

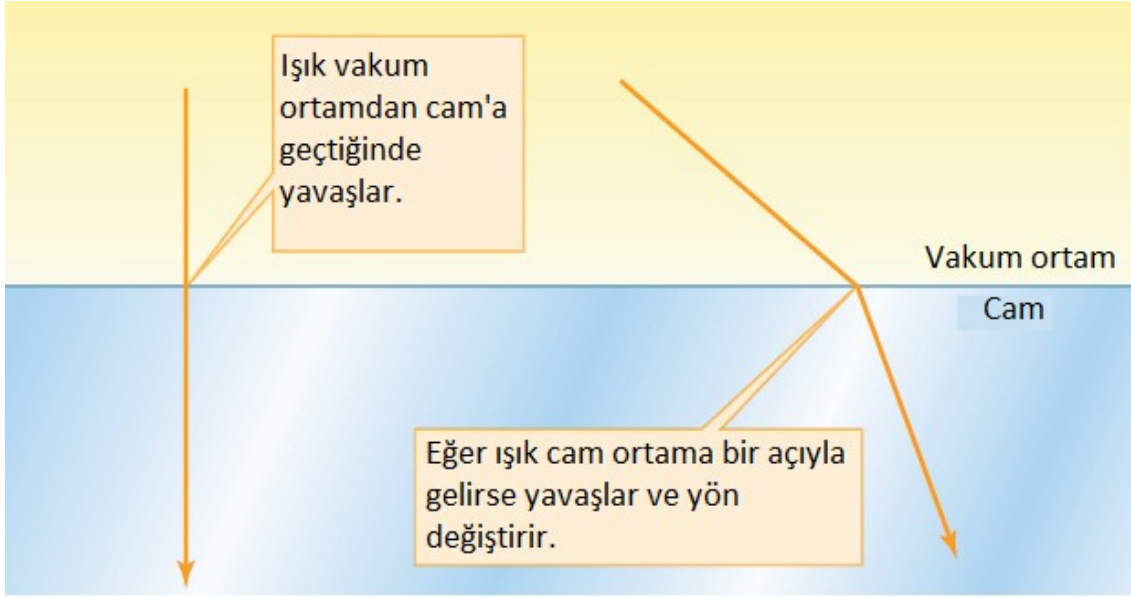
AST121

Astronomiye Giriş

Ders 6 : Optik ve Teleskoplar

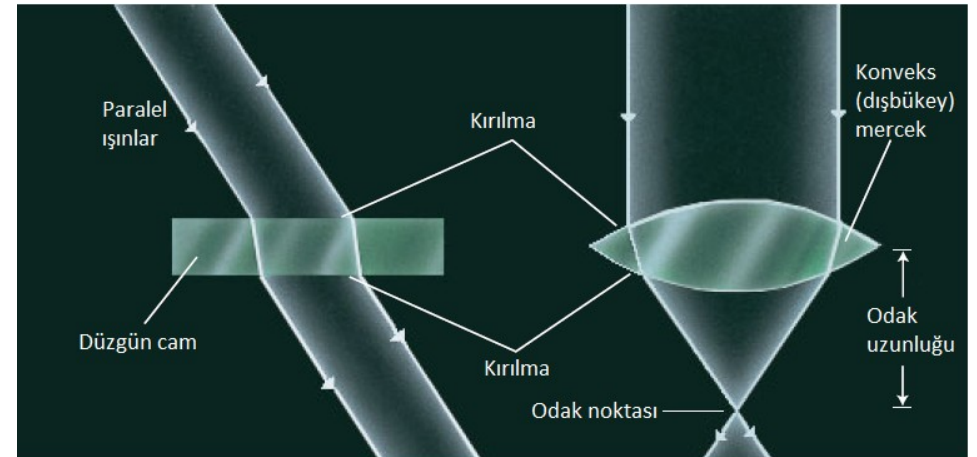


Işığın Kırılması ve Mercekler



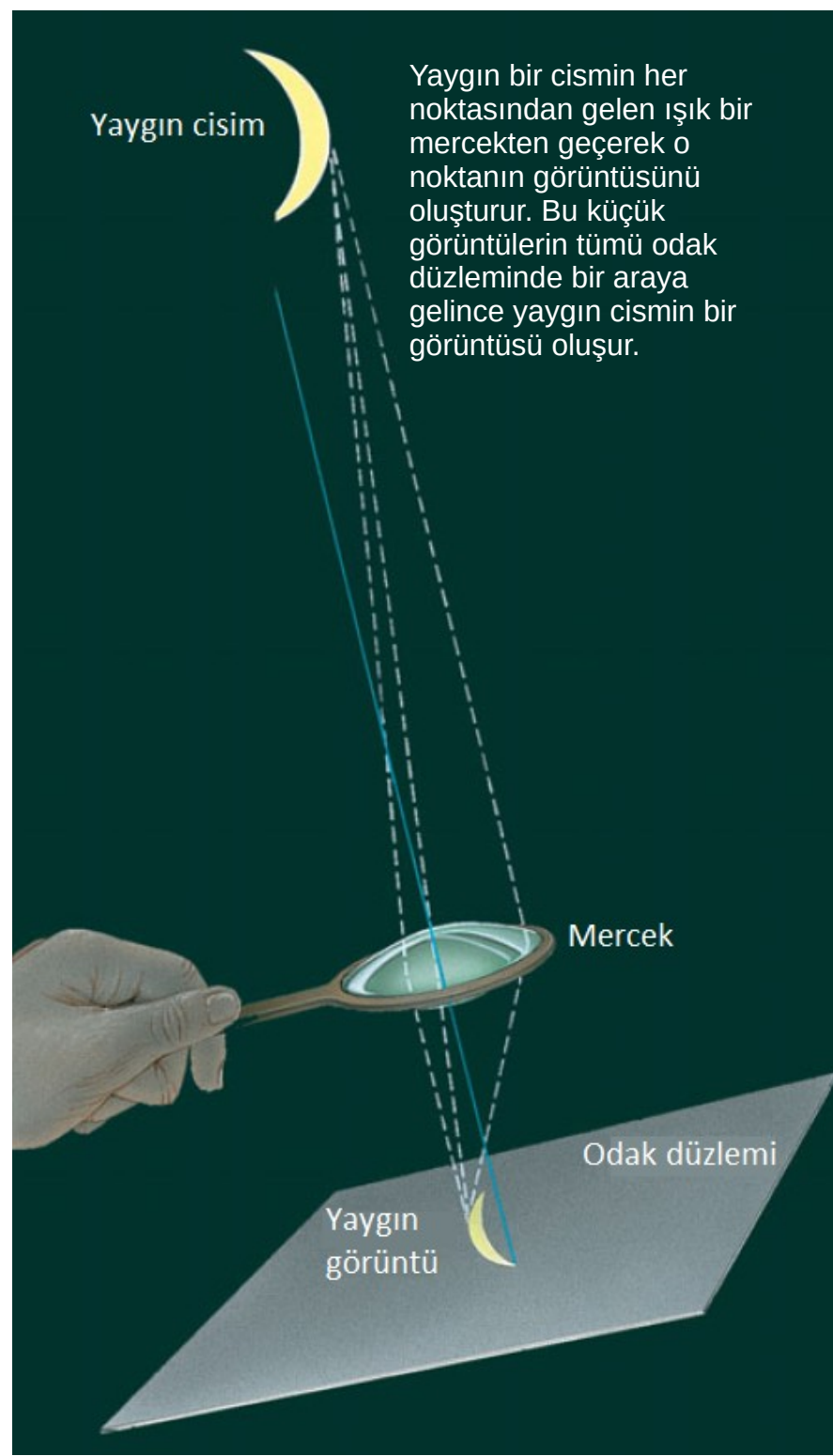
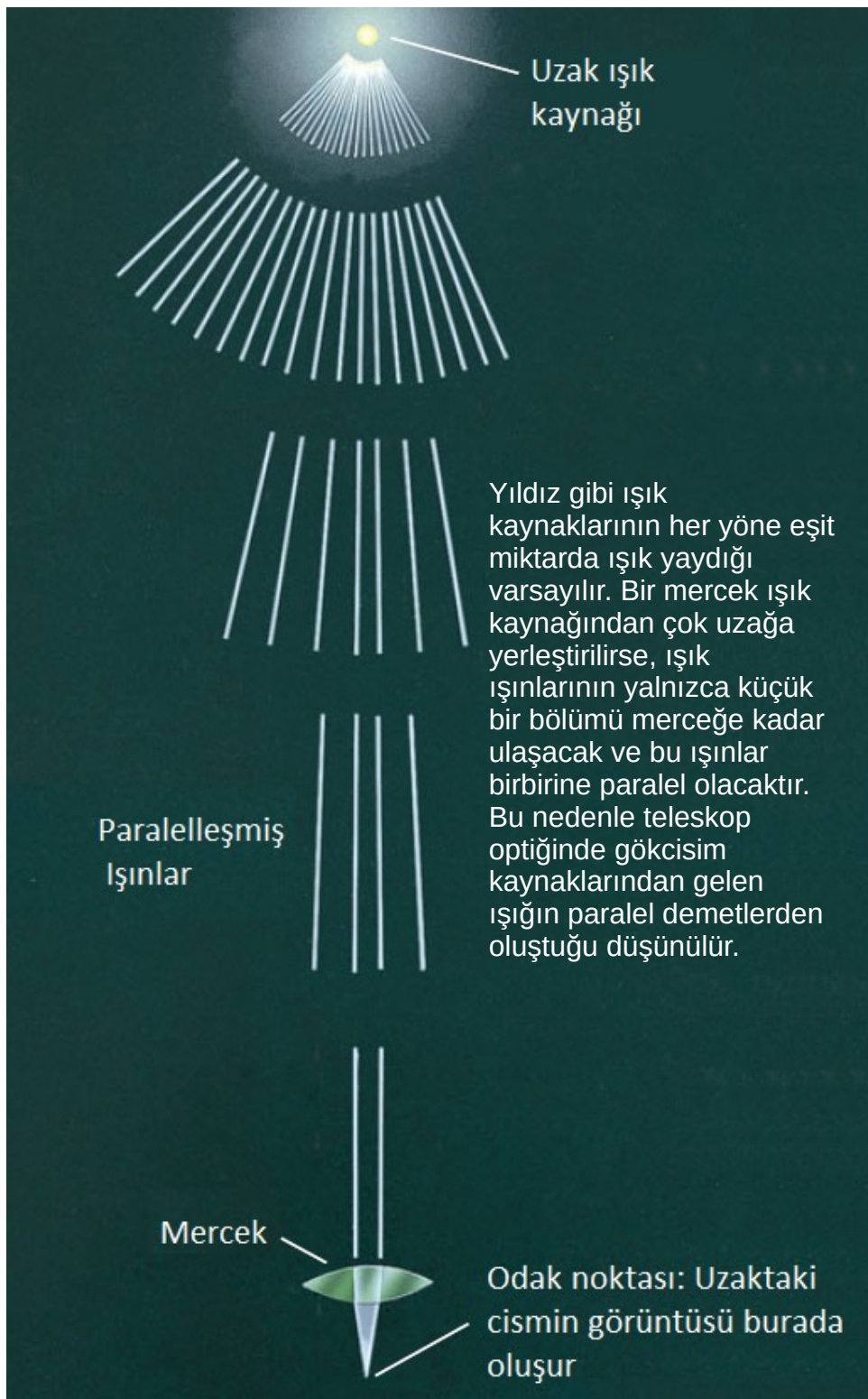
Kırılma (ing. refraction) olgusu

