



APAA

Associação
Portuguesa
de Astrónomos
Amadores

Astronomia de Amadores

N.º 41 Julho/Dezembro 2011



4 AS OCULARES DE GRANDE CAMPO E O DIAFRAGMA EM OLHO DE GATO
GUILHERME DE ALMEIDA

9 MAGNITUDE VISUAL APARENTE DE UM ASTRO
GUILHERME DE ALMEIDA

12 A MAGNITUDE APARENTE DO SOL VISTO DE OUTROS CÉUS
GUILHERME DE ALMEIDA

13 COMO MODIFICAR UM PST
ALCÁRIA REGO

19 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO PARA CÂMARAS REFLEX
JOSÉ PEDRO CARREIRA MARTINS

24 CONSTRUÇÃO DE UMA CAIXA DE FLATS
NUNO GAMEIRO

33 BUILDING LARGE TELESCOPES: I- REFLECTORS
PEDRO RÉ

ÍNDICE

- 4 **AS OCULARES DE GRANDE CAMPO E O DIAFRAGMA EM OLHO DE GATO**
GUILHERME DE ALMEIDA
- 9 **MAGNITUDE VISUAL APARENTE DE UM ASTRO**
GUILHERME DE ALMEIDA
- 12 **A MAGNITUDE APARENTE DO SOL VISTO DE OUTROS CÉUS**
GUILHERME DE ALMEIDA
- 13 **COMO MODIFICAR UM PST**
ALCARIA REGO
- 19 **SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO PARA CÂMARAS REFLEX**
JOSÉ PEDRO CARREIRA MARTINS
- 24 **CONSTRUÇÃO DE UMA CAIXA DE FLATS**
NUNO GAMEIRO
- 33 **BUILDING LARGE TELESCOPES: I- REFLECTORS**
PEDRO RÉ

IMAGEM DA CAPA:

Lua Cheia em Perigeu (20110319) e Apogeu (20090606)
Takahashi FS128 F/8.1, Canon 350D, soma mediana de 25 imagens
Pedro Ré (2011/2009)



ASTRONOMIA DE AMADORES

Revista de divulgação astronómica (n.º 41) — Julho/Dezembro — ano 2011

Propriedade: Associação Portuguesa de Astrónomos Amadores (APAA); P.C. n.º 501 213 414.

Sede: Rua Alexandre Herculano, 57- 4.º Dto., 1250 - 010 Lisboa (telefone: 213 863 702)

email: info@apaa.co.pt • <http://www.astrosurf.com/apaa> • <http://apaaweb.com/>

*REPRODUÇÃO PROIBIDA, EXCEPTO SOB AUTORIZAÇÃO EXPRESSA DA DIRECÇÃO DA APAA.
AS REFERÊNCIAS E AS CITAÇÕES DEVEM INDICAR EXPLICITAMENTE A ORIGEM.*

REVISTA ASTRONOMIA DE AMADORES

Equipa redactorial: Pedro Ré, Guilherme de Almeida.

Periodicidade: Semestral

Distribuição: a Revista **ASTRONOMIA DE AMADORES** é distribuída gratuitamente a todos os associados que à data da publicação do respectivo número estejam em pleno gozo dos seus direitos, assim como aos sócios honorários e membros do Conselho Técnico e Científico.

Conselho Técnico e Científico: Alcaria Rego, Alfredo Pereira, António Cidadão, António da Costa, Cândido Marciano, Carlos Saraiva, Guilherme de Almeida, José Augusto Matos, Pedro Ré e Rui Gonçalves.

Colaboraram neste número: Pedro Ré, Guilherme de Almeida, Alcaria Rego, Nuno Gameiro.

Artigos para publicação: Os trabalhos destinados a publicação, devem ser fornecidos em formato Word 7 ou anterior, acompanhados de memorando explicitando o fim a que se destinam e sendo o conteúdo da responsabilidade dos autores. Só serão aceites trabalhos originais. Os artigos destinados a publicação serão previamente apreciados por um ou mais membros do Conselho Técnico e Científico ou da Redacção que, caso entendam necessário, incluirão nota devidamente assinalada. A APAA encoraja os seus sócios (e até os não sócios) a enviar artigos. Estes traduzem a opinião dos autores, e não necessariamente os pontos de vista da APAA.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE ASTRÓNOMOS AMADORES (APAA)

Direcção

Presidente: Pedro Ré; **Vice-Presidente:** Carlos Saraiva; **Tesoureiro:** Pedro Figueiredo; **Secretário:** Vítor Quinta;

Secretário-Adjunto: Raimundo Ferreira.

Mesa da Assembleia-Geral

Presidente: António Magalhães; **Secretário:** Rui Gonçalves; **Vogal:** José Egeia.

Conselho Fiscal

Presidente: José Cardoso Moura; **Vogal:** Paulo Coelho; **Vogal:** Miguel Claro.

Pagamento de quotas

2ª a 5ª feira: das 10 h às 13 h e das 15 h às 19 h;

Pagamentos em cheque cruzado à ordem da APAA, vale postal ou transferência bancária.

Novos sócios:

Para se inscrever na APAA, basta enviar por carta, ou entregar pessoalmente na sede, uma folha A4 contendo nome, morada, data de nascimento, habilitações literárias e endereço e-mail (caso tenha), acompanhado de meio de pagamento da inscrição (5 Euros) e das quotas de pelo menos um trimestre (6 Euros). A quota mensal é de 2 Euros/mês. Os jovens até 25 anos têm uma redução das quotizações de 50%. Em <http://apaaweb.com/> existe um formulário de inscrição on-line que poderá facilitar todo este processo.

OBSERVATÓRIO APAA

Este observatório resulta de um protocolo estabelecido entre a APAA e o Planetário Calouste Gulbenkian. Denomina-se "Observatório Comandante Conceição Silva" e encontra-se anexo ao Planetário em Belém, junto ao Mosteiro dos Jerónimos.

AS OCULARES GRANDE-ANGULARES E O DIAFRAGMA EM OLHO DE GATO



Guilherme de Almeida

g.almeida@vizzavi.pt

No número 29 da revista *Astronomia de Amadores* (Setembro-Dezembro de 2006, nas páginas 7 a 9) publiquei o artigo "**A interacção olho-ocular: o afastamento da pupila de saída e a posição de observação**", dedicado às condições de utilização das oculares de pupila de saída muito próxima que podiam, mesmo assim, se o seu campo aparente não fosse muito amplo, ser usadas confortavelmente com o olho mais afastado sem perda de visão do seu campo total. Desta vez vou ocupar-me do caso oposto: as condições de uso das oculares de grande campo aparente, que não devem ser usadas com pupilas de saída de diâmetros demasiado próximos do diâmetro da pupila do olho nessas condições de observação. No decorrer deste artigo veremos porquê.

1. A pupila de saída

A pupila de saída de um telescópio é a imagem da pupila de entrada (a objectiva) dada pela ocular. Essa imagem é conjugada da objectiva, ponto a ponto, i. e., qualquer ponto da pupila de saída é o ponto conjugado de um ponto da pupila de entrada e reciprocamente (figura 1). O diâmetro da pupila de saída ($A'B'$) é igual à abertura instrumental D dividida pela amplificação A . Ou, ainda, pode ser calculado dividindo a distância focal da ocular pela relação focal (f/D) do telescópio (**V. nota final 1**).

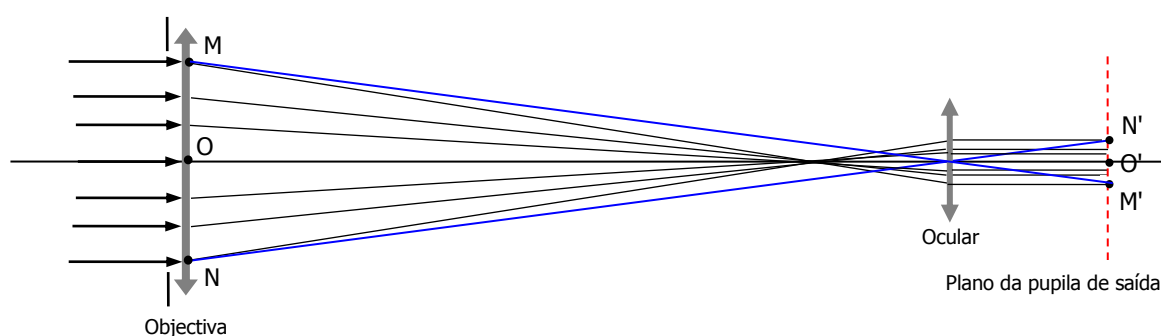


Fig. 1. A pupila de saída como imagem conjugada da pupila de entrada. M' é a imagem de M , N' é a imagem de N , e assim sucessivamente. O diâmetro-imagem $M'N'$ é o conjugado do diâmetro-objecto MN . Por razões de simplicidade gráfica, a figura refere-se a um telescópio refractor, mas as conclusões são válidas para qualquer tipo de telescópio. Para maior clareza, a objectiva e a ocular foram representadas como lentes simples e só se representou o feixe originado por um ponto-objecto no eixo. Guilherme de Almeida (2010).

Qualquer restrição à pupila de entrada traduz-se na restrição correspondente da pupila de saída. Reciprocamente, qualquer restrição à pupila de saída (por exemplo utilizando apenas *parte dela*) traduz-se na restrição conjugada da pupila de entrada; neste caso, *na área da objectiva*, só a área conjugada da pupila de saída *utilizada* é que vai conduzir luz do objecto observado para dentro da pupila do olho do observador. Embora a objectiva não esteja parcialmente tapada (mecanicamente), as áreas dela fora da área conjugada da pupila de saída conduzirão luz que cairá fora da pupila de saída efectivamente utilizada pelo olho, sem nenhuma vantagem prática. Por outras

palavras, se na figura 1 só se utilizasse a metade inferior da pupila de saída (que seria então o semicírculo compreendido entre O' e M'), só se estaria a utilizar a metade superior da objectiva, compreendida entre O e M.

A pupila de saída corresponde à menor secção do feixe emergente da ocular, como se pode ver na figura 2. Nesta figura, o campo aparente da ocular é o ângulo formado pelos raios vermelhos com os raios azuis. Estas cores foram utilizadas apenas para maior clareza da figura. Deve ficar claro que a pupila de saída é uma característica de um dado telescópio usado em conjunto com uma dada ocular. Por isso, a pupila de saída *não é* uma característica específica da cada ocular, isoladamente. Não se deve confundir o diâmetro da pupila de saída com o diâmetro da *lente de olho* de uma ocular (o elemento óptico da ocular que fica mais próxima do olho).

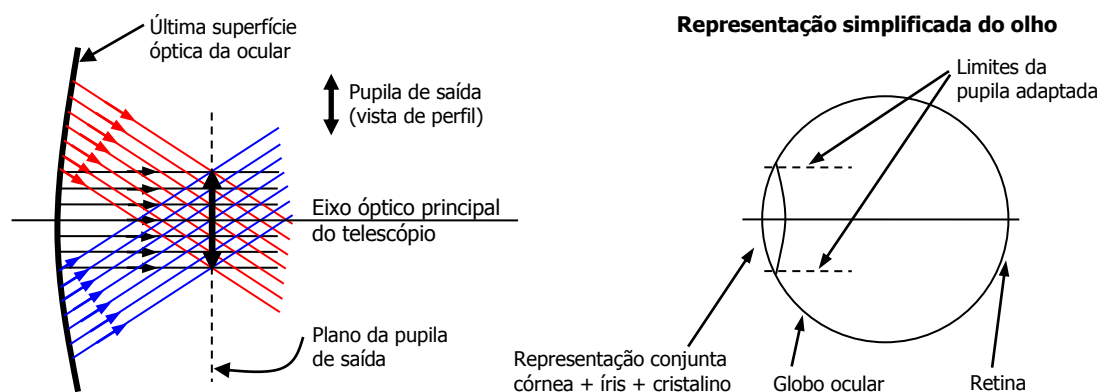


Fig. 2. Formação da pupila de saída (esquema à esquerda), num telescópio focado para um olho de visão normal (olho *emétrope*). Podem ver-se os raios luminosos emergentes da ocular vindos de uma estrela centrada no campo (raios luminosos assinalados a preto, para maior clareza), os raios vindos de um ponto imagem no extremo superior do campo (raios vermelhos) e de outro ponto-imagem, no extremo inferior do campo. Na figura da direita podem ver-se os elementos representativos de um esquema simplificado do olho humano. Guilherme de Almeida (2010).

2. A posição do olho face à pupila de saída

Para que olho capte toda a luz do campo visual que emerge da ocular, a pupila do olho (e praticamente a face externa da córnea) deverá ficar no plano da pupila de saída (Fig. 3-A). Se o olho estiver mais próximo da ocular (figura 3-B) ou mais afastado (figura 3-C) já não conseguirá recolher toda a luz e muitos dos feixes luminosos vindos da ocular caem fora da pupila do olho, na íris ou ainda mais longe do contorno da pupila do olho. Essa luz desperdiçada nunca chegará à retina: já não será possível ver todo o campo aparente da ocular, sobretudo se esta for de campo aparente muito amplo e se a pupila do olho for de diâmetro comparável à pupila de saída.

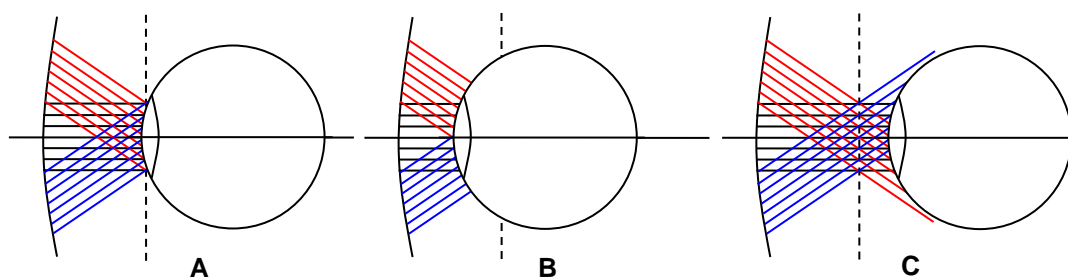


Fig. 3. Posição do olho relativamente à pupila de saída: **A**- posição correcta e optimizada; **B**- demasiado perto; **C**- demasiado longe. O significado dos elementos geométricos a considerar já foi identificado na figura 1. Guilherme de Almeida (2010).

Como se mostrou no artigo anterior (revista *Astronomia de Amadores* n.º 29), no caso das oculares de campo aparente estreito ($<40^\circ$) e na *condição adicional* de o diâmetro da pupila do olho exceder largamente o da pupila de saída, *nesse caso*, uma situação do tipo indicado em 3-C *ainda permite* desfrutar de todo o campo, beneficiando-se de uma afastamento em relação à ocular superior ao afastamento da pupila de saída.

Um caso muito diferente é o das oculares grande-angulares (campo aparente $>60^\circ$), sobretudo quando o diâmetro da pupila de saída é comparável ou pouco menor do que o diâmetro da pupila do olho. Neste caso, a posição do olho terá de ser a da figura 3-A, caso contrário não será possível aproveitar toda a luz que veio da ocular, nem ver todo o campo aparente que a ocular permite. A distância entre a última superfície óptica da ocular a ao plano da pupila de saída denomina-se "afastamento da pupila de saída" ou "relevo ocular".

Consideremos agora o caso específico que é objecto do presente artigo: o caso das oculares de grande campo aparente, usadas com amplificações que originam pupilas de saída de diâmetro igual ou pouco inferior ao diâmetro da pupila do olho. Trata-se de uma situação a evitar, pelas duas razões seguidamente referidas.

2.1. Centragem da pupila do olho em relação à pupila de saída

Veja-se que na situação da figura 3-A, a pupila do olho, além de ter de estar coincidente com a pupila de saída, portanto situada à distância adequada da ocular, tem de estar bem centrada com a pupila de saída (figura 4).

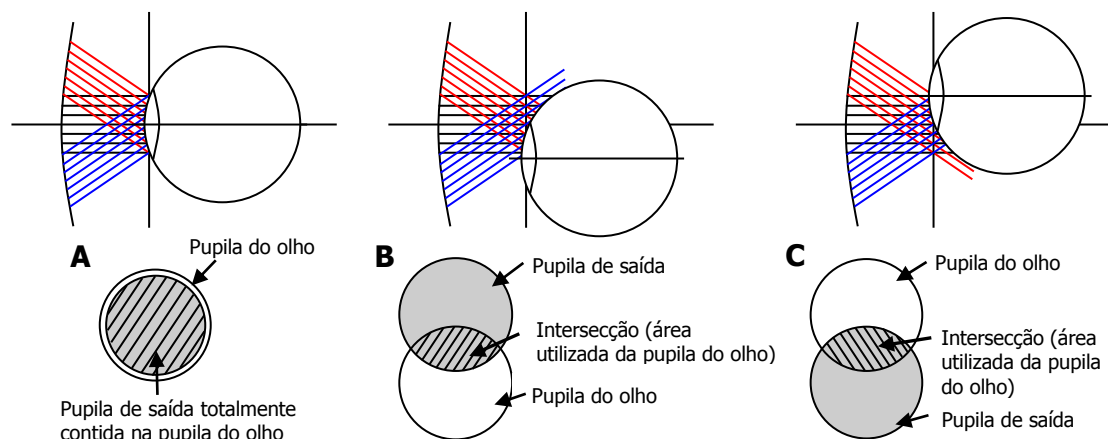


Fig. 4. Centragem da pupila do olho relativamente à pupila de saída: **A-** olho centrado; **B-** demasiado abaixo; **C-** demasiado acima (o desvio pode, obviamente, ocorrer em qualquer direcção). Guilherme de Almeida (2010).

Por outras palavras, o centro da pupila do olho tem de estar coincidente (ou quase coincidente) com o eixo óptico principal do telescópio (figura 4-A). Se a pupila de saída for de diâmetro muito próximo do da pupila do olho, qualquer desvio da pupila do olho num plano perpendicular ao eixo principal do telescópio (por exemplo, para baixo, para cima, para a esquerda ou para a direita) colocará a pupila do olho desviada da pupila de saída (situações B e C da figura 4). Designaremos este desvio *linear* como **desvio do tipo 1**. Este desvio é geralmente pequeno em algumas oculares com olhal de centragem do olho.

Nesta figura 4, os esquemas de baixo descrevem a representação no plano da pupila de saída: cada área a tracejado corresponde à intersecção da pupila de saída com a pupila do olho, ou seja, a área da pupila de saída efectivamente utilizada em cada caso (**V. nota final 2**). O tracejado tem esse mesmo significado na figura 6.

2.2. Inclinação do eixo do globo ocular em relação ao eixo principal do telescópio

Por outro lado, as oculares de enorme campo aparente ($>70^\circ$) obrigam o observador a revirar o olho para olhar até à borda do campo. Ora, os músculos que fazem rodar o globo ocular (e que nos permitem olhar em várias direcções) fazem-no rodar em torno de um eixo bastante atrás do centro da pupila do olho. Por outras palavras, ao virar o olho, a pupila do olho desvia-se para os lados, para cima ou para baixo, descentrando-se inevitavelmente e inconscientemente em relação ao centro da pupila de saída instrumental. Designaremos este desvio *angular* como **desvio do tipo 2**. Isto também acontece se se rodar a cabeça em vez do olho. A figura 5 ilustra esta situação.

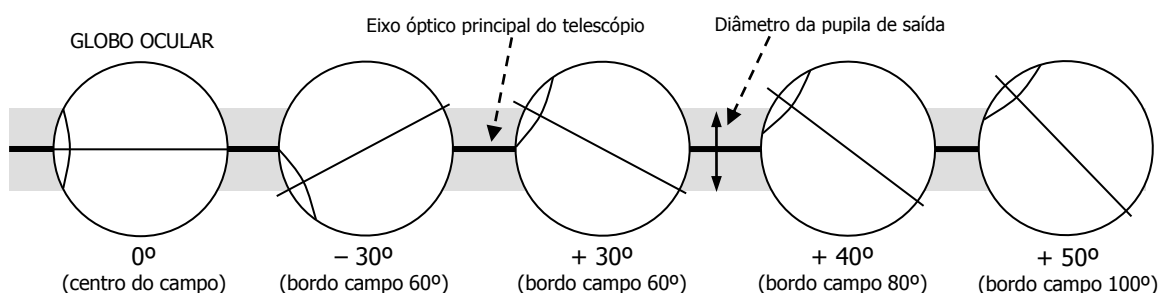


Fig. 5. Descentragem da pupila do olho em virtude da rotação do globo ocular (ou da cabeça) do observador. A faixa cinzenta horizontal marca o diâmetro de uma grande pupila de saída. Como se pode ver, este caso origina também um desvio lateral (ou em qualquer direcção do plano perpendicular ao eixo óptico do telescópio), desta vez acrescido de obliquidade considerável entre o eixo óptico do olho e o eixo óptico do telescópio. Quanto mais amplo for o campo aparente da ocular, e maior for a pupila de saída, piores serão os resultados. Guilherme de Almeida (2010).

