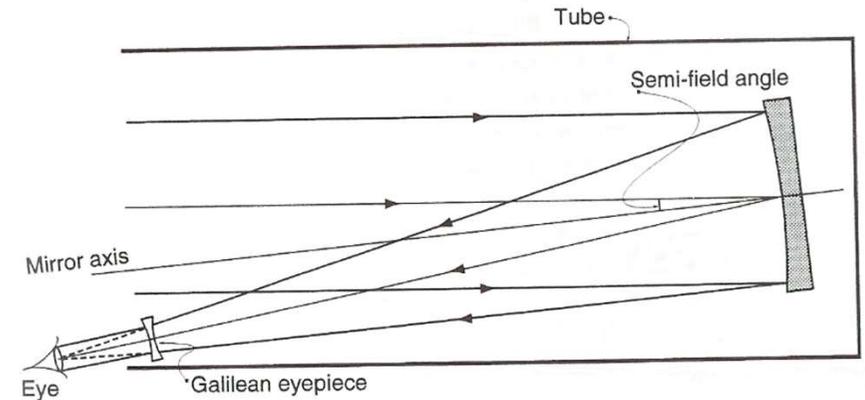


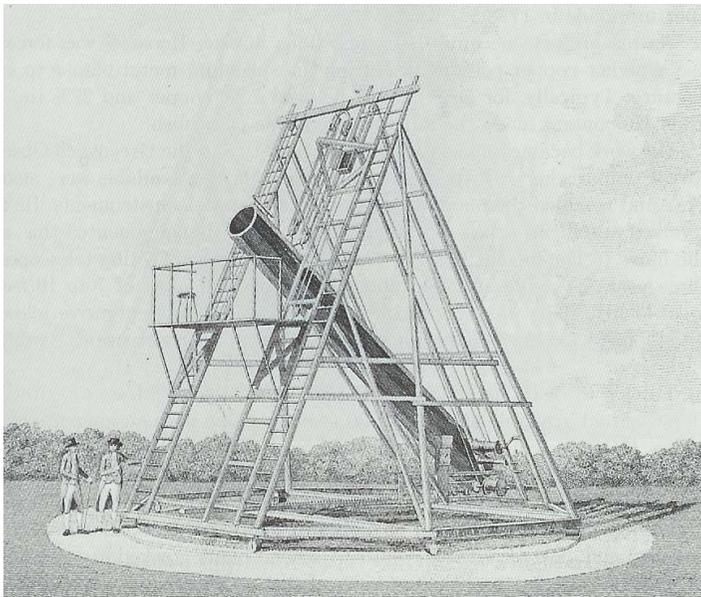
2 – TELESCÓPIOS

Galileo foi o primeiro cientista a usar telescópios sistematicamente para o estudo da Astronomia (a partir de 1609), tendo também pensado em reflectores (Zucchi, 1616, fez o primeiro, sem sucesso).



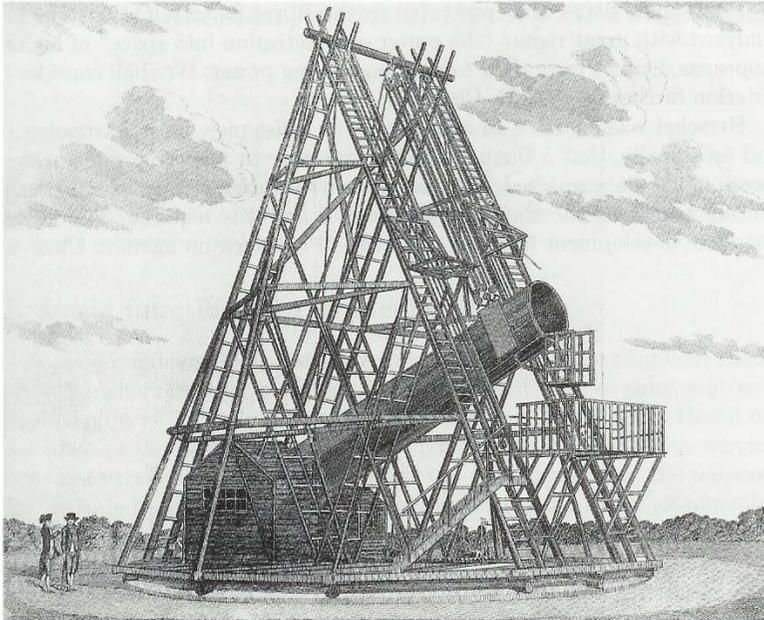
Telescópio reflector tipo “front view”.

A **invenção** do telescópio é atribuída ao holandês Hans Lippershey (1608) enquanto o primeiro tratado científico sobre o mesmo foi feito por Kepler (1611), com a consequente invenção da óptica **kepleriana** em 1630. Descartes (1634-1637) e Schwarzschild (1905) completaram a teoria (especialmente este último, no seu detalhado estudo sobre **aberrações**).



Herschel (1773-1789) é considerado por muitos o maior construtor de telescópios de todos os tempos: permitiu um “salto quântico” em abertura, mantendo a resolução do telescópio de Galileo.

O mais bem sucedido telescópio de Herschel: reflector “front view Newton type”; $D=48\text{cm}$, $f_1 \approx 6\text{m}$.

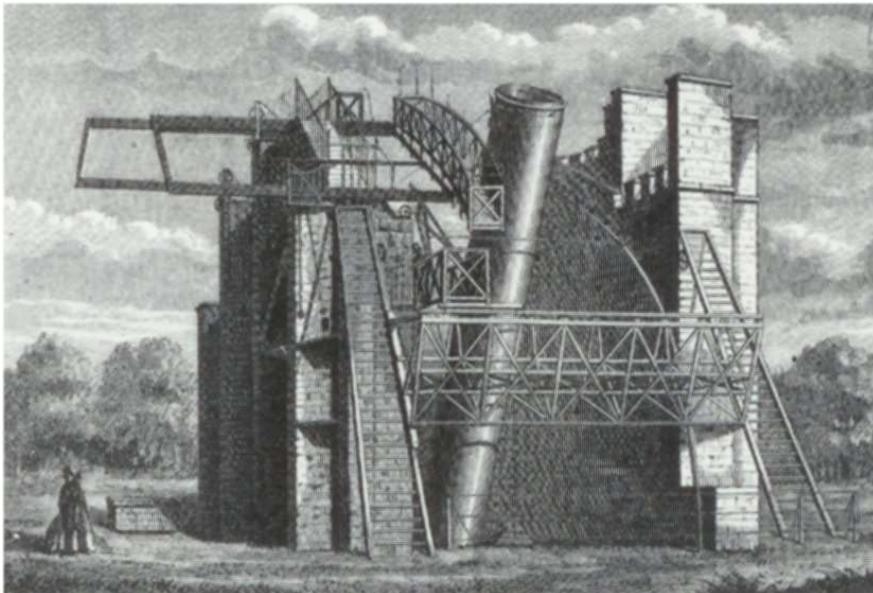


O maior dos telescópios de Herschel – um falhanço (mecânico e reflectividade): “Great” reflector “front view”; $D=1.2\text{m}$, $f_l \approx 12\text{m}$.

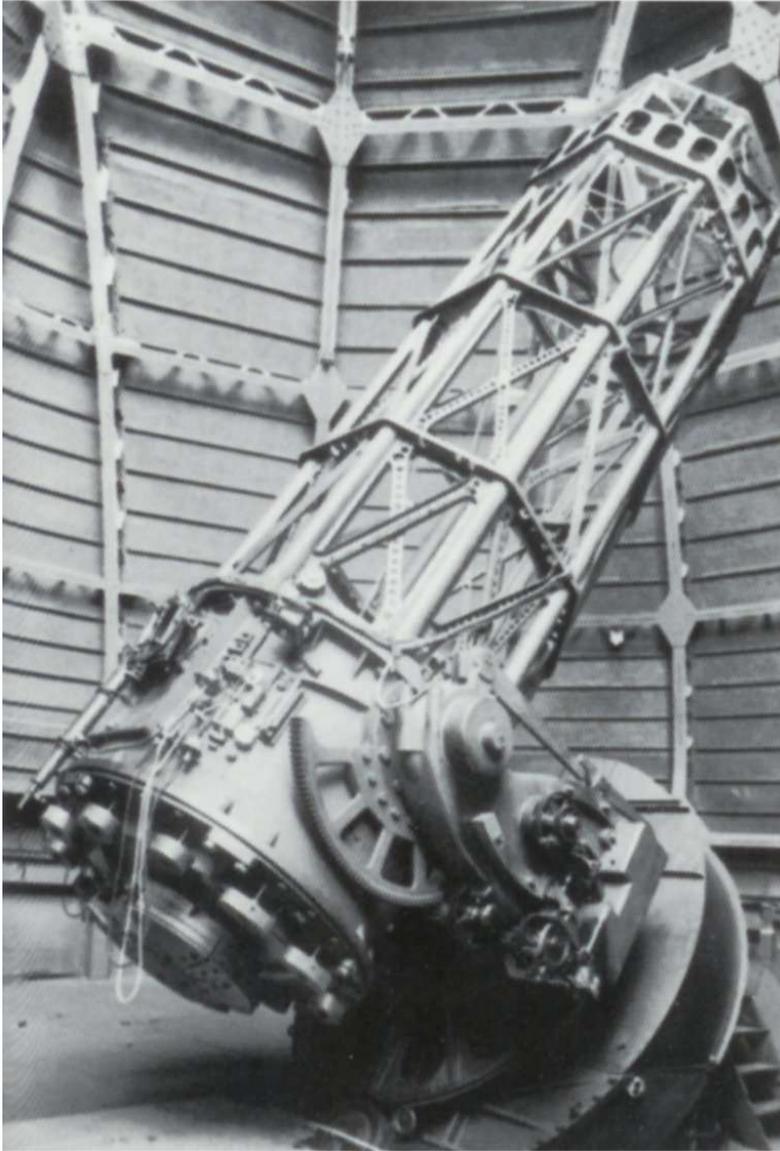
William Parsons (Lord Rosse), na Irlanda (1839-45) construiu o maior telescópio (reflector) por décadas – permitiu a descoberta das galáxias espirais (“nébula”).

Seguiram-se alguns outros famosos como o de Lick (Crossley 1906), o do Mt. Wilson 1.5m (Ritchey 1908, 1927), o primeiro telescópio RC – e ainda operacional. E o do mesmo local de 2.5m que Hubble utilizou para identificar Cefeidas e descobrir a expansão do Universo.

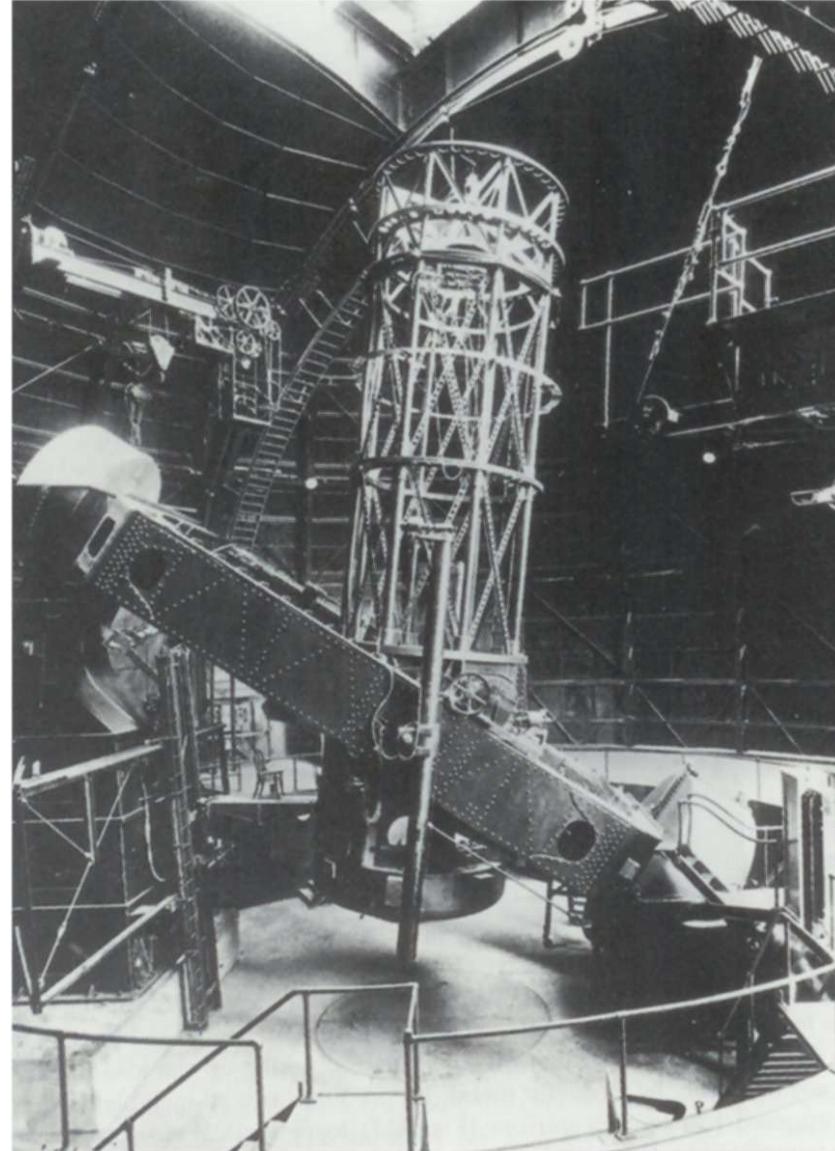
Finalmente, os maiores do mundo até tempos recentes: Mt. Palomar (Hale), 1934-49, 5m ($f/3.3$), pirex/alumínio; o do Cáucaso de 6m (1963-76).