Kırılma ve Mercekler (a) Işığın cam gibi saydam bir ortama girerken veya çıkarken yön değiştirmesine kırılma denir. Işık düz bir cam levha içinden geçtiğinde, iki kırılma ışığı karşı yönlere bükerek ışığı yönlendirmektedir. Işığın seyahat ettiği yönde genel bir değişiklik olmaz. **(b)** Eğer cam bir konveks mercek şeklindeyse, paralel ışınlar odak noktasında birleşerek özel bir noktada toplanır. Mercekten odak noktasına olan mesafeye merceğin odak uzunluğu denir.



(a)

(b)

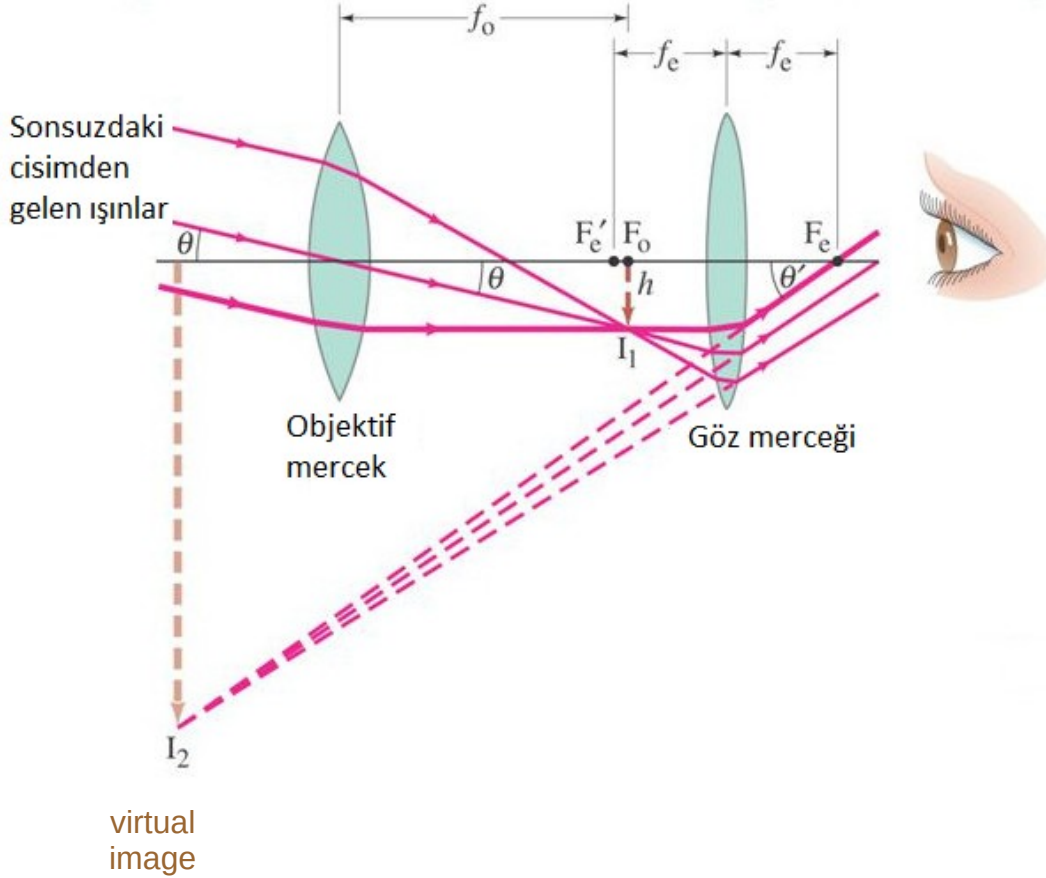


Merceklî Teleskop



Merceklî teleskop (ing. refractor): Merceklî bir teleskop, uzun odak uzaklığına sahip geniş çaplı bir objektif merceği ve kısa odak uzaklığına sahip küçük bir göz merceğinden oluşur. Göz merceği, objektif mercek tarafından oluşturulan görüntüyü odak düzleminde (şekilde kesikli dik doğru) büyütür. Fotoğraf çekmek için göz merceği çıkarılır ve kamera odak düzlemine yerleştirilir.

Mercekli Teleskopta Büyütme



$$\text{Büyütme gücü} = \frac{\Theta'}{\Theta} = -\left(\frac{h/f_e}{h/f_o}\right) = -\left(\frac{f_o}{f_e}\right)$$

f_o : Objektifin (ana mercek) odak uzunluğu

f_e : Göz merceğinin odak uzunluğu

* Negatif işaret görüntünün ters olduğunu göstermektedir.

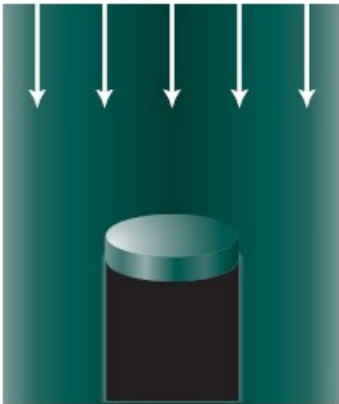
Basit bir mercekli teleskop, uzun bir tüpün karşıt uçlarında bulunan iki mercekten oluşur. Objektif mercek gözlenecek cisme doğru tutulur ve göz merceği göze yakın konumlandırılır.

• Işık Toplama Gücü -- Büyütme

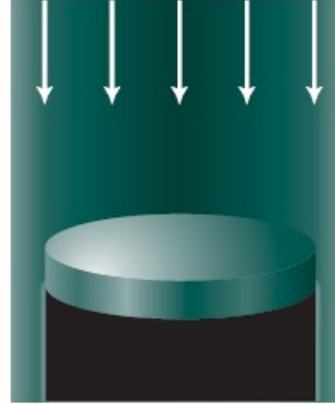


$$\text{Büyütme} = f_{\text{objektif}} / f_{\text{göz merceği}}$$

Işık Toplama Gücü: Teleskobun ışık toplayan yüzeyinin alanıyla ($\pi (D/2)^2$) dolayısıyla teleskobun çapıyla (D) orantılıdır. Bu nedenle bir teleskoptan bahsedilirken onun çapı kullanılır. 1 metrelik teleskop ışık toplayıcı yüzeyinin çapı 1 metre olan bir teleskoptur.



