

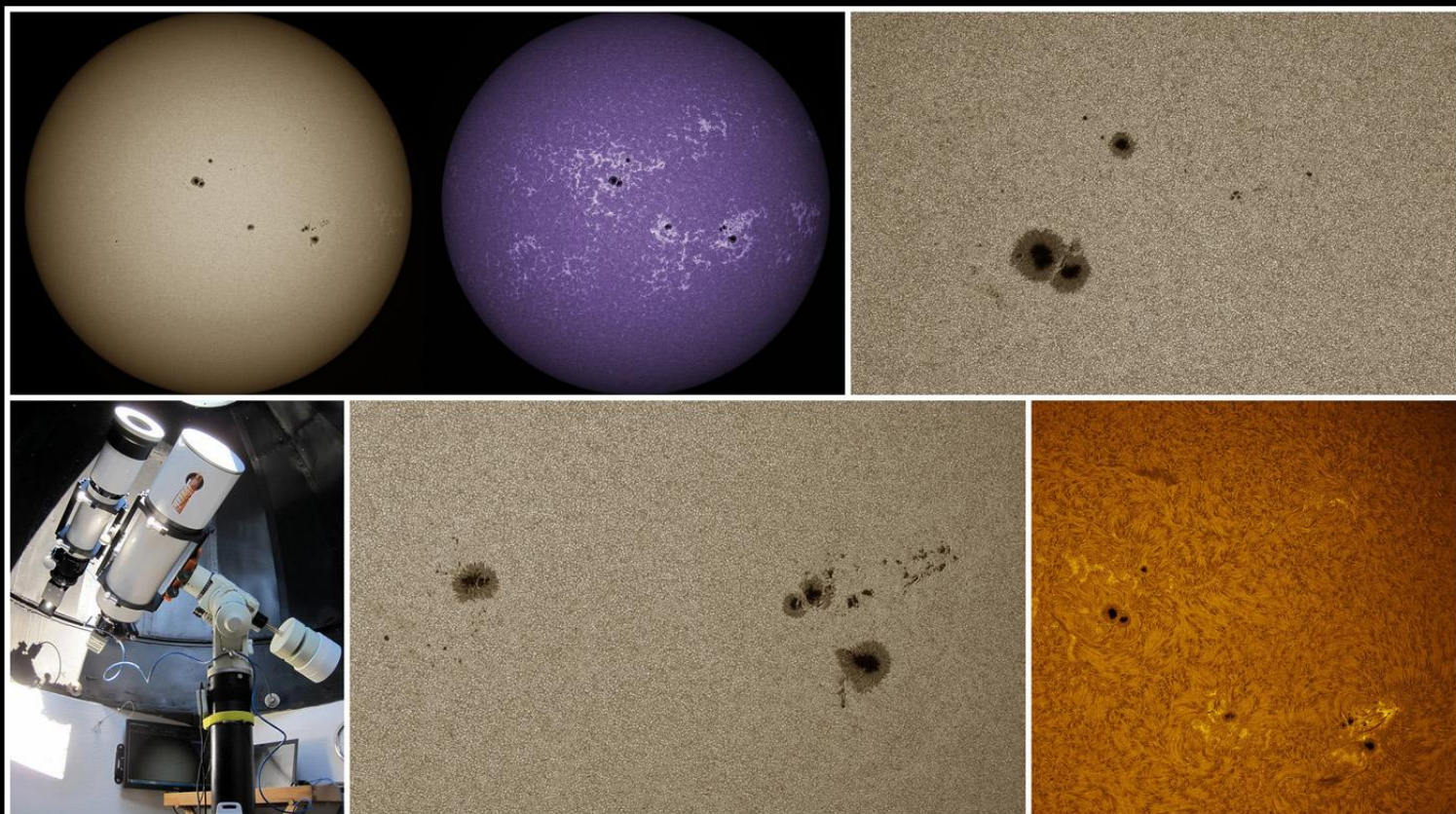


**APAA**

Associação  
Portuguesa  
de Astrónomos  
Amadores

# ASTRONOMIA de Amadores

N.º 46 Janeiro/Junho 2014



COMO QUEIMAR UM PAPEL À LUZ DE SÍRIO - Guilherme de Almeida

TELESCÓPIOS LUMINOSOS E TELESCÓPIOS MENOS LUMINOSOS:  
UM MITO RECORRENTE - Guilherme de Almeida

MODELANDO A POLUIÇÃO LUMINOSA: A EQUAÇÃO DE WALKER  
E AS SUAS CONSEQUÊNCIAS - Guilherme de Almeida

MOTORIZAÇÃO DE UMA RODA DE FILTROS MANUAL - Nuno Gameiro

THE SPECTROHELIOGRAPH AND THE SPECTROHELIOSCOPE - Pedro Ré

E. C. BARNARD'S PHOTOGRAPHS OF THE MILKY WAY AND COMETS - Pedro Ré



# APAA

Associação  
Portuguesa  
de Astrónomos  
Amadores

# ASTRONOMIA DE AMADORES

Revista de divulgação astronómica (n.º 46) — Janeiro/Junho — ano 2014

**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](mailto:info@apaa.co.pt) • <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, 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:** Carlos Marques.

*Conselho Fiscal*

**Presidente:** José Cardoso Moura; **Vogal:** José Pedro Carreira Martins; **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.

# ÍNDICE

## **COMO QUEIMAR UM PAPEL À LUZ DE SÍRIO ..... 3**

Guilherme de Almeida

## **TELESCÓPIOS LUMINOSOS E TELESCÓPIOS MENOS LUMINOSOS:**

## **UM MITO RECORRENTE ..... 8**

Guilherme de Almeida

## **MODELANDO A POLUIÇÃO LUMINOSA: A EQUAÇÃO DE WALKER**

## **E AS SUAS CONSEQUÊNCIAS ..... 10**

Guilherme de Almeida

## **MOTORIZAÇÃO DE UMA RODA DE FILTROS MANUAL ..... 15**

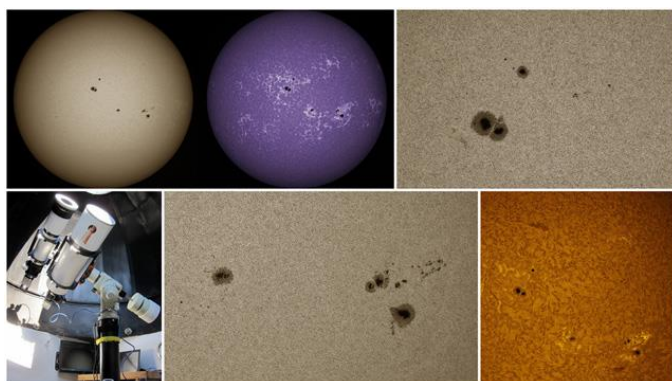
Nuno Gameiro

## **THE SPECTROHELIOGRAPH AND THE SPECTROHELIOSCOPE ..... 29**

Pedro Ré

## **E. C. BARNARD'S PHOTOGRAPHS OF THE MILKY WAY AND COMETS .. 40**

Pedro Ré



### **FOTOGRAFIA DA CAPA**

SUN (DECEMBER, 2013). LUNT152 F/6,  
IKHARUS 102 F/7. PGR GRASSHOPPER 3,  
Pedro Ré (<http://re.apaaweb.com/>)



# COMO QUEIMAR UM PAPEL À LUZ DE SÍRIO



Guilherme de Almeida  
[g.almeida\(a\)vizzavi.pt](mailto:g.almeida(a)vizzavi.pt)

**Todos nós já experimentámos incendiar um papel utilizando uma lupa. Escassos segundos bastam para o fazer, mesmo utilizando uma lupa de tamanho modesto. Que tamanho deveria ter uma lupa capaz de fazer o mesmo utilizando a luz de SÍRIO ( $\alpha$  *Canis Majoris*)? Neste artigo propomo-nos determinar quantitativamente que características deveria ter essa lupa, que se adivinha gigantesca. Como é óbvio, trata-se de mera exploração conceptual, pois tal projecto revela-se—como o leitor verá—irrealizável por diversas razões.**

## 1. A experiência tradicional

O papel queima devido à intensa concentração dos raios solares na sua superfície. Queima mais rápido se a superfície for escura, por exemplo uma página de jornal, escolhendo uma zona com uma fotografia. O papel branco demora mais tempo, dado que uma grande parte da energia é reflectida e só uma fracção dela é que é absorvida pelo papel. É por isso que o papel, se for branco, fica insuportavelmente brilhante quando a convergência se maximiza.

É um erro muito comum pensar que a luz solar, ao atravessar a lente vai convergir num ponto. Na verdade, a lente produz, no papel, quando se procura a mínima área iluminada, a imagem real do Sol. Se a lente tiver a distância focal  $f$ , tendo o Sol o diâmetro aparente  $\theta$  de cerca de  $0,5^\circ = 0,5 \pi/180$  radianos  $= 8,727 \times 10^{-3}$  rad, o diâmetro da imagem solar será

$$d = f \theta,$$

com  $\theta$  expresso em radianos e  $d$  nas mesmas unidades de  $f$ . Por exemplo, se  $f = 15$  cm, obtemos

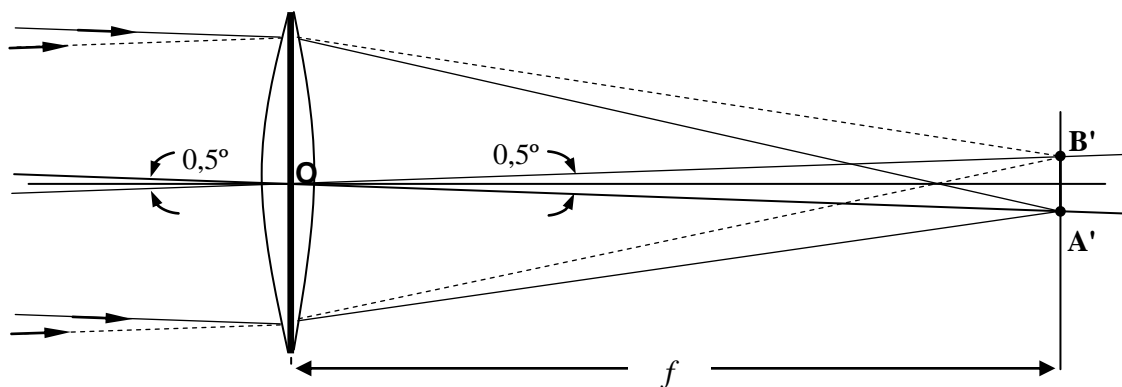
$$d = 15 \times 8,7270 \times 10^{-3} = 0,13095 \text{ cm} \approx 1,31 \text{ mm}.$$

Com lentes do mesmo diâmetro e distâncias focais sucessivamente maiores, o diâmetro da imagem solar será cada vez maior e a convergência acabará por ser insuficiente para incendiar o papel. Por exemplo, uma lente de 6 cm de diâmetro ( $D$ ) e 15 cm de distância focal<sup>(1)</sup> exposta ao Sol consegue incendiar um papel, dado que a luz que atravessou a lente cuja área é  $A_1 = \pi \times 3^2 \approx 28,27 \text{ cm}^2$  convergirá num pequeno círculo de 0,131 cm de diâmetro, de área muito menor,  $A_2 = \pi (0,0655)^2 \approx 0,0135 \text{ cm}^2$ . Neste caso,  $A_1/A_2 = 28,27/0,0135 \approx 2094$ . Consegue-se nesta situação aumentar a concentração de energia em mais de duas mil vezes.

Porém, se uma lente do mesmo diâmetro tiver, por exemplo, 1 m de distância focal (100 cm) muito dificilmente incendiará um papel, pois a imagem do Sol por ela produzida no papel terá o diâmetro  $d'$  dado por

$$d' = 100 \times 8,7270 \times 10^{-3} = 0,8727 \text{ cm} \approx 8,73 \text{ mm}.$$

A concentração de energia no papel, na pequena área ocupada pela intensa imagem solar, seria  $(60/8,73)^2 = 47,24$  vezes superior àquela que chegaria à mesma área de papel sem o auxílio da convergência da lente: daí a maior dificuldade em incendiar o papel. Mas se a lente tivesse 2 m de distância focal (com o mesmo diâmetro), então o diâmetro da imagem solar seria 2x8,73 mm e o factor de concentração valeria apenas 11,81: o papel não arderia de modo algum.



**Fig. 1.** Os raios luminosos emitidos do bordo superior do Sol, A, e do bordo inferior, B, produzem no plano focal da lente as imagens conjugadas A' e B', respectivamente. A medida do segmento AB é o diâmetro da imagem do Sol. O ângulo A'ÔB' é evidentemente o diâmetro aparente do Sol. Guilherme de Almeida (2013).

## 2. O caso da estrela Sírio<sup>(2)</sup>

Será que, com uma lente adequada, se conseguiria incendiar um papel usando a luz de Sírio? É o que vamos ver. A magnitude aparente de Sírio é  $-1,5$  e a do Sol vale  $-26,8$  (Ferreira & Almeida, 2004). A razão entre os fluxos luminosos recebidos por unidade de área sobre a Terra (iluminações), para o Sol ( $E_{\text{Sol}}$ ) e para Sírio ( $E_{\text{Sírio}}$ ) será

$$\frac{E_{\text{Sol}}}{E_{\text{Sírio}}} = 2,512^{(m_{\text{Sírio}} - m_{\text{Sol}})} = 2,512^{[-1,5 - (-26,8)]} = 2,512^{25,3},$$

ou seja  $\frac{E_{\text{Sol}}}{E_{\text{Sírio}}} = 1,320 \times 10^{10}$  (Eq. 1)

Assim sendo, a lente necessária para se poder queimar o papel com a luz de Sírio deveria ter uma área colectora  $1,320 \times 10^{10}$  vezes maior do que aquela que queima um papel com a luz do Sol. E uma relação de áreas de  $1,320 \times 10^{10}$  significa uma relação de diâmetros de  $\sqrt{1,320 \times 10^{10}} = 1,149 \times 10^5$ . Logo, se a menor lente que permite incendiar um papel com relativa rapidez tiver 6 cm de diâmetro, usando a luz do Sol, a lente capaz de fazer o mesmo com a luz de Sírio deveria ter um diâmetro

$$D' = 6 \times 1,149 \times 10^5 = 689\,348 \text{ cm} \approx 6,893 \text{ km}.$$

À parte a dificuldade construtiva, e pondo de lado a dificuldade em arranjar tanto vidro, essa enorme lente com cerca de 6,9 km de diâmetro incendiaria o nosso papel, e convém saber que a relação focal da lente gigante seria a mesma da lente pequena (porque o factor de escala

é linear), assegurando os nossos resultados<sup>(3)</sup>. O problema parece resolvido. Mas estará mesmo resolvido?

### 3. Dificuldades inesperadas

Sendo pequena a lente usada para o Sol, a sua espessura é pouco significativa, da ordem de 0,8 cm. Quase não absorve radiação luminosa. Porém, ao passar para a "lente de Sírío", aumentámos essa lente cerca de  $1,15 \times 10^5$  vezes em diâmetro, o que significa aumentar a sua espessura pelo mesmo factor, o que nos leva para uma espessura colossal de  $0,8 \times 1,15 \times 10^5$  cm, aproximadamente 90 000 cm (ou seja, 0,9 km). Como o vidro óptico mais vulgar, o *crown* absorve cerca de 1% da radiação por cada centímetro de espessura (transmite 99%). Uma espessura de 90 000 cm transmitirá

$$0,99^{90\,000} \approx 1,47 \times 10^{-393},$$

ou seja, uns míseros  $1,47 \times 10^{-391} \%$ , ou ainda, dito de outra forma, apenas passará uma parte em  $6,8 \times 10^{392}$  ! A lente seria praticamente opaca, e para melhor nos apercebermos disso basta recordar que o filtro clássico para observação visual do Sol em luz branca transmite uma parte em  $10^5$ . Esta lente absorveria o equivalente a 79 filtros destes, colocados em série à passagem da luz! Perante isto, podemos desprezar justificadamente as perdas por reflexão na primeira e segunda superfícies dessa lente, que são de uns meros 5% por face! Sendo a lente praticamente opaca, apesar de ter a área colectora de luz necessária aos requisitos, é óbvio que não cumpriria os nossos objectivos, mesmo que pudesse ser construída. Esta solução revela-se impossível.

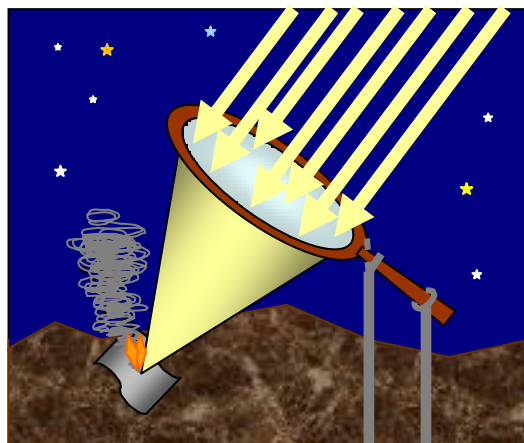


Fig. 2. Uma lente colossais que resulta numa solução impossível (Guilherme. de Almeida 2013).

Tudo isto para não falar na massa de vidro necessária para fabricar essa lente, que será  $(1,15 \times 10^5)^3 \approx 1,5 \times 10^{15}$  vezes superior à massa da lente pequena. Valendo esta última uns modestos 60 g (isto é, 0,060 kg), a lente gigantesca teria, já pronta e desbastada,  $0,060 \times 1,5 \times 10^{15}$  kg, algo como 90 mil milhões de toneladas de vidro. Impossível segundo qualquer ponto de vista.

### 4. Uma solução possível, pelo menos em princípio

Dada a impossibilidade funcional da lente acima referida, mesmo que fosse construída, por excessiva absorção da luz, resta a possibilidade de utilizar um enorme espelho parabólico. Esse espelho imenso precisaria de ter os referidos 6,9 km de diâmetro, ou seja, um diâmetro 22,6 vezes superior ao do gigantesco radiotelescópio de Arecibo (que tem 305 m de diâmetro). Para dar uma perspectiva mais realista, convém sublinhar que num círculo de 6,3 km de diâmetro cabem 5713 campos de futebol.

Não precisamos de nos preocupar com o diâmetro da imagem de Sírío no papel. Tal diâmetro nunca seria demasiado grande, pois o diâmetro *aparente* desta estrela é apenas 0,005936", ou seja, menos de 1/300 000 do diâmetro aparente do Sol (em rigor 1/303234). Portanto, a imagem de Sírío, focada no papel, seria sempre minúscula e na melhor das

hipóteses determinada pela difracção e não pelo diâmetro aparente de Sírío. O diâmetro do disco<sup>(4)</sup> de difracção ( $\delta$ ) da imagem de uma estrela, no plano focal de um sistema óptico convergente, para o comprimento de onda  $\lambda$ , vale

$$\delta = \frac{2,44 \lambda f}{D}, \quad (\text{Eq. 2})$$

onde  $f$  é a distância focal do espelho e  $D$  o seu diâmetro (Almeida, 2004).

A massa deste imenso espelho seria naturalmente colossal, não inferior à da lente acima referida (90 mil milhões de toneladas), exigindo recursos materiais imensos e dificuldades construtivas enormes. Se fosse possível construir esse espelho, incliná-lo apontando-o para Sírío e fazê-lo seguir esta estrela (outro desafio inesperado a ultrapassar, devido à sua enorme massa e dimensões), o sucesso seria garantido, contrariamente à lente de que falamos antes. De facto, uma aluminização recente apresenta um factor de reflexão de 88% seria eficaz, se pudesse ser construído.

