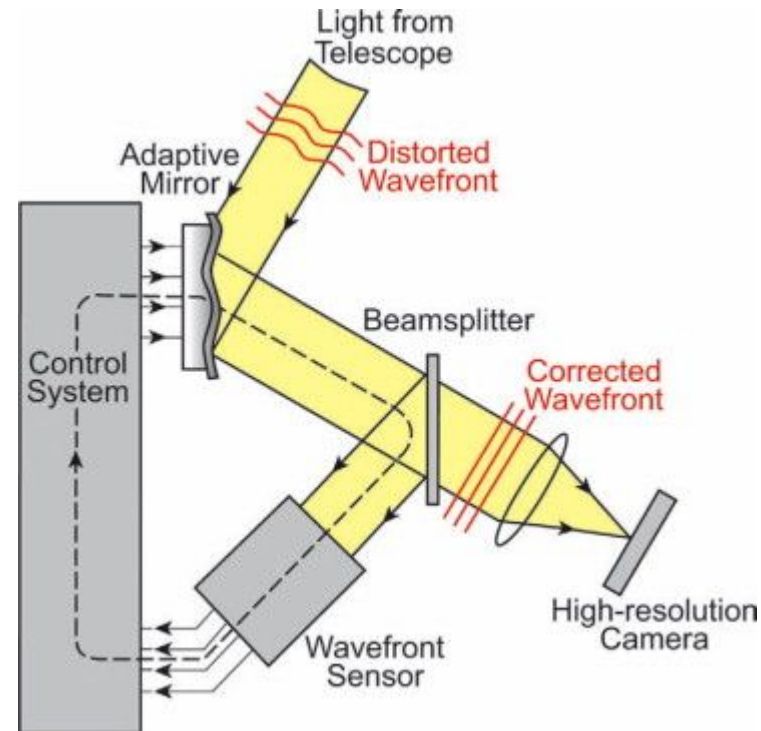
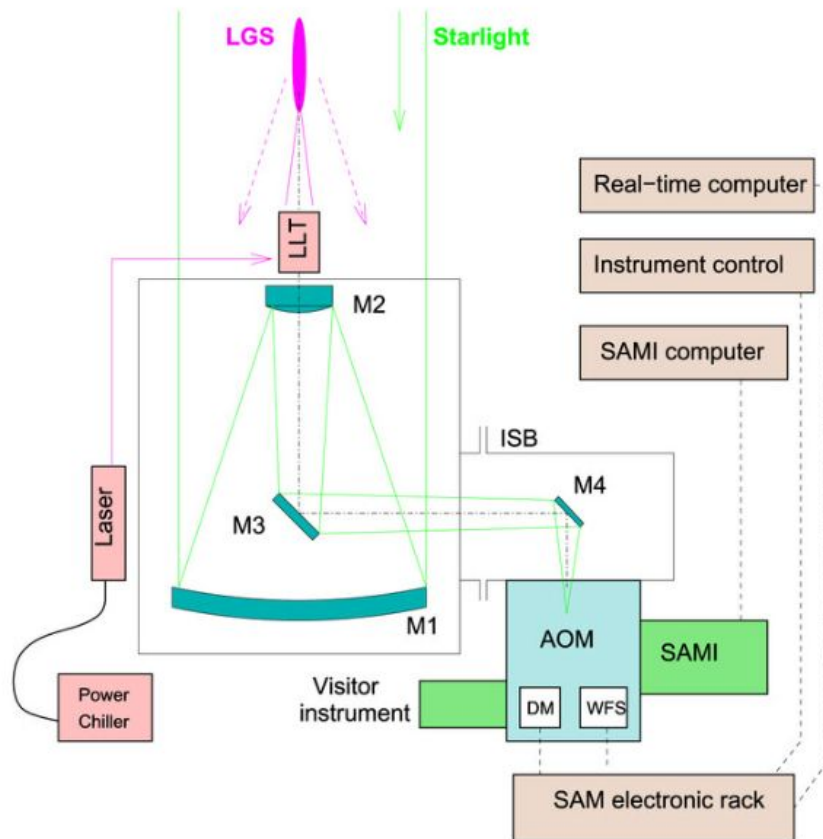