Küçük çaplı objektif mercek:
daha sönük görüntü ve detay



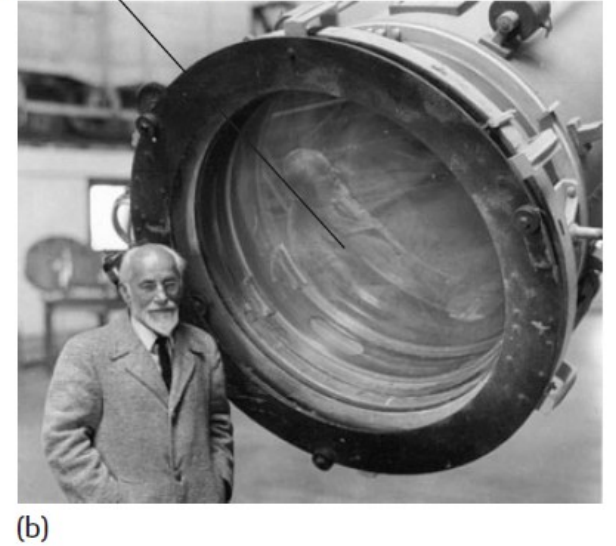
Büyük çaplı objektif mercek:
daha parlak ve detaylı görüntü

Büyütme çok daha ucuz olan göz merceğinin odak uzunluğu küçük seçilerek kolaylıkla artırılabilirken, daha fazla ışık toplamak ve daha fazla ayrıntı görmek için mutlaka daha büyük bir ışık toplayıcı yüzeye ihtiyaç duyulur. Bu da teleskobu "pahalı" bir alet yapar.

Mercekli Teleskoplar

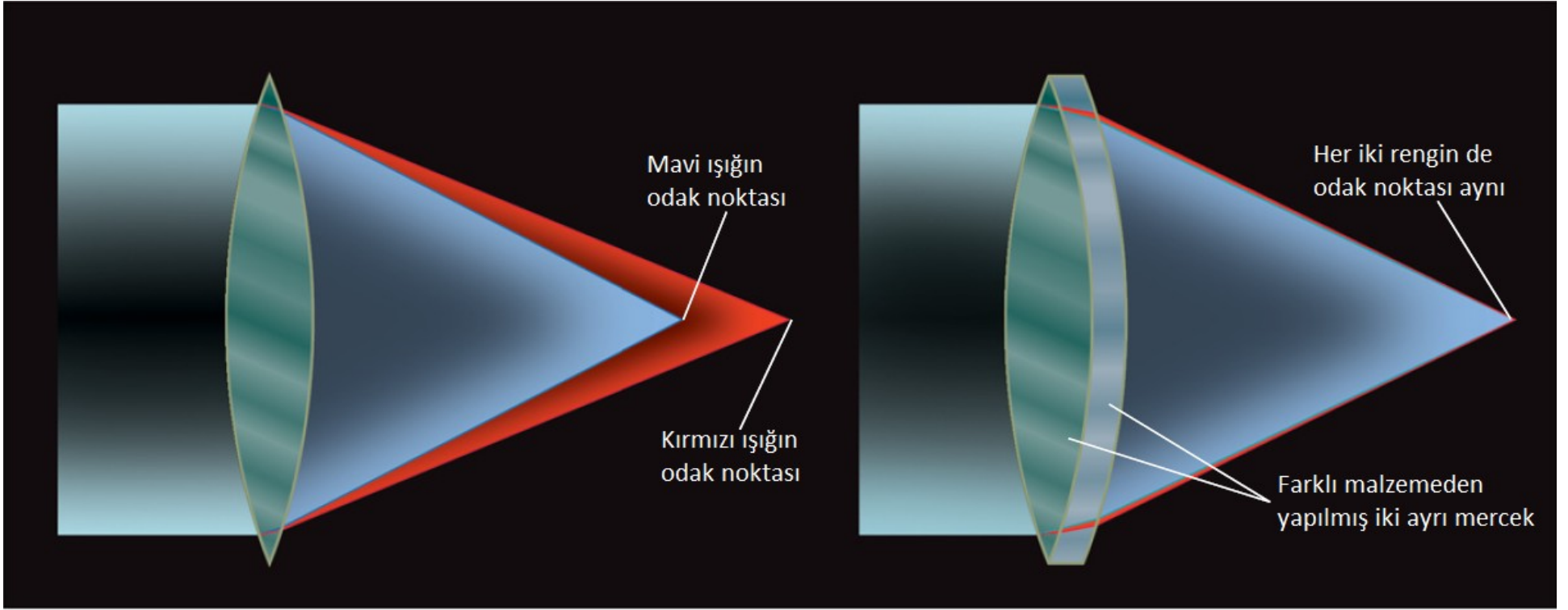


Objektif mercek iki farklı camdan yapılmıştır (bkz: Şekil 6-7a)



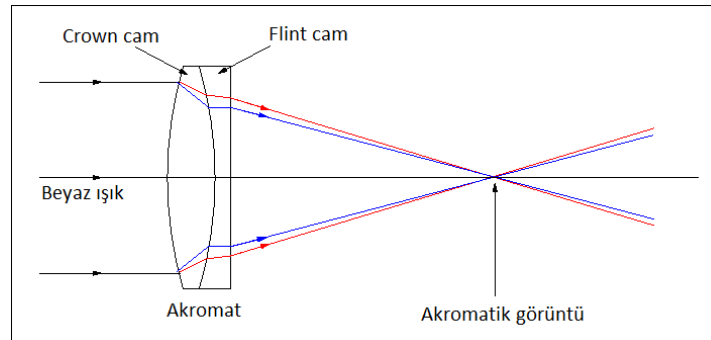
1897 yılında inşa edilen bu dev mercekli teleskop, Chicago yakınlarındaki Yerkes Gözlemevi'nde bulunmaktadır. Ana merceğin odak uzaklığı 19,5 m'nin biraz altındadır. Dünya'nın dönüşüyle gökyüzündeki konumu değişen nesneyi teleskobun odağında tutmak için teleskop bir motor tarafından ters yönde hareket ettirilir. (b) Bu tarihi fotoğrafta gökbilimci George van Biesbroeck Yerkes mercekli teleskobunun önünde görülmektedir. Şimdiye kadar yapılmış en büyük mercekli teleskop olan bu merceğin çapı 102 cm'dir (40 inç). (Yerkes Gözlemevi)