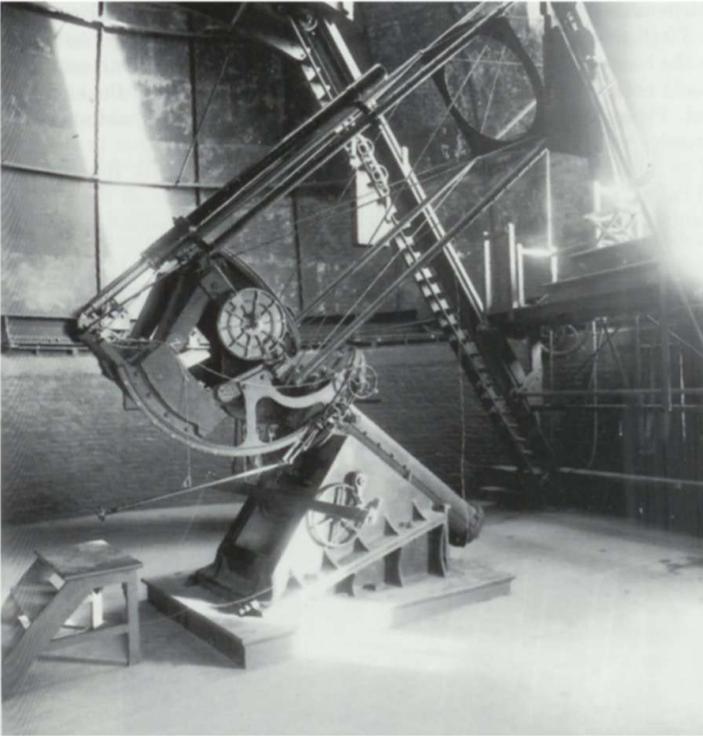
O grande telescópio newtoniano de Lord Rosse com superfície 68% cobre e 32% estanho – espelho em “whiffle-tree”; $D=1.8\text{m}$, $f_l \approx 16.5\text{m}$.



O venerável telescópio do Mt. Wilson; $D=1.5\text{m}$.

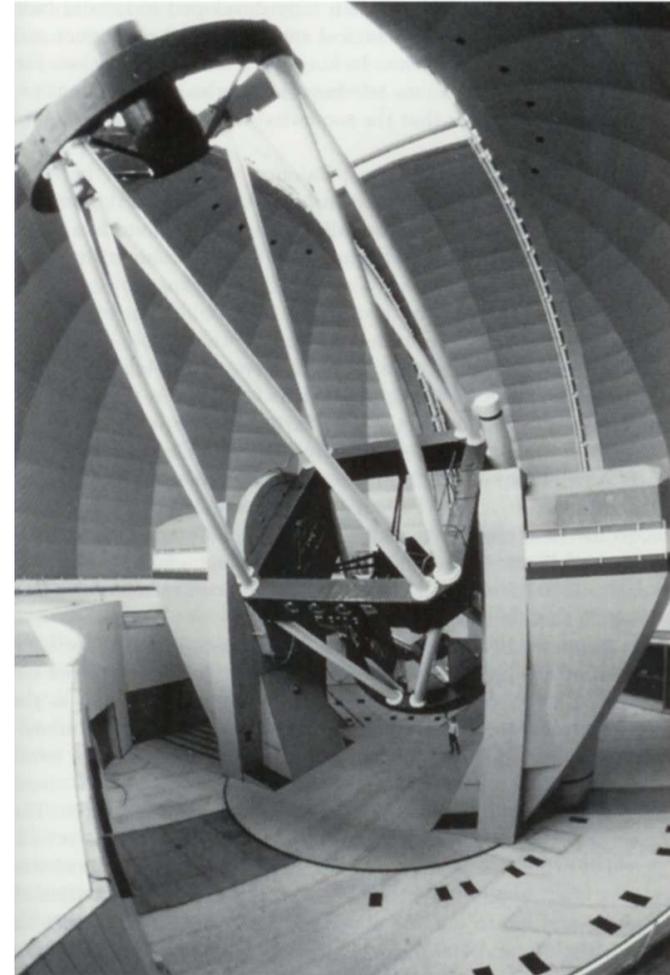


O telescópio Hooker do Mt. Wilson; $D=2.5\text{m}$.



O telescópio newtoniano de Lick com superfície de vidro banhada a prata; $D=91\text{cm}$, $f/5.8$.

O grande telescópio do Cáucaso; $D=6\text{m}$, $f/4$.



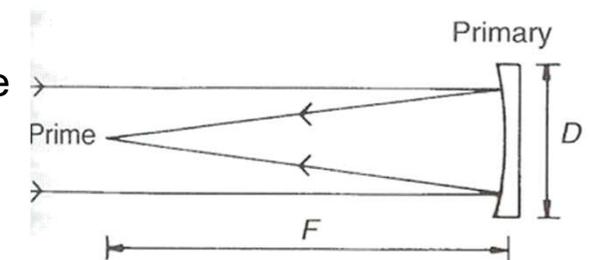
A componente principal de um telescópio é a **objectiva** (lente – refractor – ou espelho – reflector). A sua função principal é colectar o máximo possível de radiação e colocá-la num **foco**. Idealmente, implicará também uma boa resolução angular no telescópio (várias vezes melhor que a do olho humano).

2.1 Ópticos (reflectores)

No óptico inclui-se o UV, já que a única diferença é a necessidade de observação do UV por telescópios no espaço (em satélites). Isto porque a camada de ozono não permite observações da superfície da Terra. Assim, no geral, todas as técnicas aqui descritas no óptico são também aplicáveis no UV.

2.1.1 Padrão

Conforme o tipo de foco, classificamos de forma diferente os tipos mais comuns de telescópios (reflectores). O **foco primário** (ou principal) só pode ser utilizado com detectores ou, então, em telescópios grandes (onde um observador tem espaço para se alojar). Assim, o foco mais comum é de outro tipo. No que segue detalhamos esses vários tipos de foco.



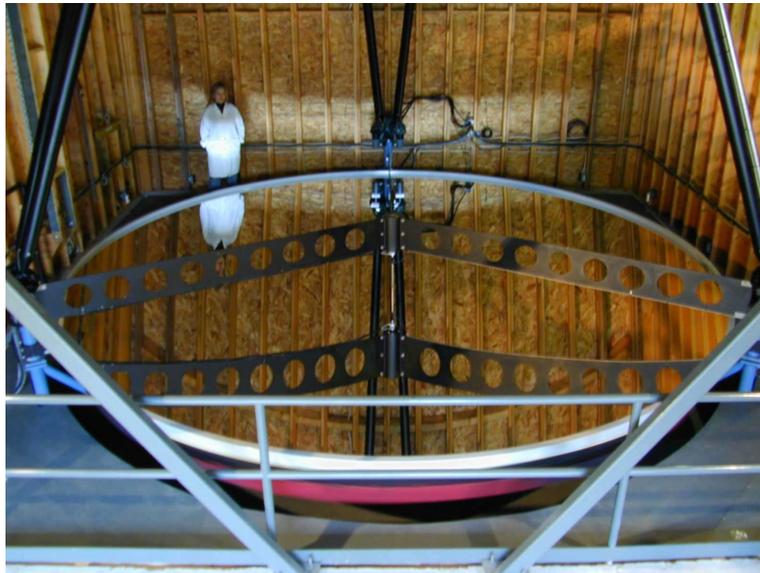
O elemento principal de um telescópio reflector é o **espelho parabólico** (tendo sido Newton o primeiro a usá-lo num telescópio). A grande **vantagem** deste é a inexistência de aberração cromática (se o mesmo fosse esférico, surgiria aberração esférica), apesar do astigmatismo e coma (também presentes em lentes). Entre as **desvantagens** contam-se: i) uma maior sensibilidade térmica; ii) a obrigatoriedade de uma obstrução, redutora da abertura efectiva e podendo chegar a 50%; iii) manufactura mais exigente (polimento), uma vez que $\lambda/16$ (rms) pode não ser suficiente (c.f. $\lambda/4$ em lentes).

As desvantagens (incluindo aberrações) podem corrigir-se mas sempre à custa do campo-de-visão que, na prática, não passa de 1° . Nomeadamente, usam-se para os espelhos (i) métodos de estabilidade térmica e (ii) f/número elevado.

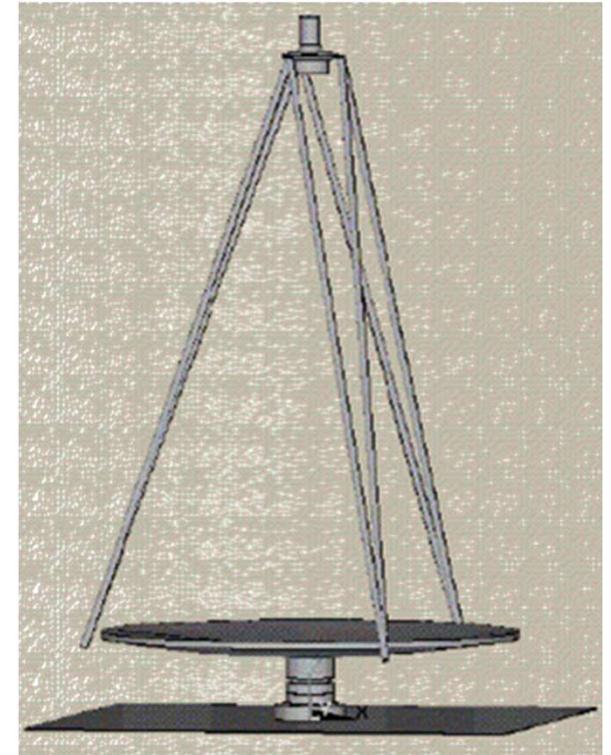
Antes de entrarmos no estudo detalhado de reflectores (vários focos) é boa hora para mencionar um tipo atípico: o **telescópio de espelho líquido** (Liquid Mirror Telescope – LMT). Este consiste num espelho de mercúrio (claro!) em rotação.



O LMT – British Columbia, Canadá; $D=2.7\text{m}$, $f/1.9$.



O Large Zenith Telescope (LZT); $D=6\text{m}$, $f/1.5$ (concluído em 2007).