A figura 5 mostra claramente que quanto maior for o ângulo de rotação do olho, até à borda do campo aparente da ocular, menor será a área *utilizada* da pupila do olho. Tudo se passa como se a abertura do telescópio, para as regiões afastadas do eixo, fosse menor. Haverá, portanto, escurecimento do campo (*vignetting*). Na verdade, o sistema óptico do olho deveria estar alinhado com o sistema óptico do telescópio, o que está longe de se verificar nestas condições. Este efeito intensifica-se à medida que tal ângulo aumenta e também à medida que se utilizam pupilas de saída maiores.

Se a pupila de saída for muito grande, aproximando-se ou igualando o diâmetro da pupila do olho nessas condições específicas de observação, qualquer *pequeno desvio*, tanto do tipo 1 como do tipo 2 fará com que a pupila de saída deixe de estar toda contida dentro da pupila do olho (figura 6). Com desvios maiores, os resultados serão piores (área tracejada em forma de fuso ainda mais estreito).

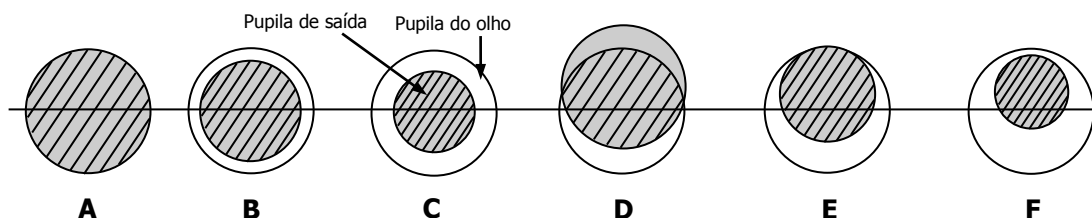


Fig. 6. Diferentes situações, consoante a rotação do olho e o diâmetro da pupila de saída: **A**- pupila de saída do mesmo tamanho que a pupila do olho (não há nenhuma tolerância para desalinhamentos, tanto do tipo 1 como do tipo 2); **B** e **C**- com pupilas de saída gradualmente menores a tolerância aumenta. Os casos **D**, **E** e **F** mostram o mesmo desvio (pequeno) de rotação do olho, perante diferentes diâmetros da pupila de saída; a situação **E** indica o caso limite. Em **E** e **F**, toda a pupila de saída está contida na pupila do olho, mas existe maior margem para tolerância em **F**. Guilherme de Almeida (2010).

3. Conclusão

Na situação crítica, uma descentragem (quer do tipo 1 quer do tipo 2) leva a que a intersecção dos dois círculos (a pupila de saída e a pupila do olho) tenha área menor do que a da pupila de saída. O efeito é uma redução na *área utilizada* da pupila de saída, ou seja uma redução na área conjugada da pupila de entrada (objectiva no caso de um refractor ou espelho primário no caso de um reflector). O resultado final é equivalente à *diafragmagem da objectiva* em forma de fuso, chamada diafragmagem em "olho de gato" (porque é esta a forma da pupila do olho de gato). Isto origina uma forma de vinhetagem que se acentua à medida que olhamos para mais longe do centro do campo e nos aproximamos da borda. Quanto maior o desvio mais o fuso fica estreito!!!

O leitor pode fazer um teste confirmativo simples: olhe para alguém de perfil, e peça-lhe para, sem mover a cabeça, olhar para cima e para baixo. Verá como o centro da pupila do olho sobe e desce (o mesmo se verifica para a esquerda e para a direita).

Nas oculares de campo aparente muito amplo, para ter alguma margem de segurança, impõe-se que o diâmetro a pupila de saída seja 1,5 mm a 2 mm *inferior* ao pupila do olho (figura 6). Se a pupila do olho tiver 6,5 mm de diâmetro, nas condições específicas de observação, a pupila de saída instrumental não deverá exceder 4,5mm a 5,0 mm. Numa pupila do olho com 7 mm, não deveremos ir além de 5,5 mm a 6,0 mm no tamanho da pupila de saída. A margem de segurança adequada permite que a pupila de saída esteja toda contida dentro da pupila do olho, apesar dos desvios transversais do tipo 1 e do tipo 2. Mesmo que não se evite completamente o problema, podemos minimizá-lo seguramente. Pelas razões apontadas convém evitar usar oculares de (muito) grande campo aparente em conjunto com pupilas de saída demasiado grandes. Mas basta utilizar uma amplificação ligeiramente maior para que a pupila de saída se reduza adequadamente. Como as oculares de 82° de campo aparente (*e.g. Nagler*) a ainda mais as de 100° (*e.g. Ethos*) possuem menor distância focal para o mesmo campo aparente (comparadas com as oculares de campos medianos), isso permite cobrir o mesmo campo com maior amplificação, reduzindo a pupila de saída a valores mais convenientes (V. nota final **3**). Não se deve por isso abusar das muito pequenas amplificações com estas excelentes oculares, sob o pretexto de alcançar campos reais excessivos. Por outro lado, o olho atento ao centro do campo, e sem rodar, dificilmente alcança mais do que 60° de campo aparente: no caso de campos mais amplos, a contemplação das regiões periféricas obriga a rotações constantes e cansativas do globo ocular ou da cabeça do observador. A este respeito, Jean Texereau, conhecido autor, observador e óptico prestigiado, é muito claro:

"Pour la grandeur du champ maximum intéressant, les avis sont partagés; un champ de plus de 60° impose à l'œil, qui veut fixer un détail au bord, une gymnastique peu ordinaire, mais c'est à l'observateur de décider." (Jean Texereau, *La Construction du Télescope d'Amateur*, página 187).

Em oculares clássicas, de campo 60° ou menor, aí pode-se ir até pupilas de 6 a 6,5 mm, mas convém não abusar. Nas observações que requeiram bons requisitos de resolução, convém saber que o olho, como instrumento de óptica é muito imperfeito quando a sua abertura atinge 5 mm, pior ainda com 6 mm ou 7 mm. Na

observação de planetas, deve ter-se em conta que o olho humano só pode ser considerado como um instrumento óptico praticamente perfeito (*diffraction limited*) quando a sua pupila for da ordem de 1,5 mm ou menor. Isso deve ser tomado em conta nas observações planetárias (conforme sobejamente referido por Texereau, Danjon e Couder), onde se recomendam pupilas de saída entre 0,8 mm e 1,25 mm para observação lunar e planetária.

4. Uma hipótese meramente académica

O desvio do tipo 2 pode ser minimizado se o observador reposicionar o seu olho de observação, deslocando-o transversalmente no sentido oposto ao do desvio em que se rodou o olho (compare-se com a figura 5). Isto é praticamente inviável, impossível de fazer com algum rigor (e nas oculares com olhal seria impossível fazê-lo), mas tal situação mostra-se na figura 7.

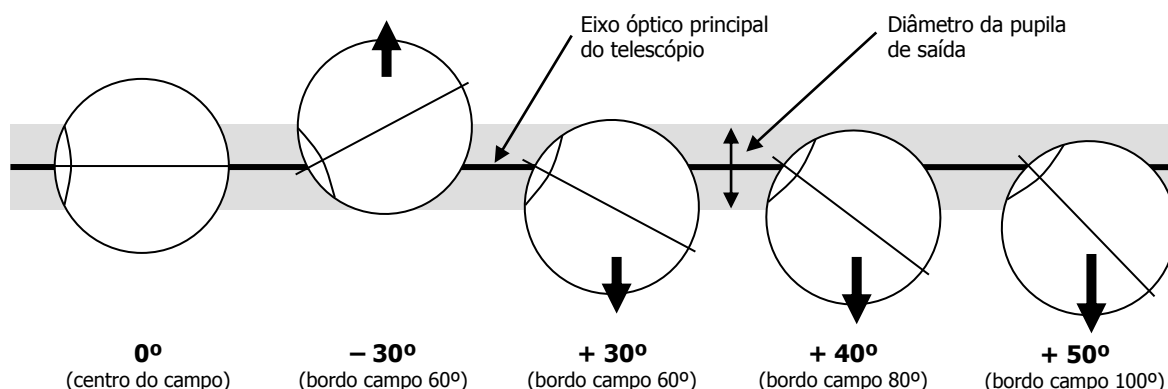


Fig. 7. Só reposicionando o olho (deslocando-o transversalmente no sentido das setas) é que se poderá voltar a iluminar completamente a pupila do olho. Porém, é muito grande o desalinhamento angular entre o eixo óptico do olho e o do telescópio. Portanto, esta hipótese de "solução" é meramente académica. Guilherme de Almeida (2010).

Pode ver-se que a pupila do olho volta a ser totalmente iluminada pela pupila de saída, mas há um grande desalinhamento angular entre o eixo do olho e o eixo do telescópio. É claro que para obter imagens tão perfeitas quanto possível, estes eixos deveriam ser coincidentes. E a pupila do olho deverá continuar correctamente afastada da ocular, praticamente no plano da pupila de saída instrumental. Com estes condicionalismos, o que nenhum observador conseguirá fazer tal reposicionamento do olho, convenientemente ou espontaneamente. A possibilidade de desperdiçar luz só será um "luxo" apenas viável em telescópios de abertura substancial.

Referências

Almeida, Guilherme de — *Telescópios*, Plátano Editora, Lisboa 2004

Clark, Roger N. — *Visual Astronomy of the Deep Sky*, Cambridge University Press Cambridge, 1990.

Danjon, André et Couder, André — *Lunettes et Telescopes*, Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, 1935 (nouveau tirage, 1999).

Texereau, Jean — *La Construction du Télescope d'Amateur*, <http://astrosurf.com/texereau/chapitre.htm>, 2e Edition, 1961 (especialmente o Capítulo XI — *Les oculaires*). Nouveau tirage, Vuibert, Paris, 2004.

Notas finais

(1) Por exemplo, uma ocular de distância focal 30 mm, utilizada num telescópio de $f/D=6$, dará uma pupila de saída com $30/6=5$ mm de diâmetro.

(2) Se a área tracejada tem a forma de um fuso (forma de "pupila de olho de gato"), a área da objectiva efectivamente utilizada, que contribui para a captação de luz do telescópio é a do fuso conjugado, nos termos já referidos na figura 1. Quanto mais estreito for esse fuso, menor será a abertura equivalente do telescópio. No entanto, desde que a pupila de saída fique totalmente contida dentro da pupila do olho, toda a abertura do telescópio estará a ser utilizada.

(3) Por exemplo, para um diafragma de campo de cerca de 31 mm de diâmetro, é possível utilizar uma ocular de *Plössl* de $f=46$ mm (50° de campo aparente), uma *Panoptic* de 27 mm (68°), uma *Nagler* de 22 mm (82°) ou, ainda uma *Ethos* de 17 mm (100°). Todas permitem praticamente o mesmo campo real, se usadas no mesmo telescópio, mas as pupilas de saída serão sucessivamente menores, e a espectacularidade sucessivamente maior, sendo o diâmetro da pupila de saída, na *Ethos*, de $17/46=0,37=37\%$ do que se obtém na *Plössl*. E na *Nagler* a pupila de saída será $22/27=81\%$ da que se obtém na *Panoptic* (as oculares indicadas são meros exemplos concretos).

MAGNITUDE VISUAL APARENTE DE UM ASTRO: GRANDEZAS FOTOMÉTRICAS E PADRÕES DE REFERÊNCIA*



Guilherme de Almeida
g.almeida@vizzavi.pt

O brilho aparente das estrelas é geralmente quantificado pelas suas magnitudes (veja-se a nota 1). A escala de magnitudes *moderna* está ajustada de tal modo que uma estrela de primeira magnitude (magnitude 1,00) faz-nos chegar um fluxo luminoso (ϕ) por unidade de área igual a $0,832 \times 10^{-6} \text{ lm/m}^2$, considerado num local *acima da atmosfera terrestre*. É claro que o fluxo incidente na unidade de área à superfície da Terra será um pouco menor, devido a absorção de luz pela nossa atmosfera, como veremos adiante. Neste artigo veremos os padrões actuais de iluminação, em função da magnitude visual aparente, e mostraremos alguns exemplos comparativos interessantes que estabelecerão uma ponte entre o fluxo luminoso estelar e o de outras fontes das quais recebemos luz, própria ou reflectida.

1. Magnitudes e padrões de iluminação

A partir do padrão para uma qualquer magnitude, por exemplo para a magnitude 1 (acima referido), e por aplicação sucessiva da equação de Pogson, é possível construir a tabela abaixo e expandi-la, tanto quanto se queira, em ambos os sentidos. Veremos mais adiante como fazê-lo.

Tabela 1. FLUXO LUMINOSO POR UNIDADE DE ÁREA E MAGNITUDE APARENTE RESPECTIVA
(valores *acima* da atmosfera terrestre)

m_x (magnitude)	Fluxo luminoso ϕ por unidade de área, em $\text{lm/m}^2 = \text{lux}$	m_x (magnitude)	Fluxo luminoso ϕ por unidade de área, em $\text{lm/m}^2 = \text{lux}$	m_x (magnitude)	Fluxo luminoso ϕ por unidade de área, em $\text{lm/m}^2 = \text{lux}$
...	...	+1	$0,832 \times 10^{-6}$	+14	$0,525 \times 10^{-11}$
-11	$0,525 \times 10^{-1}$	+2	$0,331 \times 10^{-6}$	+15	$0,209 \times 10^{-11}$
-10	$0,209 \times 10^{-1}$	+3	$0,132 \times 10^{-6}$	+16	$0,832 \times 10^{-12}$
-9	$0,832 \times 10^{-2}$	+4	$0,525 \times 10^{-7}$	+17	$0,331 \times 10^{-12}$
-8	$0,331 \times 10^{-2}$	+5	$0,209 \times 10^{-7}$	+18	$0,132 \times 10^{-12}$
-7	$0,132 \times 10^{-2}$	+6	$0,832 \times 10^{-8}$	+19	$0,525 \times 10^{-13}$
-6	$0,525 \times 10^{-3}$	+7	$0,331 \times 10^{-8}$	+20	$0,209 \times 10^{-13}$
-5	$0,209 \times 10^{-3}$	+8	$0,132 \times 10^{-8}$	+21	$0,832 \times 10^{-14}$
-4	$0,832 \times 10^{-4}$	+9	$0,525 \times 10^{-9}$	+22	$0,331 \times 10^{-14}$
-3	$0,331 \times 10^{-4}$	+10	$0,209 \times 10^{-9}$	+23	$0,132 \times 10^{-14}$
-2	$0,132 \times 10^{-4}$	+11	$0,832 \times 10^{-10}$	+24	$0,525 \times 10^{-15}$
-1	$0,525 \times 10^{-5}$	+12	$0,331 \times 10^{-10}$	+25	$0,209 \times 10^{-15}$
0	$0,209 \times 10^{-5}$	+13	$0,132 \times 10^{-10}$

Note-se que, conforme a definição, para astros de magnitudes aparentes diferindo de uma unidade, teremos $\Phi_n / \Phi_{n+1} = 100^{0,2} \approx 2,512$ (a constante R , conhecida como *razão de Pogson*). Portanto, $\Phi_n / \Phi_{n+5} = 100$.

Para a magnitude *visual*, a medição de fluxo é feita através de um filtro (filtro V) que reproduz a diferente sensibilidade do olho à luz dos diferentes comprimentos de onda da radiação visível.

Convém referir que um fluxo luminoso Φ distribuído por uma dada área S conduz a uma iluminação E , entendida como fluxo luminoso por unidade de área, ou seja, $E = \Phi / S$. No Sistema Internacional de Unidades (SI) o fluxo luminoso mede-se na unidade lúmen (símbolo lm), a área em metros quadrados e a iluminação em lux (símbolo lx). Por exemplo, se uma estrela de magnitude zero produz acima da atmosfera o fluxo $\Phi_0 = 0,209 \times 10^{-5} \text{ lm/m}^2$, isso é equivalente a afirmar que ela ilumina o topo da atmosfera terrestre com uma iluminação $E_0 = 0,209 \times 10^{-5} \text{ lx}$.

* Este é o segundo de uma série de cinco artigos dedicados à magnitude estelar e às suas implicações.

1- Num artigo publicado anteriormente ficámos a conhecer a escala de magnitudes, assim como a vida e a obra do seu criador, Norman Pogson (1829-1891). Para melhor esclarecimento de alguns termos sugere-se a consulta do artigo anterior.

2. Cálculo da magnitude desconhecida (m_x) de uma estrela, dado o fluxo luminoso que dela recebemos por unidade de área, *medido*, Φ_x .

A relação entre a diferença de magnitudes e a razão de fluxos luminosos (por unidade de área) é dada pela equação de Pogson. Esta equação já foi referida em artigos anteriores sobre esta temática:

$$0,4 (m_2 - m_1) = \log \left(\frac{\Phi_1}{\Phi_2} \right), \text{ ou seja, } m_2 - m_1 = 2,5 \log \left(\frac{\Phi_1}{\Phi_2} \right) \text{ e logo } m_2 = m_1 + 2,5 \log \left(\frac{\Phi_1}{\Phi_2} \right).$$

Definindo-se, por exemplo, Φ_1 , correspondente a uma certa magnitude m_1 (tomada como referência), então a medição de Φ_x permite determinar imediatamente m_x , utilizando a equação anterior. Por exemplo, se $\Phi_x = 0,525 \times 10^{-7} \text{ lm/m}^2$, podemos determinar a correspondente magnitude m_x por comparação com $m_1 = 1.^\circ$ magnitude:

$$m_x = 1 + 2,5 \log \left(\frac{0,832 \times 10^{-6}}{\Phi_x} \right) \Leftrightarrow m_x = 1 + 2,5 \log \left(\frac{0,832 \times 10^{-6}}{0,525 \times 10^{-7}} \right) \Leftrightarrow m_x = 3,99991... = 4,00$$

Nota: O valor obtido pode ser confirmado na tabela 1. Este cálculo serve igualmente para quaisquer valores intermédios de m_x , em geral não inteiros. As secções 2 e 3 mostram como construir ou expandir a tabela 1.

3. Caso inverso do caso 2: Cálculo do fluxo luminoso por unidade de área, Φ_x , *desconhecido*, com base na magnitude conhecida de uma dada estrela

$$\text{Retomemos a equação anterior } 0,4 (m_2 - m_1) = \log \left(\frac{\Phi_1}{\Phi_2} \right) \Leftrightarrow 0,4 (m_x - m_1) = \log \left(\frac{\Phi_1}{\Phi_x} \right)$$

Tomemos uma estrela de magnitude 1 como comparação (podia ser qualquer outra), acedendo ao valor padrão (Φ_1) dado na tabela anterior. Calculemos o fluxo luminoso (Φ_x) recebido, por unidade de área, de uma estrela de magnitude, por exemplo 12, ou seja, $\Phi_x = \Phi_{12}$:

$$0,4 (m_x - 1) = \log \left(\frac{\Phi_1}{\Phi_x} \right). \text{ Façamos 10 elevado a cada um dos membros (antilogaritmo):}$$

$$10^{0,4(m_x - 1)} = 10^{\log(\Phi_1 / \Phi_x)} \Leftrightarrow 10^{0,4(m_x - 1)} = \frac{\Phi_1}{\Phi_x} \Leftrightarrow \Phi_x = \frac{\Phi_1}{10^{0,4(m_x - 1)}} = \frac{0,832 \times 10^{-6}}{10^{0,4(12 - 1)}}$$

O resultado é $\Phi_x = 0,331 \times 10^{-10} \text{ lm/m}^2$, ou seja, uma iluminação $E_x = 0,331 \times 10^{-10} \text{ lx}$ ("lx" é o símbolo do lux).

4. Casos particulares e curiosos: o Sol, a Lua, Vénus e... lâmpadas standard

Um cálculo semelhante, feito para a luz do Sol ($m_s = -26,8$), indica que a nossa estrela produz sobre a Terra (acima da atmosfera, por definição), em média, uma iluminação de $109,8 \times 10^3 \text{ lx}$, numa superfície perpendicular aos raios luminosos:

$$\Phi_x = \frac{\Phi_1}{10^{0,4(m_x - 1)}} = \frac{0,832 \times 10^{-6}}{10^{0,4(-26,8 - 1)}} = \frac{0,832 \times 10^{-6}}{2,512^{-27,8}}, \text{ obtendo-se } \Phi_x = 109\,816 \text{ lx} = 109,8 \times 10^3 \text{ lx}$$

Este resultado é conforme aos valores estabelecidos, da ordem de 100 klx (100 quilolux). A indicação "em média" tem em conta a distância variável entre o Sol e a Terra, ao longo do ano. A título de comparação, uma lâmpada de incandescência *standard* de 75 W, que emite um fluxo luminoso total de 930 lm (segundo o fabricante) produz, a 10 m de distância, uma iluminação de 0,74 lx (numa superfície perpendicular aos raios luminosos). A 1 m de distância a iluminação produzida será 74 lx. A Lua-cheia ($m_L = -12,7$) produz, *em média* 0,251 lx. Vénus, no seu máximo brilho ($m_V = -4,6$), capaz de produzir sombras visíveis num local de céu límpido e muito escuro, produz uma iluminação de 0,0001446 lx; o facto de se conseguir ver sombras de pessoas e objectos, "à luz de Vénus" mostra a extraordinária sensibilidade do olho humano quando adaptado à obscuridade.