Renk Sapıncı (Kromatik Aberasyon) ve Mercekleli Teleskopların Diğer Problemleri



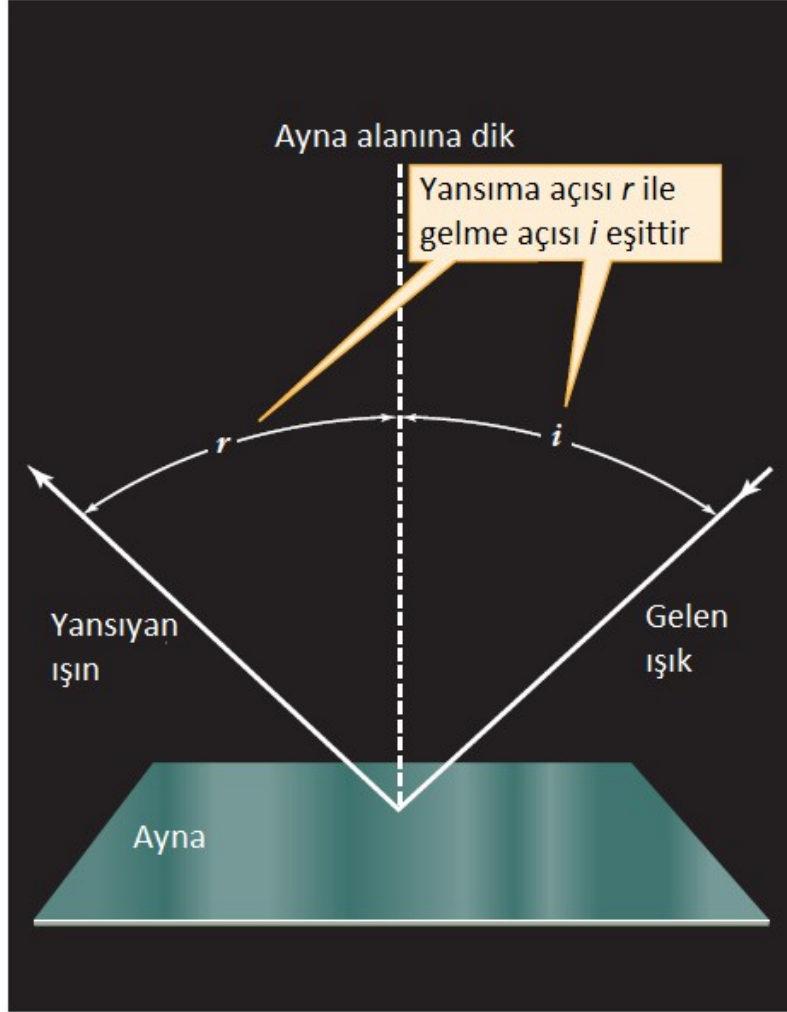
(a) Problem: Renk sapıncı

(b) Çözüm: İki mercek kullanmak

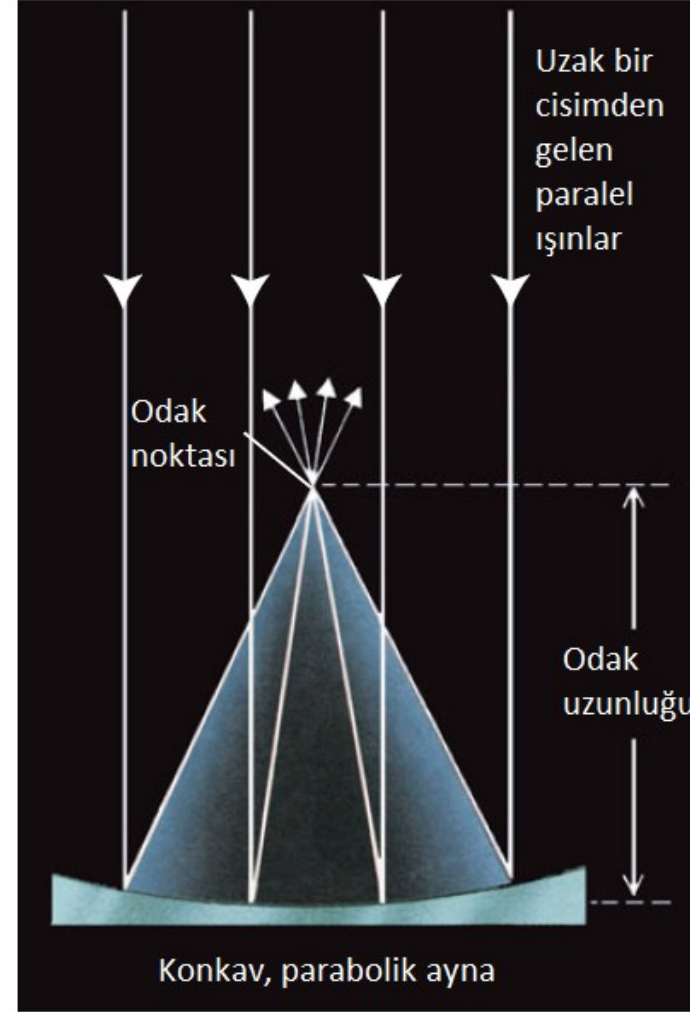


- ✓ Mercek yapımı sırasında camda kabarcıklar oluşabilmektedir.
- ✓ Mercek bazı dalgalı boylarında geçirgen değildir.
- ✓ Renk sapıncından muaf büyük bir mercek yapımı oldukça zordur.
- ✓ Mercek sadece yandan desteklenebildiği için kendi ağırlığı altında deforme olur.

Aynalı Teleskoplar



(a)



(b)

(a) Bir ışın demetinin aynaya yaklaştığı açı, **geliş açısı (i)** olarak adlandırılır ve her zaman ışığın aynadan yansıdığı açıya, yani **yansıma açısına (r)** eşittir. (b) İçbükey bir ayna, paralel ışık ışınlarının odak noktasında bir araya gelmesini sağlar. Ayna ile odak noktası arasındaki mesafe aynanın **odak uzunluğu**dur.

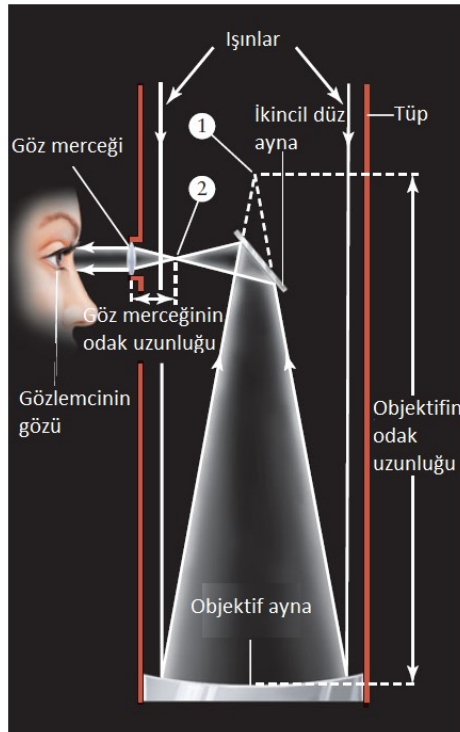
Aynalı Teleskopların Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları:

- i) Renk sapıncından etkilenmezler.
- ii) Ayna kenarlarından desteklenebildiği gibi arkadan (sırlı yüzey) da desteklenebilir.
- iii) Optik kaliteleri daha yüksektir.

Dezavantajları:

- i) Kalın bir cam bloğun dikkatli bir şekilde inceletilmesini (“traşlanmasını”) ve pürüzsüz hale getirilmesini gerektirir.
- ii) Camın yansıtıcılığı yüksek (altın ya da gümüş gibi) bir materyalle sırlanmasını ve bu sırlama işleminin düzenli aralıklarla kontrolü ve yenilenmesini gerektirir.
- iii) Gözlemci ışığın odaklandığı yer ile ışık kaynağı arasında kalır.
- iv Küresel sapınca muhataptır.



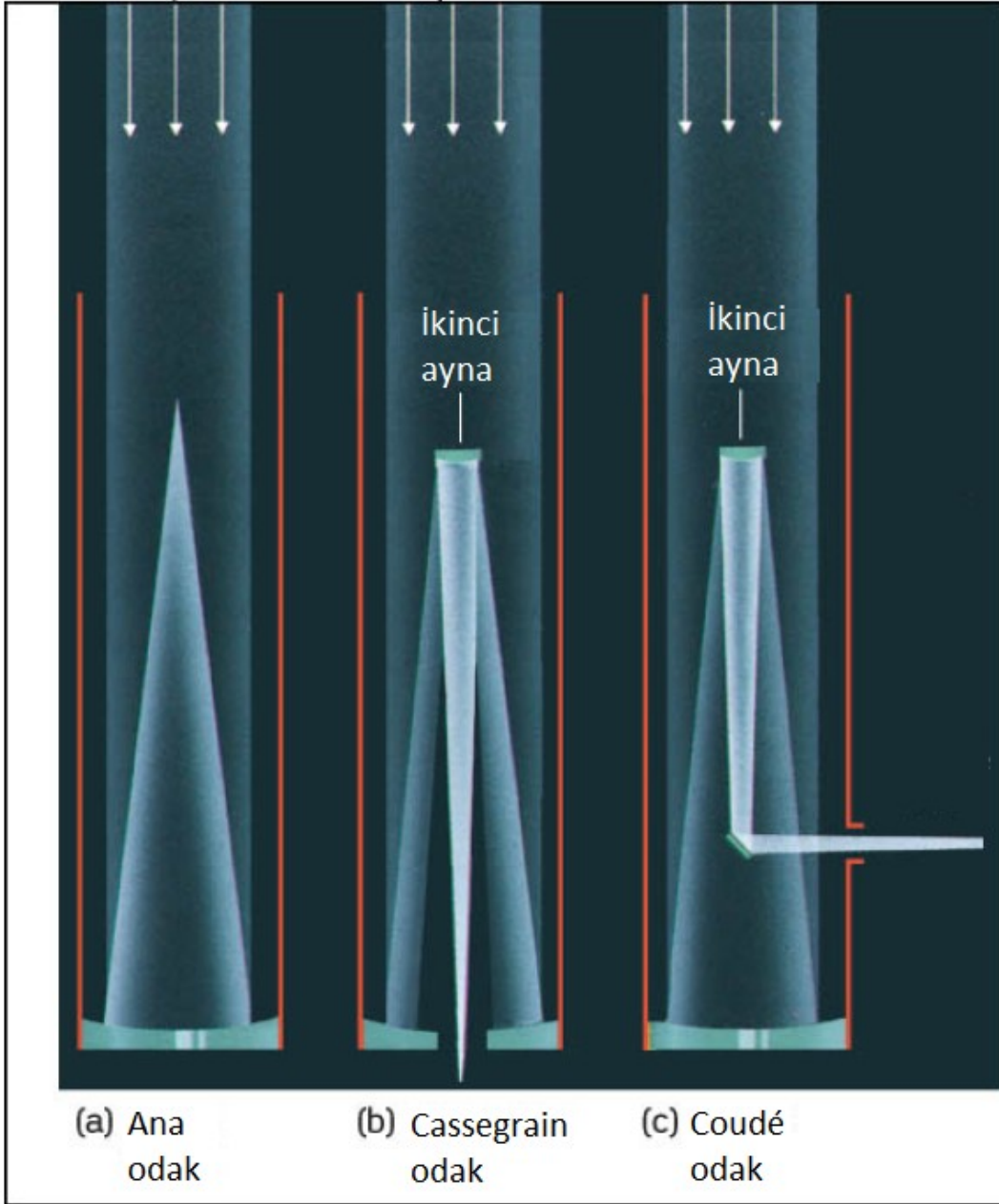
(a)