## 5. Refinando a solução, para uma conclusão mais realista

Na verdade, apurando o cálculo, o espelho não precisará de ser tão grande como acabámos de referir, pois (desprezando aberrações ópticas) a concentração de luz no plano focal será muito maior do que no caso do Sol visto que o disco de Airy é muitíssimo menor do que o diâmetro da imagem solar. Supondo  $f/D=2,5$  e  $\lambda=550 \text{ nm}=550 \times 10^{-9} \text{ m}$ , o diâmetro do disco de Airy valerá

$\delta = 2,44 \times 550 \times 10^{-9} \times 2,5 \text{ m} \approx 3,36 \times 10^{-6} \text{ m}$ . Como o que nos interessa é a intensificação da concentração de energia e vimos que se requer que tal factor valha (a exemplo do verificado no início deste artigo) 2094, que *agora* deverá ser ainda multiplicado por  $1,320 \times 10^{10}$ , que é a razão entre o fluxo luminoso que chega a cada  $\text{cm}^2$  do espelho exposta à luz do Sol relativamente ao que sucede com igual área do espelho, exposta à luz de Sírío, para que se obtenha a mesma concentração final de energia, no papel (como se mostra na Eq. 1). A área do espelho (desprezando perdas por reflexão) deverá ser  $2094 \times 1,320 \times 10^{10} = 2,764 \times 10^{13}$  vezes superior à do disco de Airy, ou seja, o diâmetro do espelho deverá ser

$$D = \delta \sqrt{2,764 \times 10^{13}} \approx 5,26 \times 10^6 \delta, \text{ o que nos conduziria a } D \approx 17,8 \text{ m}. \quad (\text{Eq. 3})$$

Antes que nos entusiasmemos, empolgados com este resultado ideal, convém saber que a turbulência atmosférica, fazendo variar rapidamente a direcção dos raios luminosos, espalha-os no plano focal segundo um disco que raramente corresponderá a menos de 2" de diâmetro aparente no céu (correspondendo a resoluções da ordem de 1"), o que já nos coloca, por efeito da turbulência, na situação de fonte extensa, pelo que deveremos refazer o cálculo para um diâmetro aparente de 2" ( $2''=9,70 \times 10^{-6} \text{ rad}$ ) e já não para o disco de Airy. Por exemplo, para um espelho de 5 metros de distância focal, o disco de difusão no plano focal apresenta um diâmetro  $d''$ , de

$$d''=9,70 \times 10^{-6} \text{ rad} \times f=9,70 \times 10^{-6} \times 5 \text{ m}=4,85 \times 10^{-5} \text{ m}. \quad (\text{Eq. 4})$$

Para assegurar a concentração de energia requerida, o diâmetro do espelho deverá ter  $5,26 \times 10^6$  vezes superior a este, ou seja, valerá

$$D''= 5,26 \times 10^6 \times 4,85 \times 10^{-5} \text{ m} \approx 255 \text{ m}. \quad (\text{Eq. 5})$$



Como um espelho aluminizado apenas reflecte 88% do fluxo luminoso nele incidente, precisaremos de o fazer um pouco maior, com o diâmetro  $D''' > D''$ , para compensar as perdas por reflexão e obter a concentração final de energia que desejamos. A sua nova área deverá ser  $1/0,88 \approx 1,14$  vezes maior e o novo diâmetro<sup>(5)</sup>, deverá ser

$$D''' = \sqrt{1,14} D'' \approx 1,07 D'' . \text{ Obtemos então } D''' = 1,07 \times 255 \approx 273 \text{ m}$$

Este espelho, embora já não seja tão gigantesco como o do primeiro cálculo, precisaria de ter uma distância focal muitíssimo pequena em relação ao seu diâmetro. Ou seja, uma relação focal  $f/D = 5/273 \approx 0,018$ . Seria extremamente "cavado e praticamente impossível de construir. Para dar uma ideia concreta, basta referir que os espelhos de relação focal mais curta, que se fazem para telescópios têm  $f/D = 2$ . Não nos adianta aumentar-lhe a distância focal, pois o diâmetro do disco de maior concentração de energia aumentaria na mesma proporção (Cf. Eq. 4), o que por sua vez iria obrigar-nos a aumentar o diâmetro do espelho de igual modo (Cf. Eq. 5).

Se fosse possível construir este espelho, ultrapassando todos os factores complicativos no plano construtivo, seria finalmente possível queimar o tal papel à luz cintilante de Sírío, numa noite gélida de Inverno

[Por decisão pessoal do autor, este artigo não está escrito segundo as regras do novo Acordo Ortográfico.]

#### Referências bibliográficas:

FERREIRA, MÁXIMO & ALMEIDA, GUILHERME DE — *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*, Plátano Editora, Lisboa, 7.<sup>a</sup> edição, 2004 (ISBN-978-972-770-267-1).

ALMEIDA, GUILHERME DE — *Telescópios*, Plátano Editora, Lisboa, 2004 (ISBN-978-972-770-282-4).

(1) – Um parâmetro útil é a relação focal  $f/D$ , quociente da distância focal da lente pelo diâmetro, expressos nas mesmas unidades. Neste exemplo, com  $f = 15$  cm e  $D = 6$  cm,  $f/D = 15/6 = 2,5$ . No caso de fontes luminosas não pontuais (como é o caso do Sol), e para uma dada fonte, a concentração de luz no plano focal é inversamente proporcional ao quadrado de  $f/D$ . Como é óbvio, esta grandeza é adimensional.

(2) – Sírío ( $\alpha$  do Cão Maior) é a estrela de maior brilho *aparente* em todo o céu, a seguir ao Sol. Trata-se pois da mais forte candidata, a seguir ao Sol, à experiência conceptual que pretendemos desenvolver. É uma das estrelas mais próximas de nós (está a 8,7 anos-luz) e é intrinsecamente 21 vezes mais brilhante do que a nossa estrela. Note-se que a distância de 8,7 anos-luz é 550 000 vezes maior do que a distância média da Terra ao Sol.

(3) – Em rigor, deveríamos incluir o diâmetro aparente de Sírío (visto da Terra) nos nossos cálculos. No entanto tal diâmetro aparente, ou diâmetro angular) é incrivelmente pequeno:  $0,005936''$ , ou seja, aproximadamente  $1/300\,000$  do diâmetro aparente do Sol. Nesse caso, a imagem de Sírío não será resolvida no plano focal da lente, pois o disco de Airy será muito maior do que a hipotética imagem de Sírío no plano focal. Assim sendo, e desprezando aberrações ópticas, a luz de Sírío iria concentrar-se num pequeno disco iluminado com o diâmetro do disco de Airy (e uma parte ainda menor, que desprezaremos, nos anéis de difracção). Como a lente é praticamente opaca, o problema deixa de ser colocar. Mas retomaremos a questão mais adiante, na hipótese de usar um espelho côncavo.

(4) – Mais rigorosamente o diâmetro do primeiro anel escuro da figura de difracção. O conceito é abordado em Almeida, 2004.

(5) – O leitor interessado pode refazer o cálculo relativo à lente, para caso de Sírío, tendo em conta o novo diâmetro da área de máxima concentração de luz, com ou sem turbulência (calculando para os diâmetros referidos). Chegará à conclusão de que essa lente teria um factor de transmissão tão baixo que ainda seria praticamente opaca.

# TELESCÓPIOS LUMINOSOS E TELESCÓPIOS MENOS LUMINOSOS: um mito recorrente

Guilherme de Almeida  
[g.almeida\(a\)vizzavi.pt](mailto:g.almeida(a)vizzavi.pt)

**Quando se fala de telescópios, diz-se muitas vezes: "Este telescópio é um  $f/4$  e é muito luminoso; aquele além,  $f/7$ , é menos luminoso; aquele outro é muito escuro, porque é  $f/12$ ". Esta apreciação não é linear e nem está correcta: depende do tipo de utilização que queremos dar ao telescópio. Pretende-se no presente artigo esclarecer esta concepção errada, muito frequente e tão enraizada que se tornou um mito.**



## 1. Natureza do problema

Precisamos de interpretar adequadamente a ideia de "muito luminoso", quando aplicada a telescópios de relação focal curta, sejam newtonianos ou não. Fotograficamente é uma ideia correcta; em observação visual, essa mesma apreciação já não é correcta. Vamos ver seguidamente a razão de tudo isto.

## 2. Telescópios em utilização fotográfica

É certo que, fotograficamente, um telescópio  $f/3$  é quatro vezes mais luminoso do que um  $f/6$ , permitindo fotografar, no foco principal, a mesma nebulosa em metade do tempo. Vamos provar isso. Admitamos que estes dois telescópios têm ambos 300 mm de abertura e que se pretende, com eles, fotografar uma nebulosa com as dimensões aparentes hipotéticas de  $10' \times 10'$ .

Vamos calcular as dimensões lineares da imagem desta mesma nebulosa no plano focal de cada um destes telescópios, onde se encontrará o sensor CCD ou a película fotográfica que registará a imagem da nebulosa. Começaremos por algumas considerações matemáticas simples, utilizando a unidade radiano na medição de ângulos, que é a mais conveniente para estes cálculos.

O símbolo do radiano é "rad" e  $1 \text{ rad} = (180/\pi)^\circ = 57,295779...^\circ \approx 57,3^\circ$ ;

por outro lado, sabemos que um grau contém 60 minutos de arco:  $1^\circ = 60'$ ;

conclui-se então que,  $1 \text{ rad} = 60 \times 57,3 = 3438'$  minutos de arco.

Portanto,  $1' = 1/3438 \text{ rad} = 0,0002901 \text{ rad}$  e consequentemente  $10' = 0,002901 \text{ rad}$ .

No plano focal do telescópio  $f/3$ , com 900 mm de distância focal, 10 minutos de arco irão aparecer com o comprimento linear  $d_1 = 900 \times 0,002901 = 2,61 \text{ mm}$ , pelo que a imagem da nebulosa, formada no sensor, medirá  $2,61 \text{ mm} \times 2,61 \text{ mm}$ . A área desta imagem é  $A_1 = 2,61 \times 2,61 = 6,81 \text{ mm}^2$ .

No plano focal do telescópio  $f/6$ , de distância focal 1800 mm, 10 minutos de arco irão aparecer com o comprimento linear  $d_2 = 1800 \times 0,002901 = 5,22 \text{ mm}$ . A área desta imagem é  $A_2 = 5,22 \times 5,22 = 27,25 \text{ mm}^2$ . Esta área é 4 vezes maior do que a anterior área  $A_1$ .

Como os dois telescópios do exemplo têm igual abertura, e consequentemente captam o mesmo fluxo luminoso vindo da nebulosa, no telescópio  $f/3$  esse fluxo espalha-se numa área 4 vezes menor, dando uma densidade de fluxo luminoso por área (iluminação no sensor) 4 vezes superior à do telescópio  $f/6$ . Por isso, para o mesmo resultado registado, o telescópio  $f/3$  só precisa de  $1/4$  do tempo de exposição (integração) do que o telescópio  $f/6$ .

Podemos ver que, comparando  $f/3$  com  $f/6$ , o "ganho de rapidez" é  $(1/3)/(1/6)$  elevado ao quadrado, ou seja  $(6/3)^2=4$  como os nossos cálculos mostraram. Da mesma forma, um telescópio  $f/3$  é fotograficamente 16 vezes mais luminoso do que um  $f/12$ , pois  $(12/3)^2 = 16$ . Tudo isto fotograficamente e no foco principal. Digo no foco principal, para que a relação focal nativa se mantenha; não sendo assim, a relação  $f/D$  do instrumento já não seria a mesma.

É precisamente por permitir fotografar o mesmo objecto num tempo mais curto que se diz que um  $f/3$  é "mais rápido" do que um  $f/6$ . Do ponto de vista fotográfico, a concepção é correcta. Visualmente já não é assim, como vamos ver.

## 2. Telescópios em utilização visual

Vamos considerar o caso em que os telescópios são utilizados em observação visual. Dois exemplos ilustrarão este conceito.

### *Primeiro exemplo*

Consideremos (para servir de exemplo) dois telescópios de 250 mm, um em  $f/4$  (telescópio A) e outro em  $f/8$  (telescópio B). O telescópio A terá 1000 mm de distância focal e o B terá 2000 mm. A mesma ocular, por exemplo de  $f_{oc}=20$  mm, usada nos dois telescópios, dará 50x no A e 100x no B. A pupila de saída no A será de 5 mm e no B será de 2,5 mm. A imagem, em A parecerá mais brilhante, mas mais pequena (o mesmo fluxo luminoso distribui-se por uma área *menor* da retina do observador), pelo que a comparação está a ser feita em condições não similares: não é uma comparação válida

### *Segundo exemplo*

Para tornar as condições de utilização similares, utilizando a mesma amplificação, apliquemos uma ocular de  $f_{oc}=20$  mm no telescópio  $f/4$  e outra de  $f_{oc}=40$  mm no  $f/8$ . Agora ambos os telescópios dão 50x e as imagens deverão ser igualmente luminosas em ambos os instrumentos, se os espelhos forem de idêntica reflectividade. *Nenhuma diferença* será perceptível em luminosidade. Sendo agora as condições idênticas (para que a comparação seja viável), não se pode dizer que um é mais luminoso do que outro. O observador não conseguirá distinguir se está a observar através do telescópio A ou do telescópio B.

Resta-nos reanalisar o primeiro exemplo. A imagem no telescópio curto (A) parecia mais brilhante porque era uma imagem menor, construída com o mesmo fluxo luminoso que penetrou no telescópio através da abertura de 250 mm (a abertura era a mesma). Utilizando no telescópio B uma ocular de 40 mm, reassume-se o mesmo brilho nos dois, sem distinção, com os dois a trabalhar a 50x e ambas as pupilas de saída em 5 mm.

Podemos também fazer as coisas do modo inverso, deixando a ocular de 20 mm no telescópio longo (B) e usando uma de 10 mm no telescópio A, mais curto. Novamente as imagens serão indistinguíveis em brilho, estando agora ambos os telescópios a 100x e com pupilas de saída de 2,5 mm de diâmetro.

## Conclusão

Em observação visual, a luminosidade de uma imagem extensa (não pontual) depende conjuntamente da abertura do telescópio e da amplificação utilizada, não dependendo da relação focal  $f/D$ . Na realização de fotografias, a luminosidade por unidade de área no plano focal depende da relação focal e cresce com o inverso do quadrado da relação focal.

Na observação de imagens pontuais (estrelas), e se a turbulência for pouco significativa de modo que a luz não se espalhe além da imagem esperada, o brilho da imagem depende exclusivamente da abertura, quer em observação visual quer em observação fotográfica.

### Referências:

ALMEIDA, GUILHERME DE— *Telescópios*, Plátano Editora, Lisboa 2004.

# MODELANDO A POLUIÇÃO LUMINOSA: A EQUAÇÃO DE WALKER E AS SUAS CONSEQUÊNCIAS



Guilherme de Almeida  
[g.almeida\(a\)vizzavi.pt](mailto:g.almeida(a)vizzavi.pt)

A poluição luminosa é um efeito conhecido de todos os que se dedicam, com maior ou menor aprofundamento, às observações astronómicas. O seu efeito perturbador da qualidade do céu acaba por se repercutir a quilómetros de distância das povoações. A poluição luminosa pode ser quantificada de diversas formas e neste artigo analisaremos algumas conclusões práticas interessantes, e até surpreendentes, que se podem extrair da equação acima referida.

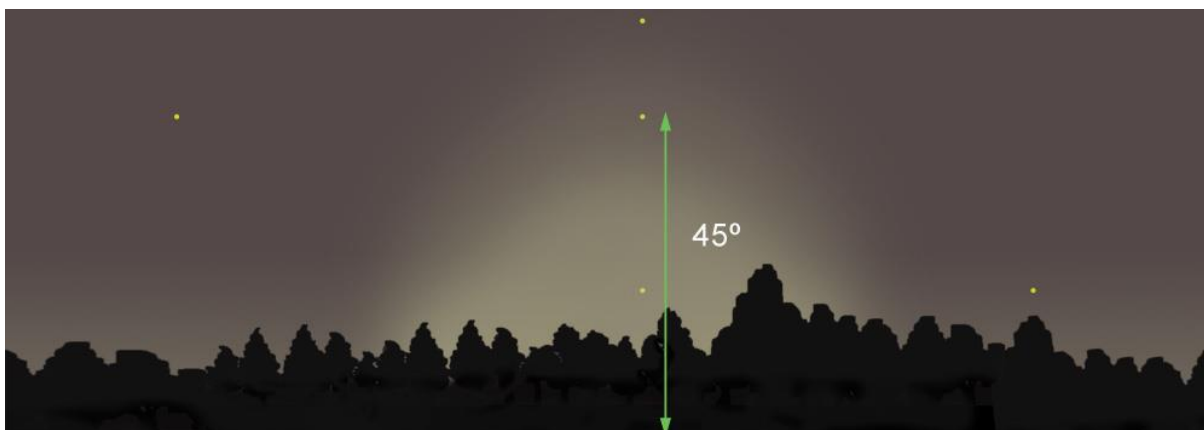
## A equação de Walker

Esta equação pretende quantificar o impacto da poluição luminosa, em termos de degradação do céu num dado local em função da proximidade de povoações de população  $P$  e à distância  $d$  do local de apreciação do céu. Foi estabelecida pelo astrónomo norte-americano Merle Walker, em 1977.

$$I = 0,01 P d^{-2,5} \Leftrightarrow I = 0,01 \frac{P}{d^{2,5}} \quad , \quad \text{[Equação (1)]}$$

onde  $I$  indica o impacto poluidor (acrécimo) no brilho do céu, provocado pelo clarão da proximidade de uma cidade (ver nota 1), em comparação com o brilho natural do céu.  $P$  é a população da cidade (em habitantes) e  $d$  a distância em quilómetros entre a cidade e o local de observação.

Os valores de  $I$  representam incrementos de brilho: por exemplo  $I = 0,1$  indica um acréscimo de 10% no brilho do céu, em relação ao que se teria sem poluição luminosa;  $I = 1$  indica um acréscimo de 100% (duplicação de brilho);  $I = 6$  significa que no brilho foi multiplicado por 7. Se não existisse poluição luminosa seria  $I = 0$  (podendo abreviar-se para  $I_0$ ), por ser esse o valor de referência em ausência de poluição luminosa (ver nota final 2). O valor  $I + 1$  indica o factor multiplicador do brilho do céu, ou seja o quociente brilho artificial/brilho natural. Por comodidade, designaremos esse factor por  $f$  e chamemos-lhe arbitrariamente "factor aclarador do céu". O valor  $I = 0,1$  (ou seja,  $f = 1,1$ ) marca o limite em que os efeitos da poluição luminosa começam a tornar-se sensíveis. Veremos seguidamente as razões desta escolha.



Simulação do clarão produzido por uma cidade distante. Uma dada estrela acima da direcção do clarão e a 45° de altura (topo da seta verde), é menos visível do que outra estrela de idêntico brilho, posicionada muito acima ou lateralmente desviada da direcção desse clarão. Se a estrela for pouco brilhante, já não será detectável, devido ao clarão. Na direcção do clarão, mas a menos de 45° de altura, o efeito poluidor é ainda maior.

## Implicações práticas da equação de Walker

Um factor multiplicador ( $I + 1$ ) igual a 1,1 (ou seja  $I = 0,1$ ) determina um aumento do brilho de uma mesma pequena área aparente do céu traduzindo-se no *decréscimo* de magnitude  $\Delta m$  tal que

$$1,1 = 2,512^{-\Delta m} \Leftrightarrow -\Delta m \log 2,512 = \log 1,1 \quad (\text{onde } \log \text{ designa o logaritmo de base } 10),$$

obtendo-se imediatamente  $\Delta m = -0,04139/0,400 = 0,103 \approx -0,1$  magnitude.