4. Efeito da atmosfera terrestre, do ponto de vista da transmissão da luz

Os cálculos anteriores referem-se a iluminações (fluxos luminosos recebidos por unidade de área) *acima* da atmosfera terrestre. Como o factor de transmissão da atmosfera é necessariamente inferior a 100%, alguma radiação vai ser absorvida até à superfície terrestre. Ao nível do mar, em condições óptimas de transparência, e *para um astro no zénite*, o factor de transmissão de luz da atmosfera terrestre (para $\lambda = 550 \text{ nm}$) é cerca de 0,78. Deste modo (por exemplo), uma estrela de magnitude zero produz no topo da atmosfera a iluminação $E_0 = 0,209 \times 10^{-5} \text{ lx}$ (tabela 1) e iluminará a superfície da Terra com $E'_0 = 0,78 E_0 = 0,163 \times 10^{-5} \text{ lx}$. Ou, se assim

quisermos considerar, a atmosfera terrestre produz uma *extinção* de 0,27 magnitude, em média, *na direcção zenital*. O limite exterior da atmosfera não é vincado, pois esta esbate-se gradualmente. Por isso, a medida da espessura H da atmosfera depende do *critério* usado para definir esse limite. Para efeitos da absorção da luz visível utiliza-se em geral um valor H da ordem dos 8,5 km, como aqui faremos. Tal espessura de ar contém a parte mais densa da nossa atmosfera e cerca de 65% da massa atmosférica. Se a atmosfera terrestre fosse homogénea, toda a sua massa estaria contida numa espessura de cerca de 8,5 km (8,45 km a 15 °C).

De uma forma geral, a luz que nos chega de um astro entra obliquamente na nossa atmosfera e percorre, através dela, uma distância $d > H$. Só no caso de o astro se encontrar no zénite é que será $d=H$ (valor mínimo de d). Para astros a alturas sucessivamente menores, o comprimento do trajecto dos raios luminosos através da atmosfera é cada vez mais longo (Fig. 1). Dá-se o nome de *massa de ar*, T , para um astro a uma altura h , ao quociente da distância d percorrida pela luz desse astro, ao atravessar a atmosfera terrestre *nessa direcção*, pela distância que a mesma luz percorreria se a travessia fosse a mais curta possível: $T=d/H$. Numa primeira aproximação, na vizinhança do observador, situado no ponto O (Fig. 2), pode-se desprezar a curvatura da Terra, considerando-a plana: é a chamada *aproximação da atmosfera plano-paralela*. É habitual calcular a massa de ar em função da *distância zenital* (z) do astro observado, que é o complemento da sua altura (h), ou seja, $z=90^\circ-h$. Por exemplo, na Fig.2, a massa de ar para um astro na direcção B será a distância de B a O , dividida por H . Ou seja, neste caso,

$$T = \frac{\overline{BO}}{H} \Leftrightarrow T_{50^\circ} = \frac{d_{50^\circ}}{H} = \frac{1}{\cos 50^\circ} = 1,56 \quad (\text{a distância zenital para } 40^\circ \text{ de altura é } 50^\circ).$$

A aproximação simplificadora da Fig. 2 dá resultados satisfatórios para o cálculo de T apenas no caso de alturas não inferiores a 15° (distâncias zenitais não superiores a 75°). Fora destes limites tal determinação é mais complexa e está pendente de factores imponderáveis sobretudo para h inferior a 5° (por exemplo poeiras em suspensão). A Fig.1 mostra o mesmo efeito, com a curvatura da Terra incluída, mas a espessura da atmosfera foi muito exagerada, para maior clareza, o que mascara o aumento substancial de T no domínio das pequenas alturas. Para alturas inferiores a 30°, a massa de ar cresce cada vez mais rapidamente, à medida que h se aproxima de 0° (tabela 2). Num próximo artigo abordaremos esse cálculo de uma forma mais geral.

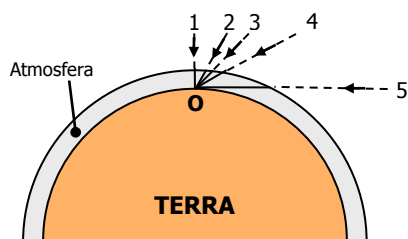


Fig.1. O comprimento do trajecto da luz através da atmosfera terrestre é cada vez mais longo à medida que a altura do astro diminui. Guilherme de Almeida (2010).

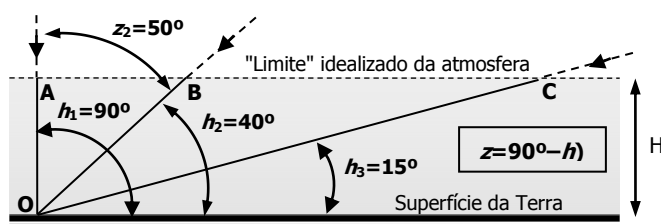


Fig.2. Cálculo da massa de ar pela "aproximação plano-paralela". Exemplifica-se para três alturas diferentes. O observador encontra-se no ponto O . Guilherme de Almeida (2010).

Em consequência da absorção de luz pela atmosfera terrestre, o brilho aparente de uma dada estrela é máximo no zénite, com $T=1,0$ (se ela o atingir, vista do local de observação), e diminui (parece mostrar maior magnitude) à medida que a estrela se aproxima do horizonte. Este fenómeno, denominada *extinção*, cresce com a massa de ar. É claro que a extinção também depende da altitude do lugar de observação e da transparência do ar. A tabela seguinte concretiza vários exemplos para uma atmosfera limpa e ao nível do mar.

Tabela 2. ALTURAS, DISTÂNCIAS ZENITAIS, MASSAS DE AR E EXTINÇÕES

Altura do astro (h)	Distância zenital do astro $z=90^\circ-h$	Massa de ar $T=d/H$	Extinção em magnitudes	Altura do astro (h)	Distância zenital do astro $z=90^\circ-h$	Massa de ar $T=d/H$	Extinção em magnitudes
90°	0°	1,00	0,27	30°	60°	2,0	0,54
75°	15°	1,04	0,28	15°	75°	3,9	1,05
60°	30°	1,20	0,32	5°	85°	11,5	3,11
45°	45°	1,40	0,38	0°	90°	≈39**	≈10,5

Exemplo: uma estrela de magnitude aparente 3 (no zénite) aparecerá, a 30° de altura, com brilho comparável ao de uma estrela de mag. aparente $3+0,54=3,54$. Se a magnitude limite for 5,5 no zénite, será (com $h=15^\circ$), de $5,5-(3,9 \times 0,27)=4,4$.

** Média entre os resultados dos modelos de Rozenberg (1966) e de Kasten e Young (1989).

Referências

- [1] Almeida, G. e Ré, P.— *Observar o Céu Profundo*, 2.^a ed., Plátano Editora, Lisboa, 2003.
- [2] Almeida, G.— *Telescópios*, Plátano Editora, Lisboa, 2004).
- [3] Almeida, G.— *Sistema Internacional de Unidades (SI); Grandezas e Unidades Físicas, Terminologia, Símbolos e Recomendações*, 3.^a edição, Plátano Editora, Lisboa, 2002 (Livro recomendado pela Sociedade Portuguesa de Física).
- [4] Sidgwick, John. B.— *Amateur Astronomer's Handbook*, 3rd edition, Dover Publications Inc., New York, 1980.

A MAGNITUDE APARENTE DO SOL, VISTO DE OUTROS CÉUS*

Guilherme de Almeida
g.almeida@vizzavi.pt



O nosso Sol, visto de outros lugares do Universo, apresentará, como se sabe, menor diâmetro aparente e menos brilho à medida que nos afastamos dele. Qual será a sua magnitude visual aparente nessas condições? Para este artigo calculei, caso a caso, a magnitude visual aparente do Sol, visto de vários pontos do Universo: primeiro do Sistema Solar (acima da atmosfera de cada planeta) e depois mais além, obtendo-se a tabela seguinte.

Magnitude visual aparente (m) do Sol, observado a diferentes distâncias

O Sol visto de... apareceria com a magnitude...	O Sol visto de... apareceria com a magnitude...
Mercúrio (0,39 u.a.)-28,8	Um ano-luz (1 a.l.=63 239 u.a.)-2,8
Vénus (0,72 u.a.)-27,4	5 a.l. +0,7
Terra (1 u.a.)-26,8	10 a.l. +2,2
Marte (1,52 u.a.)-25,8	100 a.l. +7,2
Júpiter (5,20 u.a.)-23,2	1000 a.l. +12,2
Saturno (9,54 u.a.)-21,9	10 000 a.l. +17,2
Úrano (19,18 u.a.)-20,4	100 000 a.l. +22,2
Neptuno (30,06-19,4	1 000 000 a.l. +27,2
Plutão (39,4 u.a.)-18,8	10 000 000 a.l. +32,2

O fundamento e a demonstração destes cálculos são relativamente simples: pela equação de Pogson,

$$0,4(m_1 - m_2) = \log_{10} \left(\frac{E_2}{E_1} \right); \text{ e pela lei de Kepler da fotometria, } \frac{E_2}{E_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2}, \text{ onde } m_1 \text{ e } m_2 \text{ são as}$$

magnitudes visuais aparentes do mesmo astro (por exemplo o Sol), vistas às distâncias r_1 e r_2 , produzindo fluxos luminosos por unidade de área (iluminações) E_1 e E_2 . Substituindo a segunda equação na primeira, obtemos:

$$0,4(m_1 - m_2) = \log_{10} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \text{ e consequentemente, } m_1 - m_2 = 5 \log_{10} \left(\frac{r_1}{r_2} \right), \text{ expressão pronta a usar.}$$

Para o Sistema Solar pode usar-se a unidade astronómica (u.a.) na comparação de distâncias (índice 2 para a Terra e índice 1 para o planeta pretendido). Para distâncias maiores pode usar-se o ano-luz (a.l.), sabendo que 1 a.l.=63 239 UA. O leitor pode aceder a mais pormenores nos "Temas de Desenvolvimento" (TD) do nosso livro *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas* [1]. O diâmetro aparente do Sol é inversamente proporcional à distância a que dele nos encontramos. Visto da Terra (com filtro apropriado) o seu diâmetro aparente *médio* é 32,15'; visto, por exemplo, de Neptuno será apenas 32,15'/19,04=1,69'.

Um aumento de brilho da magnitude m para a magnitude $m-1$, por exemplo de -25,8 para -26,8, significa exactamente 2,512 vezes mais brilho, um aumento para mais do dobro. O número exacto é, por definição, 2,512, ou seja, $100^{(1/5)} = 100^{0,2}$. Este valor tem a sua história (veja-se o artigo anterior sobre a vida e obra de Norman Pogson) e é consequência do seguinte facto: um aumento de 5 magnitudes, por exemplo de $m=1$ para $m=-6$ determina uma *redução* de fluxo luminoso (por unidade de área) de 100 vezes. Em consequência da Lei de Kepler da fotometria, uma redução de fluxo luminoso (por unidade de área) de 100 vezes, verifica-se quando o mesmo astro é observado de uma distância 10 vezes superior. Note-se que os valores indicados da magnitude aparente solar a mais de 1000 a.l. pressupõem que não haja absorção da luz por matéria interestelar entre o Sol e o observador. Se existir tal absorção, as magnitudes aparentes serão um pouco maiores (menos brilho).

Espero que estes resultados dêem uma visão mais ampla do aspecto que o nosso Sol apresenta, quando visto de diferentes distâncias. Isto poderá, também, satisfazer a curiosidade natural de muitos leitores.

Referências

- [1] Ferreira, M. e Almeida, G.—*Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*, 7.ª ed., Plátano Editora, Lisboa, 2004.
[2] Sidgwick, John. B.—*Amateur Astronomer's Handbook*, 3rd edition, Dover Publications Inc., New York, 1980.

* Este é o terceiro de uma série de cinco artigos dedicados à magnitude estelar e às suas implicações.

COMO MODIFICAR UM PST*

ALCÁRIA REGO
alcaria.rego@sapo.pt



Introdução

Até há poucos anos atrás, os telescópios "dedicados" para observação solar, eram equipamentos considerados caros, porque a observação solar não estava ainda muito difundida entre os amadores.

Havia o receio (justificado) dos perigos que tal observação envolve, e recordo perfeitamente que quando eu comecei a dedicar-me à observação solar, até o nosso saudoso colega, Joaquim Garcia, (e não só) tinha medo de "encostar o olho" à ocular instalada no meu primeiro protótipo solar, um telescópio newtoniano, de 150mm não aluminizado. Claro que antes de o convidar a espreitar, espreitei eu, ajustei o foco e garanti-lhe que "não havia problema", pois o conjunto compunha-se de: Espelho primário não aluminizado, espelho secundário não aluminizado e um duplo Herschel constituído por dois prismas de 90°, instalados de forma que só eram utilizados para reflexão os lados denominados de "hipotenusa", pelo lado exterior. O conjunto era completado com um filtro neutro que permitia (finalmente) observar o Sol sem perigo nem desconforto. Este equipamento, além do muito prazer que me deu, teve ainda o mérito de motivar muitos amigos a gostar da observação Solar, pois foi utilizado em várias Astrofestas, e acredito alguns amigos e colegas que leiam estas linhas terão, eventualmente, espreitado por ele.

Tudo leva a crer que neste mesmo período, pelo Mundo fora, mais "adoradores do Sol", como eu, mostravam o Sol a mais pessoas, pelo que, em poucos anos, houve um aumento exponencial de observadores solares. O aumento de observadores (potenciais clientes) levou ao aparecimento de novos telescópios "dedicados" a preços mais acessíveis, o que fez aumentar os interessados e por sua vez, o interesse dos fabricantes destes telescópios. Foi neste contexto que surgiu o "famigerado" PST, a um preço muito acessível.

A génese da ideia

O facto (desculpem o "c", mas detesto o novo acordo ortográfico) de estes equipamentos terem os filtros cá trás, e á frente terem apenas a objectiva, deu-me de imediato a ideia de "trocar de objectiva".

Nesses tempos, eu não sabia, mas esta mesma ideia surgiu a várias outras pessoas pelo Mundo fora, e parece que, quase em simultâneo. Foi muito interessante!... Depois da minha primeira modificação, e graças à Internet, consegui ter acesso e trocar ideias com colegas de outros países e ter conhecimento de outras modificações, mais ou menos elaboradas e perfeitas e também mais ou menos dispendiosas. Neste trabalho vou abordar apenas a "minha" modificação que me parece a mais simples, menos "invasiva" e menos dispendiosa, e ao alcance, julgo, da maioria, mantendo apesar disso uma qualidade aceitável, que poderá ser verificada nas minhas imagens, na minha página web: www.astrosurf.com/regu

O maior "culpado" de eu não conseguir (de momento) melhores imagens, é o *seeing* dos locais que por norma posso utilizar, mas as coisas ainda podem melhorar, também nesse pormenor. Para efectuar a modificação, foi preciso analisar o melhor possível a objectiva a trocar. Para se conseguir melhorar o equipamento, era preciso uma objectiva de maior diâmetro (aumento da resolução) e maior focal (também melhor resolução, no foco primário). Mas como se trata de um equipamento "dedicado", também este elemento não é "normal", sendo fácil de constatar que foram aplicados "coatings" especiais, para otimizar a transmissão do espectro visível na zona H-Alfa.

Ao aumentarmos o diâmetro, também aumentamos a energia calorífica que entra dentro do tubo óptico e a primeira preocupação tem de ser "minimizar" isso, e não só, como veremos. Na minha modificação eu utilizo dois filtros: um UV/IR cut e outro de banda estreita (50 nm) em H-Alfa. O primeiro limita a energia calorífica (e corta os ultravioletas, como convém) e o segundo permite apenas a passagem do espectro visível na zona H-Alfa. Ora bem, esta opção deveu-se também ao facto de eu já ter em casa o filtro H-Alfa tendo apenas de comprar o filtro de corte UV/IR. Para quem tenha de

comprar os dois, penso que convirá ponderar a hipótese de comprar apenas um filtro, que neste caso seria um filtro frontal, um verdadeiro filtro ERF da BAADER, por exemplo.

Aproveito para me colocar á disposição para uma análise "caso a caso" de qualquer amigo que queira empreender esta modificação, e para isso usem o email que está no início deste artigo.

O projecto

Vamos agora analisar tudo o que é necessário para o trabalho. Vamos precisar de um outro tubo óptico e nas minhas várias experiências, concluí que, na maioria das vezes, apenas posso utilizar a abertura de 60 mm, embora por vezes seja possível aproveitar os 90 mm. Já experimentei utilizar 115 mm de abertura e aí as coisas ainda são piores, mesmo em H-Alpha.

Digamos que para quem quer, prioritariamente, observar, eu diria que o mais aconselhável serão os 60 mm, sabendo que esta abertura também já permite razoável aquisição de imagem. Isto torna também mais económica a modificação. Para quem não tenha e queira comprar, eu aconselharia um tubo 60/600 (ou 60/700) mm, fácil de encontrar no mercado. Veremos seguidamente os diferentes passos do projecto.

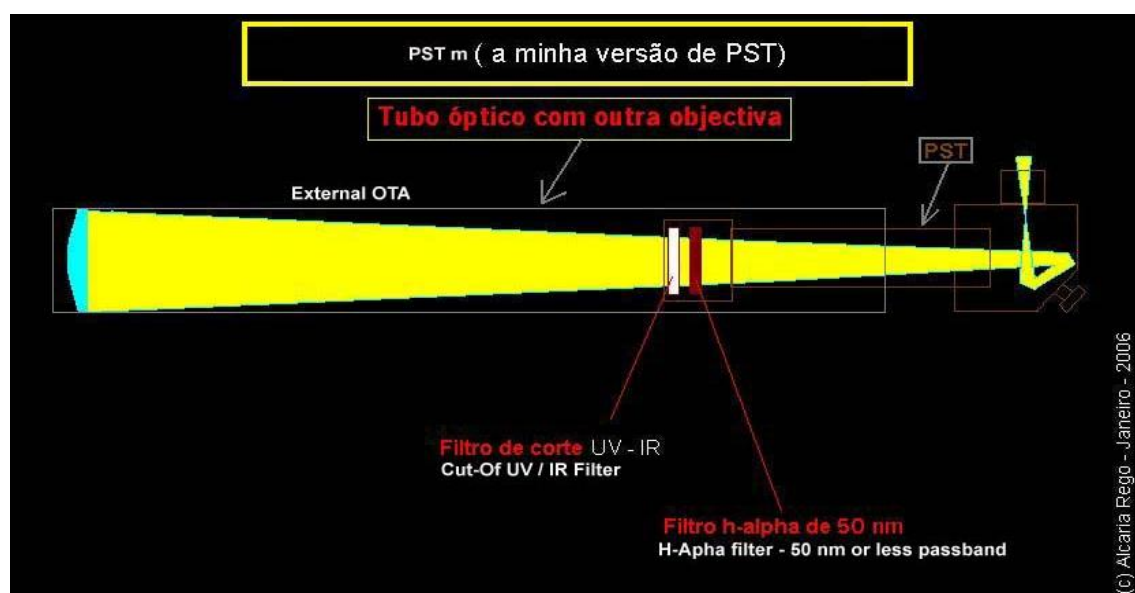


Fig. 1. Esta imagem tem legendas também em inglês, pois faz parte da minha página web. Diz-se que uma imagem vale por mil palavras e de facto só a imagem sem legendas acho que seria suficiente.



Fig. 2. Apresentação fotográfica de tudo o que é necessário para realizar o projecto

Mais uma vez, temos as legendas na imagem pelas razões acima explicadas. Nesta fase, temos à vista a objectiva original que foi desmontada, assim como os dois filtros que vão ser instalados no lugar da objectiva. Houve entretanto outra alteração: os três parafusos em *nylon*, deixaram de ser usados. Desde que os anéis sejam bem executados (justos), basta no final um pequeno parafuso que fixe o anel traseiro ao tubo e está tudo bem, ficando bem mais estético e sem problemas de segurança, dado que o PST, nunca poderá cair.



Fig. 3. As legendas na imagem explicam tudo. Refiro mais uma vez que os três parafusos em *nylon* deixaram de ser usados, como se poderá ver no último protótipo.



Fig. 4. Aqui podemos ver a montagem "pronta a usar", numa versão de "70/700 mm".



Fig. 5. Esta versão de "115/1200 mm" só em muito raros dias teve um seeing que permitisse a sua utilização.