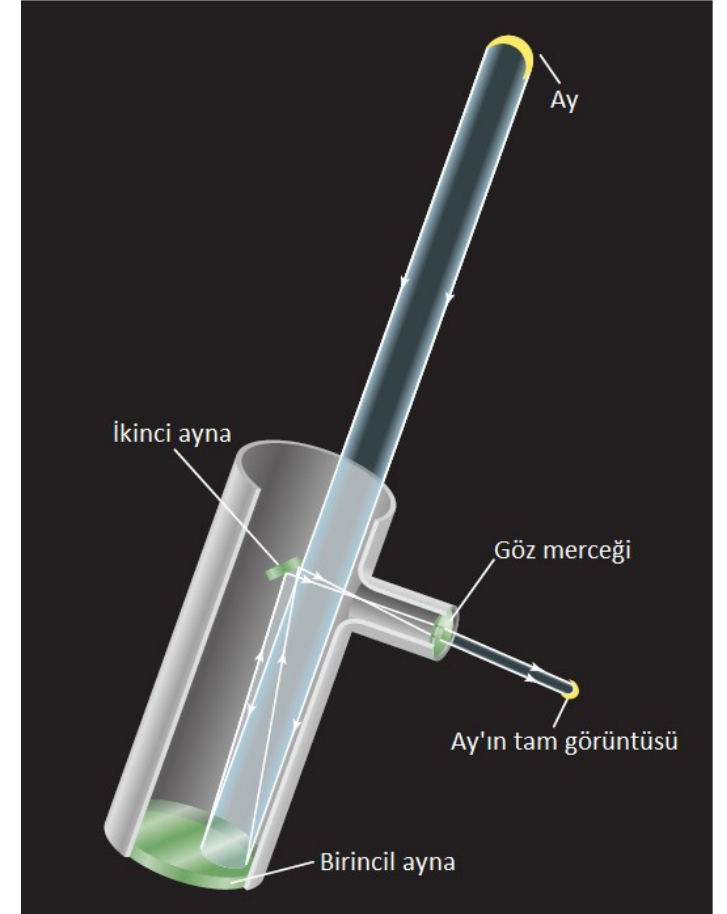
(b)

(a) Bir Newton teleskopunda, objektifin oluşturduğu görüntü, ikincil ayna adı verilen düz bir ayna vasıtasıyla 1. noktadan 2. noktaya taşınır. Bir göz merceği bu görüntüyü tıpkı mercekli bir teleskopta olduğu gibi büyütür (b) Isaac Newton tarafından 1672 yılında inşa edilen teleskop. Objektif aynasının çapı 3 cm (1,3 inç) olup büyütme oranı 40'tır (Royal Greenwich Gözlemevi/Bilim Fotoğraf Kütüphanesi)

Uzaktaki cisimden gelen paralel ışınlar



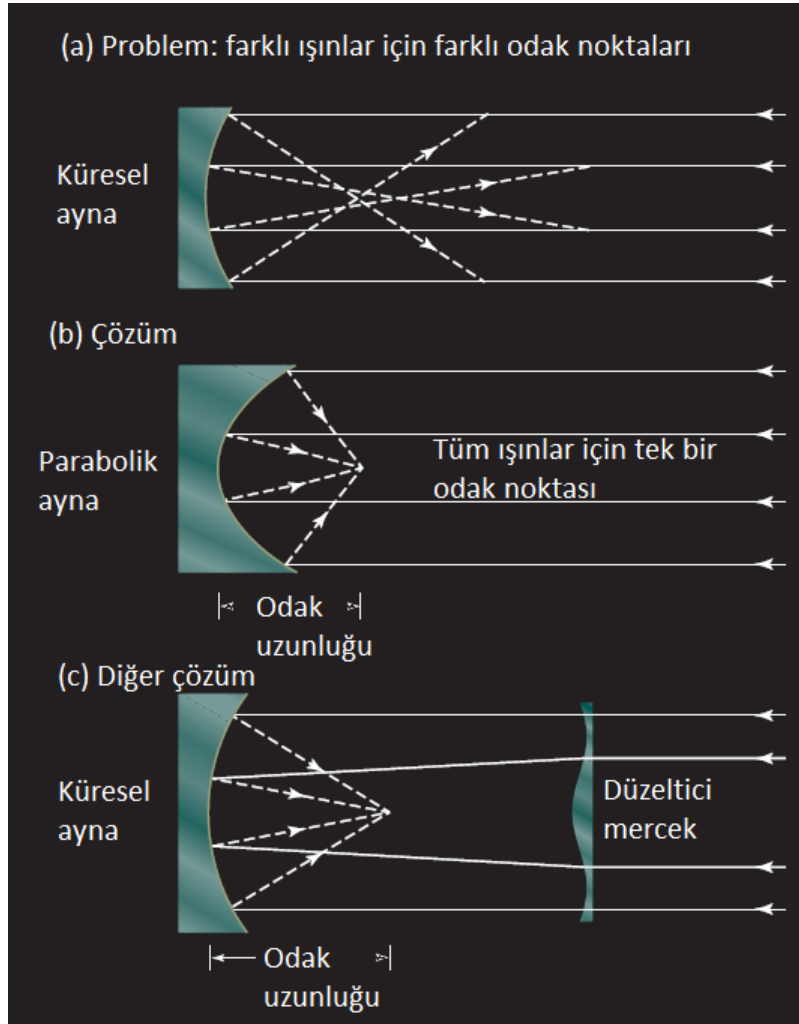
Aynalı Teleskop Türleri



Yukarıda yansıtıcı bir teleskobun birincil (objektif) aynasının küçük bir kısmının bile Ay'ın tam bir görüntüsünü nasıl oluşturabildiğini görülmektedir. Böylece ikincil ayna görüntüde siyah nokta veya delik oluşmasına neden olmaz. (Anca, ikincil ayna, birincil aynaya ulaşan toplam ışık miktarını azaltarak görüntüyü biraz daha sönük hale getirir.)

Küresel Sapınç

Küresel bir yüzeyin traşlanması ve cilalanması görece kolaydır, ancak küresel bir aynanın farklı parçaları az da olsa farklı odak uzunluklarına sahiptir ve bu da bulanık bir görüntüye neden olur. Buna **küresel sapınç (aberrasyon)** denir. Küresel sapıncı ortadan kaldırmanın yaygın bir yolu, aynanın yüzeyini parabolik bir şekle getirecek şekilde traşlamaktır. Çünkü bir parabol, paralel ışık ışınlarını ortak bir odağa yansıtır. Ancak küresel aynalardan farklı olarak parabolik aynalar, görüş alanının merkezinden uzaktaki yıldız görüntülerinin küçük gözyaşı damlaları gibi görünecek şekilde uzatıldığı **koma** adı verilen bir kusurdan muzdariptir. Ayrıca görüş alanı da daha dardır. Farklı bir yaklaşım, teleskopun ön kısmına ince bir düzeltici mercek yerleştirilerek küresel sapınç problemi çözülmeye çalışılırken koma ya da dar görüş alanı problemlerinden de kaçınılmaktadır.