Os espelhos líquidos aproveitam-se da **lei da gravidade** para, em rotação, conseguirem uma forma **parabolóide** (quase) perfeita. É uma técnica já conhecida desde meados do séc.XIX. A relação principal é dada por:

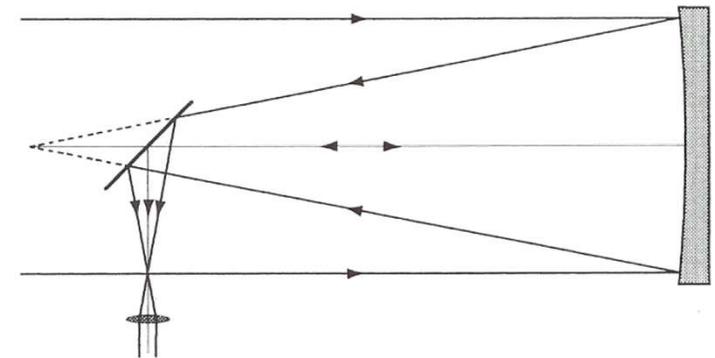
$$f_l = g / 2\omega^2$$

onde g é a aceleração da gravidade no local e ω a velocidade angular do espelho.

O grande problema neste tipo de telescópios é a exigência de um **alinhamento perfeitamente horizontal**, uma vez que o mínimo erro origina uma onda progressiva sobre a superfície. Claro que ω deve ser **super-estável** (1:10⁶), senão dará origem a outra onda. Os efeitos destas imperfeições (ondas) podem ser atenuados com uma camada de glicerina sobre o mercúrio.

A) Newton

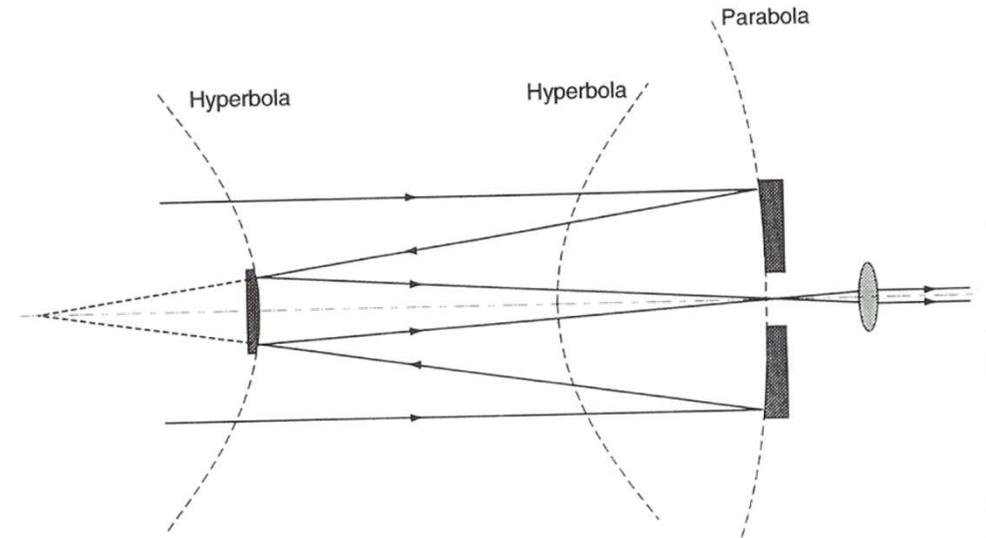
Newton (1668) foi o primeiro a construir um telescópio reflector. A sua forma resolve o problema do foco primário colocando um espelho **plano** a 45° – por vezes chamado de “espelho secundário” (claro que, no fundo, o foco continua a ser o **primário** – não há nenhum foco secundário). A sua montagem típica é a **equatorial**.



Newton foi, também, o primeiro a inventar (publicar) o polimento com “**pitch laps**” (e Herschel foi o primeiro a usar a forma de **quadrado** no “pitch”).

B) Cassegrain

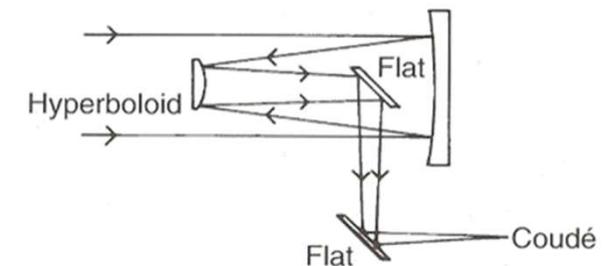
Cassegrain (1672) foi o primeiro a construir um telescópio com este tipo de foco, recorrendo a um espelho convexo (hiperbolóide) para **secundário**. Já Mersenne (1636) tinha idealizado este tipo de telescópio. A ideia é observar os objectos astronómicos como se se utilizasse um refractor (já que se “espreita” na direcção dos mesmos). Curiosamente tem, de facto, óptica semelhante a um telescópio galileano desfocado.

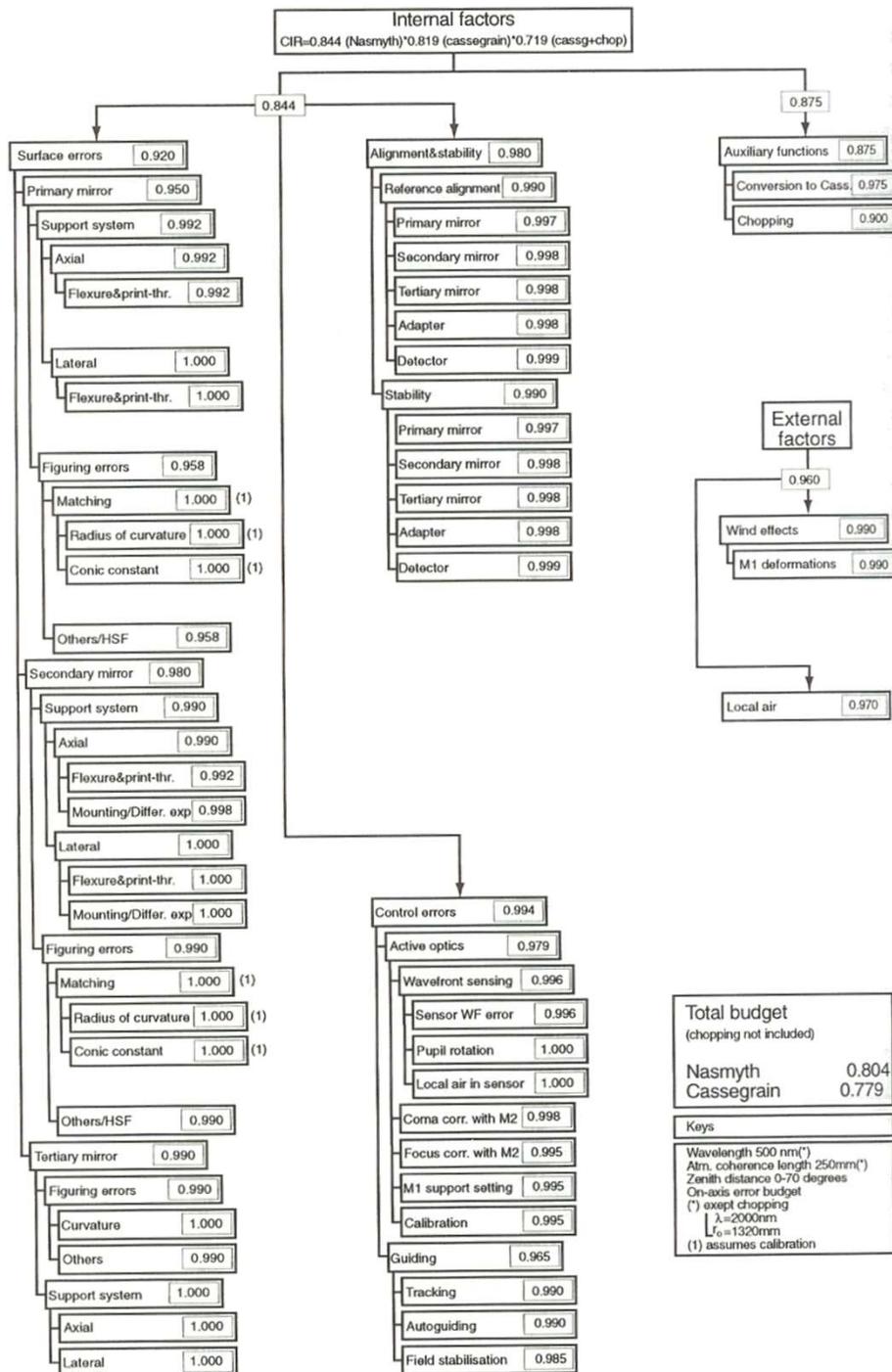


Graças à convexidade do secundário (já que o primário pode ser tão rápido quanto $f/2$), o f /número do telescópio é **grande** ($f/15$ é típico): é bem maior do que em newtonianos típicos. É o tipo de foco mais popular.

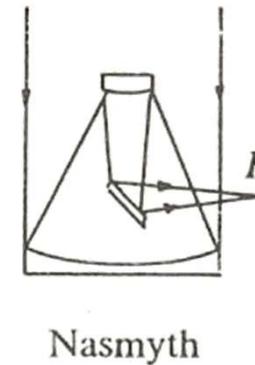
C) Coudé/Nasmyth

O foco Coudé (**f /grande**: $f \geq 50$) foi construído de forma a que a instrumentação estacionária (devido ao peso) pudesse receber a luz do telescópio que está em movimento contínuo. Recorre a **dois** espelhos planos a 45° e adapta o foco Cassegrain (já que usa um hiperbolóide para secundário).





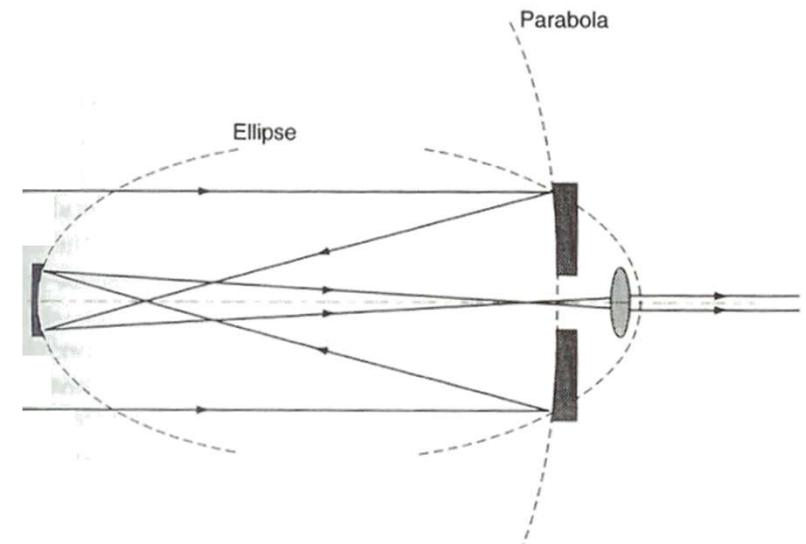
O foco Nasmyth é semelhante ao Coudé mas enquanto este se aplica a telescópios em montagens equatoriais, o Nasmyth é utilizado em montagens altazimutais – há um espelho plano a menos, pelo que f/15 é típico.



A vantagem do foco Nasmyth em relação ao Cassegrain (VLT).

D) Gregory

O foco de Gregory (1663) é quase exclusivo de **telescópios solares**, uma vez que o intenso calor se concentra no foco “verdadeiro”, fora do plano onde se faz a projecção, de facto (assim, gera-se uma imagem solar “intermédia” que absorve o calor intenso). É um tipo de foco que requer apenas um telescópio curto e uma abertura modesta. Usa um espelho secundário **elipsoidal** e tem uma óptica semelhante a um kepleriano desfocado.

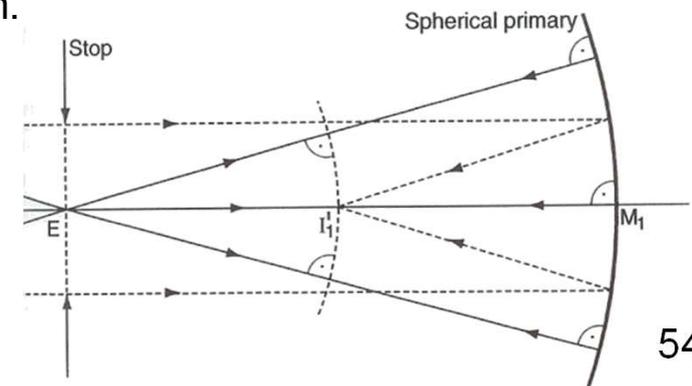


E) Ritchey-Chrétien

Muito semelhante à ideia original de Mersenne, o foco Ritchey-Chrétien (1910-1922) usa para espelho principal um **hiperbolóide** com uma excentricidade muito próxima da parábola de Mersenne ($e \sim 1$). Como num Cassegrain, o secundário é hiperbolóide. Estes telescópios conseguem estar **isentos** das aberrações esférica e comática. Ainda, têm um campo maior que um Cassegrain. A desvantagem é a dificuldade em fazê-los e o conseqüente alto preço que atingem.