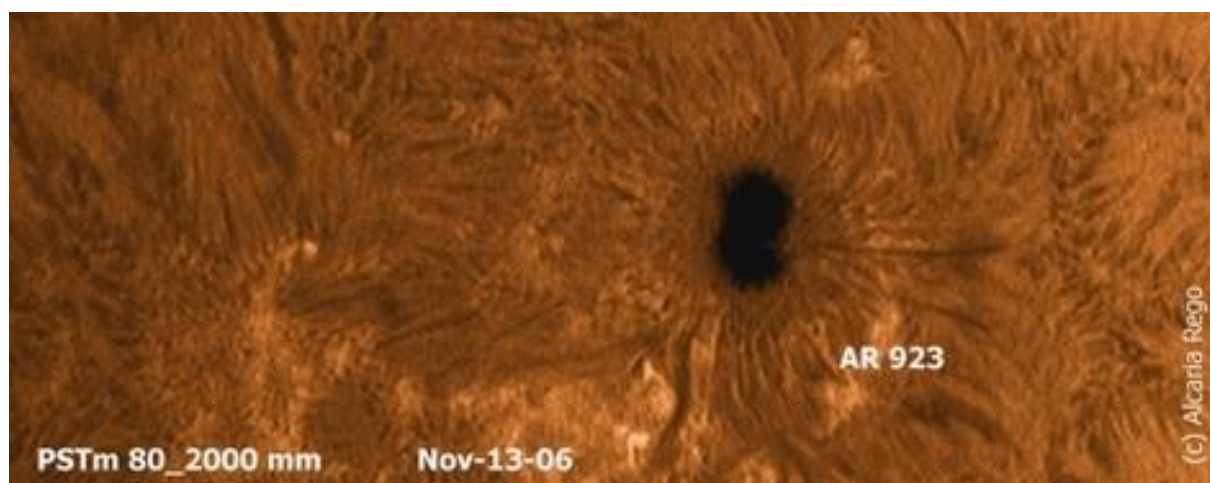


Fig. 6. Esta imagem foi obtida com o telescópio da versão seguinte, de 80/2000 mm (Fig. 7) que, curiosamente, utiliza a minha primeira objectiva "home-made" e foi com este instrumento que registei a minha melhor imagem de sempre, num dia de estabilidade fora do comum.



Fig. 7. Esta configuração tem apenas o inconveniente do longo comprimento do tubo, o que limita o seu uso aos dias de absoluta calmaria. Por outro lado, também obriga a que tudo seja de comando remoto, porque a estabilidade de qualquer montagem, com este comprimento de tubo (e diâmetro) deixa sempre a desejar (a nível amador, é evidente).

5. Última realização: o tubo aberto

Depois de todas estas variantes, poderá perguntar-se, o porquê da última modificação, que iremos abordar para finalizar este trabalho. Como é natural, estamos sempre a tentar fazer coisas um pouco mais difíceis.

Assim, uma das minhas ambições é fazer imagem até cerca de uma hora de duração, não de uma longa exposição mas de uma sequência de imagens com intervalos de alguns segundos. Ora acontece que, na minha modificação "normal" em que o Sol entra "dentro" do tubo, uma duração destas irá criar um aquecimento interno nocivo à melhor qualidade de imagem.

Nesta situação em particular, a modificação ideal seria aquela que utilizasse um filtro ERF** frontal, deixando logo à partida todo o calor indesejado, cá fora. Mas como não é esse o meu caso, esta montagem em estrutura aberta (Fig. 8) resolve o problema, que não existe para uma utilização normal. É bem visível que o princípio é o mesmo, apenas o tubo óptico é substituído por um conjunto de 4 tubos de aço inox de 16 mm de diâmetro.

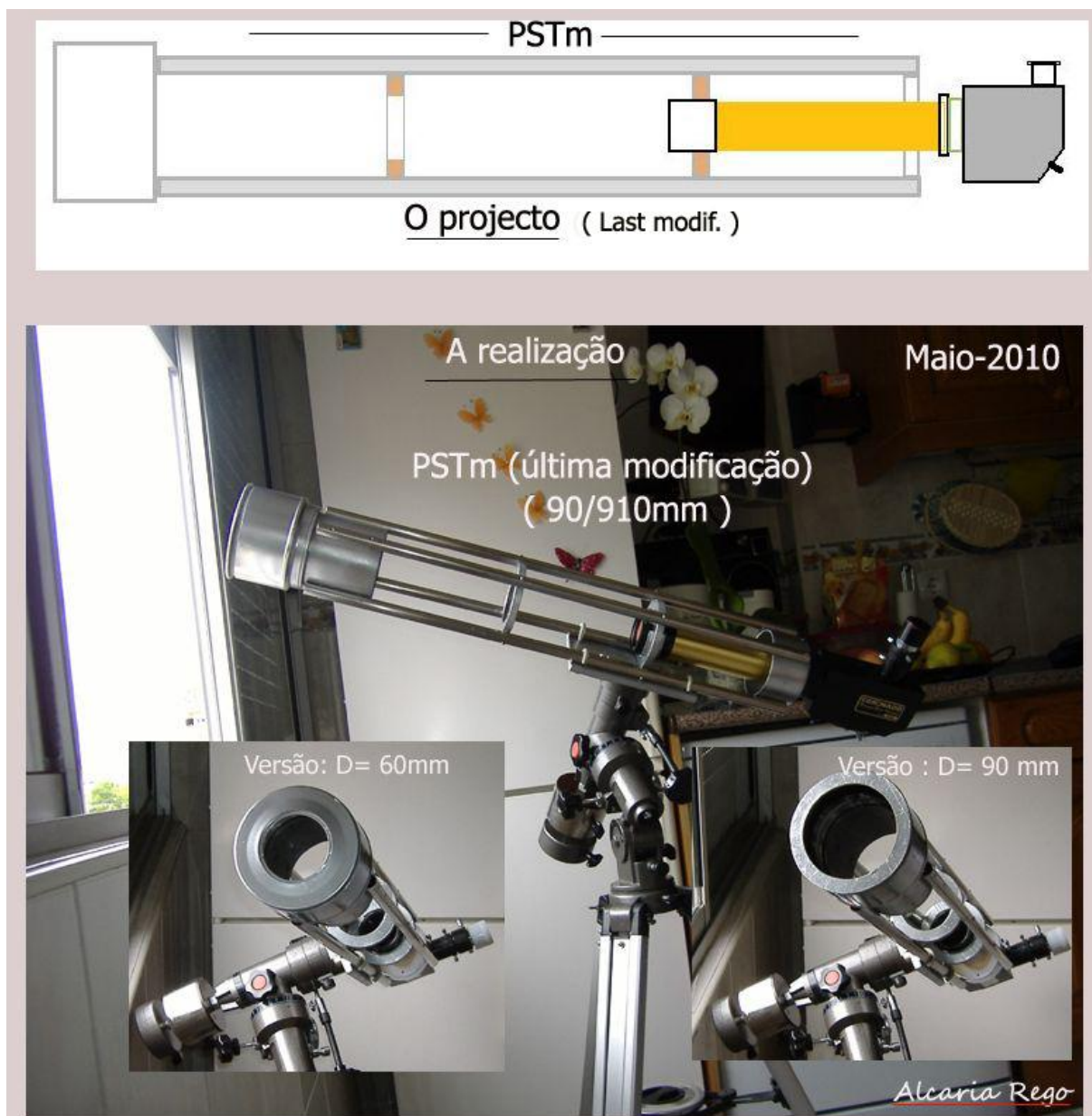


Fig. 8. Diferentes perspectivas da realização em tubo aberto, utilizando a objectiva de $D=90\text{ mm}$ e $f=910\text{ mm}$ ($f/10,1$).

Julgo não ter esquecido nada, mas reafirmo a minha total disponibilidade para apoio e orientação a quem queira otimizar o seu PST.

Bons céus para todos.

* Neste artigo o leitor encontrará algumas abreviaturas consagradas pela prática. "PST" é a abreviatura habitual do *Personal Solar Telescope*, da empresa norte-americana "Coronado". A abertura da versão original é apenas de 40 mm (Nota do Editor).

** ERF é a abreviatura de *Energy Rejection Filter* (Nota do Editor).

SISTEMA DE ARREFECIMENTO PARA CÂMARAS REFLEX

— O “*Frigocarreira*”

JOSÉ PEDRO CARREIRA MARTINS
martinsze@oniduo.pt

É um dado adquirido que as câmaras *reflex* digitais são hoje usadas em astrofotografia por muitos amadores que, por variadíssimas razões, não usam câmaras CCD, ou usam ambas. Para além de uma inferior sensibilidade, têm ainda o importante defeito de não serem refrigeradas.

Início do projecto

No princípio do Verão de 2010, lá em casa foi adquirida uma geleira portátil, com arrefecimento por efeito *Peltier*. Entretanto, apareceu na *Net* um amador que construiu um sistema de arrefecimento igualmente baseado numa geleira e ainda, um nosso colega e companheiro, bem conhecido, tendo visto o referido site, resolveu “meter mãos à obra”.

Estas coincidências, com poucos dias de intervalo, levaram-me a pensar em construir também, uma engenhoca dessas.

Ao contrário da ideia do tal amador e depois de várias trocas de impressões com outros “professores Pardais”, optei por uma solução diferente, não incluindo o “arrefecedor” propriamente dito, na caixa que envolve a câmara *Canon*.

Por um lado, a configuração da geleira não permitia ter o *Peltier* ligado à turbina, por outro lado, o risco de sobrecarga no focador (cerca de um total de 1,5 kg, segundo o nosso companheiro referido) e consequentes desequilíbrios, tornava vivamente desaconselhada aquela solução. Outro factor não menos relevante – a vibração, muito provável, proveniente da turbina.

Ora, na verdade, depois de ter inclusivamente, feito uma caixa para substituir a geleira com arrefecimento duplo por 2 elementos peltier, 4 dissipadores e outras tantas ventoinhas, conclui que não havia maneira de conjugar um tubo condutor do ar frio, suficientemente flexível para não exercer qualquer interferência no seguimento, com ar frio bastante para um arrefecimento que valesse a pena o incómodo provocado pelo sistema.

Assim, resolvi passar ao método usado pelos dois amadores apontados, IE o sistema ficar integrado na caixa da Canon.

No entanto e não satisfeito com o problema já referido, quanto ao peso, estudei, meti mãos à obra e acrescentei um apoio para o conjunto.

Depois de 2 ensaios com a Taka 102 e a WO 72, conclui que a primeira, dado o grande diâmetro, robustez e precisão mecânica do focador, podia com tudo e mais alguma coisa.

A WO já nem tanto e assim, saiu uma coisa que, grosso modo, é um prolongamento da “dovetail”, constituída por duas barras de alumínio de secção rectangular, ocas, uma perpendicular e a outra apoiada nesta, longitudinal, podendo deslocar-se para qualquer dos lados.

A caixa fica apoiada nessa barra, por varão roscado de 8mm, permitindo-lhe não só variar o comprimento, para diversas posições daquela, diferentes da horizontal, mas também a focagem.

Só por si, o reforço onde é seguro esse varão, dá outra consistência à caixa, contrariando a flexibilidade da folha de alumínio de que é basicamente construída.

Uma descrição compreensível deste dispositivo é quase tão difícil como foi inventá-lo e construí-lo, mas a figura 4, obtida num ângulo apropriado, julgo servir perfeitamente para se entender.

Para ser possível tirar todo o proveito do sistema, há que referir algumas...

Ideias fundamentais

Os primeiros passos e antes do sistema funcionar, são:

— Desligar a visualização no LCD após foto – provoca aquecimento.

— Não usar baterias, (mais aquecimento) mas sim um alimentador de corrente. Este alimentador, tem uma caixa de plástico igual à bateria que se introduz no seu lugar e um fio suficientemente comprido que o liga a um transformador/estabilizador para ligar ao sector.

— Programar a câmara para “sempre ligada”, e actuar no alimentador para desligar/ligar.

— Configurar em “M”, o que obriga a usar um programa de aquisição e de preferência a Interface da Shoestring que possa comandar, através do PC, a velocidade de obturação (p.expl. DSRLfocus, com algumas limitações, K3ccdtools, MaximDL e o que uso, **Nebulosity**). Assim é possível, com a câmara já fechada, alterar para as velocidades adequadas para flats e offsets e depois para os darks e as imagens.

Construção do sistema

A câmara, pouco maior do que a Canon, foi feita em folha de alumínio, completamente forrada a esferovite de 20mm e apenas a tampa é amovível para, obviamente, permitir a introdução da Canon.

A base é um rectângulo com um furo de 6 mm para o parafuso de ¼ " para a fixar à Canon pela rosca de tripé.

Na face anterior, foi aberto um círculo por onde é encaixada a objectiva ou o telescópio.

A face posterior tem uma grande abertura por onde entra o dissipador interior e uma pequena ventoinha para convexão do ar frio.

As faces laterais têm uma boa parte central aberta, para passagem dos fios e diminuição do peso.

O interior foi “arrumado” da seguinte forma:

- A Canon fica deslocada um pouco para a esquerda, apenas com um pequeno intervalo para permitir as ligações dos cabos (2 para o Pc).

- O dispositivo arrefecedor foi deslocado para a direita, para dar espaço à movimentação do visor em ângulo, peça indispensável, que é recolhido por rotação para a horizontal, no lado esquerdo.

Na figura 1 pode ver-se a câmara de alumínio, antes de ser forrada. Na figura 2 o pormenor da ligação à rosca de tripé, reforçada com uma tira de alumínio de 2 mm.

Como já foi dito - e se vê na figura 2 - a câmara fica firmemente segura à Canon pela rosca de tripé, pelo furo feito na base, com reforço em barra de alumínio, onde passa uma peça usada em fotografia, que tem um macho passo Kodak (1/4") de um lado e uma fêmea no oposto.

Esta solução permite, com uma segunda peça (para lhe conferir altura suficiente) que o conjunto seja montado quando se usam objectivas sem colar de tripé.

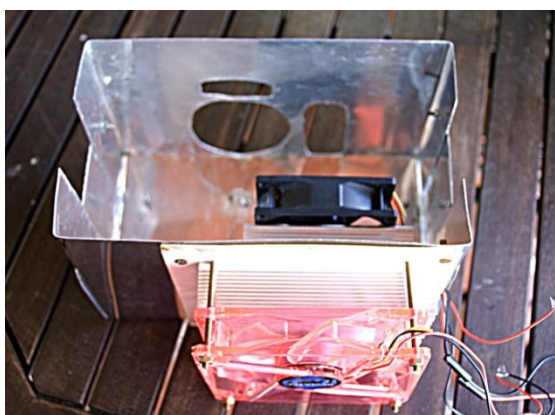


Figura 1



Figura 2

Funcionamento e procedimentos.

O sistema de arrefecimento é constituído por um dissipador exterior de média/grande dimensão e uma ventoinha de 12 x 12 cms para extrair o ar quente e um dissipador interior mais pequeno, com uma ventoinha de 8 x 8 cms virada para o interior, para fazer circular o ar frio.

Este “ar frio” é produzido por um elemento peltier de 4 x 4 cms de 136.8 W montado entre os dois dissipadores e ligado a estes com pasta térmica. Este conjunto também é visível na figura 1.

A alimentação está a cargo duma fonte estabilizada e regulável de 5 a 15 Volts e até 15 Ampéres. O elemento peltier trabalha a 12/13,5 volts e precisa de 6 Ampéres. Daqui se vê que não serviria um vulgar transformador.

A Canon é introduzida na câmara, com todos os cabos ligados - 2 para o pc, (sendo introduzido, pelo mesmo lado, mais um da sonda de temperatura) e um outro na face lateral direita, do alimentador de corrente da Canon - com o anel T já enroscado, e, repito, em M.

Como referido anteriormente, a utilização dum visor em ângulo torna-se imprescindível, visto que, para o alinhamento da objectiva ou do telescópio, pela luneta guia, é impossível aceder ao visor obstruído pela caixa que, como é óbvio, já tem de estar na sua posição. Ora, como o alinhamento da montagem pela estrela e busca do objecto, se têm de fazer pela luneta guia, os campos visíveis num e noutra, têm de coincidir exactamente, o que só se consegue com esse acessório.

Conclusão

Com este sistema é possível conseguir uma dupla melhoria, a saber:

1 - Diminuir a temperatura à volta da *Canon*, (e não directamente no sensor, como nas câmaras CCD), com consequente redução do ruído.

2 – Fazer o seu controlo pela leitura do termómetro, cuja sonda está dentro da câmara, bastando diminuir ou aumentar um pouco a voltagem, ou, mais drasticamente, ligar ou desligar o arrefecimento, para se obterem *darks* e imagens a temperaturas muito próximas.

Para terminar, aqui ficam as fotos do **Frigocarreira** numa situação “quase” real e as comprovativas da sua eficácia.

- Figura 3 – a câmara completa (sem tampa), com a Canon e o visor em ângulo na sua posição rebatida, com todos os cabos ligados.



Figura 3

Na figura 4 pode ver-se o apoio referido.

Na figura 5 uma simulação:

- A câmara está fechada e a arrefecer, com todos os cabos ligados.
- Está acoplada a uma luneta e...
- É visível, no solo do compartimento, a fonte de alimentação.

O ganho em redução de temperatura parece de certo modo "frustrante".

- Em cerca de 15 minutos a redução é de 5° mas é necessária quase uma hora para a redução ser de 6° e, a partir desse ponto o arrefecimento é demasiado lento.

- Na prática o resultado é bem mais aliciante. Por um lado, é fácil obter darks à mesma temperatura das imagens e fazê-los no dia seguinte, "em casa", o que representa uma grande comodidade. Por outro, a redução de 6° a ISO 400 (que uso habitualmente) traduz-se numa grande mais valia no que respeita ao ruído.

- As figuras 6 e 7 fazem prova do que afirmo, obtidas exactamente com a diferença de 6°.



Figura 4



Figura 5

Ter em atenção que, as imagens dos darks, para maior evidencia da diferença, foram intensificadas nos níveis do PH PS3 ao exagero. Os três cursores encostadas à esquerda (entrada a 25).

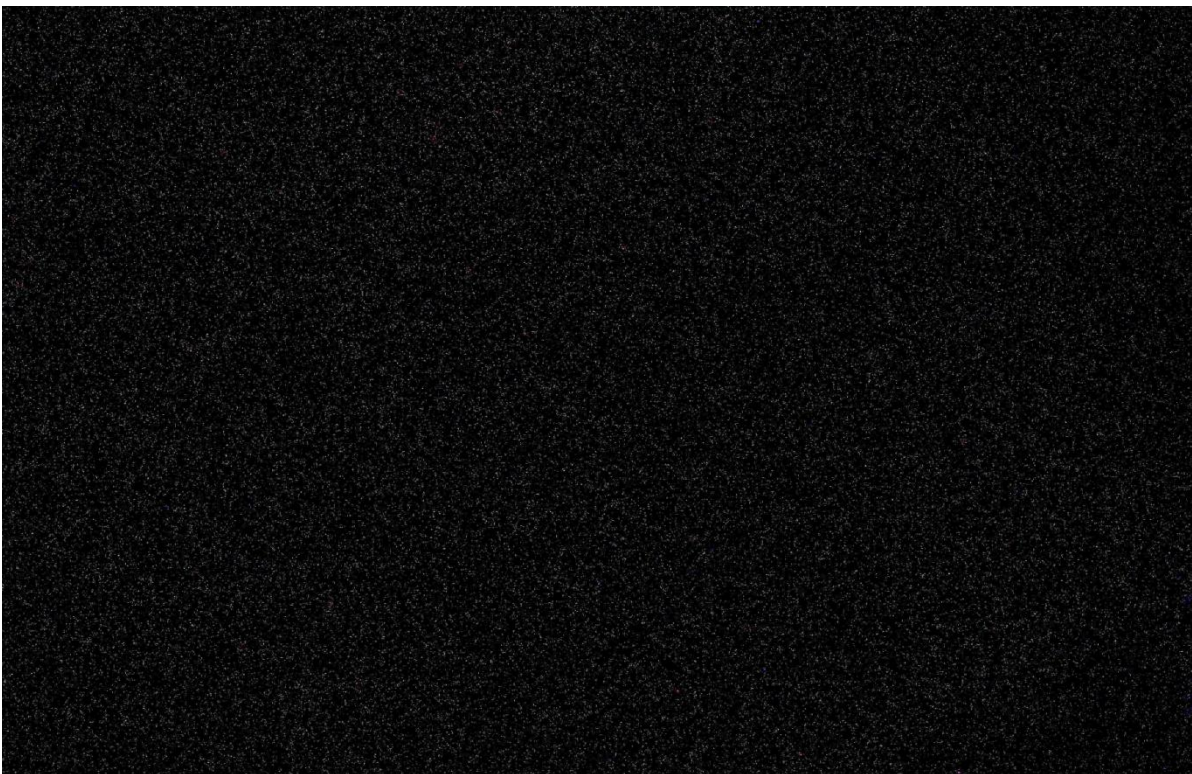


Figura 6 - dark à temperatura ambiente de 20.4° a 400 ISO e exp. de 10 min.