Ou seja, esse aclaramento do céu vai impedir a visão das estrelas que estariam 0,1 magnitude abaixo do limiar de visão a olho nu, num céu livre de poluição luminosa. Ou seja, a magnitude limite a olho nu *piora* em 0,1. Isto significa que se num local ideal ela valia (hipoteticamente) 6,5, neste local valerá  $6,5 + \Delta m = 6,4$ . Como uma variação de 0,1 magnitude é o limiar de detecção do olho humano treinado, justifica-se que  $I = 0,1$  seja considerado o limite da poluição luminosa sensível. No cálculo acima utilizámos a equação de Pogson, que já foi objecto de um artigo anterior, onde agora razão dos "factores aclaradores do céu" já referidos  $(I + 1) / (I_0 + 1)$  corresponde à razão entre os brilhos aparentes do céu com (2) e sem (1) impacto poluidor:

$$\frac{B_2}{B_1} = 2,512^{(m_1 - m_2)} = 2,512^{-(m_2 - m_1)}, \quad [\text{Equação (2)}]$$

onde  $B$  designa brilho por unidade de área e  $m$  a magnitude aparente respectiva dessa pequena área de céu; considerou-se  $B_2 > B_1$  (situação de aproximação gradual da cidade) e logo  $m_2 < m_1$ . Assim sendo,  $m_1 - m_2 = -\Delta m$ .

O mesmo tipo de cálculo aplicado para um factor multiplicador de 1,5 (ou seja  $I = 0,5$ ) determinará a perda de 0,44 na magnitude limite (ver nota final 3). E se for  $I = 1,512$  (ou seja,  $I + 1 = 2,512$ ) os mesmos cálculos anteriores moram que  $\Delta m = -1$ : a magnitude limite *piora* 1 unidade passa por exemplo de 6,5 para 6,1. O leitor pode agora calcular, por exemplo os valores de  $I$  necessários para a perda de 2 ou 3 magnitudes.



## Algumas conclusões e previsões utilizando a equação de Walker

### 1. Efeito da distância e da população

A equação de Walker mostra-nos que o efeito da distância é muito mais influente do que o tamanho (população) da cidade poluidora, como vamos mostrar.

Se uma cidade, a uma dada distância, duplicar de população, uma duplicação de  $P$  traduz-se directamente na duplicação de  $I$ , ou seja

$$\text{Dado que } I = 0,01 P d^{-2,5}, \text{ se } P_2 = 2 P_1 \Leftrightarrow I_2 = 2 I_1 \quad (\text{utilizando a equação 1})$$

Porém, se a mesma cidade, com população constante, estiver duas vezes mais próxima (metade da distância), o impacto poluidor não será o dobro, mas sim cerca de 6 vezes, como se mostra seguidamente:

$$I_1 = 0,01 \frac{P}{d_1^{2,5}} \quad I_2 = 0,01 \frac{P}{(0,5 d_1)^{2,5}} \Leftrightarrow I_2 = 0,01 \frac{P}{(0,5)^{2,5} d_1^{2,5}}$$

$$\text{Ou ainda } I_2 = 0,01 \frac{P}{0,1768 d_1^{2,5}} \Leftrightarrow I_2 = 0,01 \frac{5,66 P}{d_1^{2,5}} \Leftrightarrow I_2 = 5,66 I_1 \approx 6 I_1$$

O efeito é ainda mais dramático se ampliarmos o factor de desproporção. Por exemplo, para um factor 5, ou seja, comparando um aumento de cinco vezes para a população (à mesma distância) contra a redução da distância para 1/5 (para igual população). Nesse caso, o factor população determinará um impacto 5 vezes maior e a redução da distância produzirá um impacto 56 vezes maior. Para um factor 10, o incremento do impacto já será de 10 para a população e de 316 para a proximidade!

### 2. Condição para igual efeito poluidor

Podemos ver o problema segundo outra perspectiva, procurando a razão que deverá existir entre as distâncias comparativamente com a correspondente razão entre populações, para que o impacto poluidor de duas cidades seja igual. Consideremos duas cidades, designadas por A e B, sendo a cidade A com população  $P_A$ , distância do local de observação  $d_A$  e impacto  $I_A$ ; a cidade B, terá  $P_B$  e  $d_B$  e  $I_B$ , considerando que elas produzem o mesmo impacto na poluição luminosa do local de observação (ou seja,  $I_A = I_B$ ) verificamos as seguintes conclusões

$$I_A = I_B \quad \text{significa} \quad \frac{P_A}{P_B} = \frac{d_B^{-2,5}}{d_A^{-2,5}} \quad \text{ou ainda} \quad \frac{P_A}{P_B} = \frac{d_A^{2,5}}{d_B^{2,5}}$$

O quadro seguinte resume e compara diversas situações, onde  $P_A/P_B$  é o quociente das populações das cidades referidas por A e B.

#### Exemplos de pares distância e população, para igual impacto na poluição luminosa

$P_A/P_B$	Exemplos de $P_A$ e $P_B$	$d_A/d_B$	Exemplos de $d_A$ e $d_B$
100	1 000 000 e 10 000	6,25	100 km e 15,9 km
10	1 000 000 e 100 000	2,51	100 km e 39,8 km
2	1 000 000 e 500 000	1,32	100 km e 75,8 km

É interessante e talvez inesperado verificar (no quadro acima) que, por exemplo, uma cidade de 100 000 habitantes a cerca de 40 km produz tanta poluição luminosa como uma cidade de 1 milhão de habitantes, a 100 km. Para comparação, o quadro abaixo indica a população de algumas cidades portuguesas.

**Exemplos das populações de algumas cidade portuguesas,  
para apreciação de situações concretas**

Lisboa*	Porto	Braga	Coimbra	Évora	Faro	Beja	Viseu
600 000	443 000	176 000	155 000	56 000	50 000	24 000	22 000

\* População apenas de Lisboa. População da Grande Lisboa  $\approx$  3 000 000 habitantes.

**3. Deterioração do céu expressa como perda de magnitude limite**

A conclusão 1 pode ser retrabalhada para dar uma resposta mais adequada à sensibilidade e aos interesses e do observador típico: uma resposta em quebra de magnitude. Para calcular a quebra de magnitude utilizaremos a equação de Pogson (a anterior equação 2)

**Impacto poluidor de uma cidade de 50 000 habitantes,  
a distâncias sucessivamente menores**

Distância	100 km	80 km	40 km	20 km	10 km	5 km
$f = (1+I) / (1+I_0)$ **	1,005	1,009	1,05	1,28	2,58	9,94
Perda de magnitude $\Delta m$	- 0,0054	- 0,0097	- 0,053	- 0,27	- 1,029	- 2,49

\*\*  $I_0$  designa o impacto artificial nulo, ou seja o céu natural, livre de poluição luminosa.

Para esta pequena cidade, o efeito poluidor é insignificante a partir de cerca de 30 km de distância (para a qual se teria  $I=0,10$ ).

**Impacto poluidor de uma cidade de 1 000 000 habitantes,  
a distâncias sucessivamente menores**

Distância	100 km	80 km	40 km	20 km	10 km	5 km
$f = (1+I) / (1+I_0)$ **	1,10	1,17	1,99	6,59	32,6	179 ***
Perda de magnitude $\Delta m$	- 0,10	- 0,17	- 0,75	- 2,05	- 3,78	- 5,63 ***

\*\*\* Estes valores seguidos não são confiáveis dado que já estaremos dentro da cidade, que nos envolve e rodeia, deixando de se situar primordialmente num dado azimuth.

**4. Determinação da distância de segurança em função da população**

Por último, e dado que  $I = 0,1$  é o impacto para o qual a poluição luminosa começa a ser significativa ( $f = 1+I=1,1$ ), dado que um  $\Delta m = -0,1$  corresponde ao limiar de detecção visual de variação de brilho, calculemos de forma generalizada, a distância de segurança  $d_s$ , para a qual se alcança esta condição, em função da população  $P$  de uma cidade.

A partir de  $I = 0,01 \frac{P}{d^{2,5}}$  obtemos  $d_s^{2,5} = \frac{0,01 P}{0,1} = 0,1 P$ .

Aplicando logaritmos (de base 10) ao primeiro e terceiro membros, virá

$$2,5 \log d_s = -1 + \log P \Leftrightarrow \log d_s = \frac{-1 + \log P}{2,5} \text{ e por uma conhecida propriedade dos}$$

logaritmos ( $\log x = a \Leftrightarrow x = 10^a$ ), obtemos imediatamente  $d_s = 10^{\left(\frac{-1 + \log P}{2,5}\right)}$

Utilizando esta expressão para a chamada Grande Lisboa, de população estimada em 3 milhões de habitantes, obtemos

$$d_s = 10^{\left(\frac{-1 + \log 3\,000\,000}{2,5}\right)}, \text{ o que nos dará } d_s = 155 \text{ km.}$$

Seria esta a distância de segurança se a Grande Lisboa fosse a *única* fonte de poluição luminosa. O grande problema é que, em Portugal, quando nos afastamos muito de uma cidade já nos estaremos a aproximar de outra, eventualmente menor. Há que procurar os melhores compromissos.

Existem refinamentos da equação de Walker que levam em conta a curvatura da Terra, visto que uma cidade muito afastada estará abaixo do horizonte do observador, o que ocultará parte do seu clarão de luz. Mas não nos entusiasmemos demasiado: a uma distância de 150 km, uma cidade estará apenas 0,67° abaixo do horizonte do observador, e a diferença a 45° de altura será muito pequena.

#### Referências:

Para informação sobre a equação de Pogson e cálculos comparativos de magnitudes e brilhos, veja-se Guilherme de Almeida— *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*, 7.ª Ed., Plátano Editora, Lisboa, 2004.

#### Links de informação útil:

[http://www.ayton.id.au/gary/Science/Astronomy/Ast\\_light\\_pollution.htm](http://www.ayton.id.au/gary/Science/Astronomy/Ast_light_pollution.htm)

<http://www.bractrf.com/documents/LightPollutionStudy.pdf>

<http://homepages.uwp.edu/frien001/nwlight.pdf>

#### Notas:

(1) – A equação de Walker foi desenvolvida com base em observações realizadas na Califórnia e está otimizada para cidades ou povoações em que o fluxo luminoso utilizado por habitante se situa entre 500 lm e 1000 lm, o que é uma premissa realista. O impacto  $I$  poluidor é considerado no local de observação à distância  $d$ , no azimute da cidade e a cerca de 45° de altura.

(2) – A indicação  $I=0$ , referida como  $I_0$ , resulta imediatamente da equação de Walker considerando  $P=0$  ou uma distância  $d$  infinitamente grande. Veremos mais adiante que a partir de uma dada distância de segurança (que não é enorme) o impacto poluidor pode desprezar-se. Não deverá considerar-se que  $I=0$  significa um céu completamente negro, pois mesmo nos locais mais inóspitos existe sempre um brilho residual natural, muito fraco, proveniente de vários factores: excitação/desexcitação de átomos existentes na alta atmosfera terrestre, provocada pela radiação solar; reflexão e difusão da luz solar em poeiras existentes no plano do sistema solar; difusão, na nossa atmosfera, da luz das próprias estrelas. Os valores de  $I$  são acréscimos percentuais a essa referência residual natural. Nos arredores das cidades não é invulgar obter valores de  $I$  superiores a 6.

(3) – A magnitude limite é um conceito que traduz o brilho das estrelas mais fracas que ainda podem ser detectadas a olho nu, próximo do zénite, em noites de céu limpo e sem Lua. É um parâmetro utilizado frequentemente como um indicador da escuridão do céu e transparência do ar, no sentido em que as áreas com poluição luminosa e com ar húmido têm geralmente magnitudes limite mais baixas do que locais remotos e de ar seco, ou com altitudes elevadas. Há diferenças significativas de local para local, de acordo com a proximidade de cidades e povoações de dimensão considerável. Em alguns locais de Portugal, a magnitude limite ( $m_L$ ) é superior a 6,3. Nos subúrbios de uma cidade como Lisboa,  $m_L$  será aproximadamente 5, o que significa que só se verão a olho nu cerca de 600 estrelas (menos de 1/4 das que se podem ver de um local sem poluição luminosa significativa). Nos arredores próximos, ter-se-á um valor de  $m_L$  próximo de 3,5 e na melhor das hipóteses podem avistar-se umas 120 estrelas. E no coração lisboeta, será normal encontrar valores de magnitude limite próximos de 2,5, permitindo detectar, com dificuldade, cerca de 25 estrelas a olho nu, num dado momento.

# MOTORIZAÇÃO DE UMA RODA DE FILTROS MANUAL

Nuno Gameiro

[nunoagameiro@gmail.com](mailto:nunoagameiro@gmail.com)



Já há muito tempo que procurava uma roda de filtros motorizada para colocar no observatório, mas os preços elevados das mesmas levaram-me a pensar em motorizar a roda manual que já tinha.

O principal problema a ultrapassar, é o desenho da roda. As motorizadas são desenhadas de forma a alojar toda a electrónica e são fechadas, enquanto, as manuais são pensadas de forma diferente.

**Nota:** *No final do artigo, descrevo algumas alterações que decidi efectuar ou que já efectuei após a modificação da roda e a escrita deste artigo.*

A primeira decisão a tomar foi a electrónica. Uso há já muito tempo o *Arduino*, e como estou bastante à vontade com o mesmo, foi essa a minha escolha.

O *mod* inicial foi em todo idêntico à primeira versão da roda motorizada da Atik. Com recurso a um motor de passos, com um *ring* de borracha colocado no eixo do motor e encostado à roda, fazia com que cada posição do filtro corresponde-se a um determinado número de passos. Em teoria funciona muito bem, na prática nem por isso. As diferenças de temperatura faziam com que o *ring* se deformasse com bastante frequência, ainda que de forma muito subtil, fazendo com que perdesse contacto com a roda. Desta forma, era habitual que de uma sessão para outra, perde-se a posição correcta do filtro.

Como hipótese, era tentar encostar com mais força o *ring* à roda, mas infelizmente descobri que este tipo de motores “não gostam” que se exerça força excessiva no eixo. Curiosamente encontrei muitos utilizadores com o mesmo problema, inclusive na roda da Atik.

Foi depois deste “fracasso” que decidi levar as coisas com muito mais calma. Investigar a forma de funcionamento das rodas comerciais actuais e pensar num novo motor, de forma a conseguir a maior precisão possível.

Havia também alguns pontos importantes, que não tive em conta na primeira tentativa. O peso total, o consumo, e, ainda mais importante, o facto de se tratar de uma roda de 1.25 " para ser usada com uma câmara com um sensor já com um tamanho generoso, como é o caso da Atik 383L.

Relativamente aos dois primeiros pontos, a resposta foi o uso de um motor Servo. Existem vários, entre eles alguns minúsculos (micro Servo), pesam apenas alguns gramas, têm bastante força devido à forma como funcionam (desmultiplicação), o que permite encostar a

borracha à roda com mais força, e acima de tudo podem ser alimentados apenas com 5v, podendo ser alimentados via USB.

A maioria dos motores Servo estão feitos para rodarem apenas alguns graus para cada lado, e precisam de ser, também eles, modificados de forma a permitirem rotação contínua. Existem várias formas de o fazer. A mais usual é substituir o potenciómetro por duas resistências do mesmo valor. Esta modificação é bastante simples, e existem inúmeros sites que a demonstram, pelo que não vou aprofundar aqui.

Este tipo de motor não dá para “marcar” passos como os motores de passo, pelo que tive de usar o mesmo método que a maioria das rodas comerciais usam para “marcar” a posição de cada filtro.

Estas usam um sensor do tipo *Photointerrupter*. O funcionamento é muito simples: Um LED de infra-vermelhos de um lado e um receptor de infra-vermelhos do outro. Já repararam com certeza que normalmente as rodas comerciais têm uns furos na posição de cada filtro. Sempre que o sensor passa por um desses furos, o receptor IV capta a luz emitida pelo LED, e o motor pára. Simples.

Foi também nestas minhas pesquisas, que encontrei um *user* Francês que chegou à mesma conclusão que eu. Foi ele que me deu a ideia para calibrar a posição dos filtros. A ideia era a de arranjar um ponto de partida que marcasse o ponto de calibração da roda. Assim, sempre que algo errado acontece-se, calibrava a roda. A solução usada foi a mesma dele; um sensor Hall. Este é basicamente um sensor que detecta magnetismo. Coloca-se um íman num local da roda, quando o sensor o detecta, o motor pára. Aqui a precisão de colocação do magneto não tinha de ser muita. O que fiz foi programar a roda para que quando encontrasse o magneto, avançasse para o próximo filtro (no meu caso o primeiro) usando o *Photointerrupter*. Desta forma ficava perfeitamente calibrado.

Havia ainda o problema que algumas rodas manuais (como era o caso da minha) levantam: entrada de luz parasita. Para resolver o problema, resolvi usar uma caixa de plástico usadas em electrónica. Não só resolvi parcialmente o problema da entrada de luz, como protegi a parte dos cabos junto à roda.

Uma última decisão, foi a forma de ligar a roda ao Arduino. Com o número de fios em causa, tinha duas hipóteses. Um cabo de Série ou um RJ45. Devido ao peso e ao espaço ocupado, optei pelo RJ45.

Consegui finalmente uma lista do material necessário:

- Uma placa [Arduino](#)
- Um sensor [Photointerrupter](#)
- Um sensor [Hall](#)
- Um [íman](#) para o sensor
- Um motor [Servo](#)
- Uma caixa [plástica](#)



Para as ligações usei também:

- Um cabo RJ45
- Um [conector](#) RJ45 fêmea-fêmea
- [Cabos](#) para ligações
- Ferro de soldar
- Solda
- Uma [placa](#) PCB para soldar os sensores.

Eu tenho uma [Dremel](#), o que me facilitou e muito o trabalho, ainda assim é perfeitamente possível efectuar o *mod* sem recorrer ao uso de uma.

### COMEÇA O MOD

O primeiro passo na modificação em si, foi a marcação e perfuração dos furos que marcam a posição dos filtros na roda. Mais uma vez, as rodas comerciais vêm já com espaço “extra” para os furos, eu, estava limitado em espaço. Se o caso fosse por exemplo uma roda de 2" para ser usada com um sensor pequeno, a precisão de posição era muito menor, mas uma roda de 1.25" com um sensor grande, a precisão teria de ser a maior possível.

Para a marcação, primeiro tive de desmanchar toda a roda, de forma a conseguir utilizar apenas o círculo que sustenta os filtros, fiz um desenho do mesmo em papel vegetal, dividi o círculo que a representa em 5 (roda com cinco filtros), coleí o papel sobre a roda, e marquei com um pequeno prego. Uma vez que estava bastante limitado em espaço, marquei a apenas 2mm do bordo da roda.

Depois com a *Dremel* e uma broca de metal de 1 mm, fiz os furos. Esta operação tinha sido muito mais fácil com um elevador de berbequim, mas não tenho. Qualquer falha na perfuração, era sinal de “morte” da roda. Daí ter sido o que mais tempo me tomou.



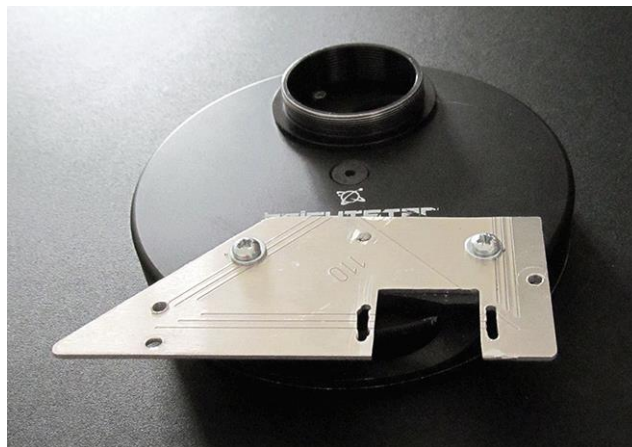
Esta peça da roda irá ficar entre o sensor *Photointerrupter*



O passo seguinte, foi o de abrir o furo para a colocação do íman. A precisão para este furo é relativa. O que tinha em mente, era colocar o íman antes do primeiro filtro, e assim que o sensor encontrasse o íman, avançasse para a primeira posição.