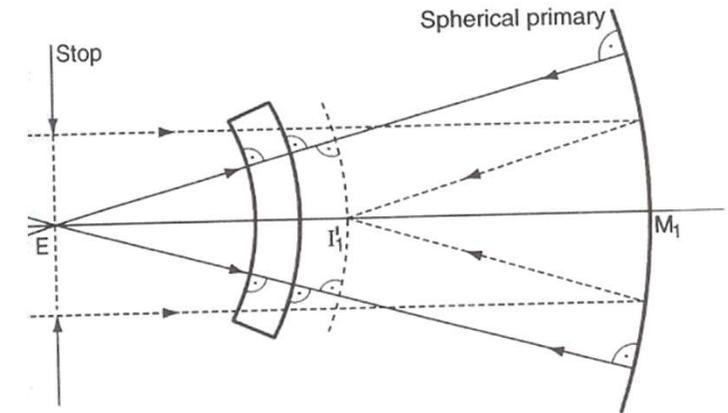
2.1.2 O telescópio de grande campo (*wide field*)

Na sua forma mais básica (sem correcção da aberração esférica), um telescópio de grande campo usa um **primário esférico**. Não tem qualquer outra aberração.



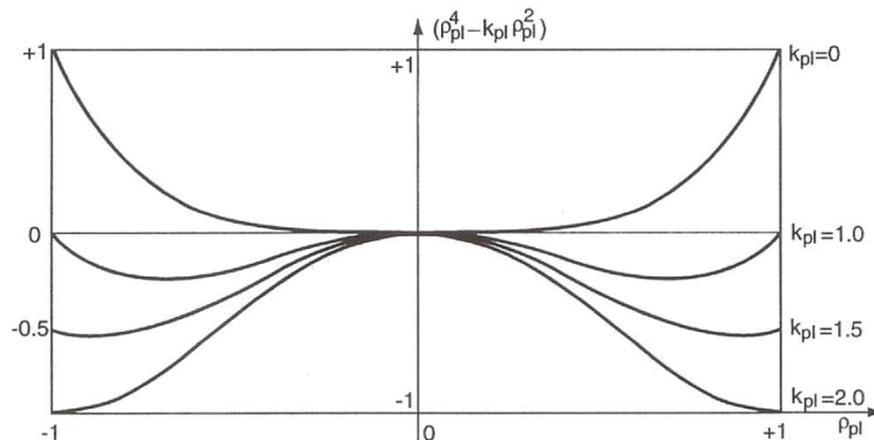
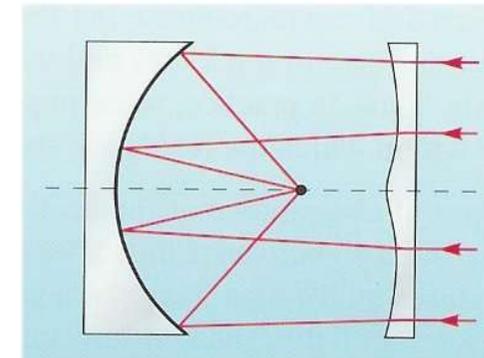
A) Bouwers

A correcção do telescópio de grande campo (de espelho esférico) foi feita pela primeira vez por Bouwers que, ao introduzir uma **lente** correctora, preferiu a aberração cromática à esférica. O telescópio concêntrico de Bouwers é, assim, totalmente simétrico e tem um campo potencial de 180° (a menos de “vignetting” causado pelo “stop”). Este tipo de telescópio só tem utilidade para fotometria de banda estreita (precisamente devido à cromaticidade).



B) Schmidt

Schmidt (1931) utilizou uma versão acromática do telescópio de Bouwers, adicionando um corrector asférico de difícil construção (porque elimina duas aberrações: a esférica e a cromática). Além disso esse corrector (lente) garante um enorme campo de visão (e.g. $6.5^\circ \times 6.5^\circ$ para o do Mt.Palomar que fez a POSS).



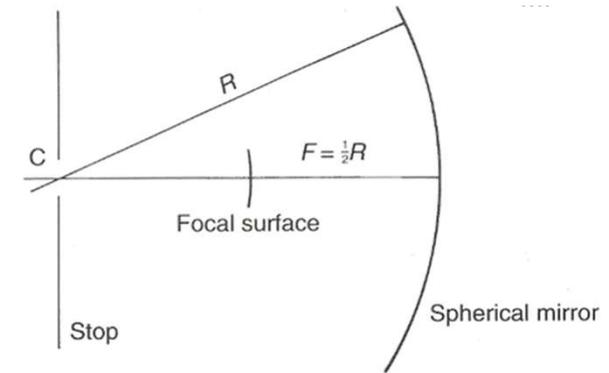
Perfis teóricos da lente correctora de Schmidt.

Há duas adaptações de telescópios Schmidt, conforme o foco: **Schmidt-Newton** e **Schmidt-Cassegrain**. Quanto aos primeiros, utilizam um espelho esférico para secundário. Os segundos mantêm-no hiperbolóide – infelizmente isto leva a limitar a sua utilização para $D < 1\text{m}$ (sob pena da aberração cromática se tornar incorrigível). Nos primeiros o $f/\text{número}$ é mais baixo do que nos segundos. Ambos são telescópios **catadióptricos**: o foco atinge-se deslocando o primário (efectivamente alterando f_1 e o $f/\text{número}$); a grande vantagem é um foco com boa margem de manobra, ideal para encontrar o foco de CCDs.

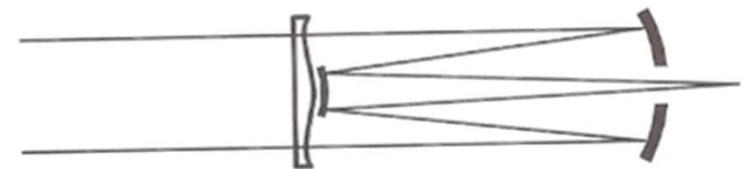
C) Maksutov

Em 1944, Maksutov recuperou a simplicidade do telescópio de Bouwers e utilizou um **menisco** corrector ($ar \sim 10$). Este é muito mais fácil e barato de fazer do que o corrector de Schmidt e ainda permite um tubo com $\sim 1/3$ do comprimento do deste tipo de telescópios.

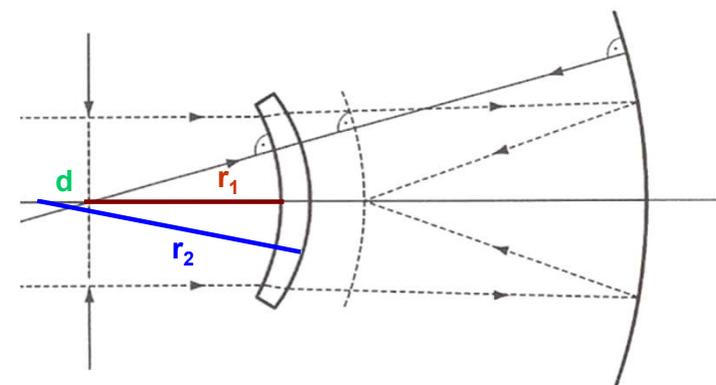
Temos para a distância focal do menisco (n é o índice de refração):



Num Schmidt-Newton, a distância focal do primário (esférico) é dada por $R/2$ com R o raio de curvatura.



Um Schmidt-Cassegrain.



O menisco é mais bojudo no centro (onde a espessura é $d = r_2 - r_1$).

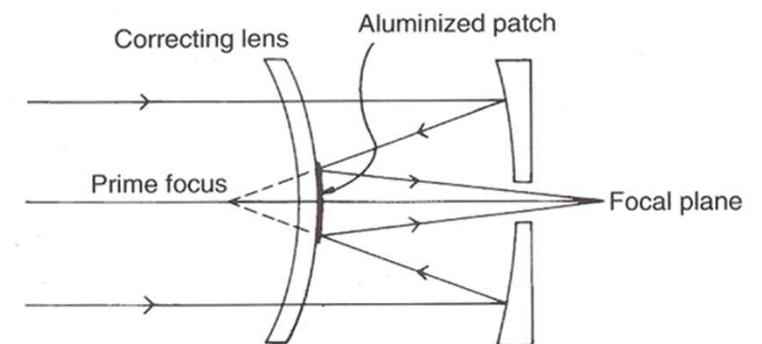
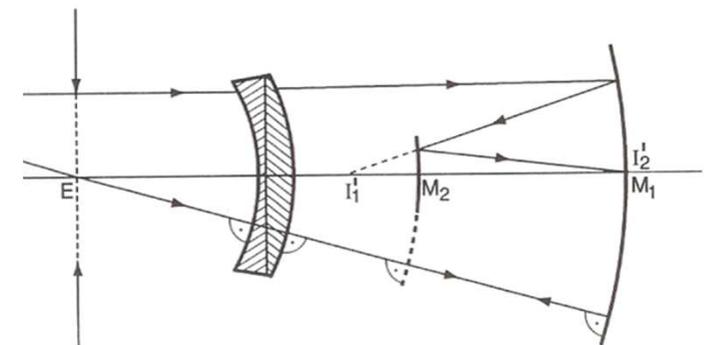
$$f_l^{men} = nr_1r_2 / [(n - 1)d]$$

A garantia de **acromaticidade** é dada por (d é variável, claro):

$$df_l^{men} / dn = 0$$

Uma alternativa óptica foi proposta ainda pelo próprio Bouwers, recorrendo a um espelho concêntrico (portanto, sem qualquer diferença de espessura) mas feito de materiais **vítreos** diferentes (e.g. BK3 e BK10, com uma pequeníssima diferença em índice de refração). Esta é uma solução mais cara, mas não tanto como a de Schmidt.

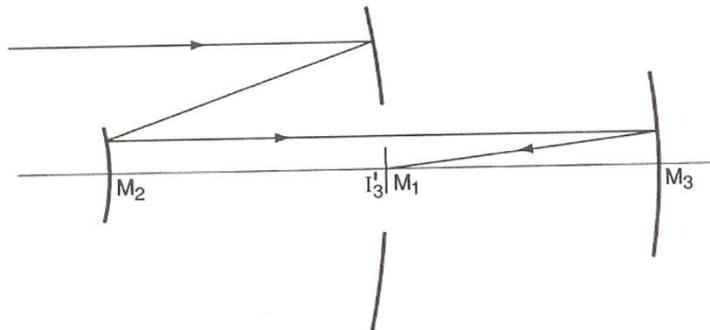
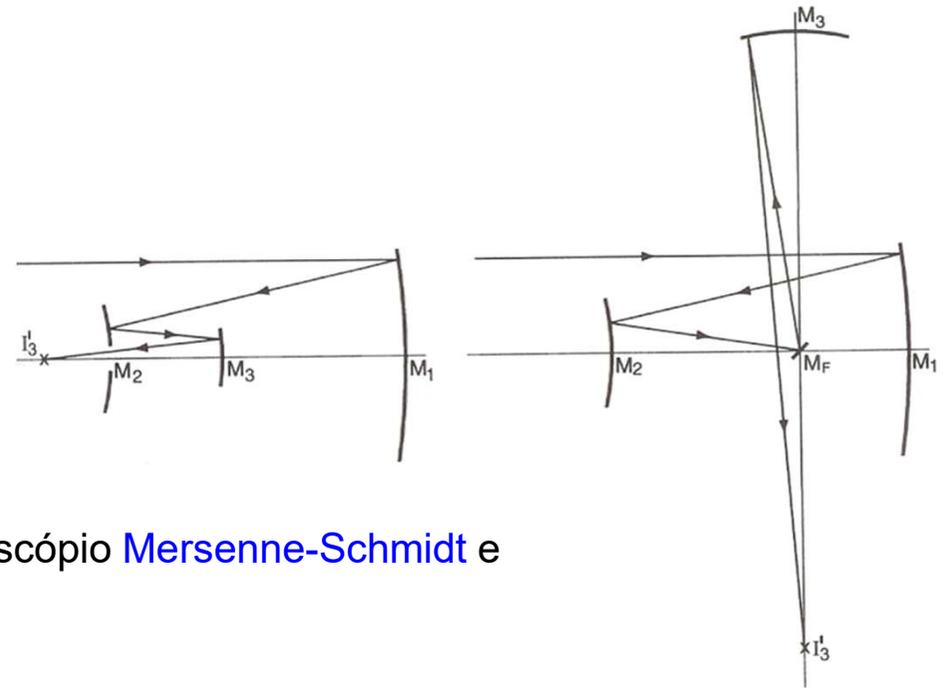
Como para o telescópio Schmidt, também há uma versão catadriótica do telescópio Maksutov: o **Maksutov-Cassegrain**. Este até se deveria chamar Bouwers-Cassegrain. É um telescópio caro (embora quase exclusivo da Astronomia amadora). Tem um tubo extremamente curto. O lado convexo do menisco é aluminizado, servindo de espelho secundário.