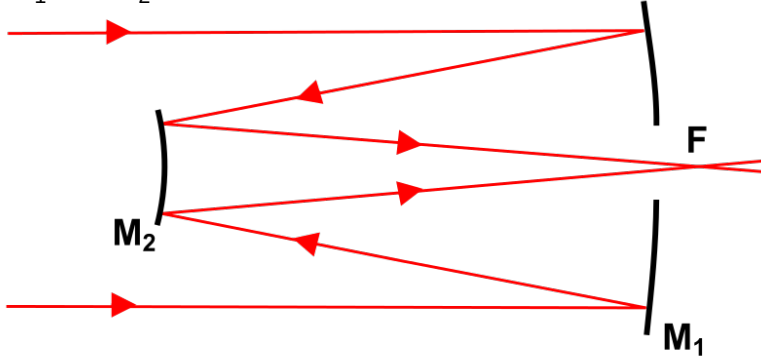
Küresel bir aynanın farklı noktalarından yansıyan ışınlar farklı noktalarda kesişerek bulanık bir görüntünün oluşmasına neden olur.

Parabolik ayna kullanılarak bu sorun aşılabilsede bu kez odak uzunluğu artarken görüş alanı daralır.

Maksutov ya da Schmidt-Cassegrain gibi tasarımlar düzeltici merceğin kullanıldığı bu prensiple çalışır.

Diğer Tasarımlar

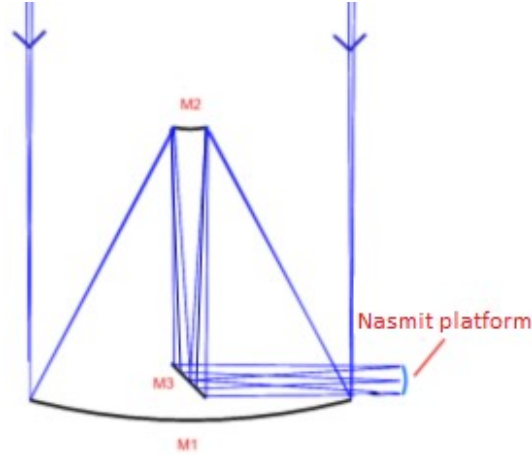
M_1 ve M_2 hiperbolik aynalar olmak üzere



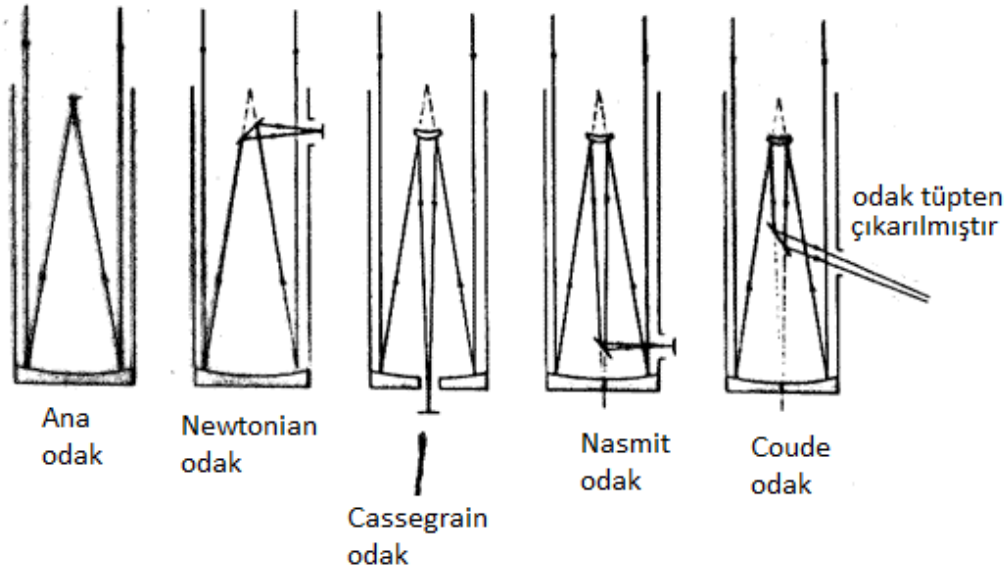
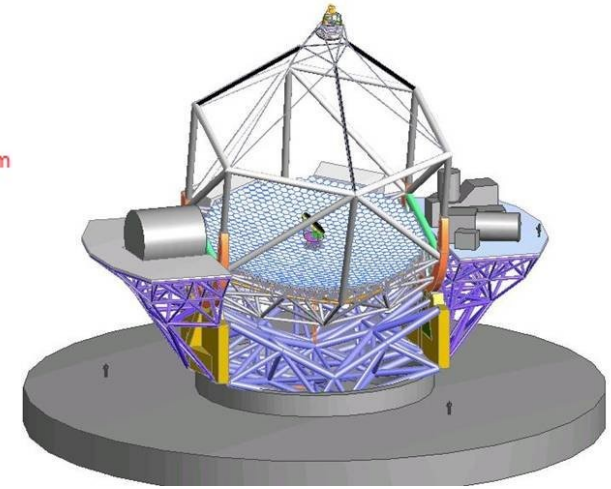
Ritchey-Chrétien

Examples: HST, VLT, Keck Telescopes

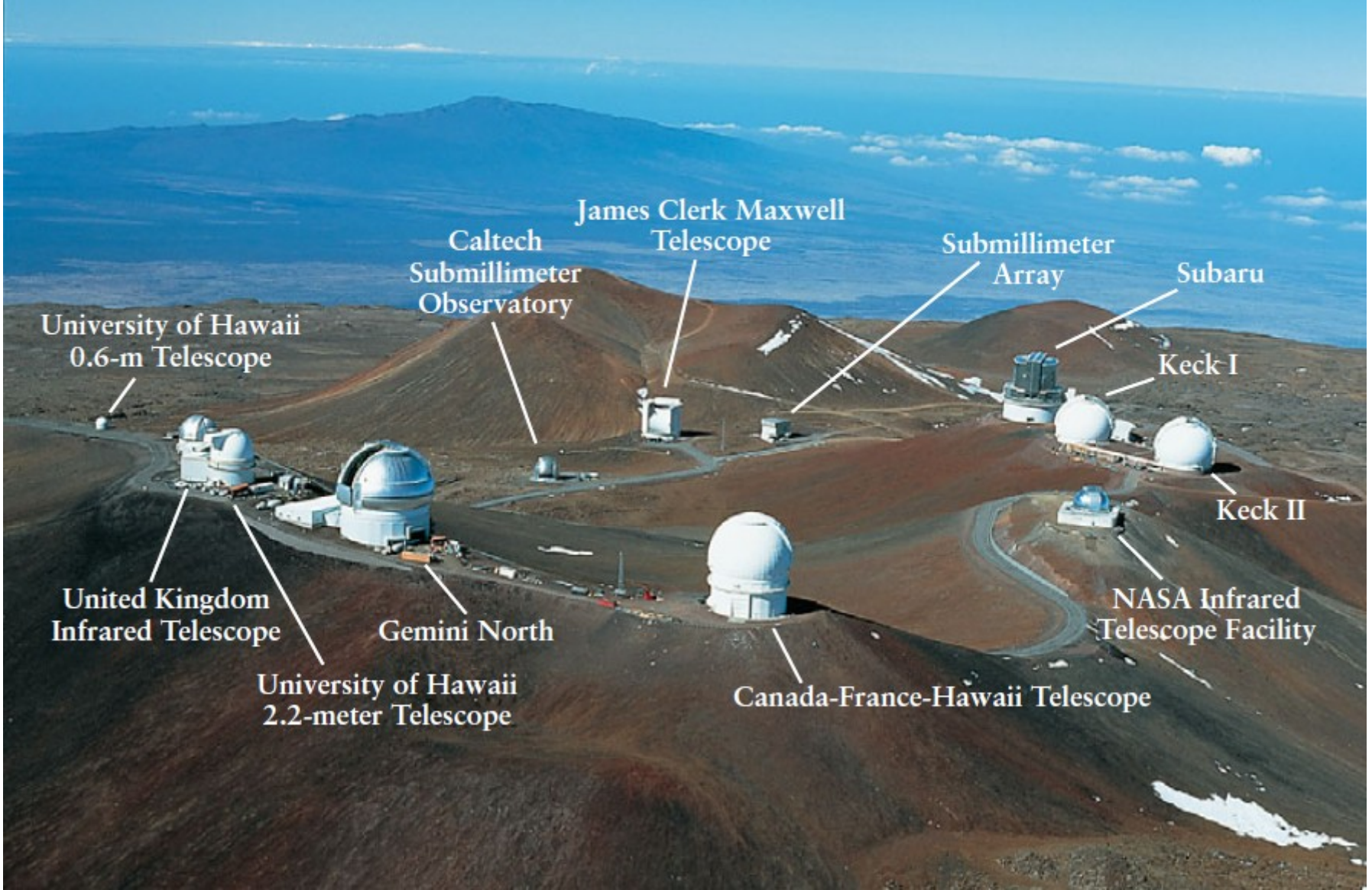
M_1 ve M_2 hiperbolik aynalar, M_3 düz bir ayna olmak üzere