Para colar o íman ao metal descobri um método, no mínimo curioso, mas que funciona. Deita-se um pouco de super-cola nos dois lados do metal a colar, e entre ambos, um pouco de algodão. Depois de secar, dificilmente tornará a sair.

A seguir, precisei de algo que prendesse tanto o motor como os sensores. Encontrei numa loja de bricolagem, um triângulo de alumínio muito leve, mas suficientemente rijo. Para o cortar, a Dremel mostrou-se muito útil.



O quadrado cortado mais largo à direita, é para o motor. Abri os furos para que possa correr o motor, e desta forma encostar ou afastar o mesmo da roda. Os dois furos laterais superiores são para prender a caixa de plástico à roda, o de baixo à esquerda, é para prender a placa dos sensores. Também aqui posso correr a placa para ter uma maior precisão na colocação do *Photointerrupter*.

Para aparafusar a placa à roda, usei dois parafusos autorroscantes, aos quais cortei o excedente depois de aparafusado. Terminada esta fase, vamos aos sensores e motor.

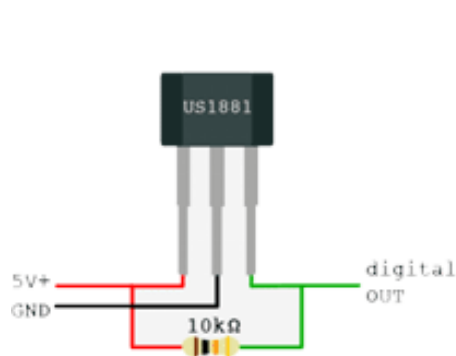
## SENSORES

**Sensor Hall:** Este é o mais simples. Existem 3 tipos destes sensores. *Latch, Linear e Simple*. Para demonstrar as diferenças existe [este](#) excelente artigo, o qual demonstra também a forma de os ligar. No meu caso usei o mais comum, o *Latch*. Imaginemos que queremos acender um LED pela aproximação do sensor ao magneto, a forma de o apagar seria o de aproximar o magneto com o pólo contrário ao sensor. Como é evidente não podia virar o magneto ao contrário para desligar o sensor, e para evitar o uso de um segundo magneto, usei um dos pinos do Arduino para ligar e desligar. Mais à frente mostro como.

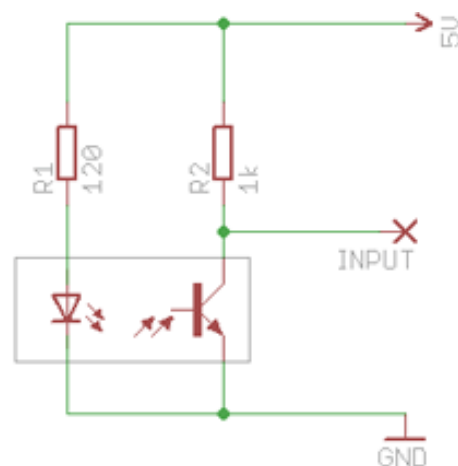
**Sensor Photointerrupter:** Este foi o mais complicado. Eu guiei-me por [aqui](#). Os valores das duas resistências usadas foram calculadas pela loja onde o comprei. Este sensor usa um LED de infravermelhos, o que destruía as fotografias obtidas. Para o desligar, usei o mesmo método para desligar o sensor Hall.

**Motor Servo:** Este é muito simples. Para ligar é [desta](#) forma.

De uma forma bastante simples, temos então as ligações dos sensores e do motor da seguinte forma:



*Sensor Hall*



*Sensor Photointerrupter*

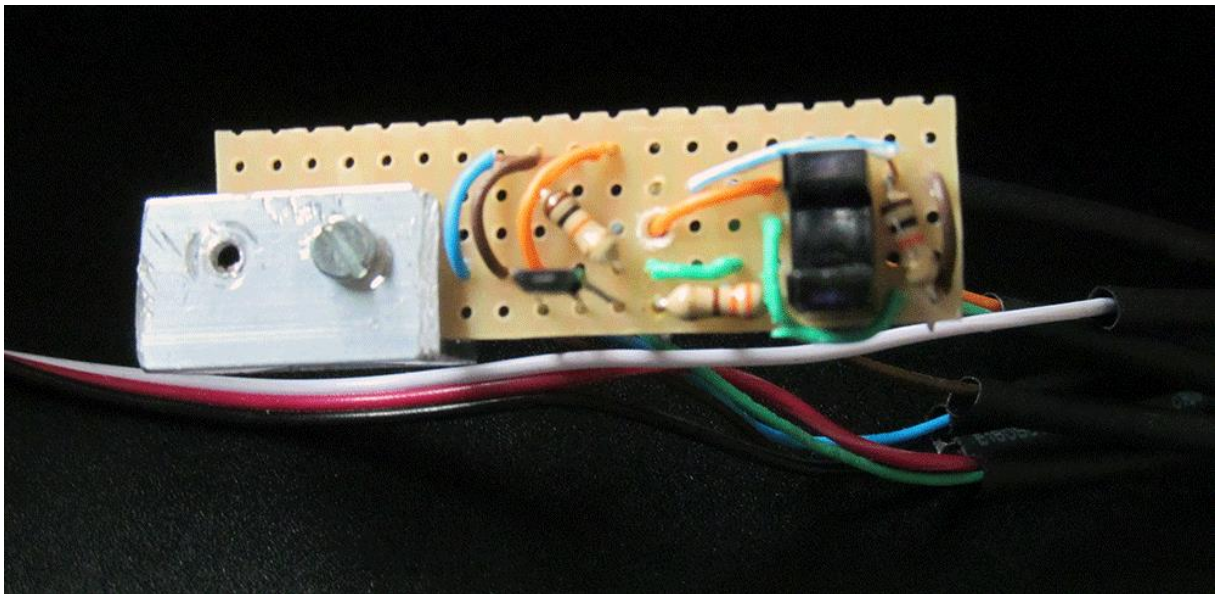
As ligações ao Arduino :

- Sensor Hall
  - Digital out → 1 pino digital
  - +5v → 1 pino digital
  - Gnd → negativo

- Sensor Photointerrupter
  - +5v do LED → pino digital
  - +5v do detector → pino digital
  - Input → pino digital
  - Gnd → negativo
- Motor
  - Gnd → negativo
  - +5v → positivo
  - Signal → pino digital (PWM)

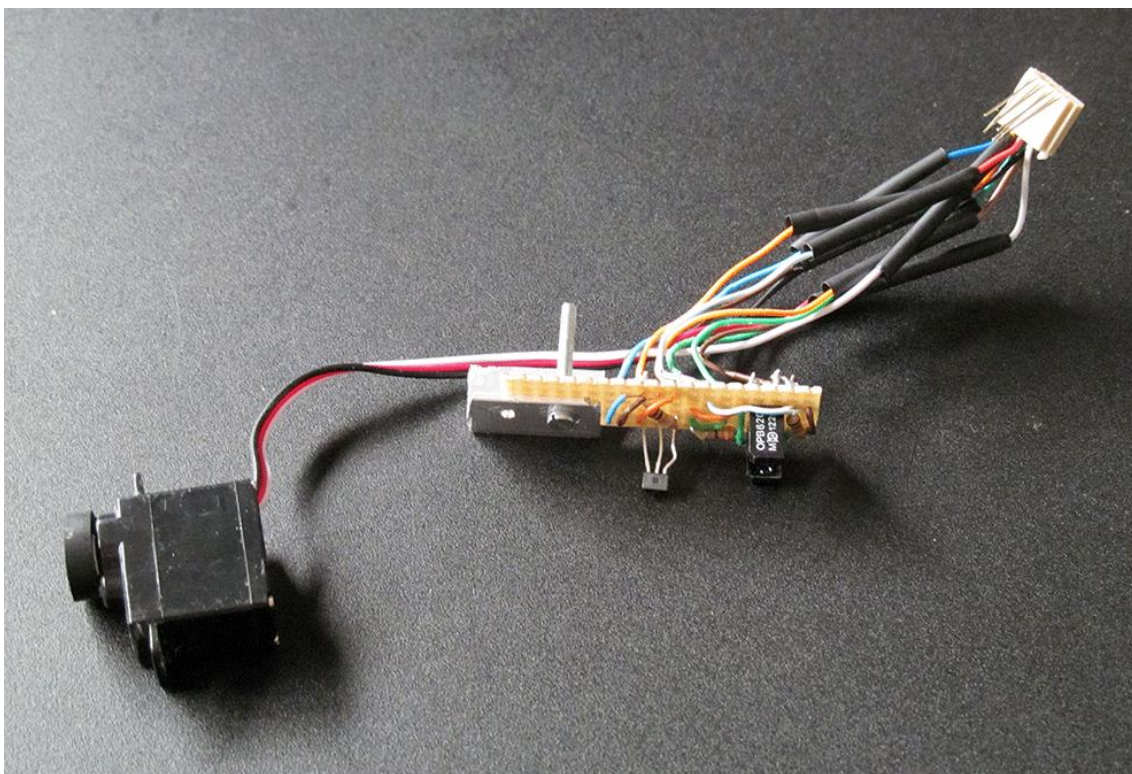
Como se pode verificar, o sensor *Hall* “exige” que se ligue os +5v ao positivo no Arduino, bem como o *Photointerrupter* ligar o +5v do detector, também ao positivo do Arduino. Ao ligar ambos a pinos digitais em vez de os ligar ao positivo, permite-me ligar e desligar os pinos via código. Desta forma não temos de inverter a polaridade do íman para fazer *unlatch* ao sensor e podemos desligar o LED IV quando estivermos a fotografar.

Tudo soldado, ficou com este aspecto:



A *board* com os sensores montados. Dou-me mal com o ferro de soldar, mas até correu mais ou menos. O 'L' metálico à esquerda é o que segura a placa à roda. Antes de soldar os componentes, verifiquei a posição dos mesmos.



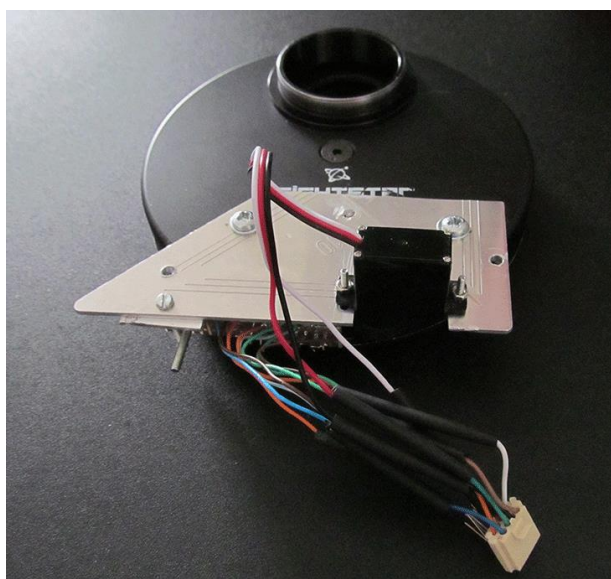


O aspecto de toda a parte electrónica. À direita, uma peça amovível do conector fêmea RJ45.

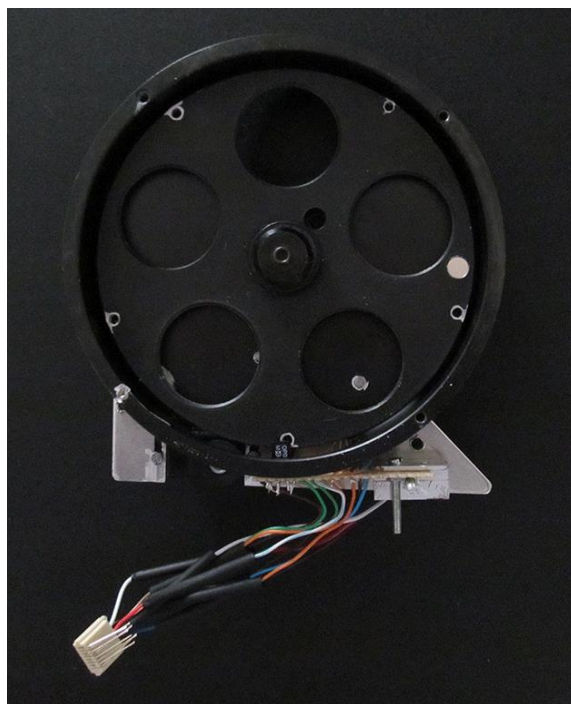
**Nota:** Para confirmar que efectivamente o LED IV não está ligado quando não é necessário, basta apontar uma máquina fotográfica com LiveView (qualquer telemóvel hoje em dia o tem). Se estiver ligado, o LiveView vai mostrar um azul intenso do LED.

## MONTAGEM

O passo seguinte foi montar tudo na roda.





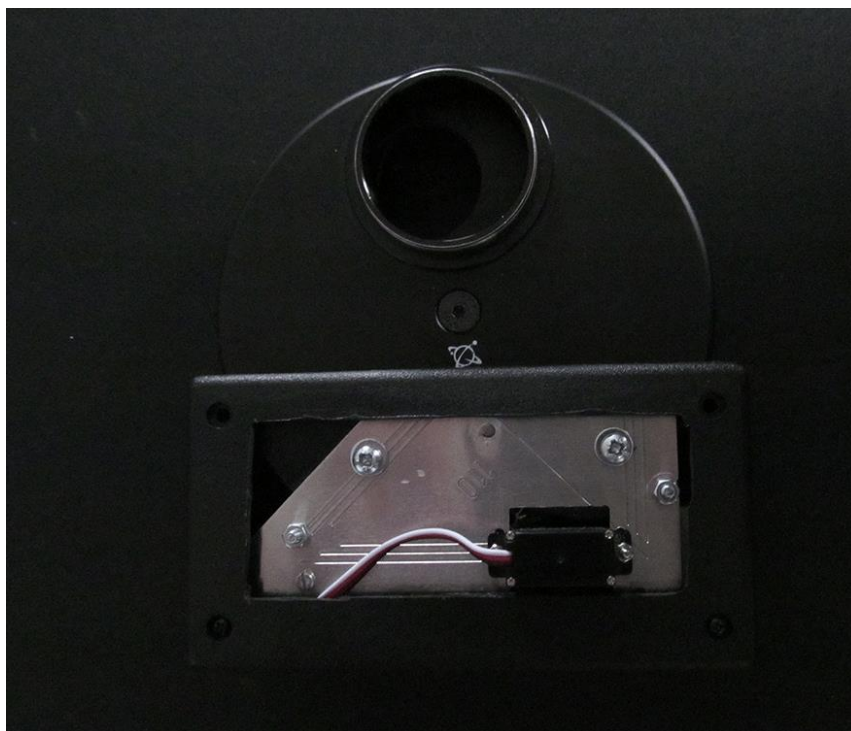


Como se pode ver na foto, o *Photointerrupter* foi posicionado de forma a que a roda pare exactamente no local pretendido. O sensor Hall encontra-se entre a parte interna e externa da roda.

A seguir tratei de cortar a caixa plástica e prende-la à roda. Aqui a *Dremel* foi novamente muito útil, mas é perfeitamente possível fazer o mesmo com outras ferramentas.



Os dois parafusos que se vêem na imagem servem para prender os cabos e impedir que toquem na borracha do motor. Vê-se também a ficha fêmea RJ45 que irá ligar ao *Arduino*. Infelizmente não encontrei fichas pretas...ficou assim mesmo.



A roda completa

## CÓDIGO

A seguir veio o código do *Arduino*. O *Arduino* funciona em 'loop', o que permite que esteja sempre a “escutar” por mensagens. O que fiz foi programa-lo de forma a responder a dois comandos: 'C' e 'M'.

O primeiro servia para a calibração. O segundo, para mover a roda de uma posição para outra. Imaginando que o filtro actual é o 2, e que pretendia mover a roda para o 5, o comando enviado para o *Arduino* seria o 'M25'.

A primeira versão do código, fazia com que a roda andasse para ambos os lados. Se estivesse no filtro 5, e quisesse ir para o 4, andava para trás, se fosse o inverso, andava para a frente. Por não ter usado um elevador de berbequim, alguns furos na roda não foram feitos perfeitamente a direito, o que fez com que a roda não parasse sempre na mesma posição, caso andasse para trás ou para a frente. Para combater isto, fiz com que a roda, independentemente do filtro de origem e destino, andasse sempre para o mesmo lado. É importante lembrar em termos de código, que a roda vai-se mover no sentido oposto ao do motor.

Torna-se muito difícil colocar a totalidade do código no artigo, pelo que coloco apenas algumas partes.

A primeira linha de código de todas, é chamar a livraria para usar o motor Servo

```
#include <Servo.h>
```

Depois, definem-se as variáveis todas. Neste caso é importante declarar os pinos correspondentes ao motor e a ambos os sensores. É desta forma que vamos conseguir ligar e desligar os sensores através do código. Aqui apenas as variáveis respeitantes ao *Photointerrupter*.

```
int pinoInterrupter = 6;    //pino do Photointerrupter
int pinoPowerInterrupter = 7; //ligar e desligar o pino do sensor
```

Uma vez modificado o motor servo, existem 3 posições importantes que têm de ser encontradas. A mais importante é a que pára por completo o motor, as outras duas são a que movem o motor para trás e para frente. No meu caso estas foram as posições que encontrei. O meu motor antes de ser modificado fazia 180°. Logo as posições de movimento eram 0 e 180.

```
//posições
int posNeutra = 158; //parar o motor
int posFrente = 180; //motor anda para a frente
int posTras = 0;    //motor anda para tras
```

Como vamos enviar comandos, o Arduino aguarda para recebe-los. Uma vez que os comandos enviados vão ser, por exemplo 'M24', será um total de 3 caracteres. As Arrays (variável que guarda uma range de um determinado tipo de dados), no Arudino, são iniciadas em 0, logo define-se como [2] na variável.

```
//comandos recebidos
char comando;
char temp[2];
```

Também o motor necessita de uma variável

```
//motor
Servo servo;
```

Outro tipo de variáveis importantes no caso são:

```
int filtros = 0;    //obtem o filtro de destino e origem [00]
int contagem = 0;   //para contagem quando selecciona um filtro
String filtroOrigem; //filtro de origem recebido
String filtroDestino; //filtro de destino recebido
```

Todo o processo de “arranque” do Arduino funciona dentro de um procedimento '*Setup()*' É neste procedimento que se coloca tudo o que se quer que o Arudino faça (neste caso a roda) quando se liga o cabo USB.

```
void setup()
{
```

Se quisermos enviar qualquer mensagem através da porta de série (o Arduino converte USB em sinais de série), é preciso adicionar a seguinte linha.

```
Serial.begin(9600);
```

No meu caso vou querer saber em que filtro a roda está (variável contagem).

Depois é necessário definir os pinos. INPUT serve para obter o valor do pino, OUTPUT é para alterar o estado do pino.

```
pinMode(pinoInterrupter, INPUT);    //sensor PhotoInterrupter
pinMode(pinoPowerInterrupter, OUTPUT); //ligar e desligar o LED IR.
```

LOW significa pino desligado, HIGH ligado. Sempre que ligo a roda, os sensores estão desligados.

```
//definir o estado dos sensores
digitalWrite(pinoPowerHall,LOW);    //desliga o sensor Hall
digitalWrite(pinoPowerInterrupter, LOW); //desliga o LED IR do sensor PhotoInterrupter

}
```

Terminado o *Setup()* passemos ao *Loop()*. Lembrem-se de eu ter dito que o Arduino funciona num loop, e dessa forma estaria sempre a aguardar mensagens ? É neste procedimento que vamos implementar essa funcionalidade.

```
void loop()
{
```

Sempre que haja um comando disponível, o Arduino “lê”...

```
//Procuramos por comandos enviados...
while (Serial.available())
{
    comando = Serial.read();

    //recebido, ver qual....
    switch(comando)
    {
```

Agora, vou apenas colocar a verificação caso tenha sido um comando para mover a roda. Todos os outros são implementados da mesma forma

```
    case 'M': //[M]over
        delay(400);
        mover();           //Chamamos a função mover()
        break;

    } //switch
} //while
} //loop
```

Vimos que se o comando recebido for M (no caso será M+filtro origem+filtro destino, chama a função mover()).