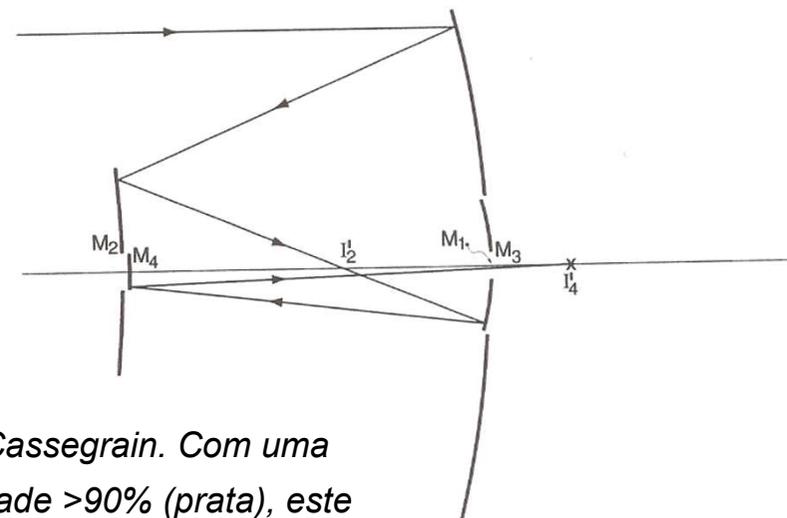
D) Três/quatro espelhos

Versões mais exóticas de telescópios, com recurso a um espelho **terciário** (e mais) existem, embora poucas versões práticas tenham sido construídas. Baseado em ideias de Mersenne, Korsch (1972) inventou dois tipos, com espelhos **hiperbolóides** (todos) de $e \sim 1$ (garante estigmatismo).

Mais recentemente, Willstrop (1984) construiu um telescópio **Mersenne-Schmidt** e Korsh (1986) o **duplo-Cassegrain**.



Um telescópio Mersenne-Schmidt.



O duplo-Cassegrain. Com uma reflectividade >90% (prata), este pode ser o modelo do futuro.

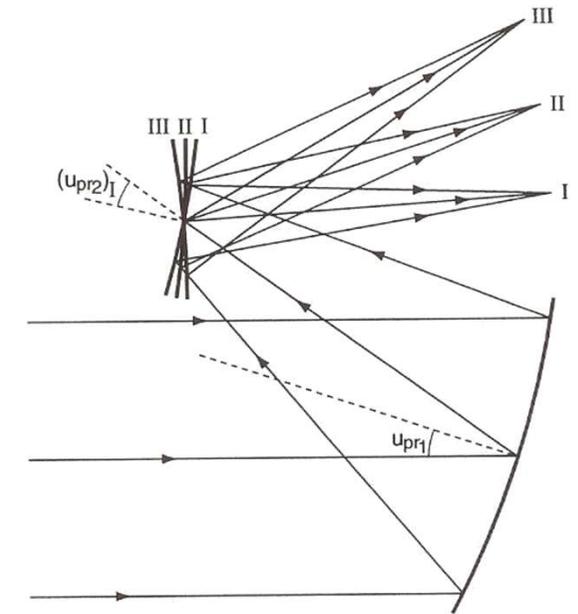
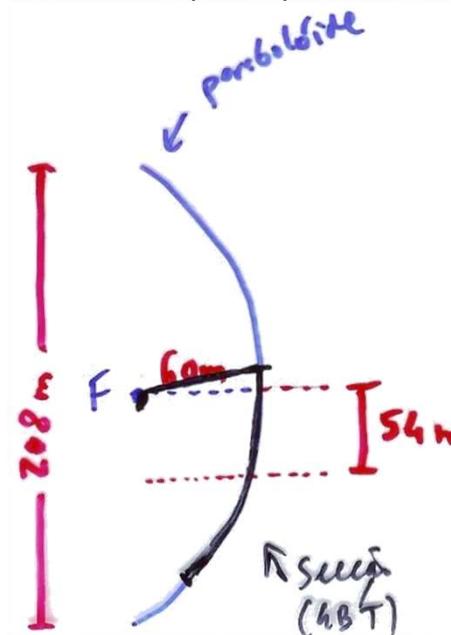
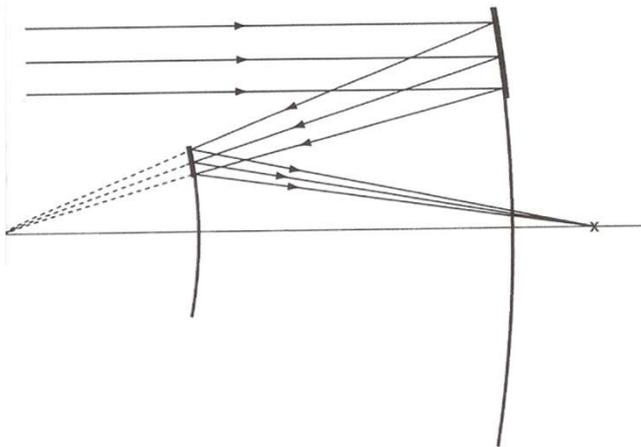
2.1.3 Telescópios descentrados (Schiefspiegler)

O **Schiefspiegler** (\equiv espelho oblíquo) é um tipo de telescópio bem mais complexo (teoricamente) pois faz surgir termos de aberração de ordens superiores.

Os primeiros telescópios descentrados foram construídos por Herschel (“front view”). Kutter (1953, 1964) criou as versões modernas (com um espelho esférico) e deu-lhes o nome alemão.

Muitos Schiefspiegler têm por espelho principal secções de parabolóides, hiperbolóides ou esferas.

Um bom exemplo é o rádio telescópio de Green Bank (GBT).



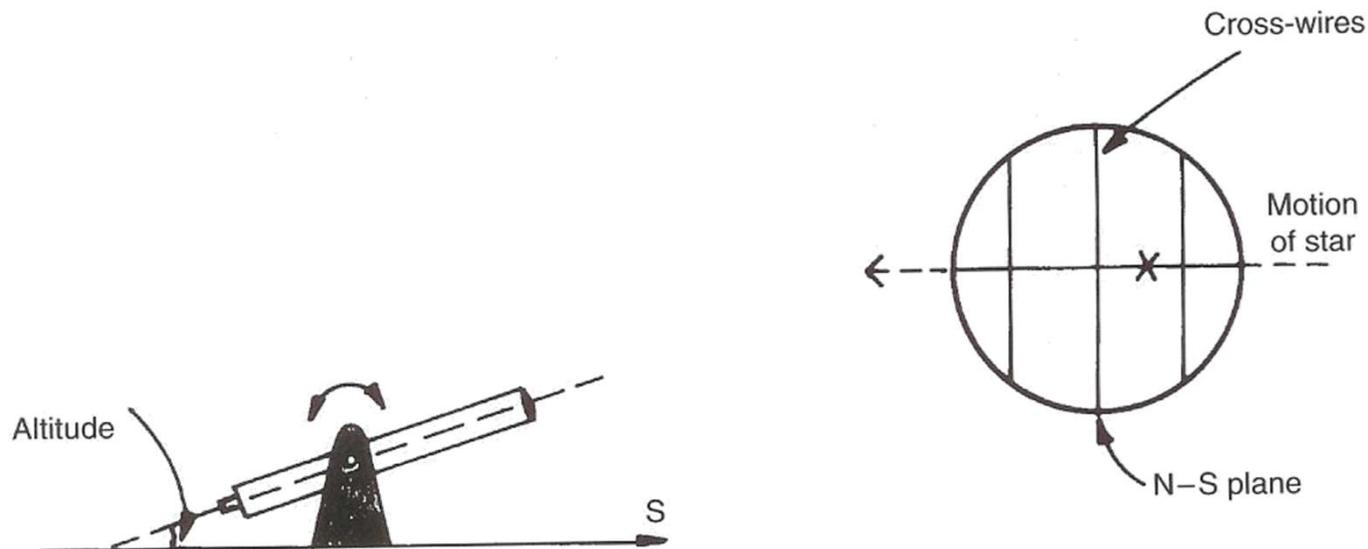
Aberrações: I) coma + astigmatismo; II) coma; III) astigmatismo.

O GBT é descentrado graças à sua geometria: é uma secção de um parabolóide bem maior.

2.1.4 O círculo meridiano

O problema dos telescópios em montagens convencionais (equatoriais ou altazimutais – Cap.4) é a de terem **sempre** de ser movimentados por um motor (no mínimo). Este facto, inevitavelmente, traz erros que, infelizmente, são grandes o suficiente para não darem a possibilidade de medir a **posição** de objectos celestes com muita precisão.

De forma a manter uma excelente capacidade **astrométrica** (que também permite medir a latitude e a longitude do lugar), usam-se “Círculos Meridianos de Trânsito” que consistem em telescópios **bem fixos** a um sólido eixo EW, deslocando-se apenas em **altura** (sobre o meridiano e vertical do lugar, no ponto de “**trânsito**” dos objectos (a sul), onde têm altura máxima). Um sistema reticular no plano focal permite a cronometragem exacta do trânsito de objectos astronómicos.

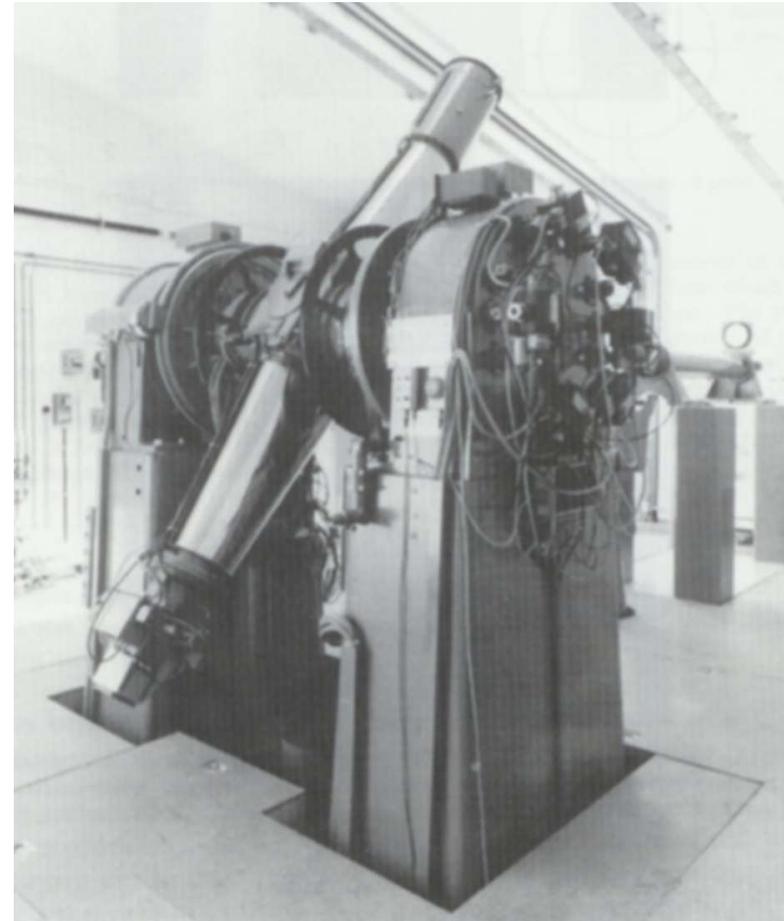




O **Meridiano de Greenwich** (que dá o zero em longitude) foi definido de forma (quasi-)arbitrária, devido à existência do “Círculo de Trânsito de Airy” no Royal Observatory (em Greenwich Park, sul de Londres).