30 metrelik teleskobun optik dizaynı



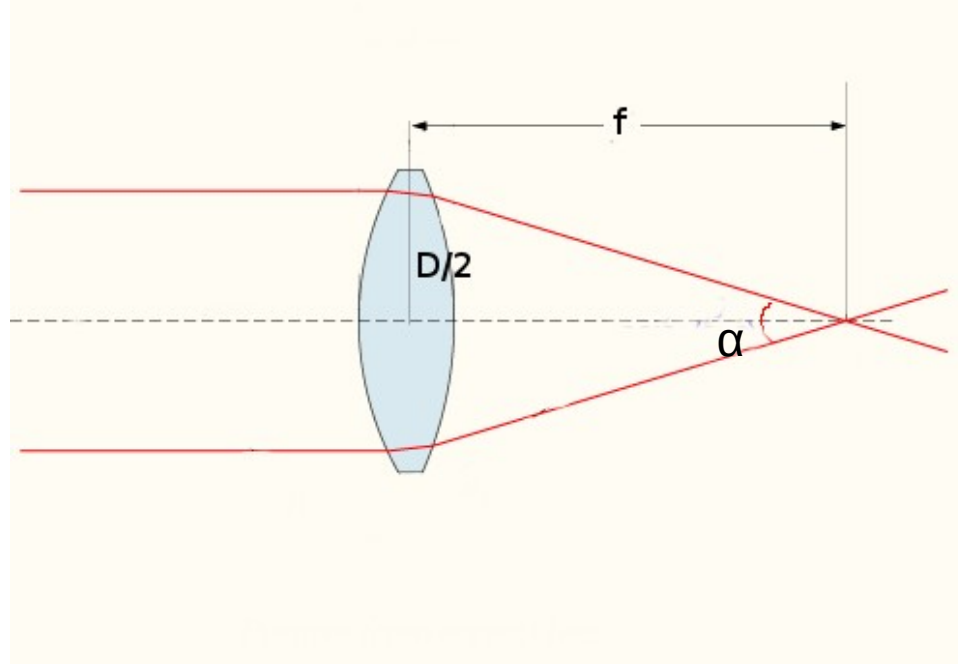
Teleskop adı	Görüntü	Açıklık (m)	Ayna Türü	Ülke / Sponsor	Site	Yapım Yılı
Grand Telescopio Canarias (GTC)		10.4 m	Çoklu (36)	İspanya (90%) Meksika ABD	Roque de los Muchachos Obs., Canary Islands	2006 / 2009
Hobby-Eberly Telescope (HET)		10 m	Çoklu (91)	ABD, Almanya	McDonald Obs., Texas, USA	1997
Keck - 1		10 m	Çoklu (36)	ABD	Mauna Kea Observatories, Hawaii, USA	1993
Keck - 2		10 m	Çoklu (36)	ABD	Mauna Kea Observatories, Hawaii, USA	1993
Southern African Large Telescope (SALT)		9.2 m	Çoklu (91)	Güney Afrika, ABD, Birleşik Krallık, Almanya, Polonya, Yeni Zellanda	South African Astronomical Obs., Northern Cape, South Africa	2005
Large Binocular Telescope (LBT)		8.4 m (x2)	Çoklu (2)	ABD, İtalya, Almanya	Mount Graham International Obs., Arizona, USA	2004
Subaru (JNL T)		8.2 m	Yekpare	Japonya	Mauna Kea Observatories, Hawaii, USA	1999
VLT UT1 – Antu		8.2 m	Yekpare	ESO, Şili (%10)	Paranal Obs. Antofagasta Region, Chile	1998
VLT UT2 – Kueyen		8.2 m	Yekpare	ESO, Şili (%10)	Paranal Obs. Antofagasta Region, Chile	1999
VLT UT3 – Melipal		8.2 m	Yekpare	ESO, Şili (%10)	Paranal Obs. Antofagasta Region, Chile	2000
VLT UT4 – Yepun		8.2 m	Yekpare	ESO, Şili (%10)	Paranal Obs. Antofagasta Region, Chile	2001
Gemini South & North		8.1 m	Yekpare	ABD, Birleşik Krallık, Kanada, Şili, Avustralya, Arjantin, Brezilya	Cerro Pachón (CTIO), Coquimbo Region, Chile	1999 / 2001



Hawai adasında Pasifik Okyanusu'ndan 4.100 m yüksekte sönmüş bir yanardağı olan Mauna Kea'nın zirvesi, açık gece sayısı fazla, atmosferik görüşün çok iyi olduğu ($\sim 0,5''$) ve ışık kirliliğinden uzakta bir bölgedir. Bu muhteşem gözlem koşulları sayesinde Mauna Kea birçok güçlü teleskopa ev sahipliği yapmaktadır.
(Richard J. Wainscoat, Hawaii Üniversitesi).

Bir Teleskobun Görüş Alanı

Objektif çapı D ve odak uzunluğu f olan bir teleskobun gökyüzünde göreceği alanın açısal genişliği (Görüş Alanı (ing. Field of View, FoV) aşağıdaki şekilde bulunur.



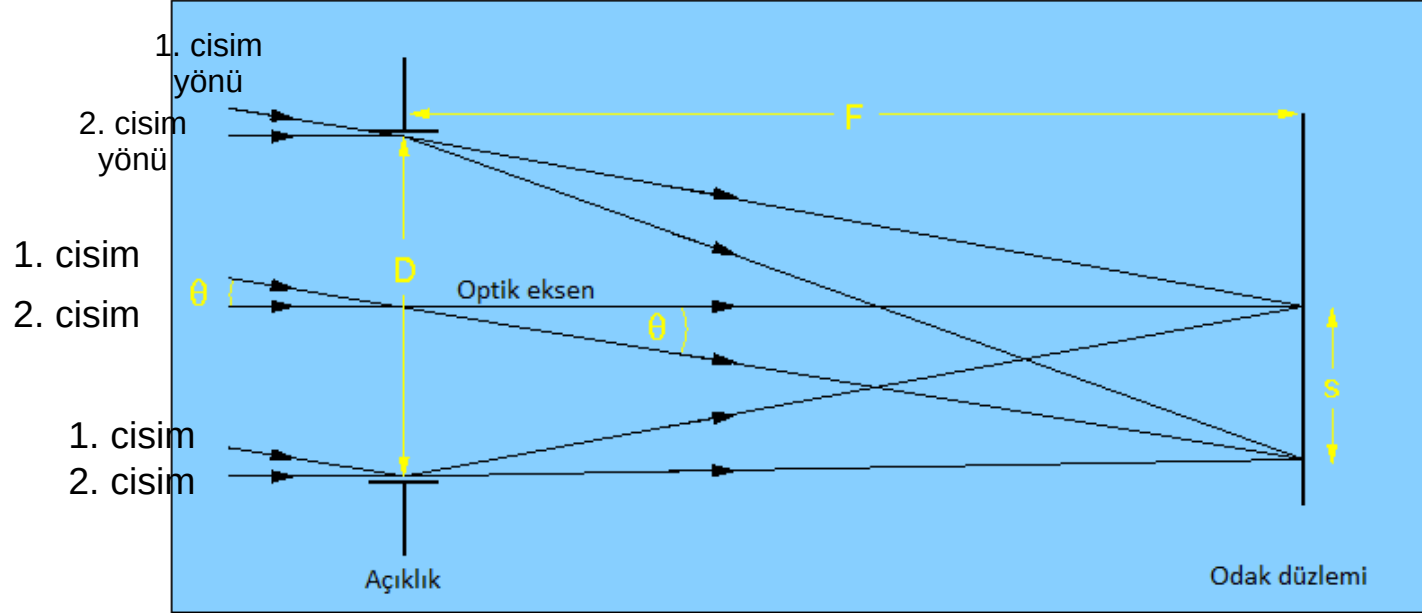
$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D/2}{f} \Rightarrow \frac{\alpha}{2} = \arctan \left(\frac{D}{2f} \right) \Rightarrow \alpha = 2 \arctan \left(\frac{D}{2f} \right) \text{ küçük açılar yaklaşımı: } \alpha [\text{yaysn}] = \frac{D}{f} \times 206265$$

Örnek: Çapı $D = 40$ cm ve odak oranı $f/10$ olan bir teleskobun odak uzaklığı $f = 40 \times 10 = 400$ cm olacaktır. Teleskobun toplam görüş alanı ise $2 \arctan (40 / (2 \times 400))$ olacak ve bu da $5^\circ.73'$ 'ye eşit olacaktır.