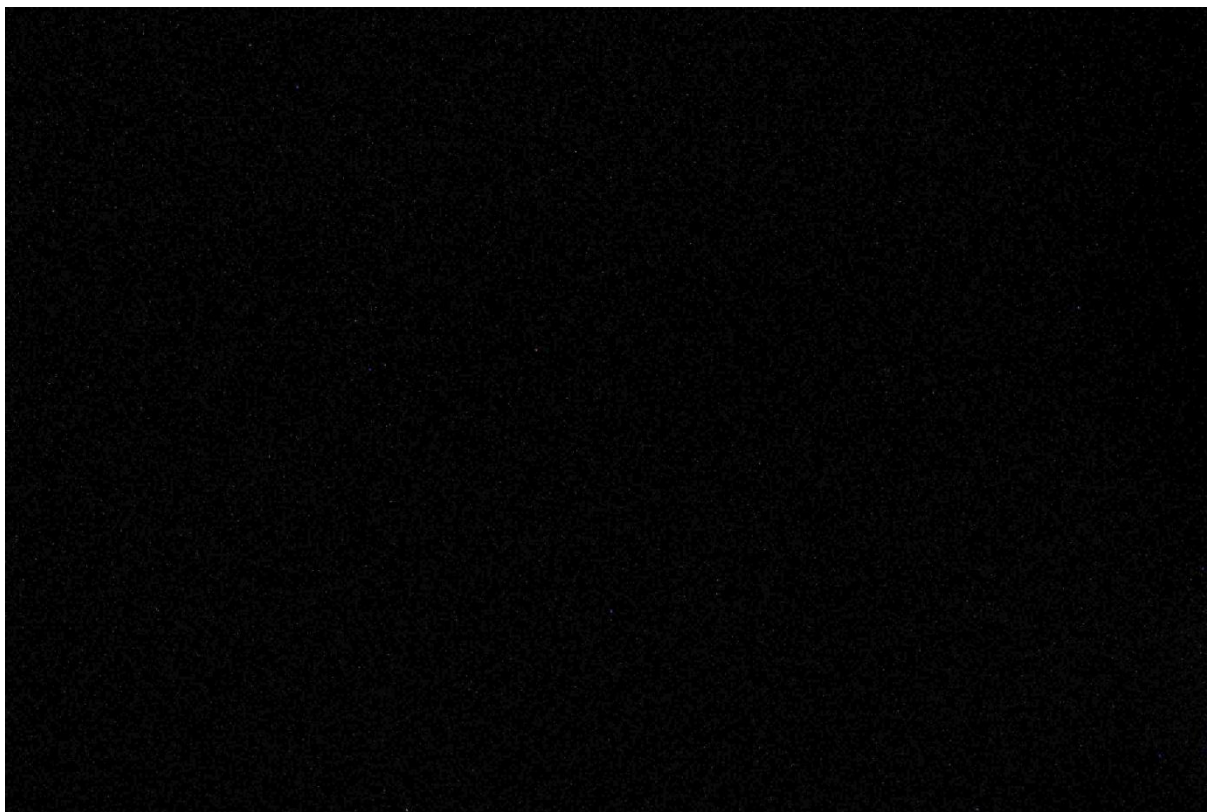


Figura 7 - dark à temperatura interior de 14.4º, mesma sensibilidade e mesma exposição.

Boas fotos com pouco ruído

Carreira Martins - 2011



CONSTRUÇÃO DE UMA CAIXA DE FLATS

Nuno Gameiro

nunoagameiro@hotmail.com

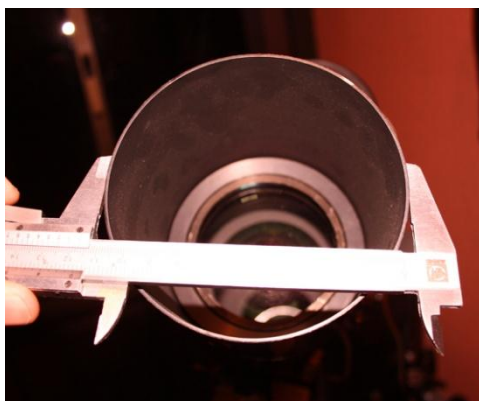
Vou tentar mostrar como construí uma caixa de FLATS para o meu ED80. O objectivo foi construí-la com materiais fáceis de encontrar, relativamente baratos, e acima de tudo leve para que seja de fácil transporte.

A estrutura da caixa é construída em papel-cartão. Usei placas com 5mm de espessura e de cor branca. Existem no mercado placas com outras cores, mas o branco reflecte melhor a luz.

Como difusor inicialmente usei uma folha de papel-vegetal das opacas. Entretanto descobri que apesar de funcionar bastante bem, apresenta alguns inconvenientes. Não se pode limpar, ganha humidade muito facilmente, e é difícil encontrar uma folha sem nenhuma marca ou defeito. Apesar de ser um pouco mais caro, eu agora uso placas de acrílico branco. Como nem tudo é perfeito, tem um senão; risca com alguma facilidade, e é preciso algum cuidado nesse aspecto.

Como fonte de luz, usei 4 LED's brancos de alto brilho de 3V, alimentada com uma fonte de 12V. Inicialmente a caixa tinha uma luz de intensidade fixa. Mais tarde, adicionei-lhe um potenciômetro podendo dessa forma regular a intensidade. Apesar de a construção de ser um pouco mais difícil, mostrou-se muito útil. Mais à frente, mostro como montar das duas formas.

Antes de começar, são precisas duas medidas importantes. O perímetro do tubo, tendo em conta qualquer parafuso ou outro acessório à entrada do mesmo, e quanto é que pretendemos que a caixa entre no tubo. Esta medida é importante, pois é a que define quanto vamos ter a suportar o peso da caixa.



No meu caso a medição do perímetro foi bastante facilitada pois o telescópio só tem 80mm, e pude usar um paquímetro. Em telescópios de aberturas superiores, este método pode não funcionar e a medição ser um pouco mais difícil.

Tenho então calculado um diâmetro de 115 mm, e como suporte para a caixa, vou dar 5 cm.

A seguir, há a decidir quanto é que vai ter de altura a área dos LED's. Não há necessidade de ser muito grande, mas também não pode ser muito pequena, pois corre-se o risco de não conseguirmos uma reflexão de luz minimamente eficaz. No meu caso, decidi que também vai ter 5 cm, o que, tendo em conta os 5mm de espessura do papel-cartão, fico com um comprimento total da caixa de cerca de 11 cm, o que me parece bastante aceitável para os objectivos iniciais.

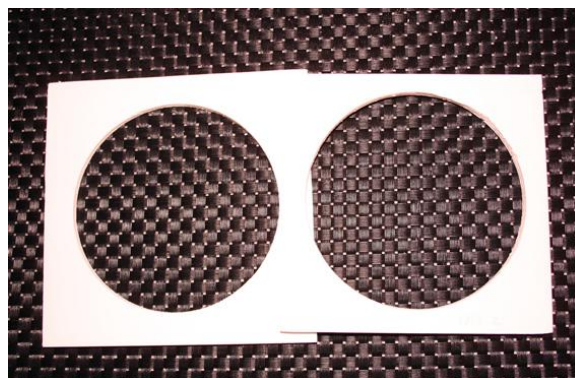
Por ultimo, e antes de iniciar a construção, só falta saber a largura e altura da caixa. Como tenho um perímetro do tubo de 115 mm, vou dar alguma margem para cada lado, e irá ficar com 15 cm.

E pronto, chegado este momento, é altura de dar início à construção da caixa.

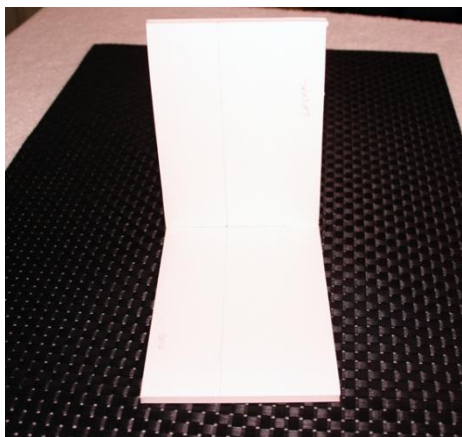
A primeira etapa é a marcação e corte do cartão nas medidas pretendidas. Para o corte, um x-acto funciona muito bem. Eu tive o cuidado de, à medida que ia cortando as placas, escrever a que peça na caixa pertencia. Na foto em baixo, estão as placas já cortadas.



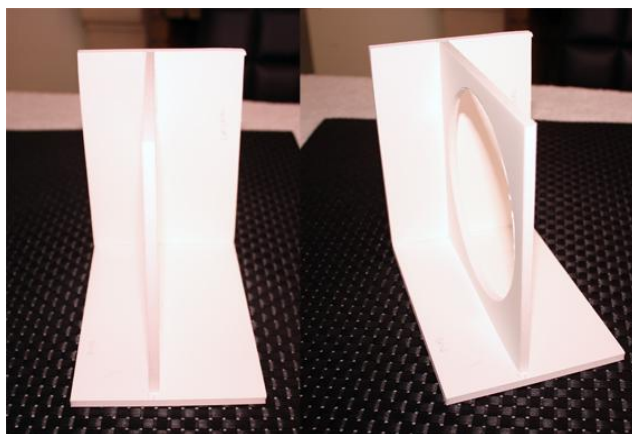
A seguir, fiz o corte de entrada do telescópio e do batente/suporte do difusor. Eu tenho um x-acto de corte circular que encontrei numa retrosaria o que me facilitou a tarefa e faz uns círculos perfeitos no cartão. Com alguma paciência, um x-acto normal também serve.



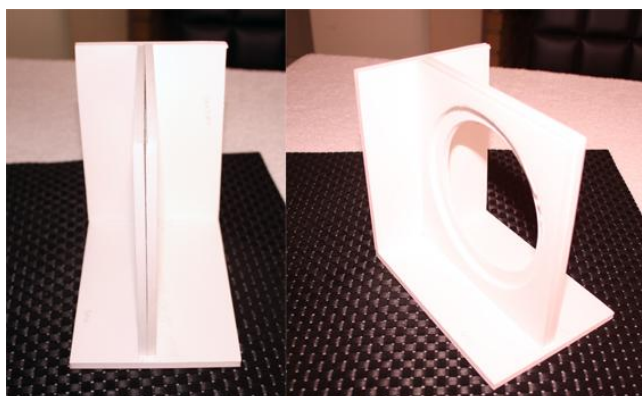
O passo seguinte foi o de colar as placas. Para a colagem usei cola quente. É muito eficaz e a aplicação bastante simples. A sequência seguinte, corresponde à ordem com que efectuei a colagem.



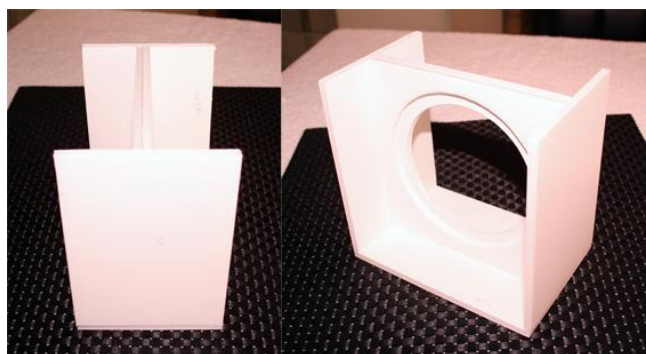
Primeiro colei uma das laterais à base. Para conseguir que a lateral fica-se o mais próximo possível dos 90°, encostei um esquadro entre as duas, e aguardei uns momentos para que a cola secasse



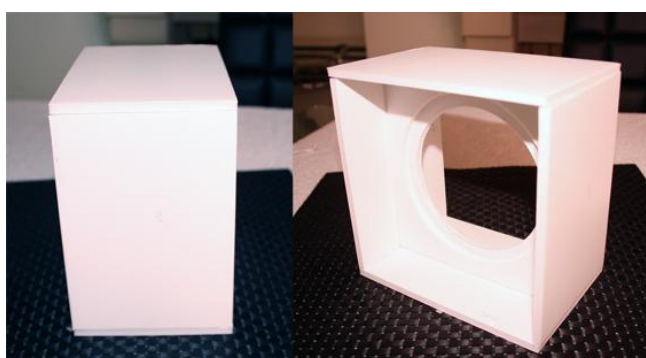
A seguir colei o segundo suporte do telescópio. É importante que não fique torto, pois se assim for o telescópio fica torto em relação à caixa, não se conseguindo uma luz uniforme em todo o campo.



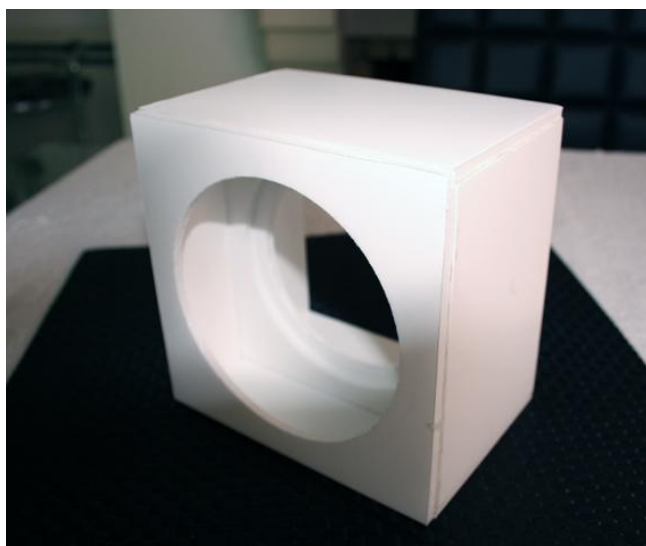
Depois o batente/suporte para o difusor. Como é evidente, este tem um círculo mais estreito que o do suporte para servir de batente, mas é muito importante que seja superior ao do tamanho da lente/espelho, ou o mesmo não irá receber a luz em toda a extensão do campo.



A segunda lateral. Começa a tomar alguma forma.



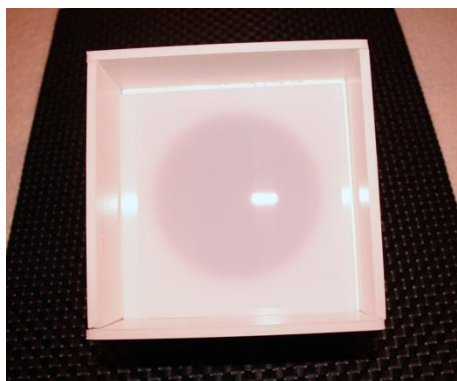
O topo. Finalmente! Já parece uma caixa!!!



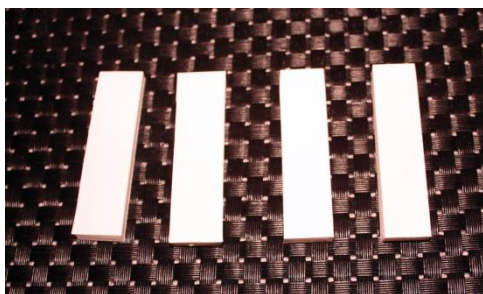
O primeiro suporte (frente da caixa). Esta é uma boa altura para ver como a caixa assenta no telescópio para ver se é preciso efectuar alguma alteração.

A seguir, cortei o difusor. O corte da folha de vegetal não custa nada, mas o acrílico é mais difícil. O ideal é usar o tico-tico, mas como não tenho um, aconselharam-me a cortar com uma serra de cortar metal fina, não esquecendo que o acrílico risca facilmente. Qualquer deslize era sinal que ia cortar outra placa. Um conselho; o acrílico ao cortar larga um pó próprio. Da primeira vez que cortei, para limpar passei a mão, o que deu mau resultado, pois fiquei com a placa riscada. Da segunda, já a meti debaixo da torneira, e depois de ter a certeza que já não tinha pó, limpei com papel de cozinha.

Com o papel vegetal, cole-o à caixa com fita isoladora de electricidade. Cola muito bem, e é resistente à humidade. Para o acrílico, usei novamente cola quente a toda a volta do difusor. A imagem da esquerda mostra o acrílico cortado e colocado no sítio, e a da direita, o mesmo já colado.



É importante que a luz não incida directamente no difusor. Para isso, cria-se uma espécie de "baffles". Desta forma, o difusor consegue uniformizar a luz. Quatro pequenos rectângulos, neste caso com 2 x 6 cm serviram perfeitamente o propósito. Para prender os LED's não foi preciso nada de especial. As próprias pernas dos mesmos serviram.



A etapa seguinte, foi a mais complicada. Eu e o ferro de soldar não temos uma relação propriamente de amizade, pelo que tudo o que meta soldar é sempre uma aventura. Para a união entre componentes, é necessário fio, preferencialmente com 0.5mm. São os cabos que encontramos, por exemplo, no interior dos cabos de telefone ou de rede.

Como alimentação, vou usar a mesma que o equipamento, ou seja, 12V, positivo interno.

Montagem com luz de intensidade fixa:

Esta é a forma mais simples, pois envolve muito menos componentes a soldar. São precisos apenas 4 LED's brancos de alto brilho de 3V, e uma resistência de 1 ohm. É importante saber a forma correcta de soldar. Neste caso, apenas precisamos de saber dos LED's; a resistência pode ser soldada em qualquer orientação.

Os LED's têm duas formas muito simples de distinguir o lado positivo do negativo. Normalmente têm uma das pernas mais curta (o lado negativo), e no vidro, muitas vezes têm uma aba saliente (positivo). O conector DC é um pouco mais complicado. Do tipo que usei, têm 3 ligações. Para a caixa só precisamos de 2 (o positivo e o negativo). O positivo é o que liga ao perno interior, o negativo à parede interna do conector. Eu para ter a certeza, liguei-o a um transformador e medi com um multímetro.



A forma de os ligar agora é bastante simples. Unem-se as pernas negativas dos LED's umas às outras, as positivas também umas às outras, liga-se um lado da resistência ao positivo do conector DC e o outro ao positivo do primeiro LED. O negativo do conector DV liga-se ao negativo do primeiro LED.



Montagem com luz variável:

A montagem desta forma é um pouco mais complicada, pois envolve mais componentes. Para além do conector DC e dos 4 LEDs, é também preciso um potenciômetro de 1K, um regulador de tensão 78L05, e um diodo 1N4004.

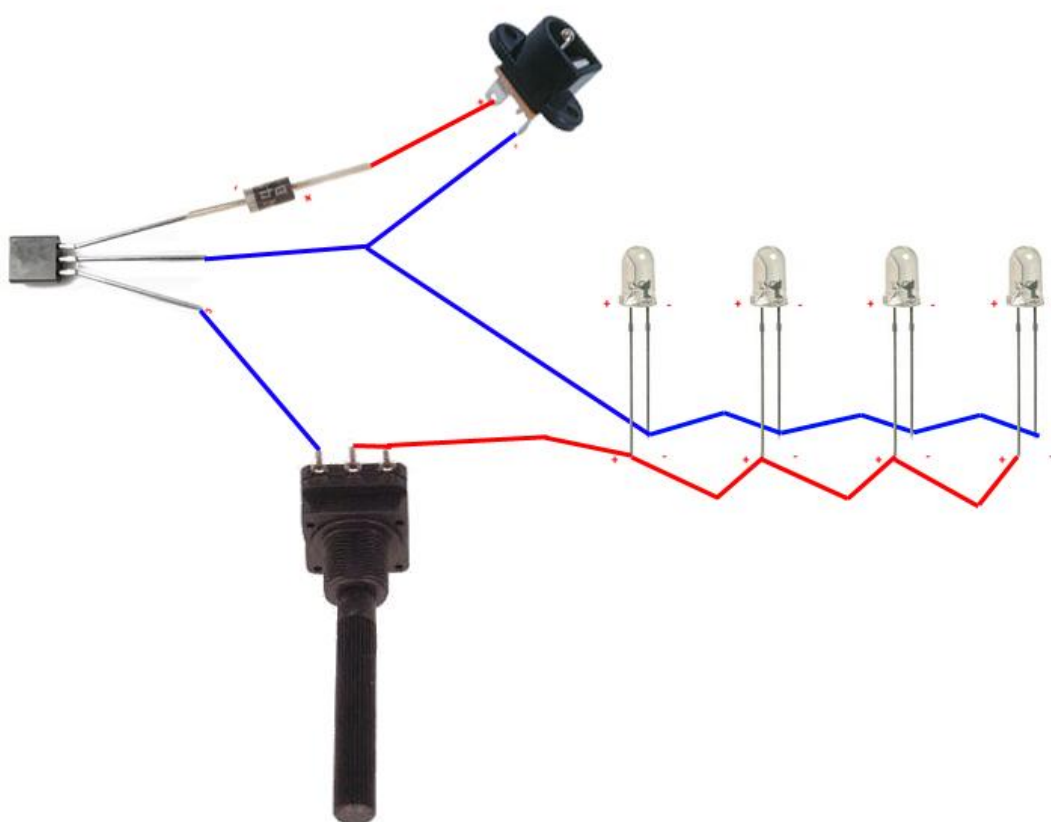


Mais uma vez, é necessário alguma atenção quanto à forma correcta de soldar os componentes.