Há **rádio telescópios** que funcionam como círculos meridianos. Por exemplo o MOST (Austrália) e o de Bologna: o eixo EW é fixo; olham para o céu deslocando-se apenas em altura.

O **Carlsberg Automatic Meridian Circle** (em La Palma) é um importante instrumento astrométrico.



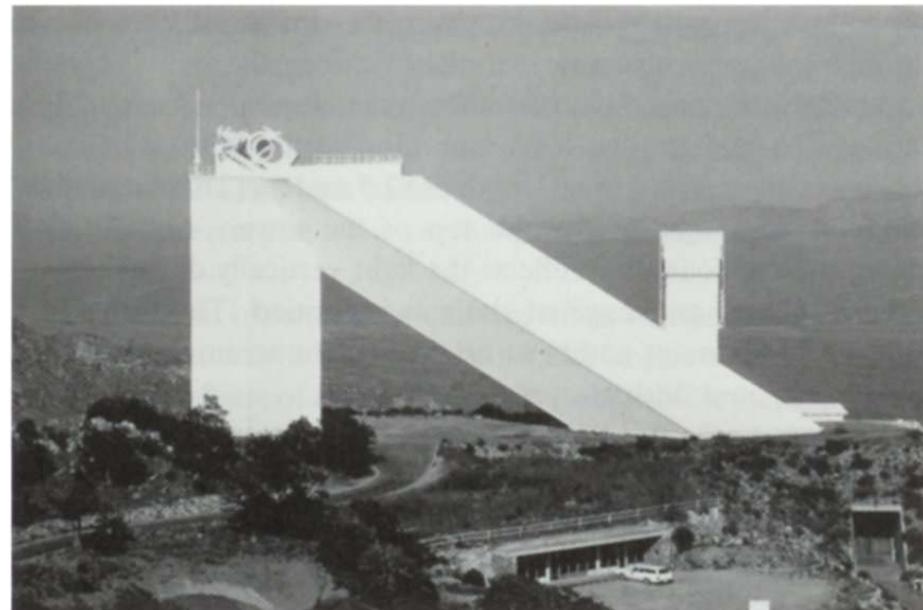
2.1.5 O telescópio solar

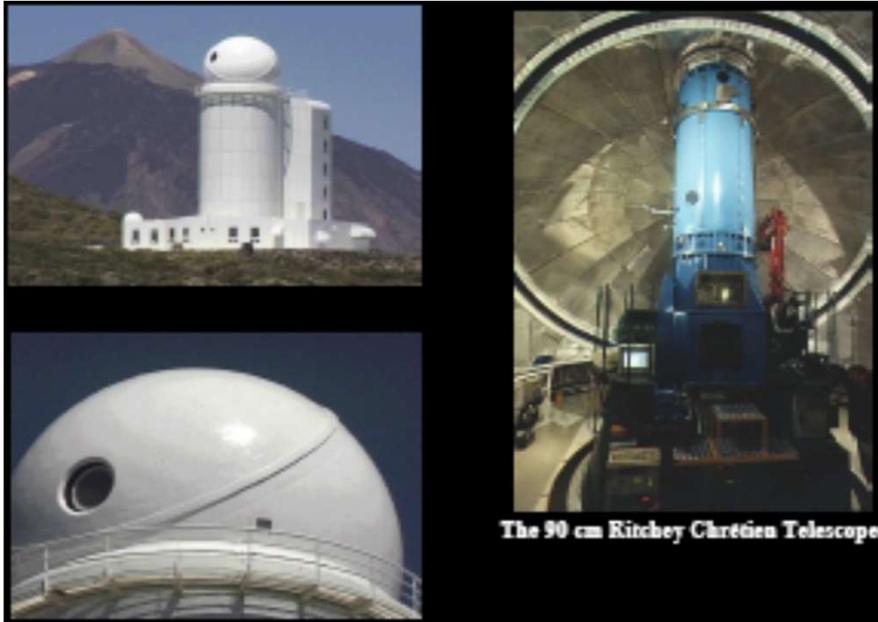
Se o “seeing” é mau durante a noite, imagine-se durante o dia... Assim, o local onde se coloca um **telescópio solar** deve ser estudado com muito cuidado. É típico escolhê-lo entre arvoredos, já que este ajuda a estabilizar o ar em torno do observatório.

Um telescópio solar profissional consiste numa **torre** (20-50m de altura) com um espelho no topo que segue o Sol (é motorizado) e reflecte a radiação deste por um **longo tubo** (isolado de turbulências) até ao “laboratório solar”, no fundo de um poço. Aqui, está um espelho (usualmente côncavo, se for o principal) num foco Gregory que, por sua vez, envia a imagem do Sol para um sistema óptico (que pode ter outros espelhos e lentes) antes da sua **projecção** para análise e aquisição de exposições.

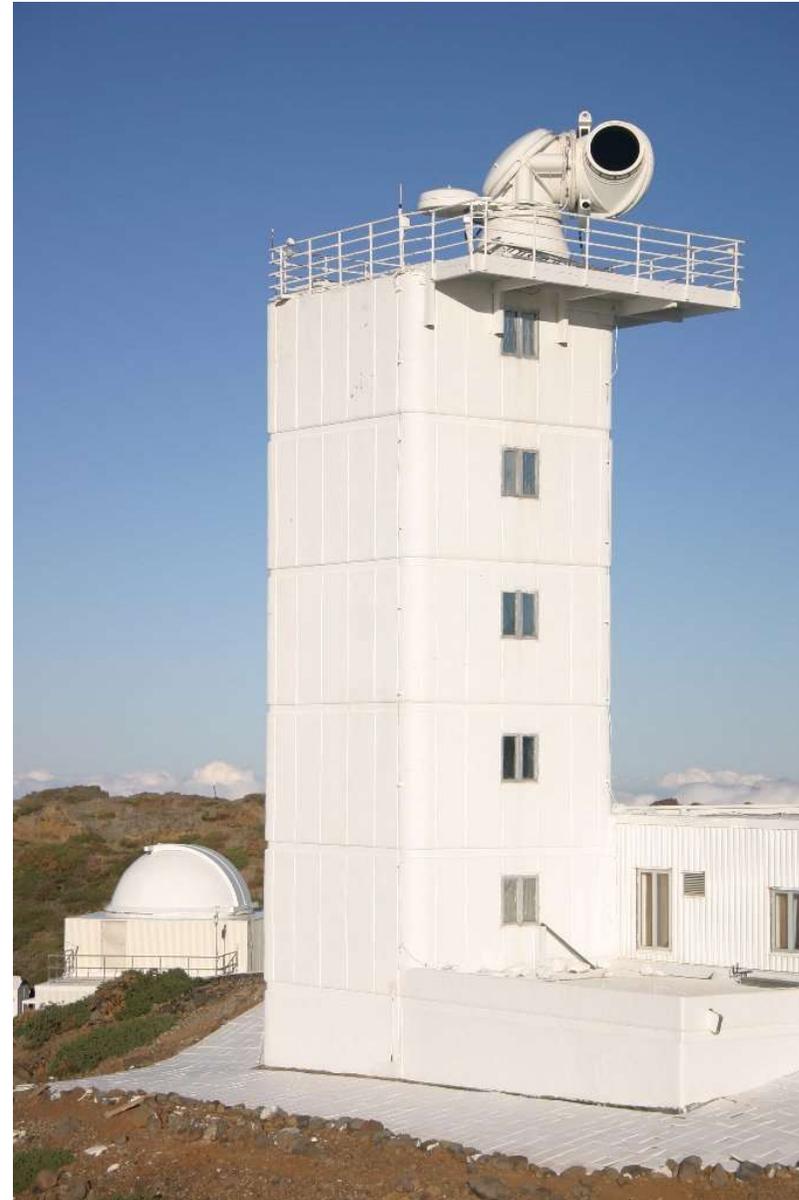
Alguns exemplos de telescópios solares encontram-se no Mt. Wilson (Califórnia), Novo México, Kitt Peak e nas Canárias.

O telescópio solar McMath-Pierce no Kitt Peak (o tubo inclinado é um eixo polar; o espelho principal tem $f_1 \sim 82m$).





O telescópio solar THEMIS em Tenerife (~2400m); $f_l \sim 15m$.



O telescópio solar sueco (adaptativo) em La Palma (~2400m); $D \sim 1m$ (lente).

2.2 Infra-vermelho

2.2.1 Na Terra

O grande problema das observações no IV é a constante existência de um **ruído térmico de fundo**, que afecta as observações. O próprio telescópio, o observatório e a superfície da Terra em seu torno emitem muito forte nos $\sim 10\mu\text{m}$ (pico da curva de Corpo Negro para $T\sim 300\text{ K}$), de uma forma muito irregular (espacio-temporalmente). Esta emissão é tão forte como $\sim 10^6$ vezes a emissão das mais brilhantes fontes de IV do Universo.

A forma de **remover** o constante “ruído” é observar a fonte e um campo vazio (para subtracção deste último), usualmente a menos de $1'$. No caso do IV, deve haver uma rápida **alternância** entre estas exposições, de tal forma que todos os telescópios IV possuem um **espelho especial** no plano focal (ou o espelho secundário, se existente, pode fazer a função deste): oscila a $\sim 10\text{-}100\text{ Hz}$.

Além disso, todo o sistema é **arrefecido** criogenicamente, de forma a diminuir ao máximo o ruído.

Como mesmo em montanhas altas não se conseguem “janelas” para observar o IV longínquo ($>25\mu\text{m}$), usam-se ou observatórios no **espaço** ou **aviões** (Kuiper Airborne Observatory – KAO; Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy - SOFIA) de forma a fazê-lo.

Um dos mais emblemáticos telescópios de IV à superfície da Terra é o UKIRT (United Kingdom Infra-Red Telescope), no Hawaii.

O UKIRT tem 3.8m de diâmetro e encontra-se no Hawaii (~4200m).



O KAO tinha 0.9m de diâmetro e foi utilizado a ~14km de altitude até 1995.



O SOFIA tem 2.5m de diâmetro e iniciará testes no final de 2008 para começar a ciência em 2009.

2.2.2 No espaço

O primeiro sério telescópio espacial de IV foi o IRAS. Este tinha os seus detectores arrefecidos com hélio líquido ($T \sim 4K$) e, assim, bateu recordes em sensibilidade: o ruído de fundo era $\sim 10^{12}$ menos do que nos telescópios à superfície da Terra. Em menos de um ano revolucionou a Astronomia do IV médio e longínquo (12, 24, 60 e $100\mu m$), com $\sim 10^6$ fontes catalogadas.

O telescópio IV espacial mais recente é o Spitzer.

2.3 Rádio e sub-mm

2.3.1 Geral

Embora a antena típica de um rádio telescópio tenha uma forma **parabólica** (um pouco à imagem dos telescópios ópticos reflectores), a primeira diferença importante é que muitas não são “cheias”: podem ter “buracos”, dependendo do comprimento de onda da observação.

A segunda diferença, muito importante, é que os rádio telescópios devem estar “protegidos” da emissão ruidosa da superfície da Terra (que também afecta o rádio, à semelhança do IV). Assim, a própria antena serve de “**escudo**” mas, para tal, o $f/número$ deve ser ~ 1 ou mesmo < 1 (portanto, com a distância focal **inferior** ao diâmetro da antena). A consequência é uma significativa **aberração comática**, facilmente corrigível nos dados.