Óptica Adaptativa

Efeito de Óptica Adaptativa



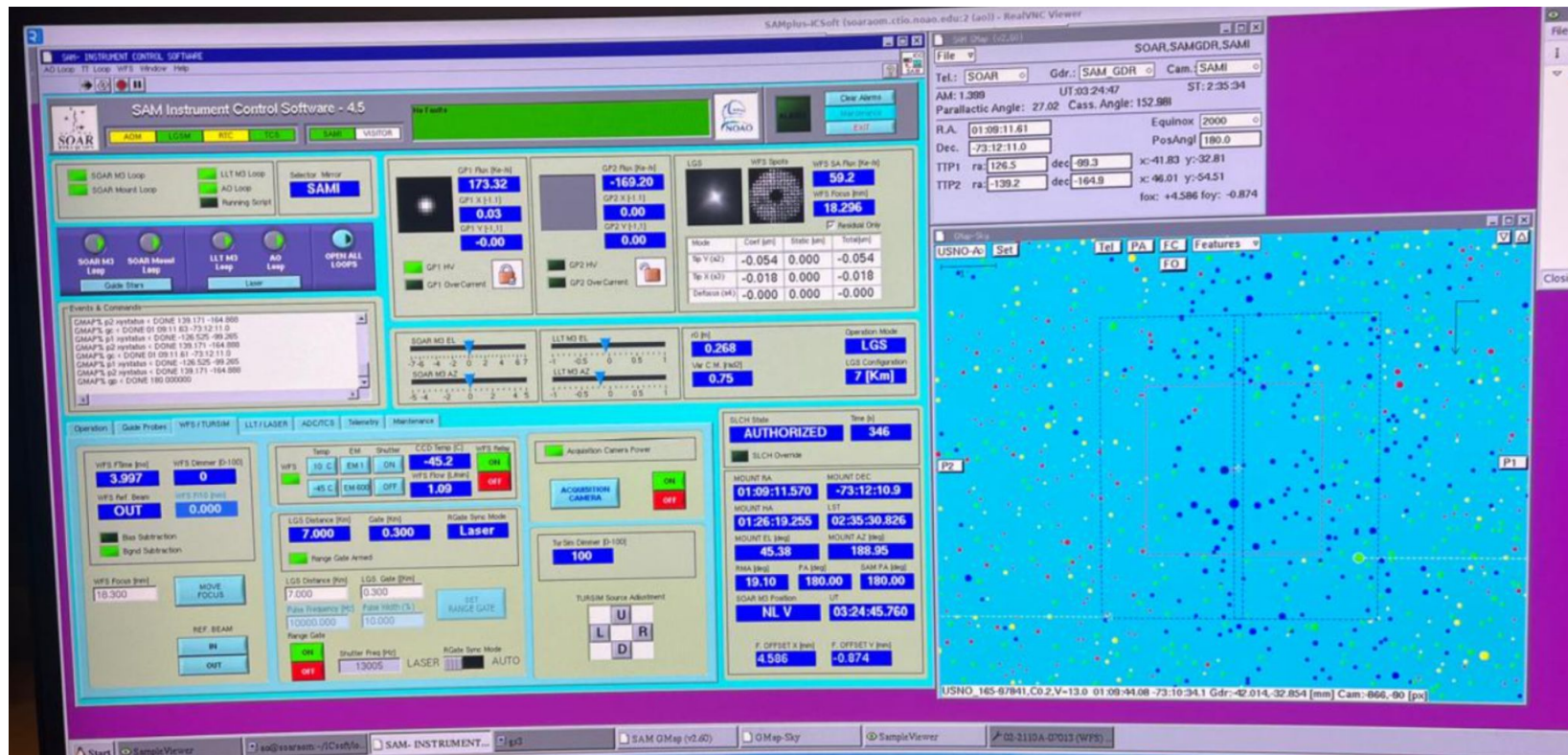
Óptica Adaptativa



Principal referência do SAM

<https://arxiv.org/pdf/1608.05593>

Óptica Adaptativa



Principal referência do SAM
<https://arxiv.org/pdf/1608.05593>

SPOILERS