Esta foi a função que deu mais “luta”. Não foi fácil obter a contagem correcta do filtro. Coloco a função toda para referência.

```

void mover()
{

//ligamos o sensor
digitalWrite(pinoPowerInterrupter, HIGH);
//ligamos o motor
servo.attach(pinoMotor);

//obtemos o comando enviado
for (unsigned char i=0; i<2;i++)
{
    temp[i] = Serial.read();
    filtros = atoi(temp);
}

//Obtemos os filtros de origem e destino
String tempString = String(filtros);    //[00]
filtroOrigem = tempString.substring(1,0); //[0]
filtroDestino = tempString.substring(2,1); //[0]
contagem = filtroOrigem.toInt();        //contar do filtro destino, até ao origem, por cada passagem pela marca
Serial.print(contagem);                //informamos qual o filtro actual

servo.write(posTras);
delay(500);
Serial.print(contagem); //neste momento, a contagem é igual ao filtro de origem...

//enquanto não chegármos ao filtro de destino
while (contagem != filtroDestino.toInt())
{
    Serial.print(contagem); //info

    //ainda nao encontrou a posição
    while (digitalRead(pinoInterrupter) == HIGH)
    {
        contagem = contagem; //o filtro continua o mesmo
        Serial.print(contagem); //info
    }

    //encontrou uma marca (filtro)
    if (digitalRead(pinoInterrupter) == LOW)
    {
        //aumentamos a contagem
        contagem = contagem +1;
        if (contagem == 6){contagem =1;}

        Serial.print(contagem); //info

        //a partir daqui já podemos de facto avançar um filtro

        //se ainda não chegámos ao filtro de destino...
        if (contagem != (filtroDestino.toInt()))
        {
            Serial.print(contagem); //info

            //enquanto o sensor estiver na marca...
            while (digitalRead(pinoInterrupter)==LOW)
            {
                contagem = contagem; //ainda estamos na marca....a contagem mantém
                Serial.print(contagem); //info
            }
        }
    }
}

```

```

        }//while
    }//if contagem <
    }//if == LOW
} //while contagem

//Chegámos ao filtro de destino...desligamos o LED IR e paramos o motor
digitalWrite(pinoPowerInterrupter, LOW);
parar();

} //void

```

A função parar() limita-se a parar o motor (mover para a posição neutra).

Por último, bastava-me apenas um GUI que me permitisse controlar a roda. O GUI foi desenvolvido em VB.net. Para mover a roda a partir de um botão, ficaria algo do género:

```
Imports System.IO.Ports
```

```
Dim port As New SerialPort
```

```
Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
```

```
    'Ligamos ao Arduino
```

```

    port.Close()
    port.PortName = Me.ComboBox1.Text
    port.BaudRate = 9600
    port.DataBits = 8
    port.Parity = Parity.None
    port.StopBits = StopBits.One
    port.Handshake = Handshake.None
    port.Encoding = System.Text.Encoding.Default
    port.Open()
    port.RtsEnable = True

```

```
End Sub
```

```
Private Sub btnMover_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnMover.Click
```

```

    'Movemos do filtro 2 ao 5
    port.Write("M25")

```

```
End Sub
```



## CONSIDERAÇÕES FINAIS:

- Depois de concluída a roda, aventurei-me no desenvolvimento de um Driver ASCOM para poder controlar a roda, por exemplo através do MAXIM. Fica talvez para um próximo artigo. Digo apenas, que para quem gosta de programação, é algo bastante simples.
- O Arduino tem uma versão da placa, microArduino. Esta é, como aliás o nome indica, muito pequena, permitindo usa-la junto à roda, dentro da caixa plástica, Desta forma não há a necessidade de usar o Cabo RJ45 para ligar ao Arduino, e por sua vez o Arduino ao PC. Ficaria tudo num conjunto apenas. Algo para alterar mais tarde.
- No caso do uso de cabo RJ45, é muito importante o uso de cabos com Shield (placa metálica que alguns cabos RJ45 trazem em torno da ficha). Não esquecer que vai passar energia pelo mesmo. Não facilitar é muito importante.
- Alguns motores servo ao serem alimentados (ligar/desligar o cabo USB, RJ45, ou simplesmente ligar o PC) , movem-se ligeiramente. O meu, infelizmente, move-se, fazendo com que tenha de (re)seleccionar o filtro sempre que fotografo. Mais tarde, a troca do motor por outro parece-me inevitável. Ainda não encontrei ninguém que tenha conseguido contrariar esta tendência de alguns motores, mas ainda não desisti.
- Numa primeira tentativa eu ligava apenas ao pino digital do Arduino o que respeitava ao LED IR do sensor *Photointerrupter*, nos primeiros testes que fiz com a camara, ainda assim as imagens apareciam queimadas, o que mostrou que ainda existia luz presente. O plano de ligações que mostro no inicio já contempla a ligação dos dois positivos a pinos digitais diferentes do Arduino. Desta forma desligo completamente o sensor.
- Descobri entretanto que algumas rodas comerciais usam, em vez do *Photointerrupter*, um sensor de fim de curso. A implementação deste numa roda manual parece-me bastante mais simples do que o que usei, podendo até ser usado o corpo de cada filtro como fim de curso, não sendo preciso alterar nada na própria roda. Algo a testar sem duvida numa próxima.

Espero que este artigo tenha sido útil. Para qualquer dúvida, estou ao dispor

# THE SPECTROHELIOGRAPH AND THE SPECTROHELISCOPE

PEDRO RÉ

<http://www.astrosurf.com/re>

The spectroheliograph was invented independently by George Ellery Hale (1868-1938) (Figure 1) and Henri-Alexandre Deslandres (1853-1948) (Figure 2) in 1890/1891. Robert Raynolds McMath (1891-1962) extended its functionality (1932) in order to take motion pictures of the Sun. G.H. Hale also invented the spectrohelioscope in 1924-1929.

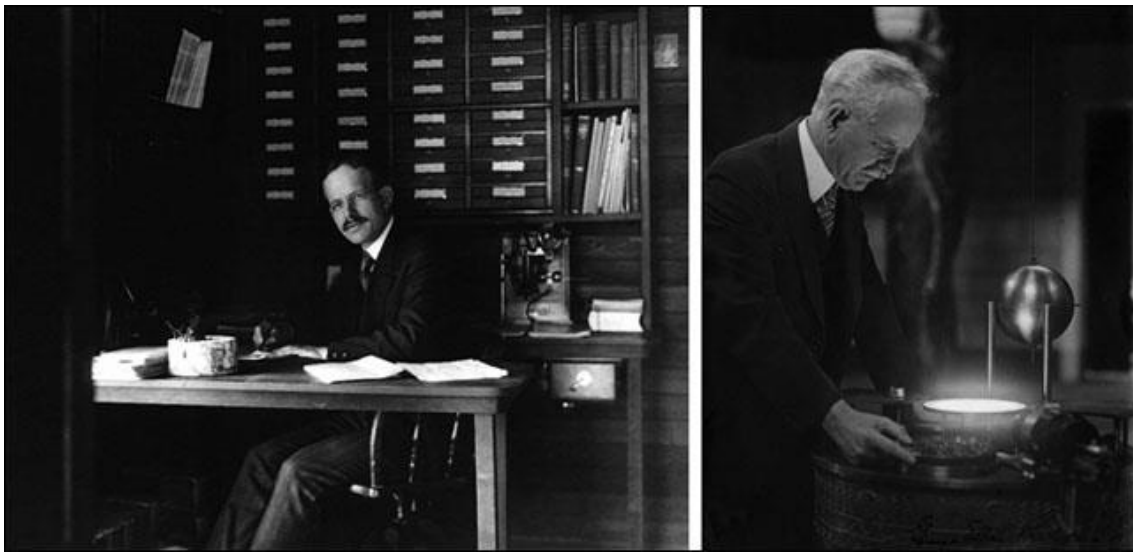


Figure 1- George Ellery Hale (1868-1938).



Figure 2- Henri-Alexandre Deslandres (1853-1948) (left) and the Meudon Observatory Spectroheliograph (right).

The principle of both the spectrohelioscope and spectroheliograph was described for the first time by Jules Jansen (1824-1907). Jansen observed for the first time the spectra of solar prominences in full sunlight during the total solar eclipse of August 18, 1868. A few months later, Jansen addressed the Paris Academy of Sciences describing its methods<sup>1</sup>.

*“Cette méthode consiste, dans son principe, à isoler dans le champ spectral un des faisceaux lumineux émis par la protubérance, faisceau qui est déficient dans la lumière solaire, et à transformer ensuite les éléments linéaires des images protubérantielles dans les images elles-mêmes, par un mouvement rotatif assez rapide imprimé au spectroscopie”.*

G.H. Hale invented the spectroheliograph very early in his scientific life, according to a letter that he wrote on August 5, 1889<sup>2</sup>:

*“Of scientific work I have accomplished but one thing this summer, and even that did not involve much labor. It is the scheme for photographing the prominences, and after a good deal of thought I can see no reason why it will not work. The idea occurred to me when I was coming home from uptown the other day and it amounts to this. Stop the clock of the equatorial and let the sun transit across the slit, which is placed radial to the limb. Bring H into the field of the observing telescope, and replace the eyepiece by a plate-holder held in a suitable frame, and drawn by clockwork across the field at the same rate as the sun crosses the slit. As the H line lengthens and shortens – as it will do with the variable height of the prominence, the plate will photograph its varying lengths side by side and thus produce an image of a prominence. That is the idea in the rough, but I have studied it out in detail, and designed a travelling plate holder, which I will have Brashear make. I have also got an arrangement by which all fog is avoided and I have great hopes that the thing will be a success. It is, new changes for work of the prominences will be opened, and in this way the changes during short intervals of time can be noted with much greater accuracy than in drawings”.*

The principle of the spectroheliograph is very simple according to Hale’s own words<sup>3</sup>:

*“Its object is to build up to a photographic plate a picture of the solar flames, by recording side by side images of the bright spectral lines which characterize the luminous gases. In the first place, an image of the sun is formed by a telescope on the slit of the spectroscopie. The light of the sun, after transmission through the spectroscopie, is spread out into a long band of color, crossed by lines representing the various elements. At points where the slit of the spectroscopie happens to intersect a gaseous prominence, the bright lines of hydrogen may be seen extending from the base of the prominence to the outer boundary. If a series of such lines, corresponding to different positions of the slit on the image of the prominence, were registered side by side on a photographic plate, it is obvious that they would give a representation of the form of the prominence itself. To accomplish this result, it is necessary to cause the solar image to move at a uniform rate across the first slit of the spectroscopie, and, with the aid of a second slit (which occupies the place of the ordinary eyepiece of the spectroscopie), to isolate one of the lines, permitting the light from this line, and from no other portion of the spectrum to pass through the second slit to a photographic plate. The principle of this instrument thus lies in photographing the prominence through a narrow slit, from which all light is excluded except that which is characteristic of the prominence itself. It is evidently immaterial whether the solar image and photographic plate are moved with respect to the spectroheliograph slits, or the slits with respect to the fixed solar image and plate” (Figure 3).*

---

<sup>1</sup> Hale, G.H. (1929). The spectrohelioscope and its works. Part I. History, instruments, adjustments, and methods of observation. The Astrophysical Journal, Volume LXX, number 5: 265-327.

<sup>2</sup> Wright, H. (1966). Explorer of the Universe. A biography of George Ellery Hale. Clarke, Irwin & Company Limited, Toronto and Vancouver.

<sup>3</sup> Wright, H. (1966). Explorer of the Universe. A biography of George Ellery Hale. Clarke, Irwin & Company Limited, Toronto and Vancouver.

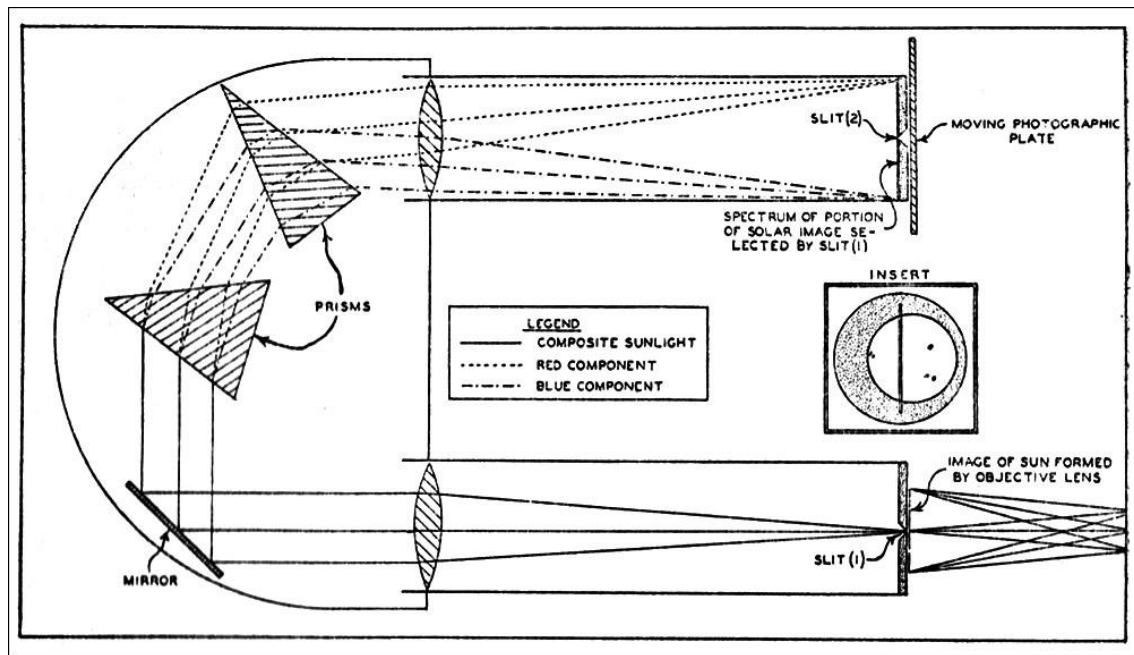


Figure 3- Principle of the spectroheliograph: Slit (1) selects a particular segment of the solar image; Slit (2) isolates a particular wavelength in the spectrum of that segment and allows it to impress its image on the photographic plate. As the sun's image is made to move across the slit (1), the photographic plate moves in synchronism with the second slit (2). In this way a photographic image of the sun, in a particular wavelength, is composed segment by segment.

The subject of Hale's graduation thesis at the Massachusetts Institute of Technology was "The Photography of Solar Prominences". While preparing this thesis, Hale spent every available moment at Harvard observatory. The director of the observatory, Edward Charles Pickering (1846-1919) was very much interested in Hale's invention. He offered the use of the 15-inch refractor but it turned out that the spectroheliograph build by Brashear was too heavy to be attached to the end of the wooden tube. It was decided to adapt it to a 12-inch horizontal refractor without much progress being made due mainly to bad weather. Finally in 1890, Hale obtained some interesting first results. He wrote in his thesis:

*"On April 14 a cool breeze was blowing, making the seeing fair in spite of a little whiteness in the sky. A hasty examination of the limb discovered a prominence in a good position for the work, and a photograph was made through F, the slit being about 0.0005 inch wide. On developing the plate, the outlines of two prominences could be seen rising above the limb. As only one prominence had been noticed in observing the point in question, I returned to the telescope, and found that there were in fact two prominences in the exact position shown in the photograph (...) Given a good refracting equatorial and a plate very sensitive to the longer waves of light, I am confident that the spectroscope and attachments described in this paper will be sufficient to produce prominence photographs of real value for study and measurement".*

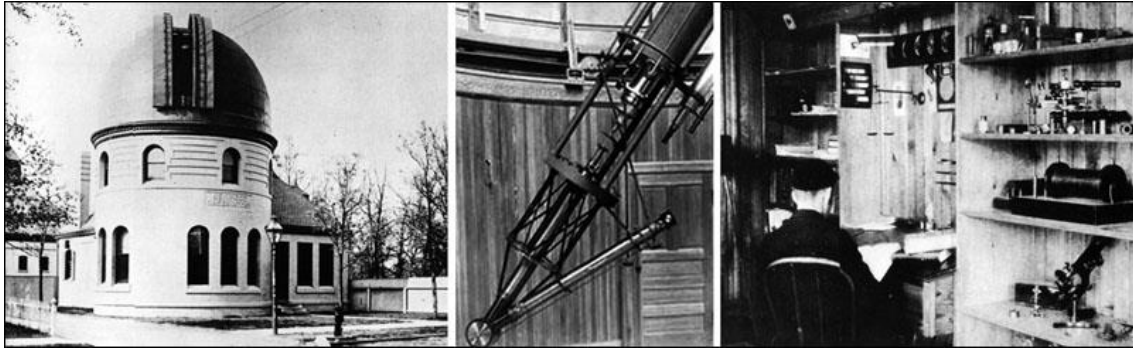


Figure 4- Kenwood observatory (left), spectroheliograph attached to the 12-in refractor (center), G.E. Hale in the Kenwood laboratory (left).

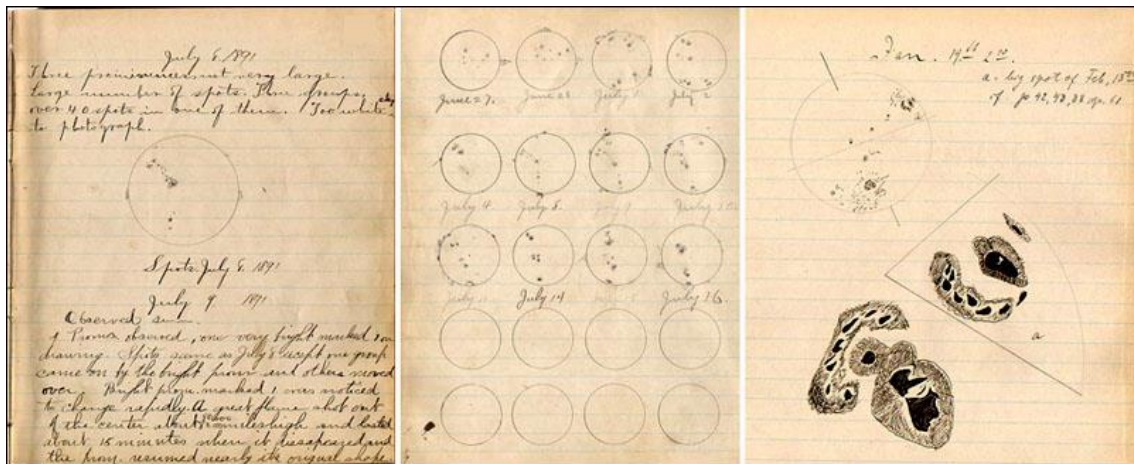


Figure 5- Sunspot drawings by G.H. Hale "Kenwood Astro-Physical Observatory" notebook, June 22, 1891 to January 2, 1893.

Hale used extensively the spectroheliograph at the Kenwood observatory<sup>4</sup>. Kenwood's principal instrument was a 12-inch refractor which was used with the spectroheliograph (Figure 4, Figure 5). Hale hired Ferdinand Ellerman as an assistant; years later, the two would work together again at the Mount Wilson Observatory.

Several years later, Hale designed a large horizontal refractor, the Snow telescope that was to be installed at the Mount Wilson observatory. The Snow telescope had a 24-inch mirror with a 60-foot focal length. This instrument, provided with a high-dispersion spectrograph, was built by George Willis Ritchey (1864-1945). It was tested in October 1903 at the Yerkes observatory and mounted at Mount Wilson in 1905 (Figure 6, Figure 7).