Quanto à colocação da “feed” (waveguide), esta ou é colocada no foco principal ou num foco “**tipo**” **Cassegrain** ($f/número < 1$). Menos comum, mas com a sua utilização a aumentar rapidamente, é a utilização de um foco Cassegrain genuíno.

*O rádio telescópio de Cambridge,
com $f/<1$ e $D=32m$.*

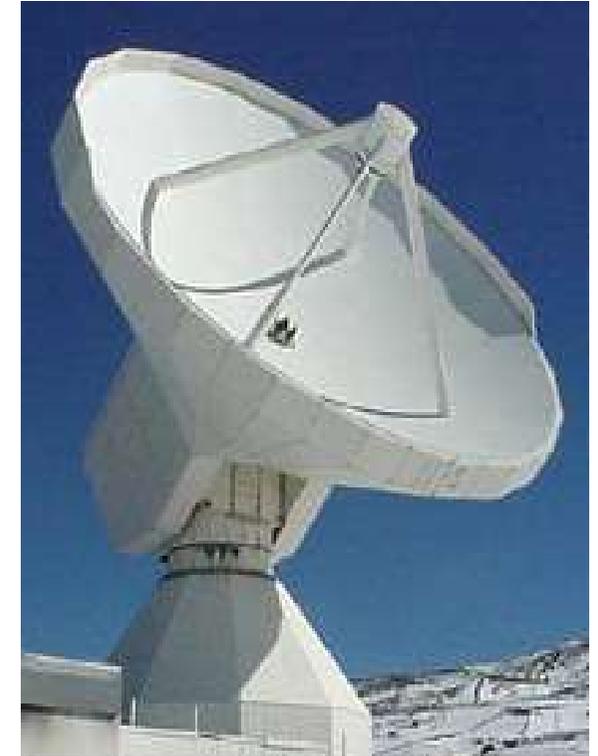
2.3.2 Telescópios (sub)milimétricos

Um relevante exemplo de rádio telescópio para a Astronomia do mm é o do **IRAM** (Instituto de Rádio Astronomia Milimétrica) em Pico Veleta, Espanha: um disco de fibra de carbono de 30m de diâmetro (rms ~ 0.1 mm).

Mas o maior do mundo, no momento, é o mais recente (inaugurado em Novembro de 2006) **LMT** (Large Millimeter Telescope), no México (localizado a ~ 4600 m de altitude).



O maior rádio telescópio milimétrico do mundo: o LMT com $D=50$ m.

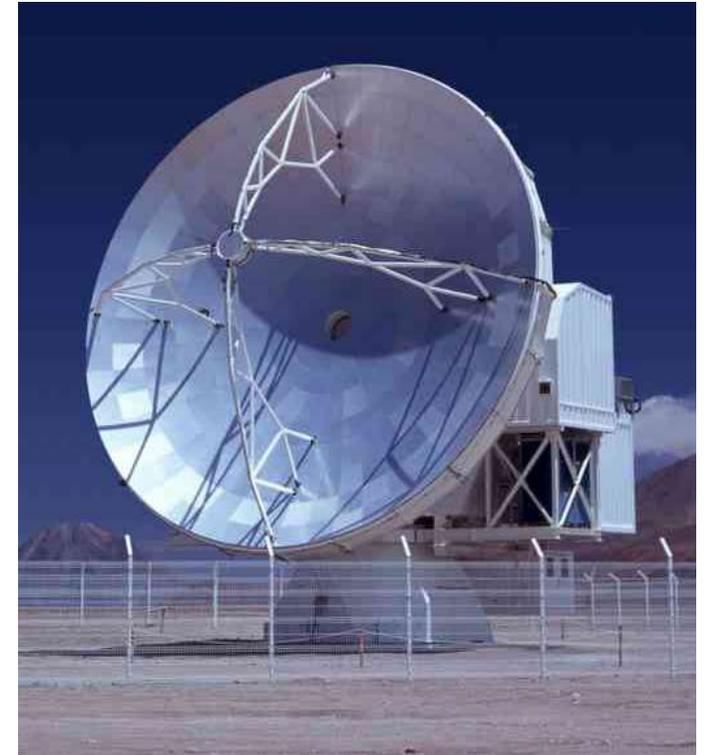


O rádio telescópio milimétrico do IRAM, com $D=30$ m.

Quanto ao sub-mm, um primeiro exemplo é o **APEX** (Atacama Pathfinder EXperiment), colocado no Chile (deserto de Atacama) e que vai funcionar como “preparatório” para o **ALMA** (Atacama Large Millimeter Array)...

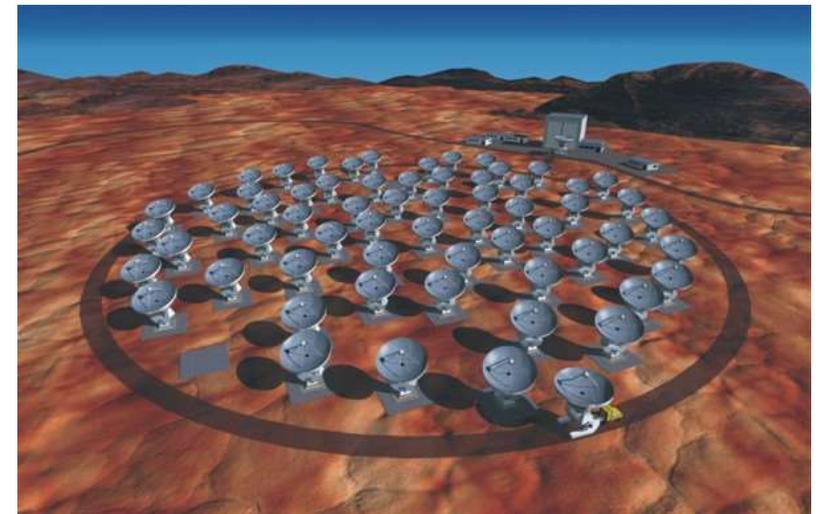
O telescópio sub-milimétrico APEX, com $D=12m$.

...que está num bom progresso, com as primeiras duas antenas-protótipo tendo já realizado a primeira observação interferométrica (Mar 2007) e várias já testadas. Três antenas de 12m já estão no local do ALMA em testes.

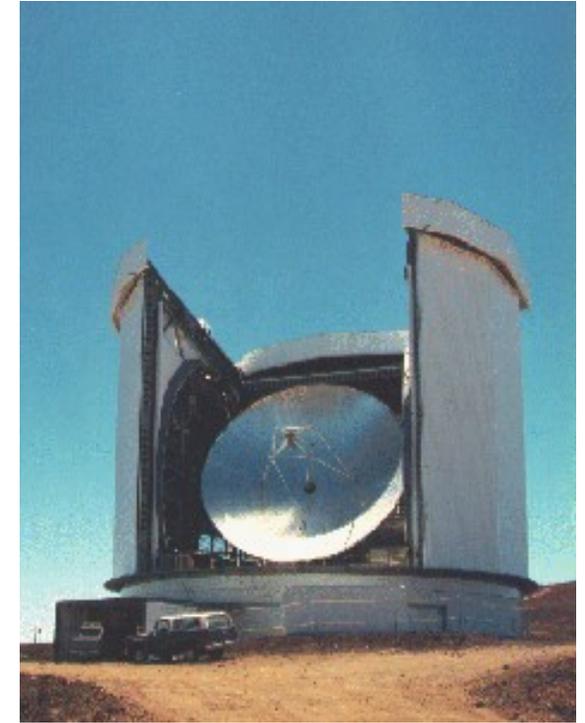


Uma antena-protótipo do ALMA ($D=12m$) em Socorro (Novo México).

O ALMA (conceptual). Ficará a ~5000m de altitude e será inaugurado em 2012. Terá 54 antenas de 12m e 12 de 7m.



Falemos, também, do **JCMT** (James Clerk Maxwell Telescope) que é um dos expoentes da Astronomia do sub-mm mundial. Está localizado no Hawaii.



O rádio telescópio submilimétrico JCMT, D=15m.



Finalmente, um “clássico” já defunto, o **SEST** (Swedish-ESO Submillimeter Telescope), que operou no Chile (La Silla) desde 1987 até recentemente. Em certo sentido era a “contra-parte” do JCMT no hemisfério sul.

O rádio telescópio submilimétrico SEST, D=15m.

2.4 Altas energias

A separação entre raios X e raios γ é feita, **convencionalmente**, no valor energético da massa em repouso do electrão (~ 0.5 MeV; $\lambda \sim 2$ pm). A ideia é que o par electrão-positrão se aniquile emitindo dois raios γ (e não X). Quanto aos raios X, há uma separação entre “soft” e “hard” em 1 keV ($\lambda \sim 1$ nm).

2.4.1 Raios X

Até aos anos 70 a Astronomia de raios X foi explorada apenas por **foguetes**. Conseguiu-se, até aí, a construção de um catálogo de 30 fontes.

O satélite **Uhuru**, operando em 2-20 keV, fez a primeira “survey” do céu (161 fontes).

Após mais alguns satélites europeus e americanos, o primeiro telescópio de raios X seguiu no **Einstein**, lançado em 1978 (área efectiva ~ 50 a ~ 300 cm² correspondendo de $E \sim 3.5$ keV a $E \sim 2$ keV). Claro que o que passou à história como revolucionário nesta banda foi o **ROSAT**.

Mission	Agency	Launch (yr)	Lifetime (yr)	Mass (kg)	Nest	Focal Length (m)	Number Modules	Aperture (cm)	FOV (arcmin)	R (arcsec)	Area (cm ²) (@ 1 keV)
Einstein	NASA	1978	2.5	~ 460	4	3.5	1	56	75	~ 2	1x200
Exosat	ESA	1983	3	7	2	1	2	30	120	~ 18	2x35
Rosat	DLR	1990	9	950	4	2.4	1	84	120	1.7	1x400
BeppoSax**	ASI/NIVR	1996	6	13	30	1.85	4	16	30	60	4x80
Chandra	NASA	1999	$\sim 5-10$	956	4	10	1	120	30	0.5	1x750
Newton	ESA	1999	$\sim 5-10$	350	58	7.5	3	70	30	12	3x1500
XEUS	ESA	>2012	~ 25	?	?	50	1	1000	5	2-5	1x300 000

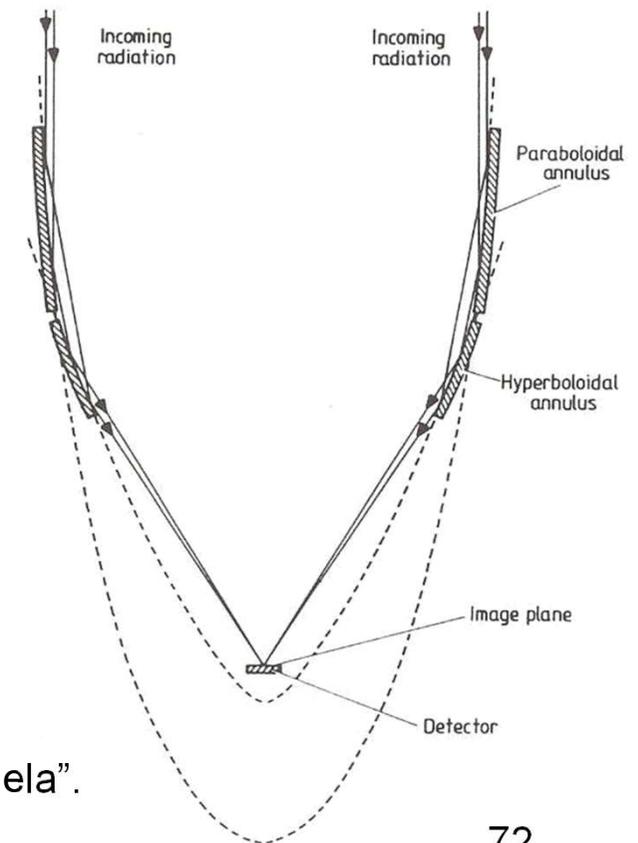
Utilizando exclusivamente o limite de Rayleigh, parece que basta um telescópio de alguns mm a alguns cm de diâmetro para obter resoluções de $\sim 1''$ nos raios X/ γ .