Quanto ao potenciometro, existem vários modelos no mercado. Eu escolhi um totalmente em plástico uma vez que o peso é substancialmente menor.

Para a soldagem ser um pouco mais simples, afastei as pernas 3 e 1 do regulador.

Primeiro solda-se o lado negativo do diodo (reparem que tem uma marca no inicio do mesmo) ao perno 1 do regulador, e o positivo, ao positivo do conector DC. Depois, une-se um dos pernos de uma das pontas do potenciometro, ao perno central do mesmo. Não interessa qual, é indiferente. De seguida, o perno que não está ligado ao perno 3 do regulador, e os dois unidos ao positivo do primeiro LED. Por último, solda-se o negativo do primeiro LED e o negativo do conector DC ao perno 2 do regulador.

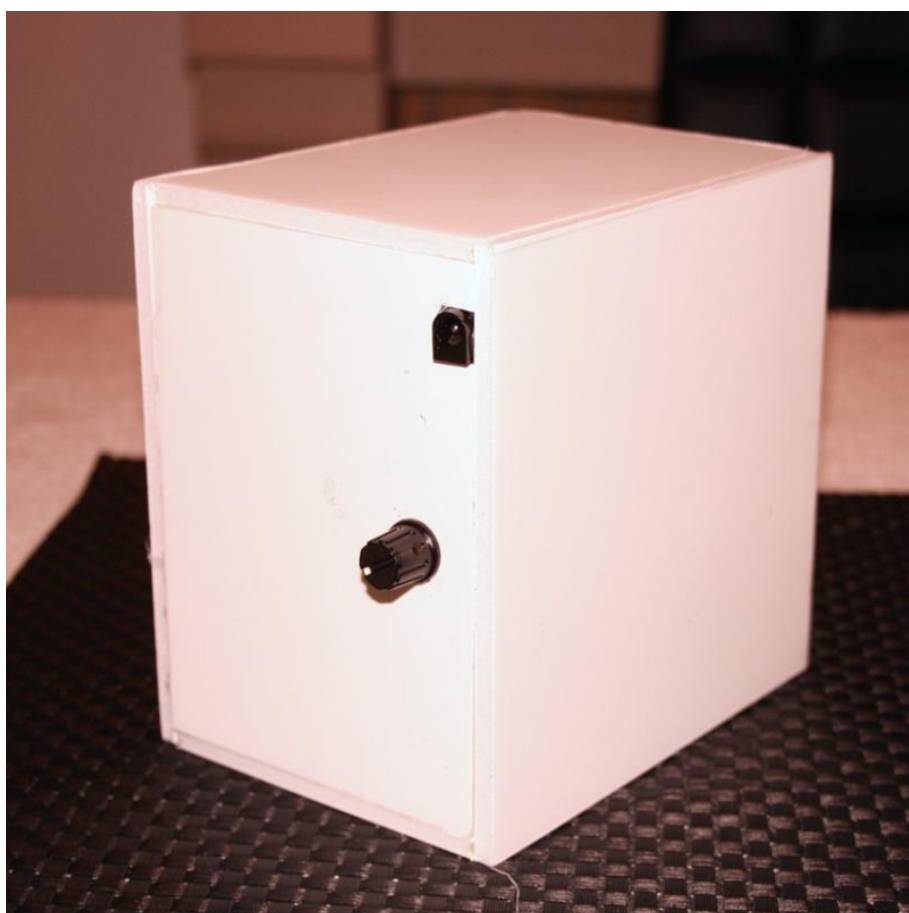


E pronto, escolhida a forma pretendida, soldados os componentes e efectuado um teste para ver se tudo funciona, há que colocar tudo no sítio. É preciso muita atenção para que não fique nenhum cabo sobre a zona de difusão. Entre fita isoladora e cola quente, usei de tudo para prender muito bem os componentes, e principalmente, os fios.

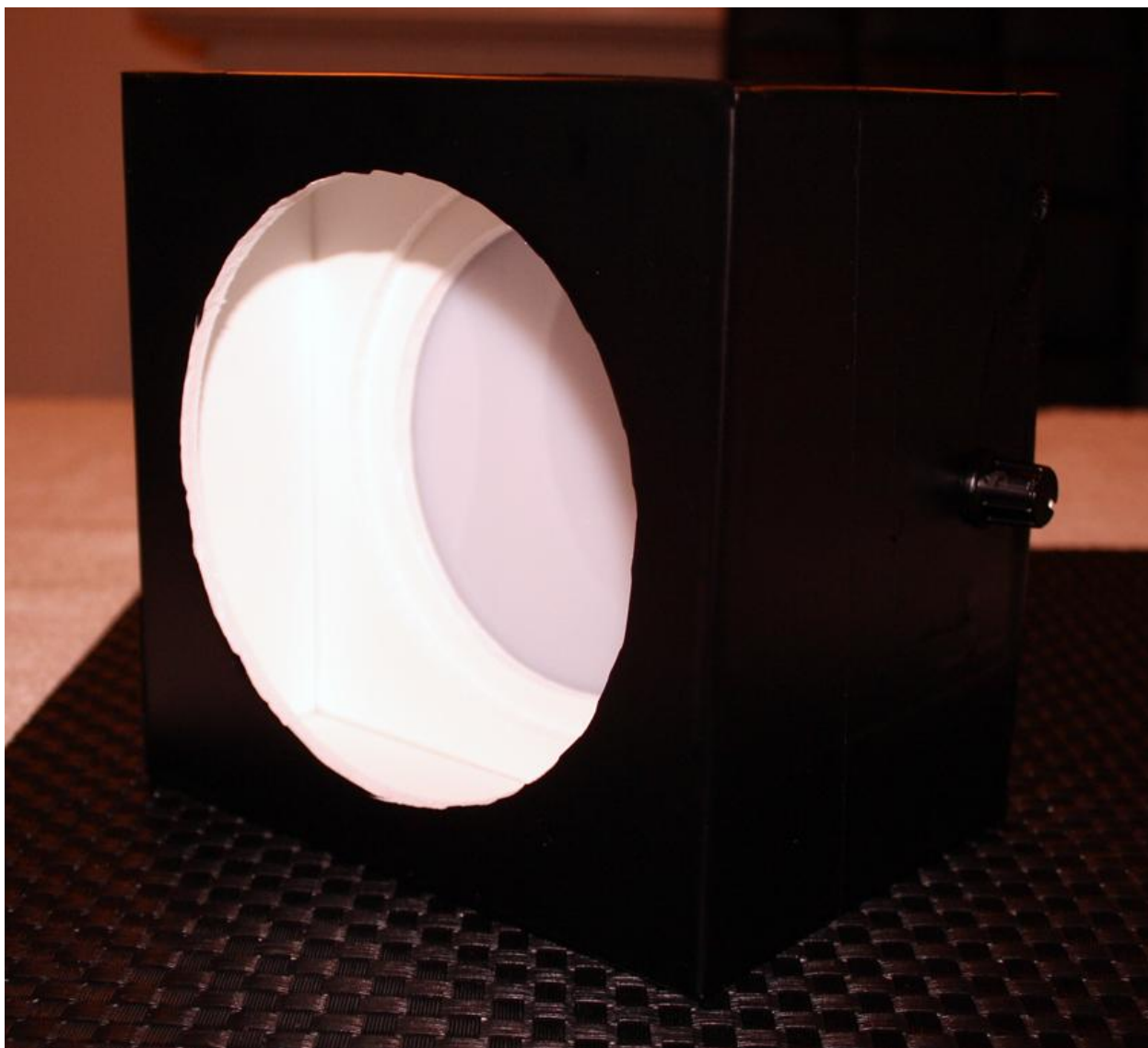
Com a ajuda do x-acto e de uma chave de parafusos abri as ranhuras para a entrada do conector DC e do potenciometro, tudo colado com, claro está, cola quente.



Para concluir, resta apenas colar a ultima placa de todas, importante, uma vez que vai servir como reflector.



Para efeito meramente estético, adicionei um botão ao potenciômetro.



Aqui está a caixa concluída. Para protecção de humidade, e por respeito aos restantes observadores, forrei-a com papel preto de plástico para forrar gavetas.

Espero que venha a ser útil, e qualquer falha ou erro, as minhas desculpas.

BUILDING LARGE TELESCOPES:

II- REFLECTORS

PEDRO RÉ

<http://astrosurf.com/re>

On the turn of the twentieth century the refractor was rapidly approaching its limits in terms of aperture. The main reason for this was the difficulty in manufacturing discs of crown and flint glass with diameters greater than 100 cm. Manufactures of plate-glass could however cast large disks of ordinary crown glass, of lower optical quality, that were suitable for mirrors. It was also known that the light losses in lenses of more than 100 cm would be much greater than those in mirrors of equal aperture, especially in the blue region of the electromagnetic spectrum where the highest sensitivity of the first photographic plates lay. Lenses with diameters of more than 1 m were also very difficult to mount and flexure was a major drawback. Mirrors were easy to mount, the focal ratios were smaller and there were no residual chromatic aberrations. Astrophysicists aimed at the largest possible aperture and perfect color correction. The reflector was the way to go. The lower focal ratio of the reflector meant shorter tubes, smaller domes and lower overall costs. Reflectors were, in spite of all, considered by the majority of astronomers around the turn of the century, as imprecise and difficult to use instruments. The mounts of the first big reflectors were imperfect and the mirrors sagged under their own weight. For this reason the reflector was being mainly used by amateur astronomers.

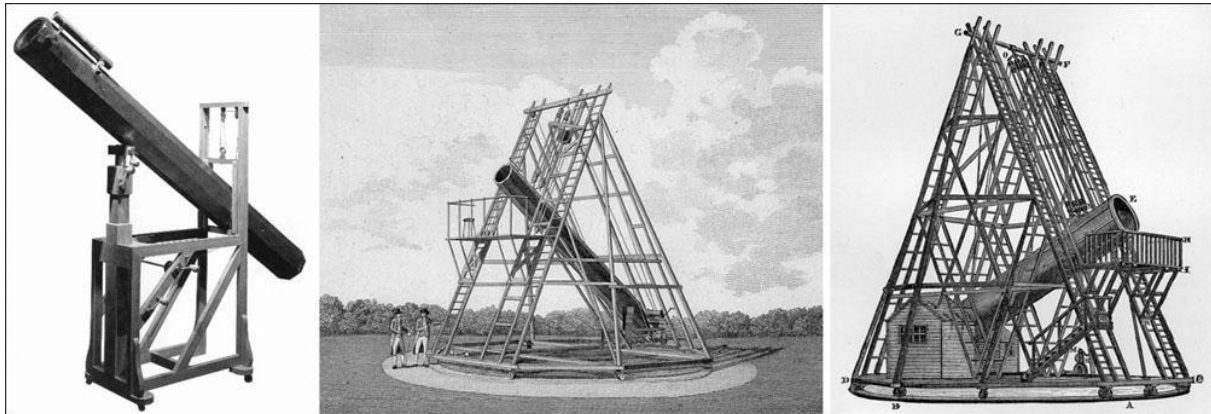


Figure 1- William Herschel's telescopes. From left to right: seven-foot reflector, twenty-foot reflector and forty-foot reflector.

First big reflecting telescopes

The first big reflectors were built by William Herschel (1738-1822). During the course of his career, Herschel constructed more than four hundred telescopes. The largest of these reflectors was the 40 ft. (12 m focal length) telescope. This telescope with a primary mirror with a diameter of 126 cm was very difficult to use and most of W. Herschel's observations were conducted with smaller instruments (15 and 48 cm apertures) (Figure 1).

Herschel cast his first solid speculum mirror in late October 1773. These consisted of a compound of copper, tin and antimony. Its surface was shaped and finally polished to a high gloss. Most of Herschel's telescopes were mounted in wooden tubes and alt-azimuth mounts (Figure 1). Herschel became the greatest telescope maker of the eighteenth century (between 1773 and 1795 he casted and polished 430 telescope mirrors). Herschel used no scientific approach to test his mirrors. The mirrors were tested on a distant object and then tried on the sky. In 1774, Herschel began his systematic survey of the heavens, observing and keeping a log book of all his observations (planets, double stars, cluster of stars and nebulae). On March 13, 1781, observed a "star" that he "perceived as larger than the rest". It had a perceptible disk with a sharp border. This object was no comet but a new planet (Uranus). According to Herschel logbook:

"It was a lucky accident that brought this star to my view (...) in the regular manner I examine every star of the heavens, not only of that magnitude but far inferior, it was that night its turn to be discovered (...) had business prevented me that evening, I must have found it the next".

In 1783, Herschel completed a twenty-foot reflector (48 cm aperture) that he used to sweep the heavens for the next three decades. This telescope was suspended within a rotating wooden frame operated by assistants that

raised or lowered the tube by hand. Herschel used no secondary mirror; instead he observed near the periphery of the tube opening, on a platform, fifteen-feet above the ground (Figure 2).

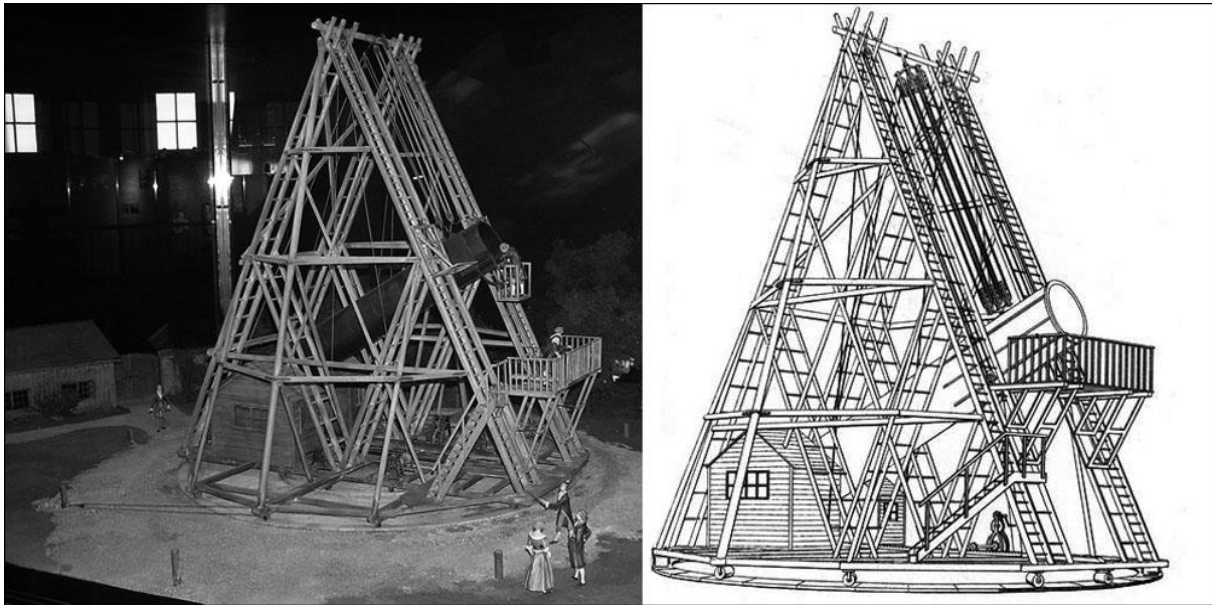


Figure 2- Herschel forty-foot reflector.

According to William Herschel sister (Caroline) astronomy was a dangerous business:

"I could give a pretty long list of accidents of which my brother as well as myself narrowly escaped of proving fatal; for observing with such large machineries, when all round in darkness, it is not unattended with danger". Caroline impaled her leg when she tripped over a metal hook hidden under a blanket of snow. On another night the entire mounting of the twenty-foot reflector collapsed moments after Herschel had climbed down from the observing platform.

In 1876, the Herschel moved to Slough in pursue of a drier climate and more space to mount their telescopes. The forty-foot telescope was completed in 1789. This big reflector never lived up to Herschel's expectations. The mirror required frequent repolishing and sagged under his own weight, giving imperfect images at the eyepiece. The preparation for an observing night took many hours. Taking this into account, Herschel used mainly the twenty-foot for most of his observing sessions. Herschel's telescopes were capable of looking deeper into space than any other telescope to date. With these instruments, Herschel collected an amazing number of discoveries that according to his son John Herschel (1792-1871) include: the discovery of Uranus and two of its satellites; the measurement of the rotation period of Saturn's rings; measurement of the height of lunar mountains; confirmation of the gaseous nature of the Sun; discovery of almost 1000 double stars and more than 2000 nebulae and star clusters; discovery of infrared light and the determination of the solar system movement thought space.

Herschel also used the twenty-foot for "star gauging". With this project he hoped to determine the shape of the local universe. Herschel counted (gauged) the number of stars in 3400 different star fields. He assumed that the fainter stars were farther from the Earth and was able to produce a three dimensional model of our Galaxy¹ (Figure 3).

During the first half of the nineteenth century several large reflectors were built by William Parsons (Third Earl of Parsonstown, Lord Rosse) (1800-1867), William Lassell (1799-1880), Thomas Grubb (1800-1868) e Howard Grubb (1844-1931) (Figure 4, 5, 6 and 7). These first big reflectors were also very difficult to use, its weight was enormous and tracking was deficient (see below).

¹ Star gauging was performed under the wrong assumption that all stars are identical in their light output.

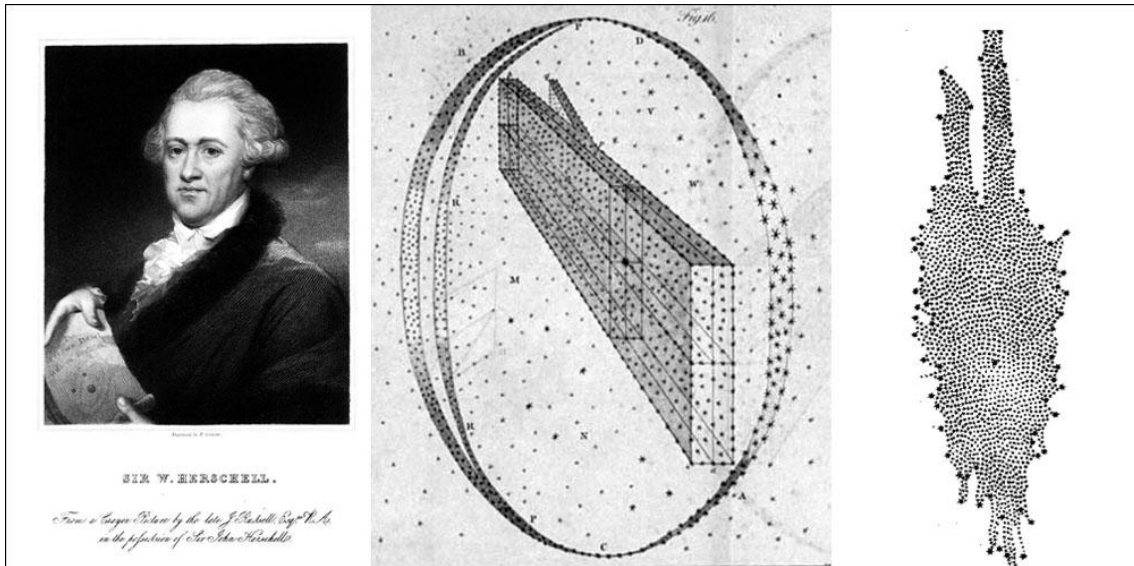


Figure 3- William Herschel depiction of the shape of our Galaxy.

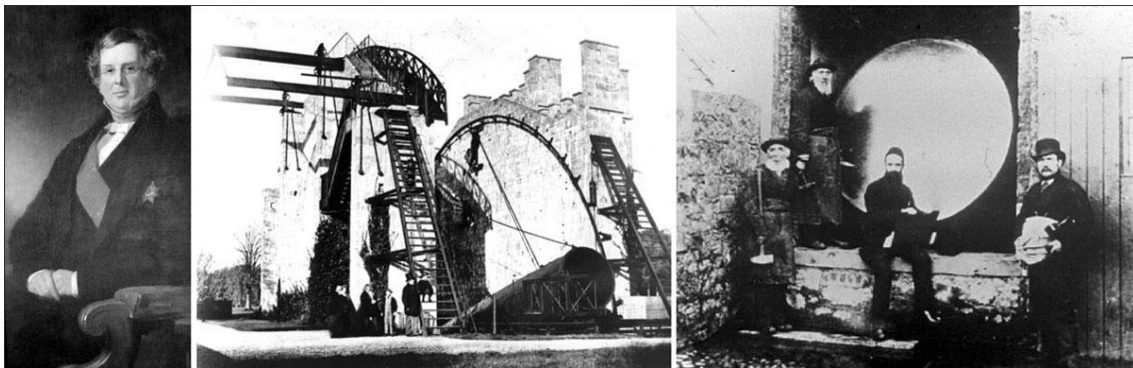


Figure 4- Lord Rosse and the Leviathan of Parsonstown (ca. 1845).