<sup>4</sup> The Kenwood Astrophysical Observatory was the personal observatory of George Ellery Hale, constructed by his father, William E. Hale, in 1890 at the family home in the Kenwood section of Chicago.



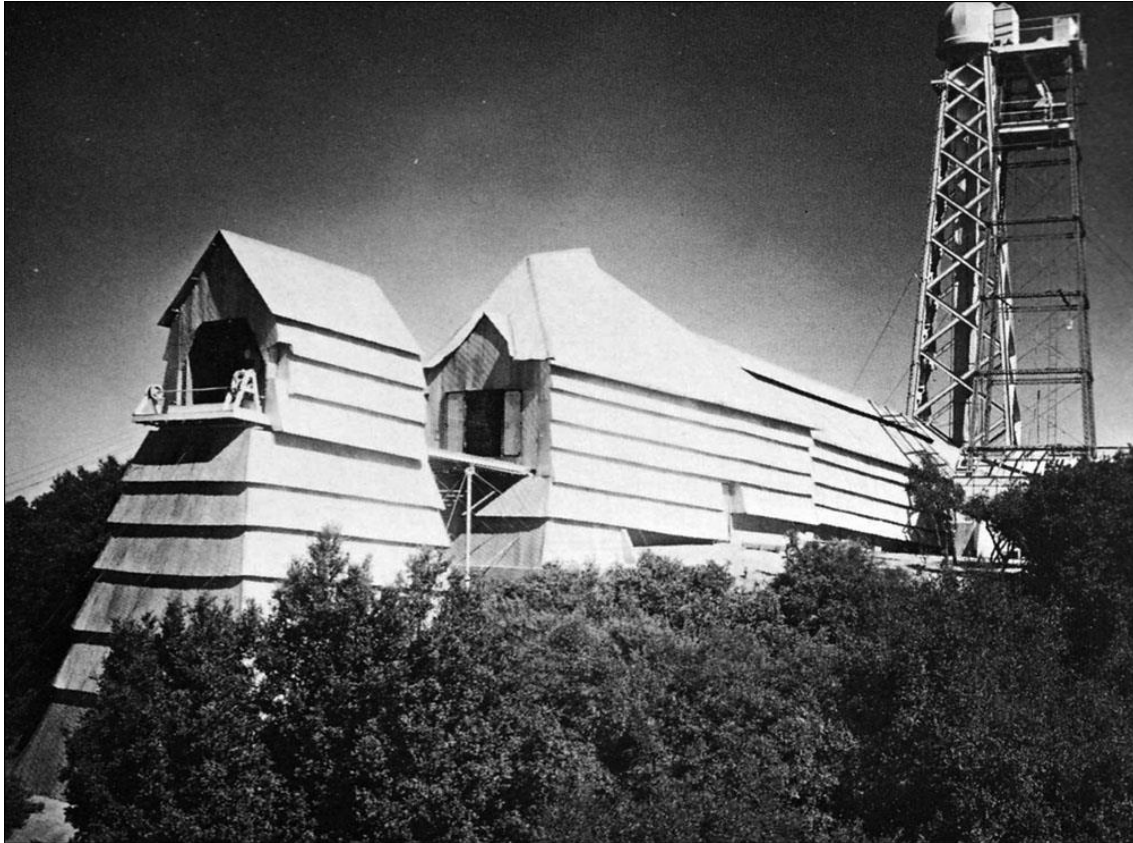


Figure 6- Snow telescope at Mount Wilson observatory (ca. 1905). The 60-foot tower telescope is seen in the background.

The Snow telescope consisted of a heavy cast-iron platform mounted on four steel balls which run in V guides of hardened steel. Most of the weight of the instrument was floated on mercury contained in three troughs which formed part of the cast-iron base. The platform carried the two slits, the collimator and camera objectives and the prism-train. An image of the sun, about 6.7-inches in diameter, was formed by the Snow telescope on the collimator slit. This slit was long enough to extend entirely across the solar image and most prominences. After passing through the slit the diverging rays fall upon the 8-inch collimator objective. With the new spectroheliograph designed specifically for this telescope, Hale was able to photograph the distribution of the white-hot clouds of individual gases that float above the sun's surface. Using a high-speed shutter, Hale recorded most of the features of the chromosphere, with great detail. The results surpassed his "greatest expectations" and were far superior with he had attained with the 40-inch Yerkes refractor (with an attached spectroheliograph). With this telescope Hale published some of the first papers related to solar research performed at Mount Wilson.

In 1924/1929, Hale invented the spectrohelioscope. According to Hale<sup>5</sup>, this instrument permitted:

*"The visual observation and analysis of the forms and motions of prominences at the sun's limb and of bright and dark flocculi on the disk".*

---

<sup>5</sup> Hale, G.H. (1929). The spectrohelioscope and its works. Part I. History, instruments, adjustments, and methods of observation. The Astrophysical Journal, Volume LXX, number 5: 265-327.



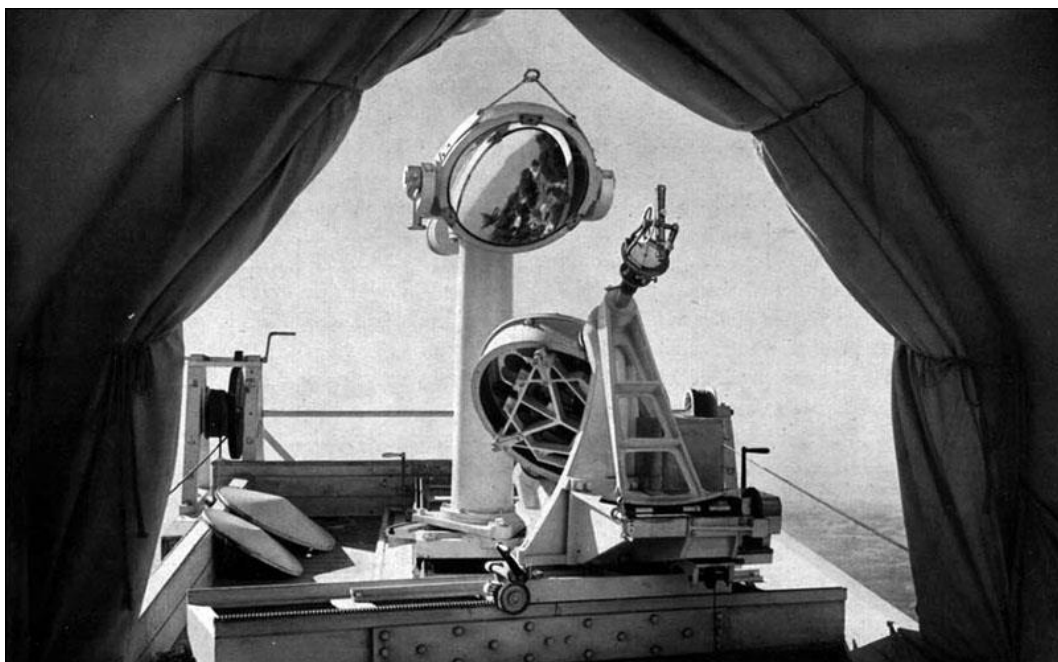


Figure 7- Coelostat of the Snow horizontal telescope.

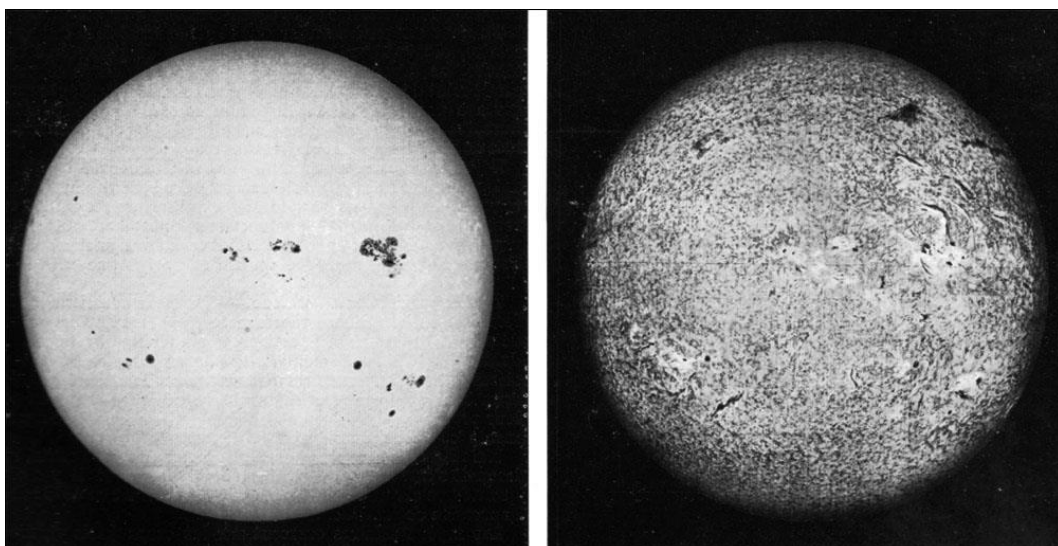


Figure 8- The sun in visible light (left) and in H-alpha (right). Mount Wilson observatory, August 12, 1917.

This instrument, described by Hale in 1929<sup>6</sup>, consisting of a horizontal coelostat telescope and a spectrohelioscope, could be used in a wide variety of observations. Two oscillating slits of variable amplitude or a pair of square prisms rotating before the fixed slits were used to give a monochromatic image of a portion of the sun, usually with H-alpha line:

*“Soon after we obtained on Mount Wilson the first spectroheliograms of the hydrogen flocculi with the H-alpha line, it occurred to me to try to observe their forms visually with the 30-foot spectroscope of the 60-foot tower telescope. This vertical spectroscope was of the Littrow type, with the slit in the optical axis of the tower telescope and an opening for a photographic plate at one side.*

<sup>6</sup> Hale, G.H. (1929). The spectrohelioscope and its works. Part I. History, instruments, adjustments, and methods of observation. The Astrophysical Journal, Volume LXX, number 5: 265-327.

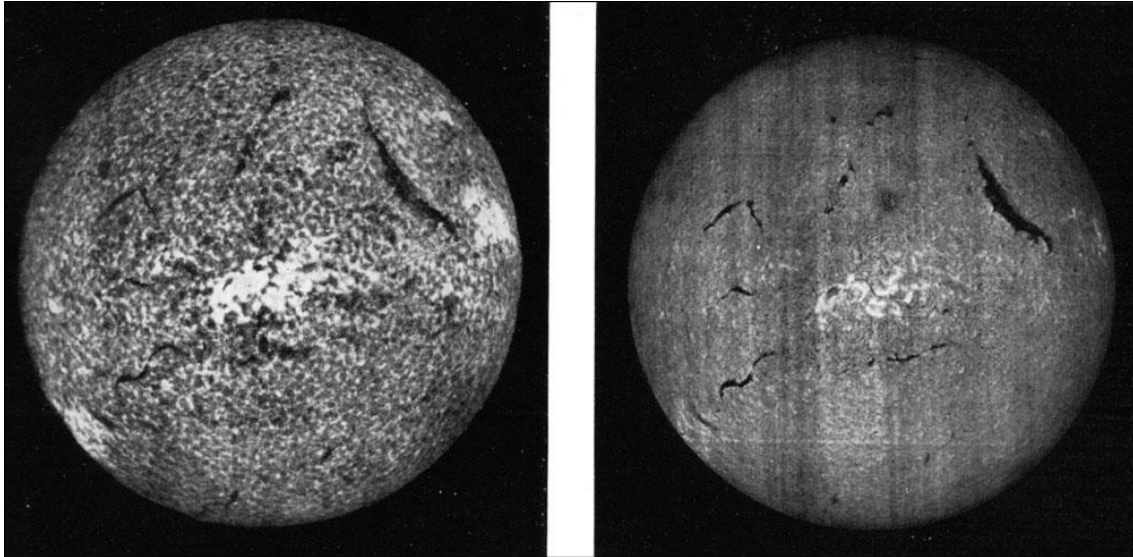


Figure 9- Spectroheliographs obtained at Meudon observatory: Calcium (left) and H-alpha (right).  
March, 21, 1910.

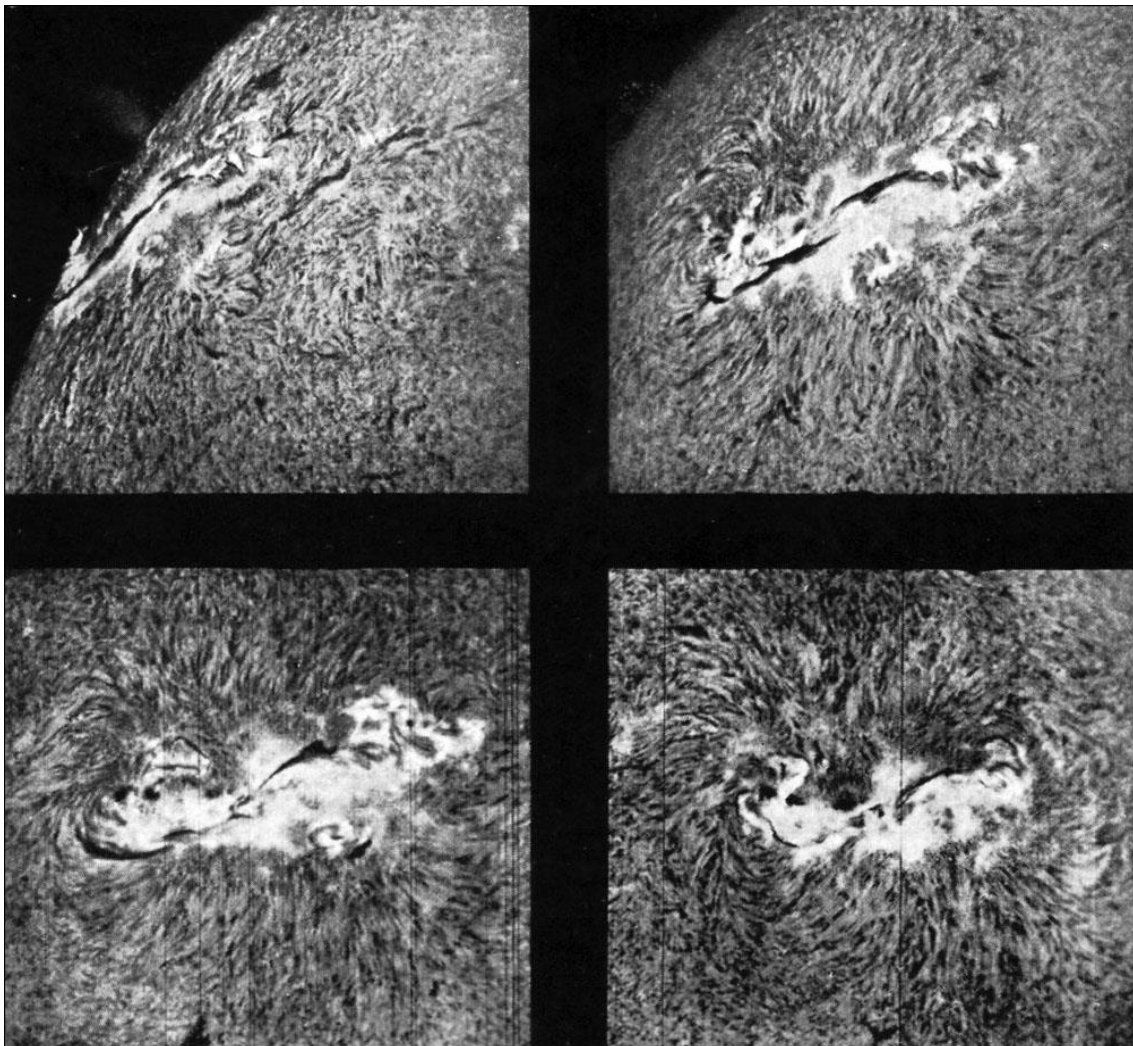


Figure 10- Spectroheliograph images (H-alpha). Mount Wilson observatory, August, 3, 5, 7 and 9, 1915.

*Thus a second slit could be placed in the plate-opening in line with the first slit, an arrangement used when the instrument was employed as a spectroheliograph, either with a grating or with a large liquid prism mounted at the bottom of the 30-foot pit. The distance between the slit and centers is 6 inches, and it was a simple matter to mount in their place a circular brass disk, with its vertical bearing halfway between them. This disk was provided with a number of radial slits, which successively served in pairs as the first and second slit of a spectrohelioscope. As the first slit moved to the right, the corresponding H-alpha line moved with the opposite slit at the same speed to the left, assuming the adjustments to be properly made and the field restricted so that only one pair of slits was illuminated at any time. Thus the observer, using a low-power positive eyepiece or a single lens focused on the second slits, should see a monochromatic image of a portion of the sun.*

Hale described an inexpensive spectrohelioscope that consisted of: (1) a telescope, which in its simplest and least expensive form comprises a coelostat, second mirror, and single lens; (2) a spectroscope, of about 13-foot focal length, of the reflecting Littrow type; (3) a pair of oscillating slits or a similar device for producing the necessary rapid motion of the slits and solar image.

The general arrangement of this spectrohelioscope is shown in Figure 11 and Figure 12.

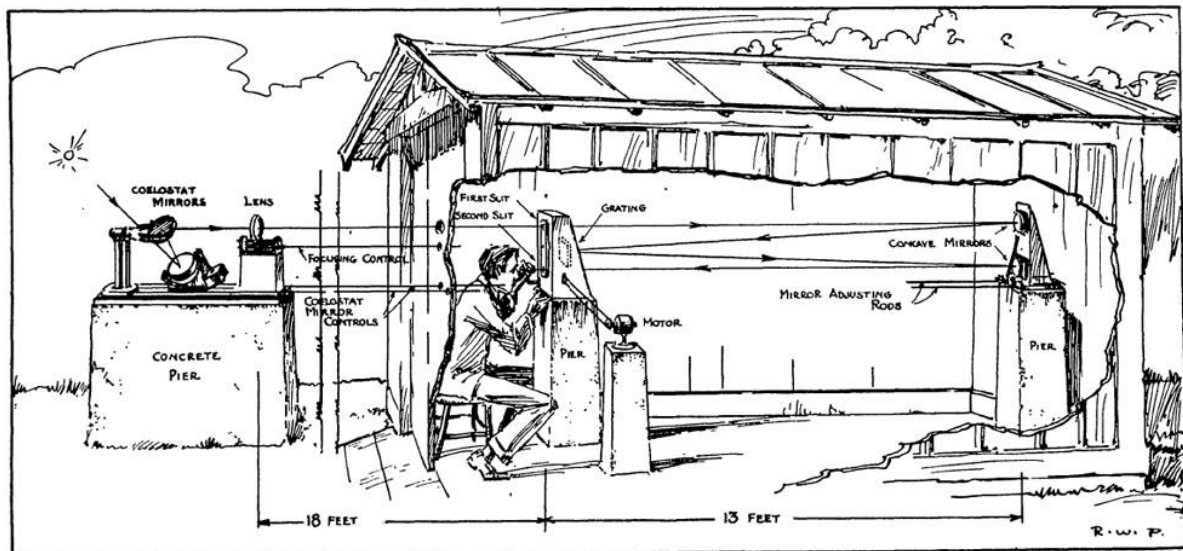


Figure 11 – Coelostat telescope and spectrohelioscope. Drawing by Russel W. Porter (1929).

The coelostat consisted of two mirrors of 5½-inches and 4½-inches of ordinary plate glass, ½-inch thick with silvered front surfaces plane to about a quarter of a wave (Figure 13). This coelostat was driven by clock movement and slow motions for rotating and inclining the second mirror, thus bringing any part of the solar image upon the first slit of the spectrohelioscope. The objective lens could be focused by the observer (a single lens was employed).