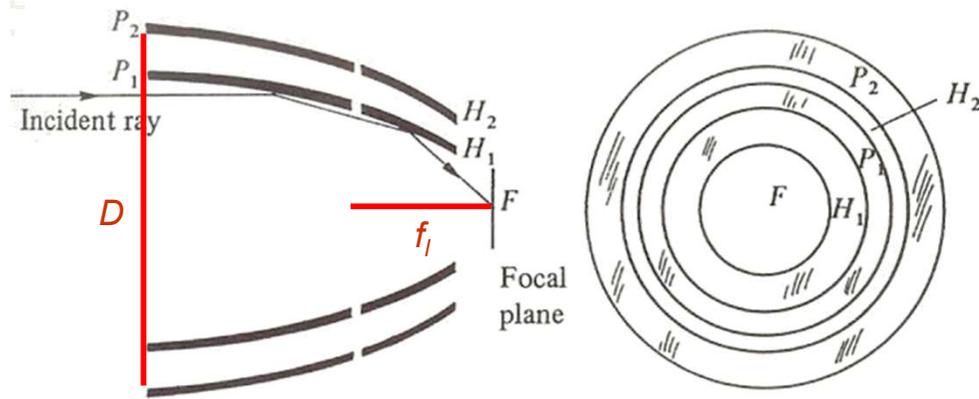
O primeiro problema, no entanto, surge na excessiva **perfeição** de um eventual espelho reflector: teria de ter a superfície perfeita a menos de 1 Å! O segundo problema surge no facto de fótons tão energéticos passarem “a direito” por um espelho convencional, só sendo “convencidos” a convergir num foco se o ângulo de incidência/reflexão for **pequeno** (o que se consegue com uma óptica especial). Em termos de **refracção**, não há nenhum material que consiga convergir num foco o grosso dos fótons em raios X.

A primeira solução encontrada foi a colocação de um **colimador mecânico** em frente ao foco do detector (que pode ser um contador proporcional, por ex.). Aquele vai restringir os ângulos de incidência dos fótons, passando a ser conhecida, então, a direcção do céu de onde os fótons são originários.

A resolução aumenta com a utilização da reflexão em superfícies metalizadas (incidência $\leq 1-10^\circ$) – desde os anos 50/60 que se utiliza esta técnica. Uma das superfícies é um hiperbolóide, de forma a manter um campo razoavelmente grande ($\sim \text{arcmin}$).

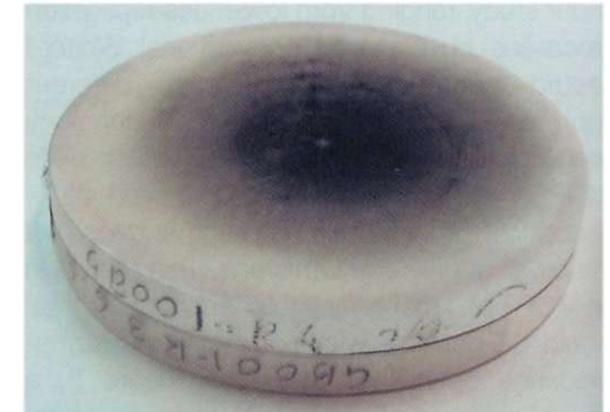
A área efectiva, no entanto, é diminuta. A forma de a aumentar substancialmente é com a colocação de vários espelhos, de forma “paralela”.



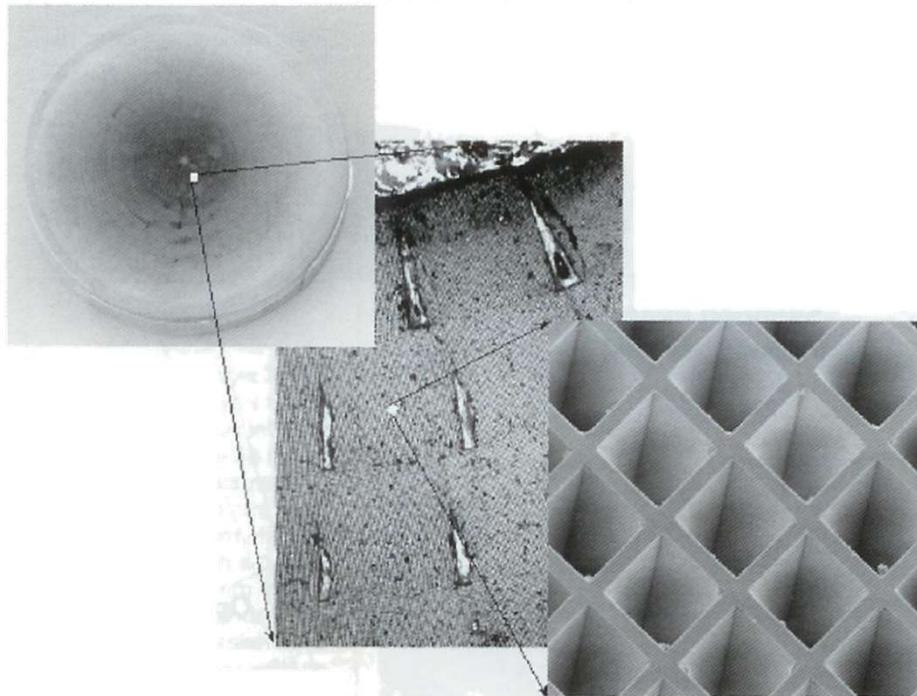


O telescópio de Wolter. H é uma superfície de revolução hiperbolóide; P é uma superfície de revolução parabolóide. Existem várias células concêntricas que aumentam a superfície colectora.

Uma das soluções revolucionárias a ser pensada para o XEUS (X-ray Evolving Universe Spectrometer) é a utilização de uma lente compacta e leve, feita de material vítreo (com bismuto dominante) que atingirá $rms \sim 10\text{\AA}$ e terá uma resolução de alguns arcseg.



A revolucionária lente (protótipo) a utilizar (possivelmente) pelo XEUS funcionará, de facto, como uma convencional biconvexa. Neste exemplo, o par tem $D=6\text{cm}$, $f_1=5\text{m}$, $e=2 \times 5\text{mm}$. Ambas têm uma superfície esférica, com raios de curvatura de 6.7m e 20m .

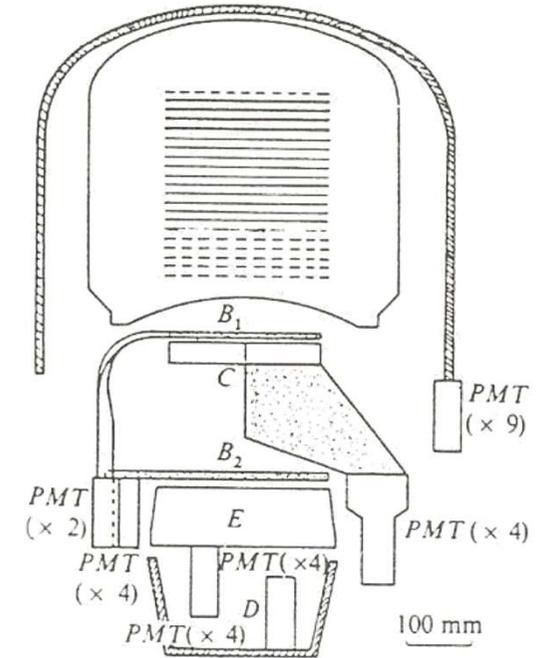


Ao microscópio, cada lente mostra a sua constituição: fibras quadradas (ocas) de $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ em grupos de 55×55 . O espaço entre estes conjuntos será cheio de vidro.

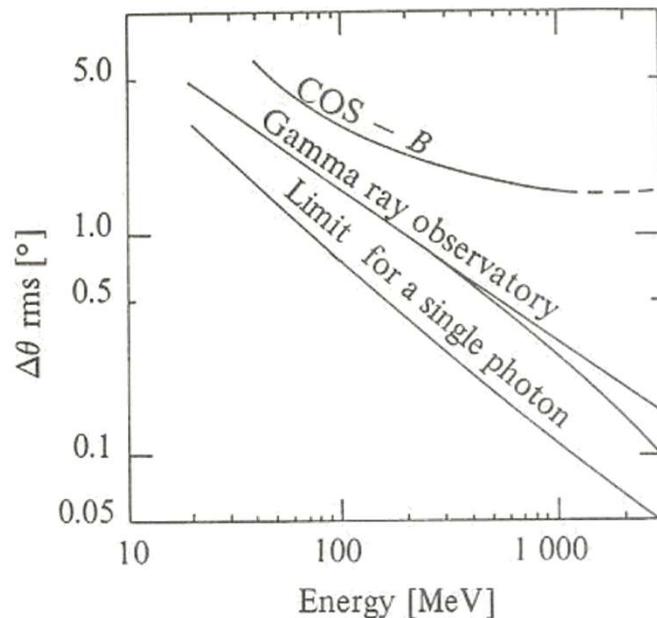
2.4.2 Raios γ

Mais lenta a reagir, a Astronomia dos raios γ teve como primeiros satélites o SAS-II e COS-B nos anos 70 que eram, essencialmente, **camêras de bolhas** (como em Física de Partículas).

Revolucionário foi o CGRO (lançado em 1991).



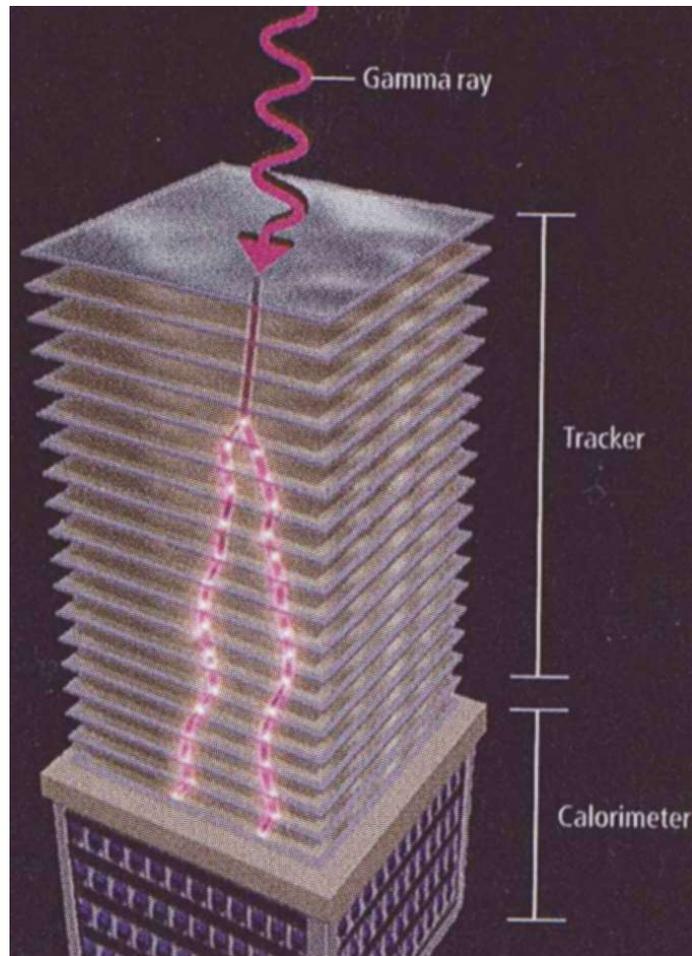
Um esboço do COS-B: os cintiladores (detectores – PMT, fotomultiplicadores) estão à volta da campânula e, ainda, na zona B₁, C, B₂, E, D.



A revolucionária resolução do CGRO (“Gamma Ray Observatory”).

Só recentemente, com o Integral (já no espaço) e o Gamma-Ray Large Area Space Telescope (GLAST), a lançar em Maio de 2008, se fez um avanço significativo. No caso do GLAST, já nos aproximamos bem da ideia de um telescópio convencional.

O GLAST terá uma área efectiva de 9500 cm^2 e observará na gama $0.020\text{-}300 \text{ GeV}$.



O GLAST tem quase o aspecto de um telescópio convencional: “tubo” em cima (tracker – muitas folhas de tungsténio) e “detector” (calorímetro) em baixo. Um raio gama incidente gera um par positrão-electrão. As folhas do tubo contêm detectores de silício que identificam o percurso das partículas geradas.