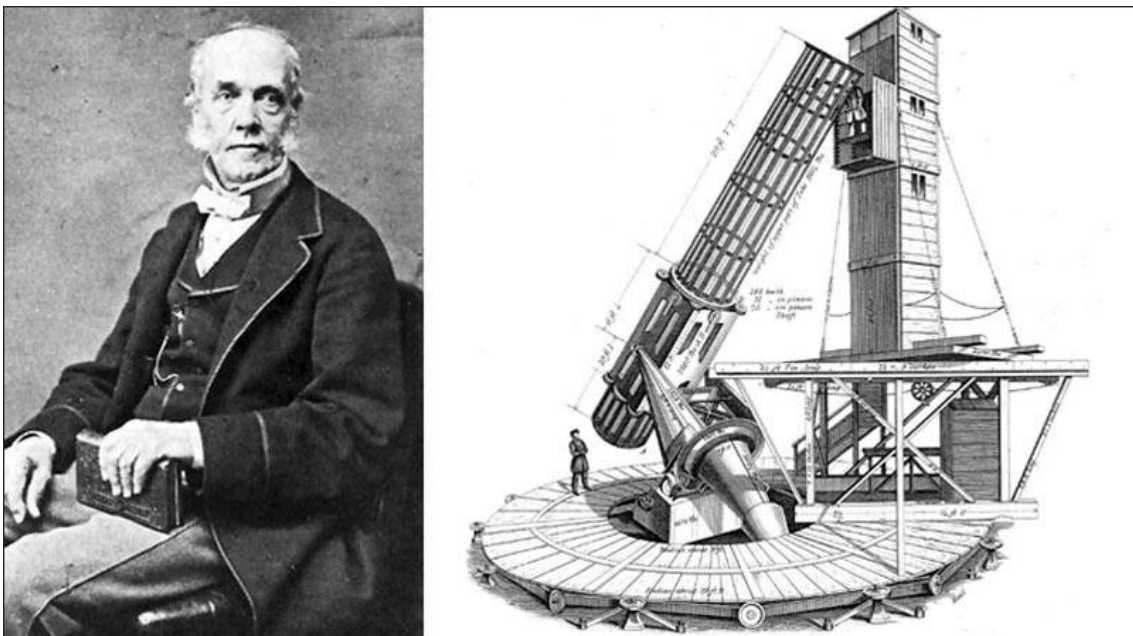


Figure 5- William Lassell and the 48-inch (122 cm) equatorial telescope (ca. 1852).

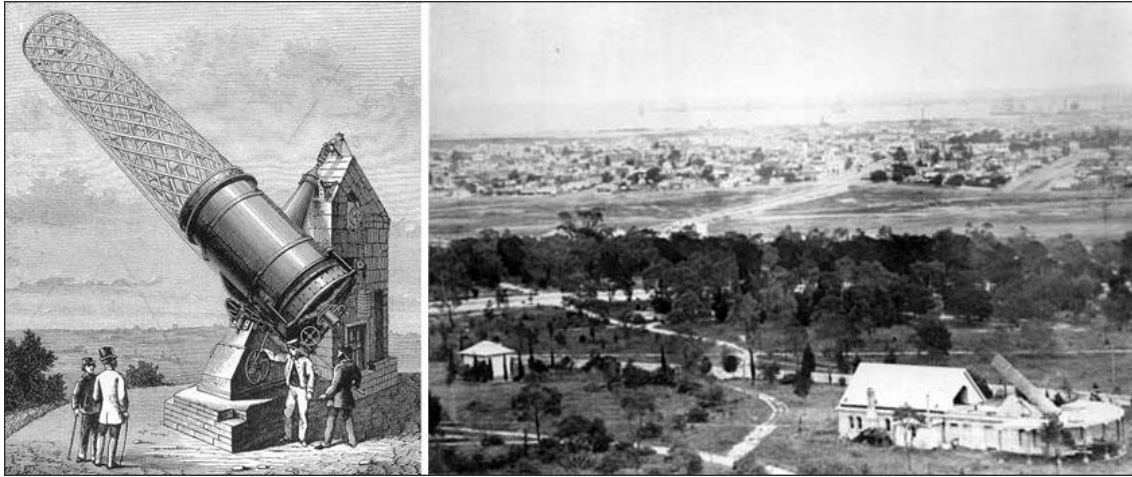


Figure 6- The Great Melbourne Telescope and its roll-of-roof observatory (ca. 1869).

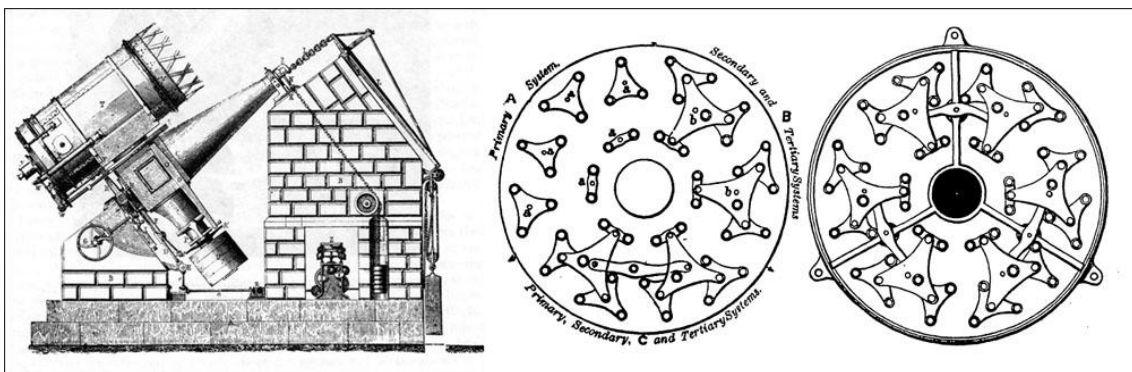


Figure 7- Equatorial Mount and mirror support of the Great Melbourne Telescope.

William Parsons, third Earl of Rosse was the first to surpass Herschel telescopes. Rosse experimented with compound specula and eventually was able to cast several mirrors with increasing diameters. In 1840, a three-foot mirror was mounted in a similar way to Herschel's telescopes. This telescope was used with a Newton configuration (plane secondary mirror). Rosse was able to produce highly reflective surfaces. He considered that the three-foot reflector was "the best ever produced". Shortly after, Rosse drew plans for a reflector of double the size. The six-foot reflector mount was erected from 1842 to 1844 (Figure 4). It featured parallel piers of solid masonry that carried several observing platforms. This telescope had very limited movements (limited to an observing window of about 15°). To raise or lower the tube the assistance of two workmen was required. Slow motions were assured by turning two small hand wheels on the observing platform. The mirror weighted four Tons. Observations started in 1845. In April of the same year, Lord Rosse described for the first time spiral structures in M 51. Together with his assistants, Rosse described these structures in a considerable number of nebulae.

William Lassell was the first to apply Franhofer's equatorial mount to large reflectors. In 1844 Lassell visited Parsonstown where he inspected the erection of the Leviathan. Lassell added a small quantity of arsenic to his specula, but the reflective power was mainly due to the purity and correct proportions of copper and tin. In 1861, Lassell erected a 48-inch equatorial in the isle of Malta (Figure 5). This telescope had two alternative mirrors weighting over a Ton. The telescope had a fork mount and an open tube. Slow motions were assured by an assistant that turned a winch handle once every second.

The Great Melbourne Telescope (GMT) was the last great reflector that was fitted with a speculum-metal mirror. It went into operation in 1869 and was not only the biggest equatorial telescope in the world but also the largest and most expensive scientific equipment ever built in the Australia (Figures 6 and 7). The telescope was built by Howard Grubb and was mainly used to produce sketches of nebulae first discovered by John Herschel in the southern hemisphere. George Willis Ritchey (1864-1945) published the following statement in 1904:

"I consider the failure of the Melbourne Instrument to have been one of the greatest calamities in the history of instrumental astronomy; for by destroying confidence in the usefulness of great reflecting telescopes, it has hindered the development of this type of instrument, so wonderfully efficient in photographic and spectroscopic work, for nearly a third of a century".

Recent evidence has shown that the failure of the Great Melbourne Telescope should be associated with the fact that it was built to produce drawings of nebulae: direct photography and spectroscopy were precluded.

In 1862, Leon Foucault (1819-1868) completed an 80 cm reflector with a silvered-on-glass mirror (Figure 8). It was also the first large mirror that was figured using a novel approach: Foucault's knife edge test. It had a fork mount and tube made of wood. The total weight of the telescope was 1.5 Tons (much less than the GMT that weighted 8.3 Tons). This telescope was very successful in a number of different fields: observation of faint nebulae, first application of the Fizeau interferometer and the Fabry-Perot etalon and double star measurements.

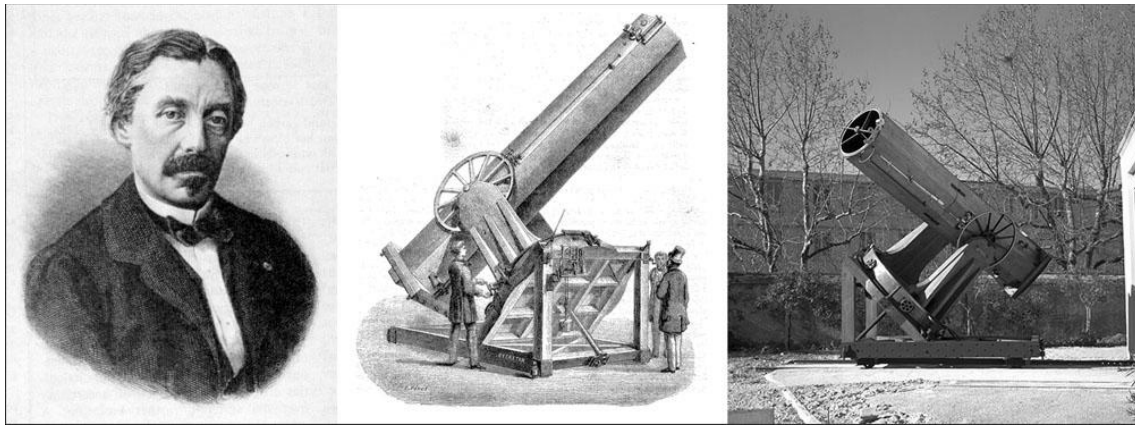


Figure 8- Leon Foucault and the 80 cm reflector.

Silver-on-glass mirrors were suggested as early as 1827 by George Biddel Airy (1801-1892). It was only in 1856 that C.A. Steinheil and L. Foucault produced independently small parabolic glass mirrors with a thin coat of silver deposited by precipitation. Producing a good parabolic surface in glass mirrors proved to be more difficult than in speculum-metal mirrors. These first difficulties were overcome and the silver-on-glass mirrors became standard equipment from 1870 onwards. The advantages were obvious. Once the optical surface was produced, the silver coating had to be renewed from time to time without the need to repolish the surface.

The reflectors were free from chromatic aberrations and its shorter focal ratios proved to be invaluable for astrophysical work. These advantages were very instrumental for the development of astrophotography and spectroscopy.

Henry Draper (1837-1882) started by grinding metal mirrors but soon changed to silver-coated glass mirrors. Draper obtained the first photograph of a nebula in September 30, 1880 using an 11-inch Clark refractor. In 1864, Draper wrote an extensive monograph entitled *"On the construction of a silvered glass telescope, fifteen and a half inches in aperture, and its use in celestial photography"*.

Andrew Ainslie Common (1841-1903), a wealthy engineer and amateur astronomer, was mainly interested in producing astronomical photographs. Common started with refractors around 1870, but soon changed to silver-on-glass reflectors that were built by G. Calver (1834-1927). Common used two Newton reflectors with apertures of 46 and 91 cm provided with fork mounts. These mounts had several important innovations. One of these was a mercury floating device for the polar axis to reduce friction.

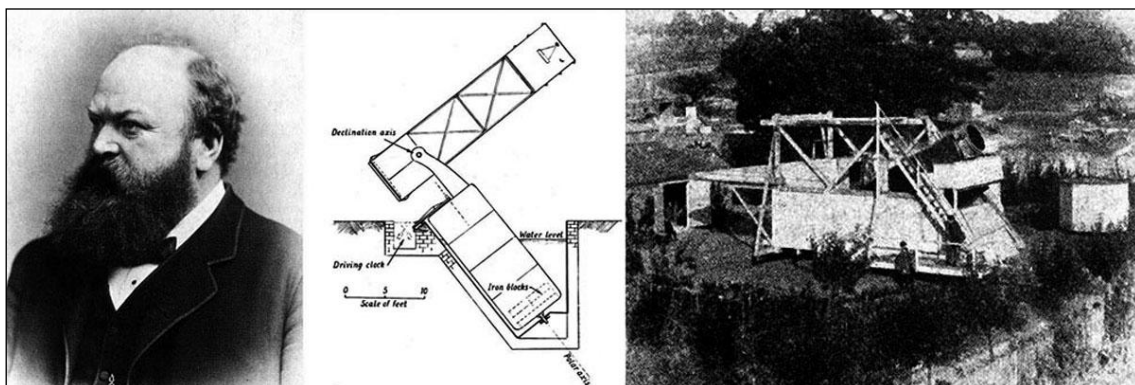


Figure 9- Andrew Ainslie Common and the five-foot reflector.

Common used his instruments mainly as photographic telescopes. Several photographs of the Orion nebulae were obtained with considerable success. In 1883, Common produced images that showed for the first time, stars that

were not seen by visual observation. In 1885, the 91 cm reflector was sold to Edward Crossley (1841-1905) and Common started to work on a 5-foot disk (155 cm) (Figure 9). The instrument was finished in 1889. The polar axis (hollow cylinder) floated in a tank of water. This telescope in spite of its good optical quality produced few results.

Crossley, after retiring from astronomy in 1893, offered the 91 cm Common reflector to the Lick observatory. This instrument was extensively used by James E. Keeler (1857-1900) for nebular photography between 1898 and 1900. After Keeler's death, Charles Dillon Perrine (1867-1951) completed the project and renewed the telescope in 1902 and 1905 (Figure 10). These first successful photographic results helped to establish the reflector as the preferred observatory instrument.

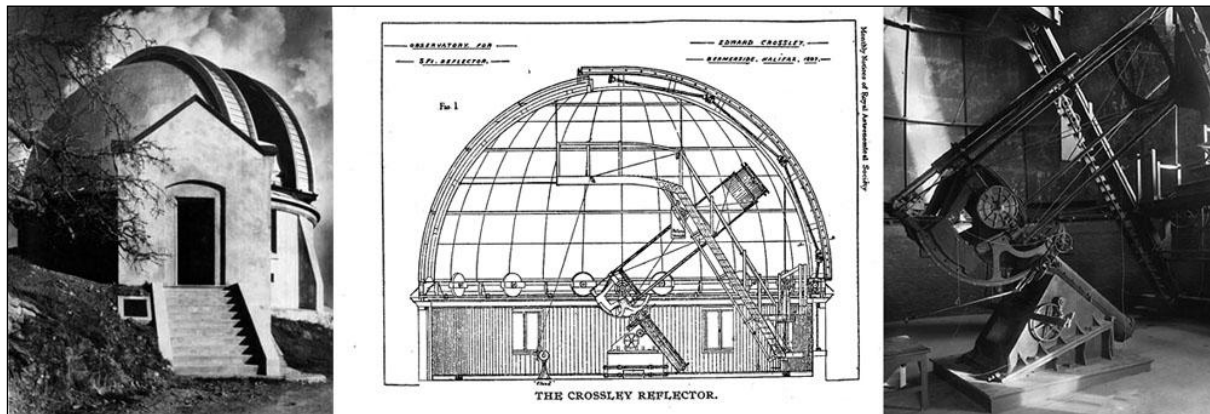


Figure 10- Crossley reflector at Lick observatory (ca. 1900).

Modern reflectors

The next big reflecting telescopes were built by George Willis Ritchey (1864-1945). Ritchey was the prophet and builder of the first large successful American reflecting telescopes. He was also a master of astronomical photography. Ritchey worked at Yerkes observatory at the turn of the nineteenth century, a well-established leading center for astrophysical research, and was in charge of the optical and instrument shops. There he designed and produced auxiliary equipment for the 40-inch Yerkes refractor and also grinded and finished a 60-inch disk. His first big mirror was a 24-inch of 8-foot focal length that was also used at Yerkes (Figure 11).

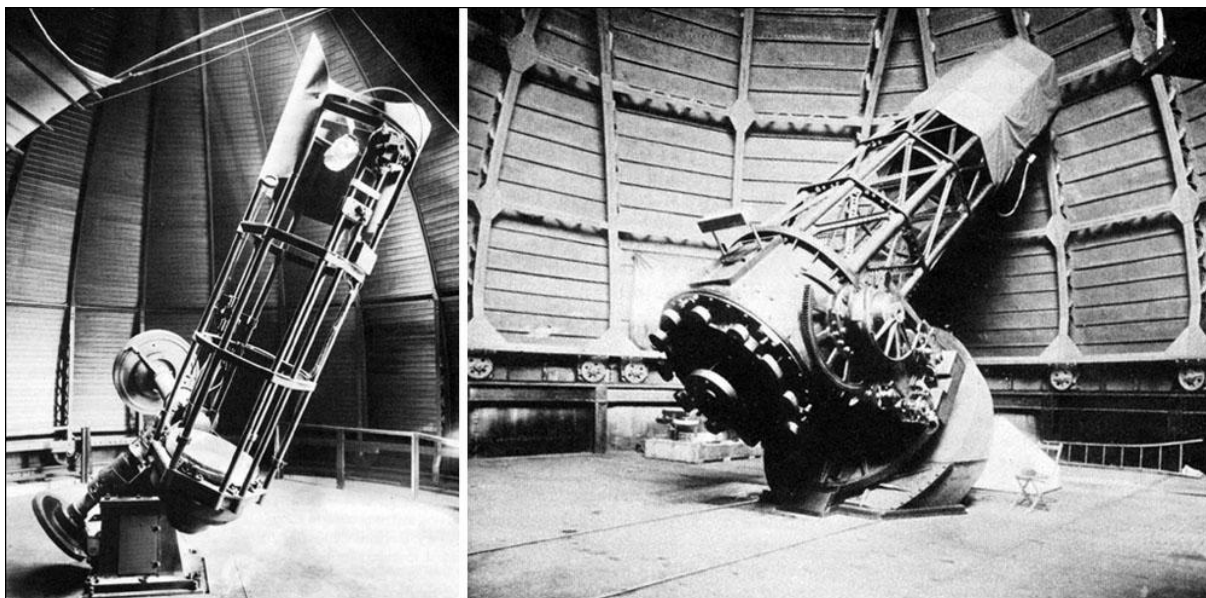


Figure 11- Yerkes 24-inch (left) (ca. 1900) and Mount Wilson 60-inch (right) (ca. 1908) reflectors built by G.W. Ritchey.

In 1904, Ritchey publishes an extensive work entitled "*On the Modern Reflecting Telescope and the Making and Testing of Optical Mirrors*" that quickly became an essential reference. In the introduction Ritchey refers: "The present paper describes the methods employed by the writer in the optical laboratory of the Yerkes Observatory in making and testing spherical, plane, paraboloidal, and (convex) hyperboloidal mirrors. On account of the very great importance of supporting mirrors properly in their cells when in use in the telescope, a chapter

is devoted to the description of an efficient support system for large mirrors. Intimately related to this, and equally important, is the subject of the mounting, the mechanical parts, of a modern reflecting telescope (...).

Ritchey was one the first telescope makers to use standard methods at the optical shop. Every precaution was used to exclude dust. The walls and ceiling were varnished, and the floor was kept wet during polishing operations. Double sealed windows were also used and the incoming air was filtered. A canvas was suspended over the mirror to protect the surface from falling particles. Room temperature was kept constant and the optician was properly dressed with cap and gown. The mirror was tested using the Foucault method that required the use of a plane mirror of great precision.

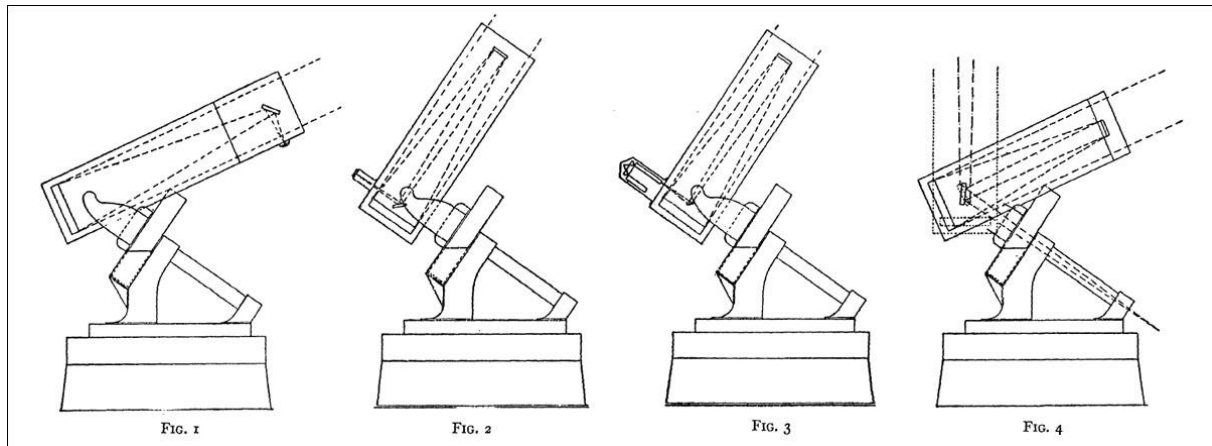


Figure 12- The four possible optical configurations of the 60-inch Mount Wilson reflector.