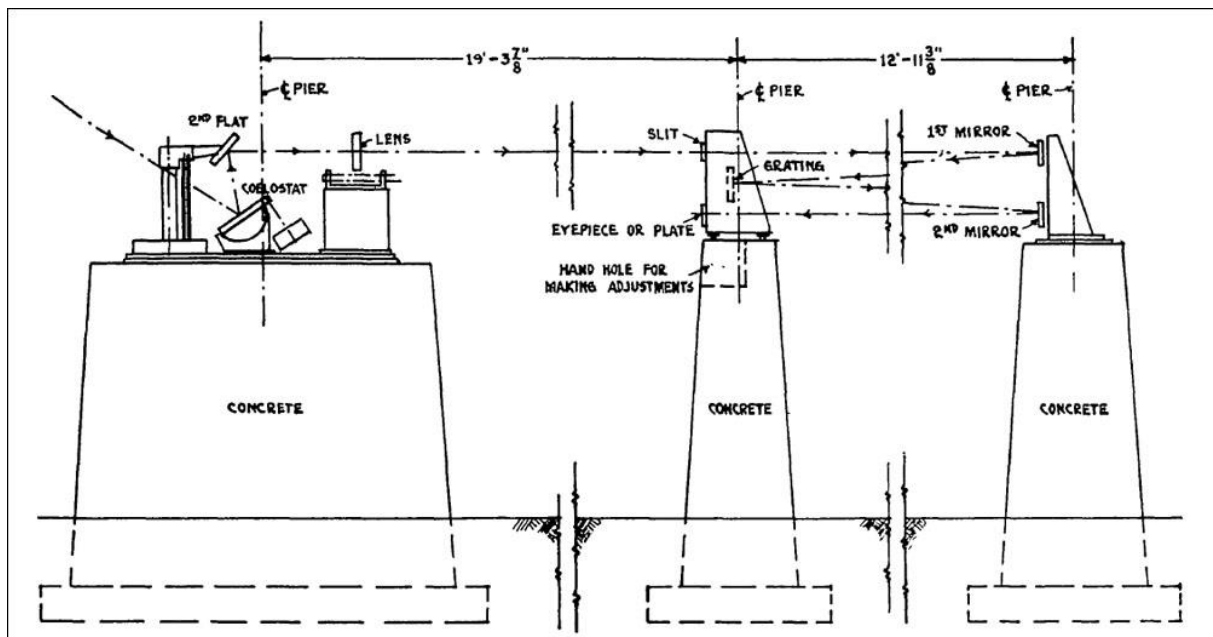


Figure 12- Concrete piers for the coelostat and spectrohelioscope.

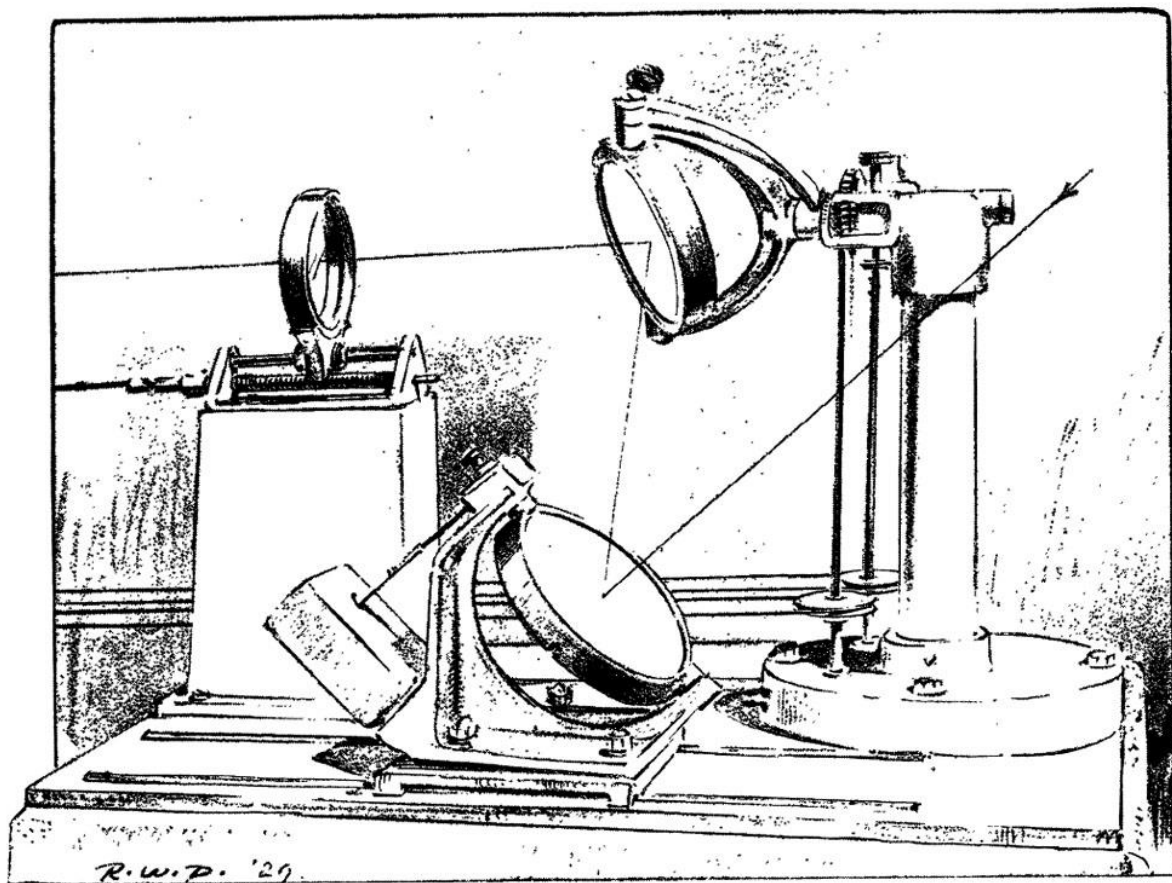


Figure 13- Coelostat, second mirror and telescope lens. Drawing by Russel W. Porter (1929).

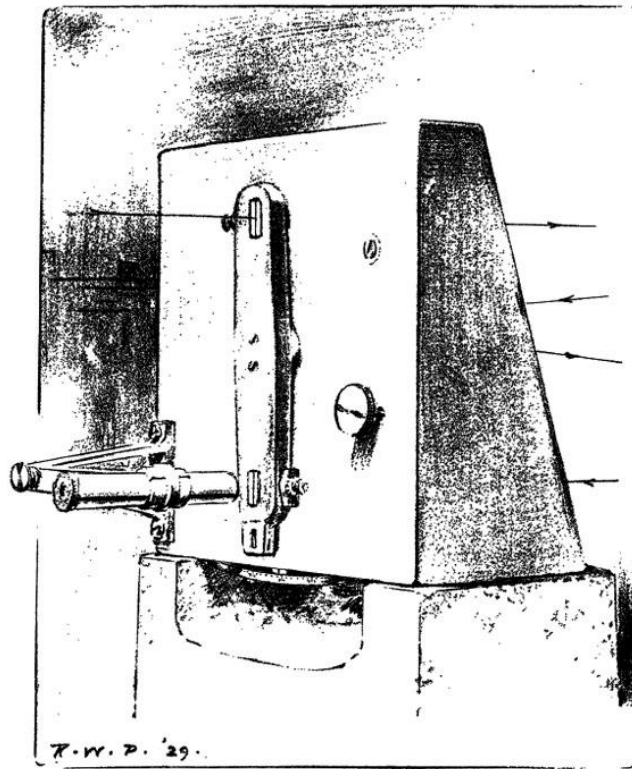


Figure 14- Oscillating slits and eyepiece of the spectrohelioscope. Drawing by Russel W. Porter (1929).

The design of the spectroscope is shown in Figures 15 and 16. The rays diverging from the first slit fall on a spherical concave mirror 3- inches in diameter, which renders them parallel and return them to a grating. The grating is set at such an angle as to return the spectrum to a second concave mirror identical to the first. This is illuminated only by the region centering on the line employed (usually H-alpha). The lower concave mirror forms an image of the spectrum on the second slit and the sun image can be observed through a positive eyepiece or single lens.

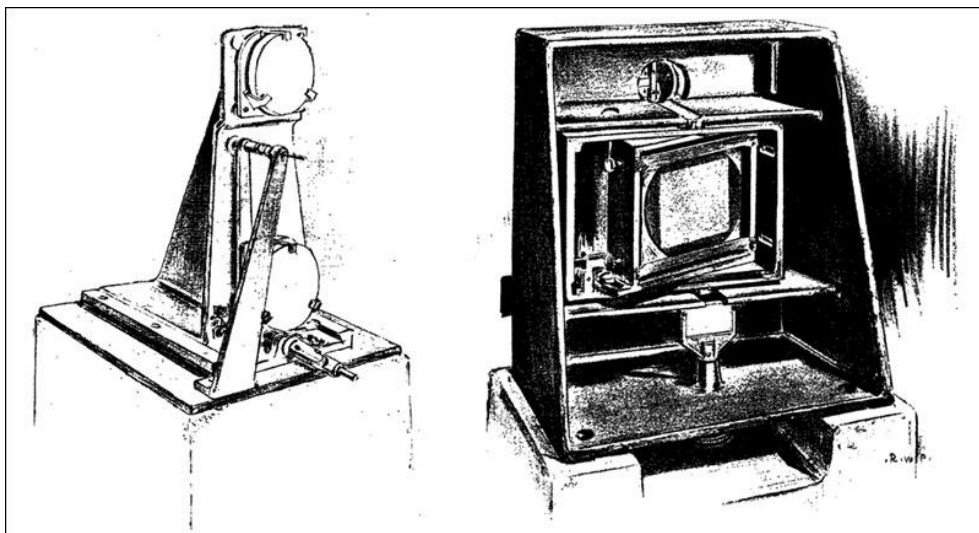


Figure 15- Concave mirrors of the spectrohelioscope (left) and grating support and line-shifter. Drawing by Russel W. Porter (1929).

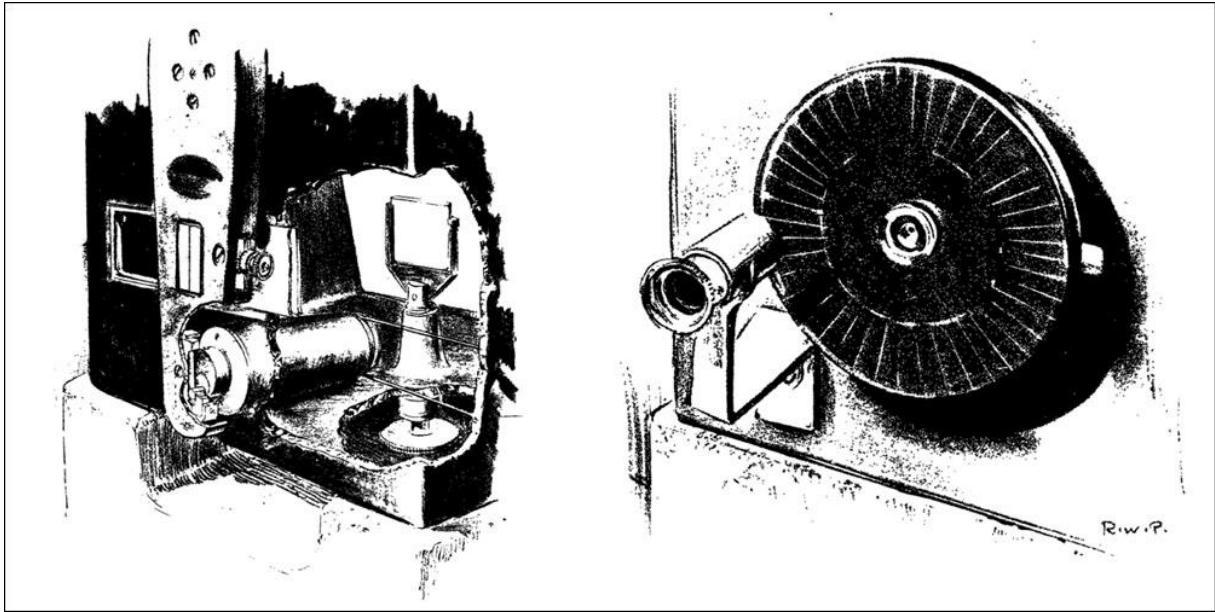


Figure 16- Second slit, driving mechanism, line-shifter (left) and spinning disk with radial slits (right).  
Drawing by Russel W. Porter (1929).

*Sources:*

- Hale, G.H. (1929). The spectrohelioscope and its works. Part I. History, instruments, adjustments, and methods of observation. *The Astrophysical Journal*, Volume LXX, number 5: 265-327.
- Hale, G.H. (1930). The spectrohelioscope and its works. Part II. The motion of the hydrogen flocculi near sun-spots. *The Astrophysical Journal*, Volume LXXI, number 2: 73-105.
- Hale, G.H. (1931). The spectrohelioscope and its works. Part III. Solar eruptions and their apparent terrestrial effects. *Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington*, vol. 425: 1-34.
- Hale, G.H. (1931). The spectrohelioscope and its works. Part IV. Methods of recording observations. *Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington*, vol. 434: 1-9.
- Wright, H. (1966). *Explorer of the Universe. A biography of George Ellery Hale*. Clarke, Irwin & Company Limited, Toronto and Vancouver.



# E.C. BARNARD'S PHOTOGRAPHS OF THE MILKY WAY AND COMETS

PEDRO RÉ

<http://www.astrosurf.com/re/>

Edward Emerson Barnard (1857-1923) was one of the greatest observational astronomers of all time. Barnard obtained a series of epoch making astrophotographs of the Milky Way during the years 1892 to 1895 using Lick's observatory Crocker Astrograph. These photographs were only published in 1913<sup>7</sup>. His last legacy was the *Photographic Atlas of Selected regions of the Milky Way* edited by Edwin B. Frost (1866-1935) and Mary R. Calvert (1884-1974) published posthumously in 1927.

Barnard's first wide-field astrophotographs were made with a 1-inch Voigtländer lens (April 29, 1889). This lens was too small for Milky-Way photography and a larger and with a greater light grasp was used soon after. At the end of July 1889 Barnard was using a 6-inch lens built by Willard & Co., Wholesale Photographic and Optical Wharehouse. This lens was described by Barnard:

*Willard, from all I can learn, was not the maker of the lenses, but simply a photographic stock dealer. I have been informed that the lenses bearing his name were made by Charles F. Us[e]ner in New York City, who, in the early days of photography, made portrait lenses for such stock dealers as Willard & Co. and Holmes, Booth & Hayden. These large lenses were used for making portrait*"<sup>8</sup>.

*The advent of the Willard lens into astronomical work was due to the total eclipse of the Sun, which was visible in northern California on January 1, 1889. Through the influence of Professor Holden, a large number of amateurs photographers, especially those in San Francisco and neighbouring cities, became greatly interested in this eclipse. Under the general supervision of Mr. Charles Burckhalter of the Chabot Observatory, Oakland, California, these amateurs photographers, many of whom were very skilful, were assigned positions in the line of totality to secure, with crude appliances, the best results obtainable in the representation of the corona. Some of the photographs were excellent, especially those taken by Messrs Wm. Lowden, F.R. Ziel and Wm. Ireland. Mr. Ireland was especially fortunate in being able to use a large portrait lens of some 6 inches aperture and 31 inches focus, which he borrowed for the occasion from Wm. Shew, a photographer on Montgomery Street, San Francisco, who had used the lens, which had originally cost several hundred dollars, for making fashionable portraits (especially in the late sixties). Though Mr. Ireland had no equatorial mount for the lens, his photographs were very successful, particularly in showing the great extent of the coronal streamers. Impressed by the excellent results from this lens, Director Holden purchased it from Mr Shew for the Lick Observatory with funds provided for the purpose by Hon. C.F. Crocker* <sup>9</sup>.

Barnard mounted the Willard lens in a wooden box camera and used it with a 6 ½" equatorial which served as a guiding telescope. The equatorial mount was equipped with a clock drive but numerous manual adjustments had to be performed during the long exposures. Barnard explained his guiding methods:

*There was no means of illuminating any spider threads. Fine wires were, therefore, inserted between the lenses of a negative eyepiece. These were coarse enough to be just visible, in black relief, on the dark sky. A star in focus would be hidden behind these wires. To render it visible, therefore, the image of the guiding star was thrown slightly out of focus. The intersection of the wires placed over this small luminous disc for guiding, produced four small segments of light. During the exposure the*

<sup>7</sup> Barnard, E.E. (1913). Photographs of the Milky Way and of Comets. Publications of Lick Observatory, vol. 11.

[http://www.astrosurf.com/re/photographs\\_comets\\_milky\\_way\\_Barnard.pdf](http://www.astrosurf.com/re/photographs_comets_milky_way_Barnard.pdf)

<sup>8</sup> Barnard, E.E. (1913). Photographs of the Milky Way and of Comets. Publications of Lick Observatory, vol. 11. (page 12)

<sup>9</sup> Barnard, E.E. (1913). Photographs of the Milky Way and of Comets. Publications of Lick Observatory, vol. 11.

*illuminated quadrants were kept perfectly equal – the slightest deviation from equality could be detected. This method permits great accuracy in guiding, even with a small telescope, but requires a brighter star to guide than usual.*

*The following measures were made of the lens by the writer soon after its purchase by Lick Observatory: Diameter of the front lens, 5.85 inches = 148.6 mm, Solar Focus 42.59 inches = 108.2 cm, Diameter of the back lens, 6.73 inches = 171.0 mm, Solar Focus, 70.2 inches = 178.3 cm <sup>10</sup>.*

Barnard's first long exposure photographs with the Willard lens were made on July 28, 1889. The exposure lasted for 1h 17 min in Scutum and it was cut short by clouds. On August 1 another long exposure in Sagittarius was made with better results (Figure 1).



Figure 1- Barnard's first long exposure photograph of the Milky-Way (August 1, 1889).

He wrote later:

*"I specially selected as possessing the most intricate and complex structure of any portion of the Milky Way above the horizon"<sup>11</sup>*

The total exposure time was 3h and 7 min. Barnard described this first plate:

*This remarkable picture shows the cloud-like forms like waves of spray. A curving lane of darkness runs from the lower left-hand portion of the picture and curves gracefully upwards to the place of*

<sup>10</sup> Barnard, E.E. (1913). Photographs of the Milky Way and of Comets. Publications of Lick Observatory, vol. 11.

<sup>11</sup> Barnard, E.E. (1890). On the Photographs of the Milky Way at the Lick Observatory in 1889. *PASP*, 2: 240-244

*Jupiter. It is singularly like the stem of a great leaf. At the middle of the picture it is seen to pass behind some of the clouds of stars and emerge beyond, showing us clearly which part of the Milky Way at that point is nearest to us... The black hole is seen to the left of centre, with the small cluster (NGC 6528) as a white spot close to the right of it <sup>12</sup>.*

During August 1889 Barnard used the Willard lens to photograph M 11 (August 2), M 32 (August 21) and M 45 (August 23). In December of the same year the lens had become “changed somehow, so that it gives a penumbra to stars”. The lens was sent to John Brashear’s optical shop in Pittsburgh to be refigured. It was finally remounted on its own equatorial mount in its own dome (1892) (Figure 2).

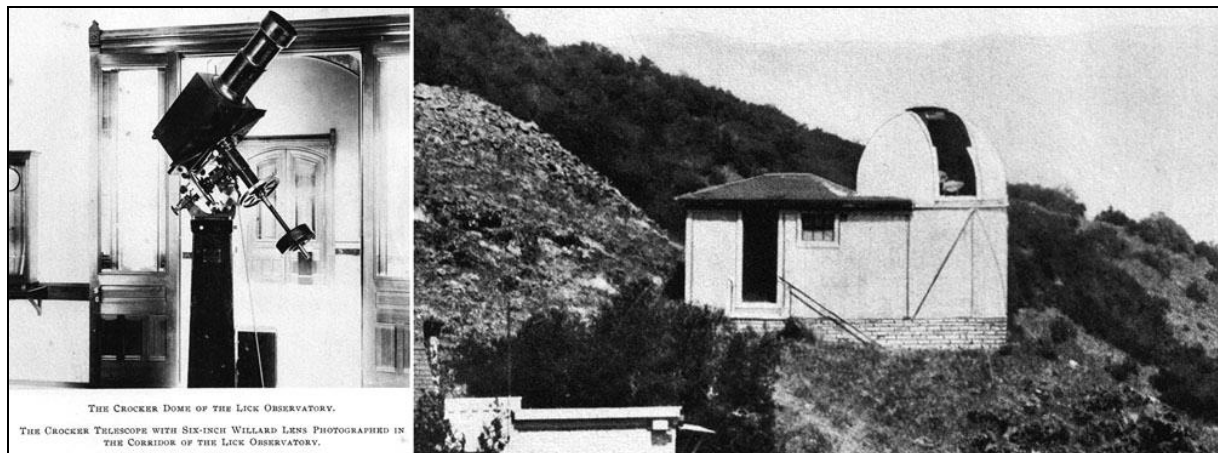


Figure 2- Crocker Astrograph, Lick Observatory.

The work with this telescope was also described in detail by Barnard<sup>13</sup>:

*On chilly and cold nights I wore an Eskimo coat made of reindeer skin, and heavy rubber overshoes. Frequently, on bringing the eye to the telescope on such night a spark would discharge with a light shock between the eye and the eyepiece. This was extremely annoying, and finally became so disagreeable that it was found convenient frequently to touch the metal of the instrument. Which would produce a discharge from the finger instead of from the eye. The probable explanation of this phenomenon is that it was due to the fur coat and the insulation of the rubber overshoes, the body becoming electrically charged like a Leyden jar. The approach of the eye to the eyepiece would discharge this electricity into the telescope from the eye. Neither telescope, at the time, had any electrical appliances. On one occasion, when going to bed in the early morning, the conditions were such that rubbing the hands over the sheets produced a perfect shower of sparks, apparently threatening to set the sheets in fire (Figure 3).*

After being mounted in its own dome, the Crocker astrograph was mainly used to image the Milky Way from 1892 to 1895 using Collotype Photographic Plates were used with a scale of 1.81 degrees per inch. Barnard also used this instrument to photograph a number of bright comets, including Comet Brooks (1893), Gale (1894), Holmes (1892) and Swift (1892).

Barnard photographed in June 1892 the Sagittarius star cloud with an exposure of 4 h and 30 min. The “black holes”<sup>14</sup> were sharply defined in this image leading Barnard to remark that “if drawn with a brush and India ink it could not be any more definite”.

<sup>12</sup> Barnard, E.E. (1890). On some Celestial Photographs made with a large portrait Lens at the Lick Observatory. *MNRAS*, 50: 310-314.

<sup>13</sup> Barnard, E.E. (1913). Photographs of the Milky Way and of Comets. Publications of Lick Observatory, vol. 11.

In 1984 Barnard used another short-focus “magic lantern” lens to image the Milky Way. It was bought for only 7 US\$. It was 1 ½” in diameter and 3 ½” focus. Using this lens attached to the Crocker telescope equatorial mount Barnard was able shoot wide-fields (20 to 25° across). The entire constellation of Orion was photographed in October 1984 and the curved nebulosity we now call “Barnard’s Loop” was imaged in great detail<sup>15</sup>.

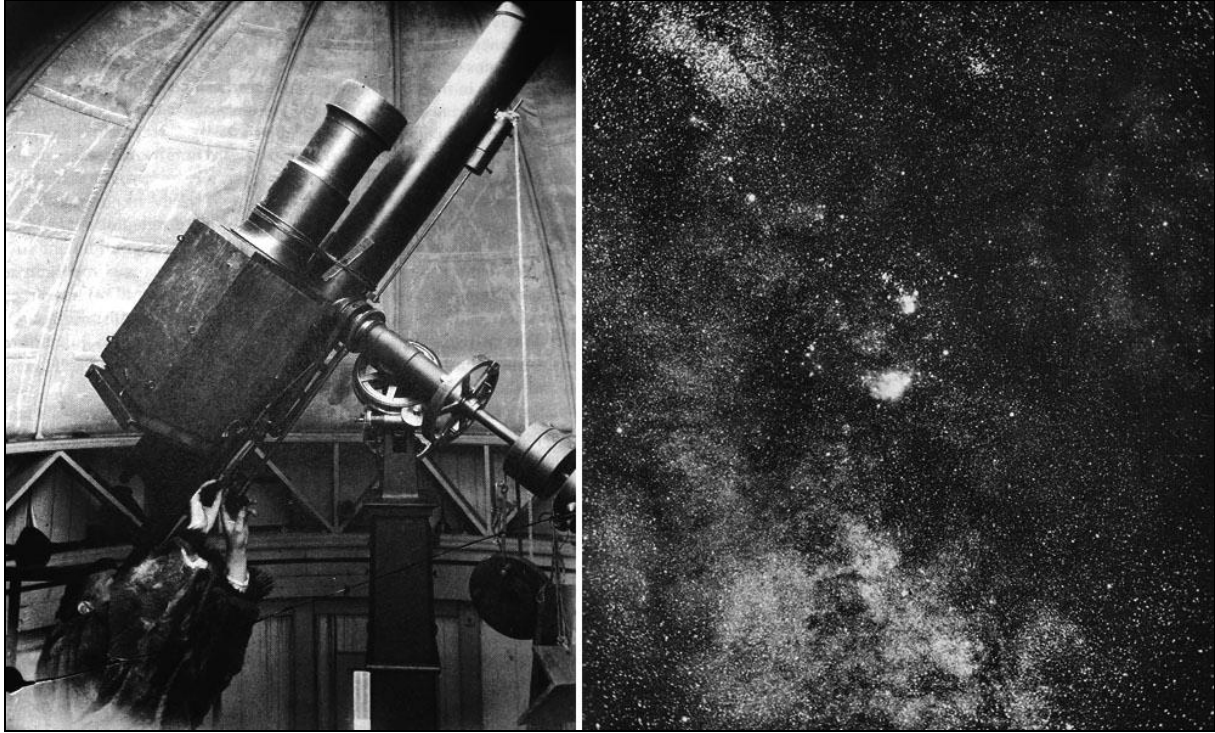


Figure 3- Crocker Astrograph and Barnard wearing a reindeer coat (left). Plate 51 – Sagittarius (3 h exposure) Barnard, E.E. (1913). *Photographs of the Milky Way and of Comets*. Publications of Lick Observatory, vol. 11 (right).

A.A. Common two years later addressed the Royal Astronomical Society when Barnard received it’s Gold Medal:

*Professor Barnard has shown us with what modest means good results can be obtained, with only a small but a cheap lens, such as may be found in any magic lantern. No doubt his early experiences were valuable in giving him his knowledge of what can be done with humble apparatus, but we must certainly admire, not merely his skill, but the courage of a man who could, under the very shadow of the great 36-inch refractor, demonstrate the merits of a lens which could be bought for a few shillings.*

After a delay of more than twenty years *Photographs of the Milky Way and of Comets* was finally published. The work was only completed in 1913 and was published as part of the Publications of Lick Observatory (volume 11). Only a thousand copies were printed and Barnard sent copies to several astronomers and Institutions (including the Lisbon Observatory).

<sup>14</sup> Dark nebulas, a dense type of interstellar cloud that it obscures the light from the background emission, reflection nebula or background stars

<sup>15</sup> Barnard’s Loop was discovered by W.H. Pickering in 1889.

Joel H. Metcalf reviewed Barnard's book in 1914<sup>16</sup>:

*No publication of the Lick Observatory since Volume VIII, which contained reproductions of the photographs taken by Professor James Edward Keeler with the Crossley reflector has such general interest as Volume XI, which has just issued from the press. It contains reproductions of photographs of the Milky Way and of comets made with the 6-inch Willard lens and Crocker telescope during the years 1892 to 1895 by Professor E. E. Barnard at that time Astronomer in the Lick Observatory. As the Crossley telescope is 36 inches in aperture, one might think that the next photographs reproduced would be those taken with some larger instrument, say of 60 or 100 inches aperture; but, instead, these photographs, which were the first of the kind and most wonderful in their results, were made with an instrument nominally only six inches in aperture and really smaller. Professor Barnard has been a daring and a most successful astronomical discoverer, but never did he show such radicalism as when he, one of the keenest sighted and most experienced of observers, spent night after night in photographing the sky with so small an instrument and one that was not even made for the stars. It was originally a portrait lens, of the form adapted to the old "wet-plate" process of photography, and long ago discarded by photographers as a result of the invention of the "dry-plate" and the anastigmatic lens. The volume under review is a proof that the old scriptural saying may have a modern application, for in it the lens that the builders rejected is head of the corner. How the lens came to be used in astronomical work on Mount Hamilton is described by Professor Barnard in the introduction. The first experiments in astronomical work with an old fashioned portrait lens of the Petzval type were made by Dr. David Gill at the Cape of Good Hope on the great comet of 1882. In January, 1889, a 6-inch "Willard" lens was used by Wm. Ireland to photograph the total eclipse of the Sun, and its success then led to its purchase by Director Holden for the Lick Observatory, the funds being provided by the Hon. C. F. Crocker, Regent of the University of California. The information given shows that the lens was neither made by Willard nor is it six inches in aperture. Willard & Co., who have their name upon it, were stock dealers only. The lens was made by Charles F. Usner in New York City. His name should not be forgotten, for it is doubtful if lens-makers of to-day can turn out an instrument greatly its superior. It is true; however, that Brashear has refigured it, which doubtless adds much to the sharpness of its images. The chief limitation of the original lens must have been the fact that the optical and visual foci coincided, as was necessary for focusing in the old wet-plate process. A modern instrument made exclusively for astronomical photography would have a better colour correction and would give sharper images; otherwise it could not be greatly improved upon to-day. It is rather disconcerting that so little progress in the construction of astronomical lenses of large relative aperture has been made in the last fifty years. The only improvement, in the opinion of the writer, is the 10-inch Franklin-Adams lens made by Taylor of Cooke & Co., York, England, and it is practically impossible to get discs of the proper kind of glass for apertures larger than this. Returning to the Willard lens, it is interesting to know that the clear diameter of the front lens is only 5.85 inches and that this is still farther cut down by a diaphragm less than four inches in diameter, placed between the front lens and the back lens of the combination. But lenses, like wisdom, are justified of their children and Professor Barnard has shown what this lens can do in skilful hands. In the volume are 128 collotype plates, 89 of them of regions of the sky mostly along the Milky Way and the rest of comets. Professor Barnard's decision to use the collotype process seems especially fortunate. The reproduction of star pictures to retain the fainter stars without loss of the fainter detail in the nebulae is an art in itself, as difficult perhaps as making the original photographs. Mr. A. B. Brunk of the Chicago Photogravure Company has succeeded admirably and must have put much patience and many labours of love into this work. Not all the reproductions are equally good, but when Professor Barnard says, as he does often, "this is an excellent reproduction," there must have been very little in the original that does not show in the copy. Professor Barnard has given some very important technical hints in regard to the production of astronomical photographs in his Introduction. One might wish he had gone farther and told us about his enlargements of the original negatives — why he did not use contact reproductions and what was done to increase contrast in the tails of comets and the dark places and lanes in the Milky Way. In some of the pictures which have been several times enlarged the background shows a mottled appearance, doubtless due to the grain of the plate, but which some might take for a background of very faint stars. Just a few words in regard to the plates themselves. The large number is food for thought for those who live in the cloudy atmosphere of the effete East. What a wonderful climate has Mount Hamilton to make it possible to get such a large number of long exposure plates in three or four years! For one who has ever tried to take a long-exposure plate there*

---

<sup>16</sup> Metcalf, J.H. (1914). Review of E.E. Barnard's: "Photographs of the Milky Way and of Comets". PASP, 16:241-245.



is a deep appreciation of the long and wearisome hours spent by Professor Barnard, sitting with his eyes "glued" to the following telescope. Without counting the comet pictures and making no allowances for failures, which are very common with most observers, a rough estimate shows that he spent 286 hours with the shutter open taking the Milky Way pictures alone, and in the list many continuous runs of five hours, six hours, and even seven hours are found, and one of them (the picture that shows the nebulosities around the Pleiades) is of ten hours and fifteen minutes' exposure. The results of these indefatigable labours are a wonderful addition to our knowledge of the Milky Way and of comets. The human eye directly, no matter how great the power of the telescope, could never have seen the structure of the Galaxy or of comets' tails. The cumulative effect of light on a photographic plate and the fact that it does not require a magnification of four or five to each inch of aperture, as does the human eye, makes these wonderful pictures possible. There is one thing about these pictures, however, that it is well enuf to bear in mind. The relation between the brightness of the stars and the brilliance of the nebulosities is a purely artificial one. It would be possible to photograph every one of the stars upon these plates without showing a particle of nebulosity. It would also be possible to photograph the nebulosities and show scarcely any stars. A short-focus lens of great relative aperture "sees" the nebulosity rather than the stars and a long-focus lens of small aperture and great defining power would take the stars and not the nebulosity. I must not say anything about the pictures in detail. They speak for themselves, and added to that, Professor Barnard has for many of them pointed out features and made judgments which to the reviewer seem on the whole most just and conservative. Undoubtedly, however, there will be considerable difference of opinion as to how certain features should be explained. Some of the forms shown in the Milky Way must be due to chance, just as the "crouching beast" (Plate 45) is, and it would be folly to try to explain forms that have only accident for their cause. That remarkable line of stars on Plate 39 may be an example. If a person should splash ink in small spots on a wall, he would doubtless discover some interesting forms, but they would be as imaginary as the Castles or the Camels of the Clouds. There are other pictures, however, in which the streaming of stars in lines and net-work seems most real. The interpretation of the vacancies and the lanes is interesting. Professor Barnard thinks that in certain cases the absence of stars is due to an absorbing medium simply covering up the stars, and that the large telescopes to which he has had access show some of these to be slightly luminous. One could wish that he had correlated these observations with some of his more recent photographs of dark lanes, where, if the writer's memory serves, he took the point of view that the lanes were darker than the general background of the sky on his plates. It is possible that this difference might be reconciled, — perhaps by the difference in the instruments. Could an object be darker than the surrounding sky to a Petzval doublet and brighter to the human eye in a 40-inch refractor? Professor Barnard's comet pictures are most interesting. Brooks' Comet of 1893 must have been much like and perhaps more remarkable than the famous Morehouse Comet. It is a pity that other astronomers did not get a series of photographs of it, for it evidently would have given opportunity, even better than Morehouse's Comet, for measurements of regression of luminous matter in the tail. Professor Barnard's ingenious and successful combinations of photographs taken on different nights to show the freak motions and changes in the tail are also most interesting. That these changes cannot all be explained by eruptive disturbances and by varying speeds of repulsion of luminous particles from the head, without the necessity of assuming some kind of streaming in space, does not seem to me proved. The volume as a whole is a notable contribution to astronomy. It is a great credit to the Lick Observatory, to the people whose generous contributions made its publication possible, to the Willard lens, and, most of all, to Professor Barnard. Winchester, Mass., November 4, 1914.

By the time *Photographs of the Milky Way and Comets* was finally published (September 1914) Barnard was already hard at work in reproducing the photographs obtained with the Bruce Telescope that became his last legacy, the *Atlas of Selected Regions of the Milky Way*<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Ré, P. (2010). Barnard's Photographic Atlas of Selected Regions of the Milky Way. [http://www.astrosurf.com/re/atlas\\_barnard\\_1927.pdf](http://www.astrosurf.com/re/atlas_barnard_1927.pdf)



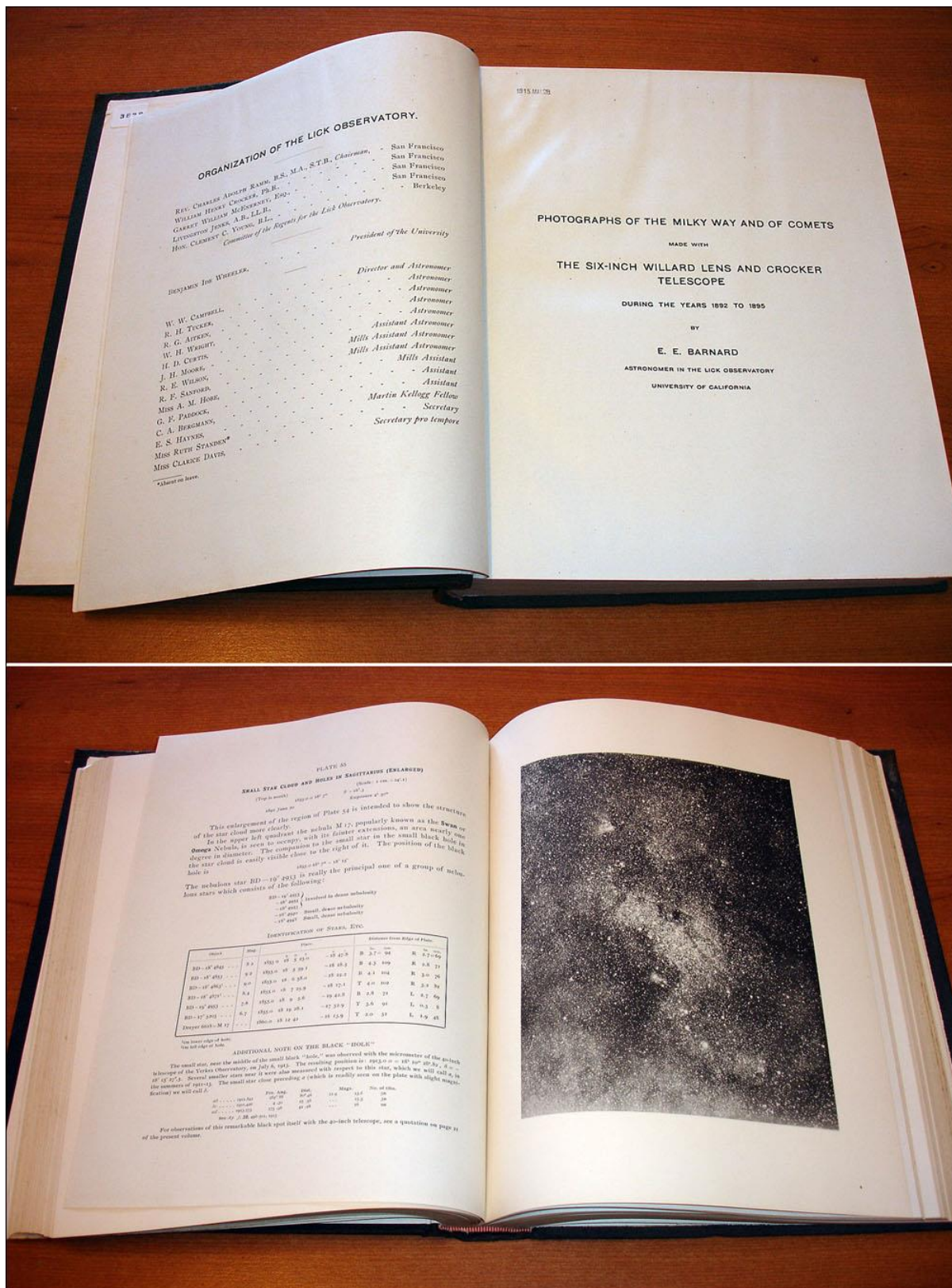


Figure 4- Barnard, E.E. (1913). *Photographs of the Milky Way and of Comets*. Publications of Lick Observatory, vol. 11. Library of the Lisbon Observatory.





Figure 5- Barnard, E.E. (1913). *Photographs of the Milky Way and of Comets*. Publications of Lick Observatory, vol. 11. Author's personal copy.