The Mount Wilson 60-inch reflector had an innovative design with an open tube and a fork mount. Four optical arrangements were possible: Newton; two modified Cassegrain and a polar or Coudé Cassegrain (Figure 12). The first visual and photographic observations with this instrument were made in 1908. George Ellery Hale (1868-1938) wrote in a 1909 report:

"Visually the images of stars, planets and nebulae obtained with it on a good night are excellent. The star images are very small and sharp and can be observed with great precision. Such an object as the Great Nebula in Orion shows bewildering variety of detail. Globular clusters are especially remarkable because of the large number of stars visible by the great light-gathering power".

The first photographic tests with this instrument were conducted by Ritchey in 1908. Several nebulae and star clusters were imaged at the Newton and Cassegrain focus. These first results were described in 1909:

"The new plate-carrier (...) takes plates 3 1/2 inches (89 mm) square. This small size is chosen because it allows the guiding eyepiece to be near the center of the field. It includes a clear field about 36 minutes of arc square, and fully covers the entire central region which is free from objectionable distortion. A second guiding eyepiece is also used, the two being on opposite sides of the center. Each gives a magnification of about 750 diameters. This allows any slight rotation of the field to be detected immediately; such rotation is corrected by rotating the bronze plate which carries the guiding eyepieces and plate-holder; two fine screws with graduated heads are provided for effecting this rotation. The small metal plate-holder, is so designed that it can be quickly removed and replaced as frequently as desired during long exposures, thus allowing access to the focal plane for the purpose of refocusing by means of the knife-edge. The position of the plate-holder is defined by small hardened steel surfaces so that when replaced it returns accurately to its original position with reference to the guiding eyepieces. With the small apparent change of focus which takes place since the canopy has been in use, it is found that refocusing every 25 or 30 minutes in the early part of the night, and every 40 or 45 minutes after 11:00 P.M., is usually sufficient. With the new plate-carrier, all of the uncertainties which usually occur in making long exposures with very large telescopes are eliminated. A plate can be exposed night after night, if desired, with the assurance that no error in focus greater than one or two thousandths of an inch can occur, and that no rotation of field can take place without immediately being detected and corrected. Both of these conditions are absolutely necessary for the finest results with an instrument as powerful and sensitive as the 60-inch. With these conditions no injury or elongation of the star-images or nebular details can occur and the full effect of the prolonged exposure is secured. All of the negatives which have been secured with the new plate-carrier show perfectly round star-images. On the best negatives, with exposures of eleven hours, the smallest star-images are 1.03" in diameter".

Even before the 60-inch first light, George Ellery Hale was already planning the constructing of a 100-inch reflector. The mirror was casted after several failures by the same firm that supplied the 60-inch (St. Gobain Glass Company). The disc arrived at Mount Wilson in December 1908 but was discarded by Ritchey since it was filled with gas bubbles. In spite of this drawback Ritchey was able to start grinding in 1911. The English yoke mount was also designed by Ritchey and further refined by Hale and Francis Gladheim Pease (1881-1938) (Figure 13).

By the end of 1914 a near perfect spherical curvature was obtained, the mount was finished in 1917 and the telescope was in regular use in 1919.

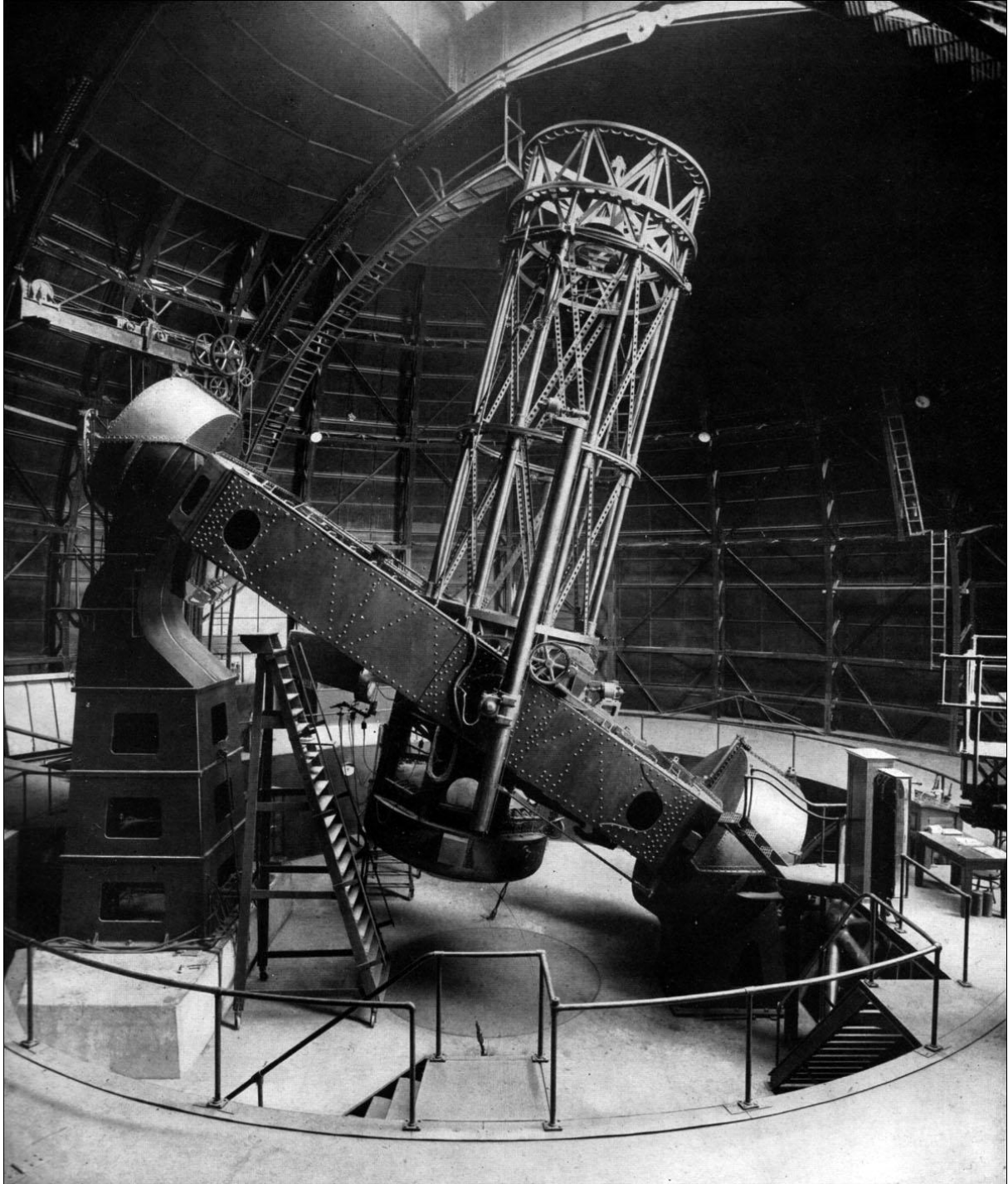


Figure 13- 100-inch Hooke telescope (Mount Wilson observatory) (*ca.* 1919).

The Hooker telescope is similar in optical design to the 60-inch. It can be used as an $f/5$ Newton, as an $f/16$ modified Cassegrain and as an $f/30$ Coudé. The 100 Ton English yoke is supported by means of mercury flotation bearings. The dome is also similar to that of the 60-inch.

Edwin Hubble (1889-1953) used the Hooke telescope to determine for the first time the distances and red shifts of neighboring galaxies. In 1929 Hubble's proved that the universe was expanding in all directions at a constant speed (Hubble's constant).

In 1928, Hale started a campaign to gather funds for a larger telescope. His article "The possibilities of large telescopes" published in the Harper's Magazine was very instrumental.

Hale started the article with a prophetic phrase:

"Like buried treasures, the outposts of the universe have beckoned to the adventurous from immemorial times. Princes and potentates, political or industrial, equally with men of science, have felt the lure of the uncharted seas of space, and through their provision of instrumental means the sphere of exploration has rapidly widened (...)"

In a letter to the International Education Board Hale stated:~

"No method of advancing science is as productive as the development of new and more powerful instruments and methods of research. A larger telescope would not only furnish the necessary gain in light space-penetration and photographic resolving power, but permit the application of ideas and devices derived chiefly from the recent fundamental advances in physics and chemistry (...)"

Hale and its staff began to consider a telescope with an aperture of 200 or 300 inches. After some initial difficulties, the Rockefeller foundation awarded (autumn of 1928) a sum of \$6 million dollars to the California Institute of Technology to build the giant telescope.

The design and construction of the 200-inch telescope was not an easy task. The first major problem was the cast of the primary mirror. After a series of trials with fused quartz, the mirror was made of Pyrex with a ribbed structure by Corning Glass Works. The mount was also another challenge. The first options were between an open-fork (preferred because it allowed access to the North Pole) and a yolk type equatorial. In 1932 a new yolk design (horseshoe) was adopted with considerable success. After approval, the Westinghouse Company (Philadelphia) started work on the mount in 1936. The primary mirror has a short focal ratio ($f/3.3$). This low focal ratio meant that a Field-Flattener had to be built. Frank Elmore Ross (1874-1960) of Yerkes observatory was selected to design and built the corrector. Ross corrector lenses made for the 60-inch and 100-inch were very successful. Ross correctors became standard equipment for large reflectors.

The 200-inch (Figures 14 and 15) was the first telescope large enough to allow an observer to ride in a cage at the primary focus of the telescope. The observing cage is 72-inch in diameter and carries the secondary mirrors and the Ross correctors (Figure 16). The only other large telescope featuring an observer's cage is the 120-inch Shane reflector (Lick observatory), completed in 1959 (Figure 18). The 120-inch primary mirror of the Shane reflector was originally a glass test blank cast in Corning Labs for the Palomar Observatory 200-inch reflector. In 1934, Palomar Mountain in Southern California was chosen to install the 200-inch reflector. When G.E. Hale died in 1938, the 200-inch mirror was still in the figuring process. The 42 m dome designed by Russell Porter (1871-1949) was already erected at Palomar. The mirror was only finished in 1947 and "first light" photographs were taken by Edwin Hubble on January 26, 1949 (Figure 17).

The 200-inch telescope optically is similar to the 100-inch and 60-inch reflectors. At the prime focus with the two most frequently used Ross correctors focal ratios vary ($f/3.6$ and $f/4.7$). In the Cassegrain configuration it has a focal ratio of $f/16$. The 200-inch reflector was named after G.E. Hale. It was dedicated on June 3, 1948. Most of the large reflectors that followed (third quarter of the nineteenth century) incorporated many features of the 200-inch design.

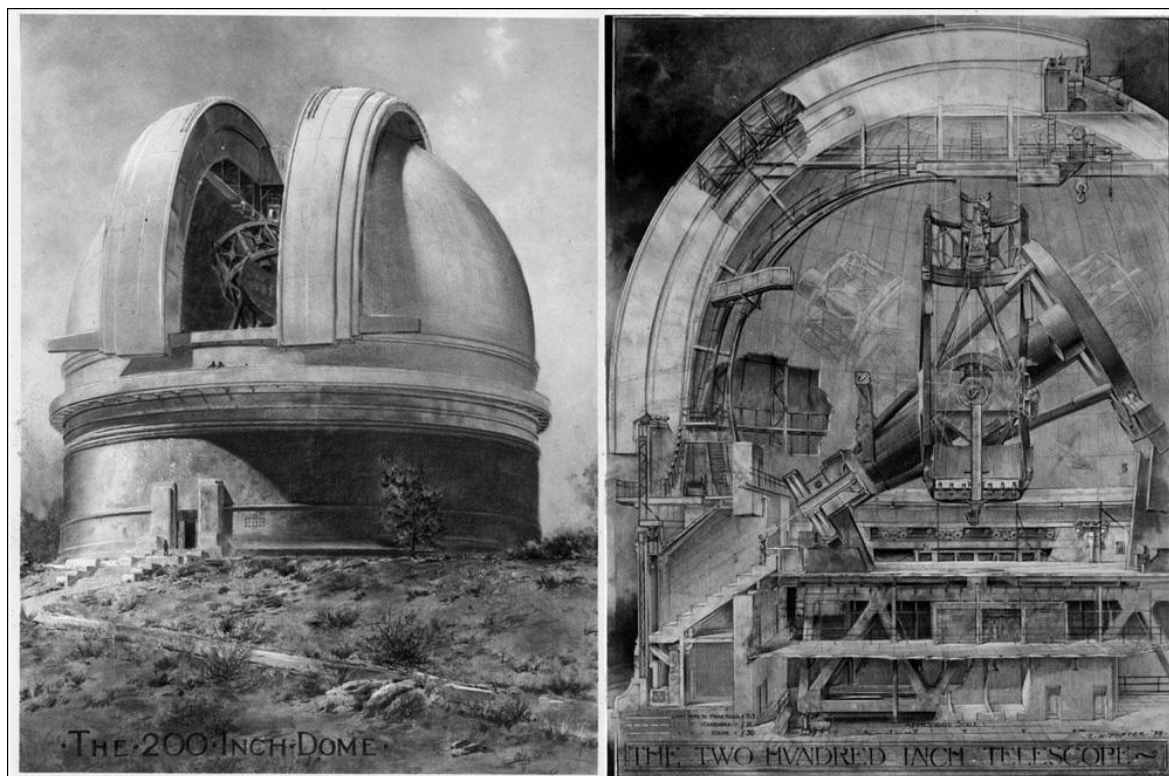


Figure 14- 200 inch (5.08 m) Hale telescope. Cutaway drawings by Russell W. Porter.



Figure 15- Palomar observatory.

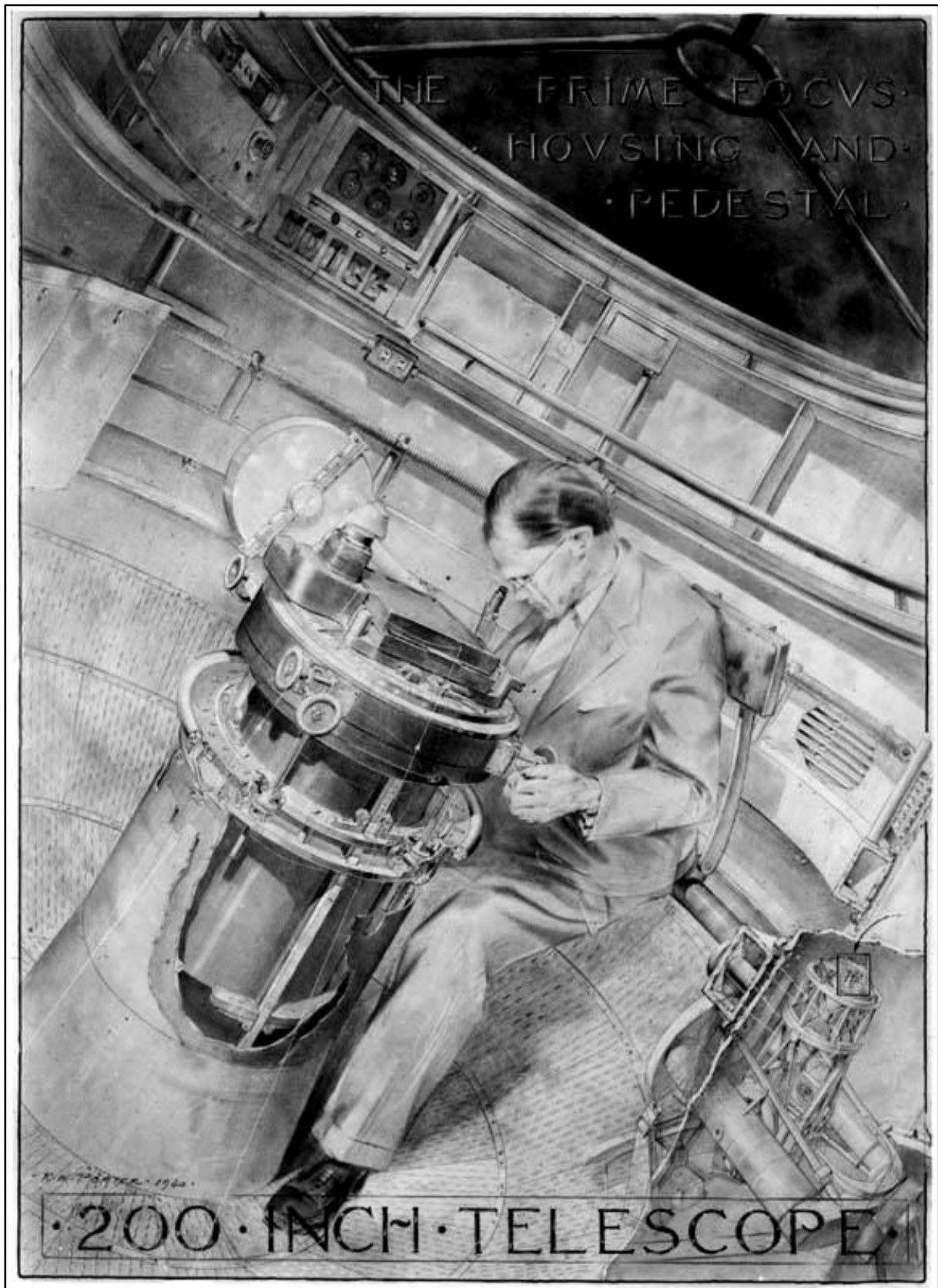


Figure 16- Observing in the prime-focus capsule. An astronomer is shown seated in the adjustable chair with the photographic plate-holder locked to the pedestal, and his eye at the guiding eyepiece. Exposures range from a few minutes to several hours. The astronomer's seat can travel completely around the capsule and tilt through a large angle to compensate for any position to which the telescope may be tipped. Dials on the wall above the astronomer's head tell him exactly where the telescope is aimed, and switches below allow him to activate essential equipment. The plate-holder can be changed for a spectrograph or a photoelectric photometer. Cutaway drawing Russell W. Porter.



Figure 17- First-light image (200-inch reflector), taken by Edwin Hubble on January 26, 1949 (NGC 2261).

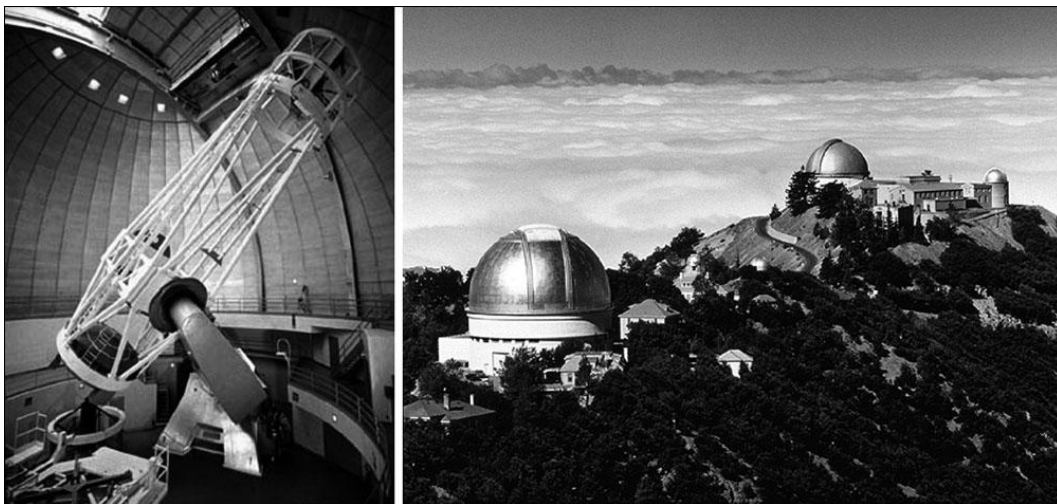


Figure 18- 120-inch Shane reflector (ca. 1959).

Sources:

- Danjon, A. & A. Couder (1935). *Lunettes et Télescopes*. Livrarie Scientifique et Technique, Paris.
- Glass, I.S. (1997). *Victorian Telescope Makers: The Lives & Letters of Thomas & Howard Grubb*. Institute of Physics Publishing, London
- King, H.C. (1955). *The History of the Telescope*. Dover Publications, Inc. New York.