Görüldüğü üzere FoV odak uzaklığıyla ters orantılıdır. Kısa odak uzaklığına sahip teleskoplar ($f/4$ veya $f/5$) gökyüzünde daha geniş bir alan görür. Yani nispeten daha geniş bir alandan ışık toplarlar. Bu nedenle kullanılan dedektörleri satüre etmemek (doyurmamak) için kısa poz süreleri verilir. Bundan dolayı **hızlı teleskoplar** olarak da adlandırılırlar. Daha büyük odak uzunluğuna sahip teleskoplar ($f/10$ veya $f/15$) ise dar bir alan görür, dolayısıyla daha az alandan foton toplar. Bu yüzden **yavaş teleskoplar** olarak adlandırılırlar.

Teleskopların Plak Eşeli

Gökyüzünde aralarında θ açısıl iki gökcisminin (örneğin iki yıldızın) bir teleskobun odak düzleminde aralarındaki uzaklık ise s olsun. Bu durumda bu iki uzaklık arasındaki ilişki (plak eşeli) aşağıdaki şekilde elde edilir.



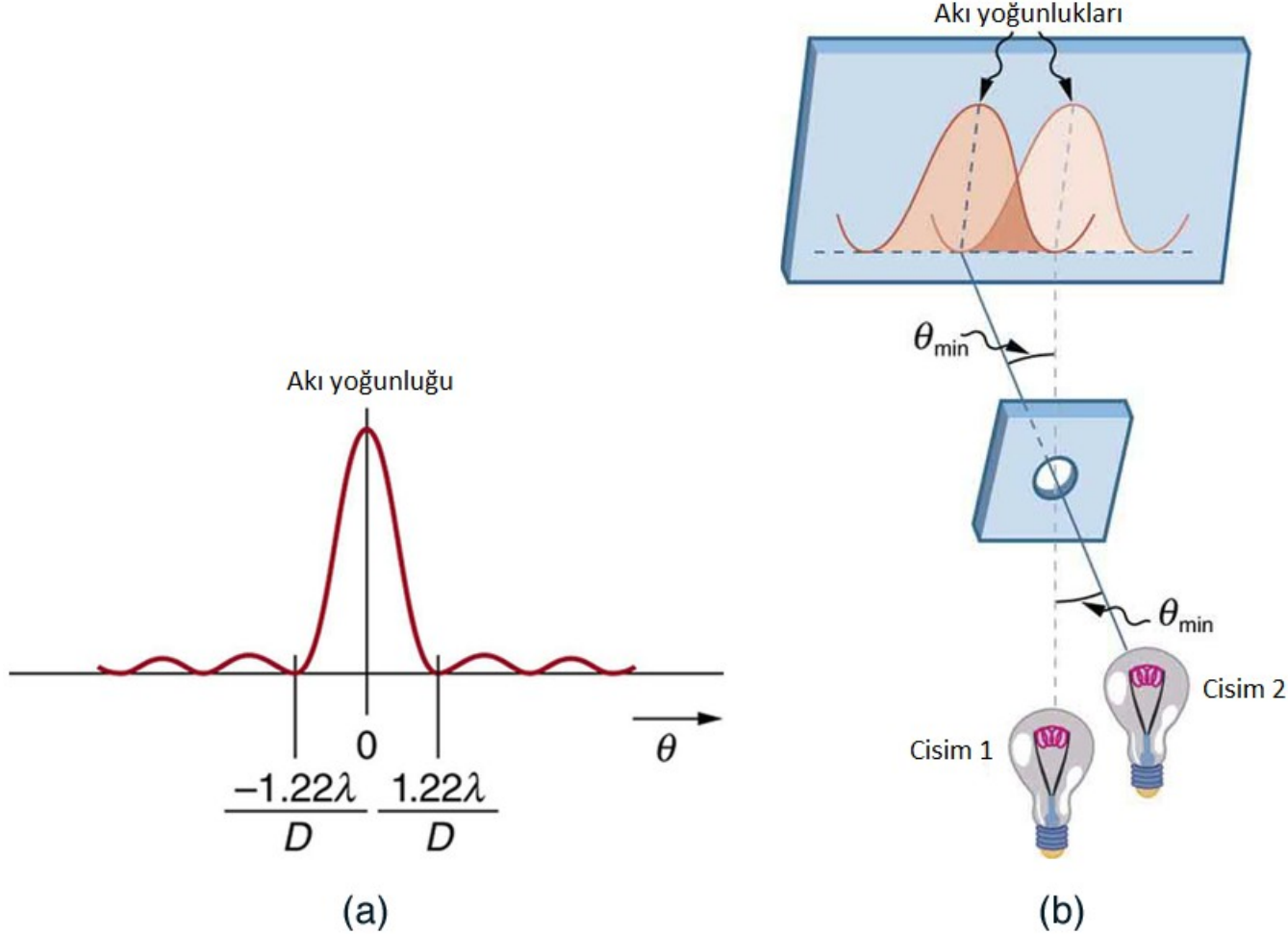
$$\tan \theta = \frac{s}{f} \Rightarrow \theta [rad.] = \frac{s}{f} \Rightarrow \frac{\theta}{s} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{f}$$

Gökcisimlerinin gökyüzündeki uzaklıkları ile odak düzlemi üzerindeki uzaklıkları arasındaki ilişki teleskobun **plak eşeli** (plak ölçeği) ile verilir ve genellikle yaysn / mm birimindedir.

Örnek: Çapı $D = 40$ cm ve odak oranı $f/10$ olan bir teleskobun odak uzaklığı $f = 40 \times 10 = 400$ cm olacaktır. Bu teleskobun **plak eşeli** ise $1/f=1/4000$ radyan / mm olur. Bir başka deyişle, teleskobun odak düzlemindeki her milimetre gökyüzünde $1/4000$ radyan = $206265 / 4000 = 51,56''$ mesafe görür. Astronimide kullanılan çoğu CCD'nin piksel boyutu yaklaşık $15 \mu\text{m}$ 'dir. Bu durumda her bir pikselin gökyüzünde gördüğü açı. $(51,56 / 10^{-3} \text{ " m}^{-1}) \times (15 \times 10^{-6} \text{ m}) = 0,77 \text{ "}$ olur. CCD kamera toplamda 1024 piksele sahipse $1024 \times 0,77 \text{ "} = 792''$ 'lik bir açı görür. Bu durumda CCD'nin odak düzleminde toplam göreceği alan $13',2 \times 13',2$ kare-yaydakikalık bir alan olur.

Kırınım Limiti ve Rayleigh Kriteri

Bir teleskobun gökyüzünde çözümleyebileceği açısal mesafe, **kırınım limiti (ing. diffraction limit)** adı verilen ışığın dalga yapısıyla ilgili kuantum mekaniksel bir olguyla da sınırlanır.



Young'ın çift yarık deneyinden dikdörtgen açıklıktan geçen ışınların ekranda aydınlık ve karanlık saçaklardan oluşan bir kırınım deseni oluşturmasına benzer şekilde gökcisimlerinden gelen ışık da dairesel bir açıklıktan (teleskop) geçtiğinden, odak düzleminde **kırınım desenleri** oluşur. İki yakın gökcismi için bu desenler üst üste gelerek birbiriyle karışabilir. **Kırınım sınırı**, gözlemlenen ışığın dalgaboyu ve teleskopun çapına (açıklığı) bağlı olarak iki cismi birbirinden ayrılabilmesi için sınır koşuldur ve **Rayleigh kriteri** ile verilir.

Airy Disk ve Açısal Çözünürlük

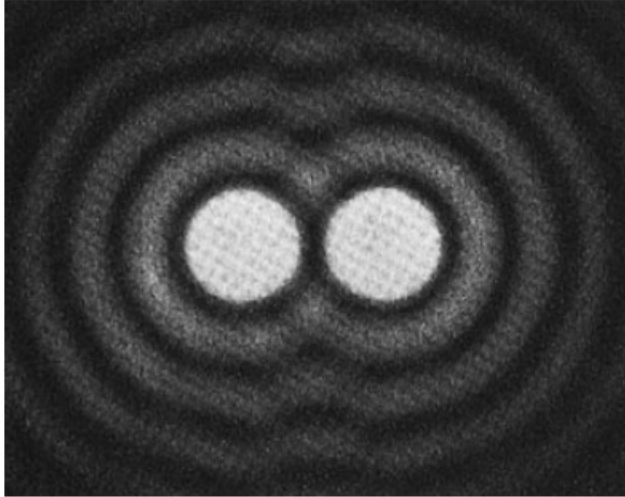
Airy disk Dairesel bir açıklıktan (teleskop) geçen ışığın kırınımıyla oluşan girişim desenindeki en parlak (0.) basamaktır.

$$\lambda : \text{ışığın dalgaboyu,}$$
$$D: \text{teleskobun çapı olmak üzere}$$
$$\text{Airy Diskin çapı}$$
$$1.22 * \lambda / D \text{ [radyan]}$$

İle verilir ve **Rayleigh Kriteri** olarak adlandırılır.

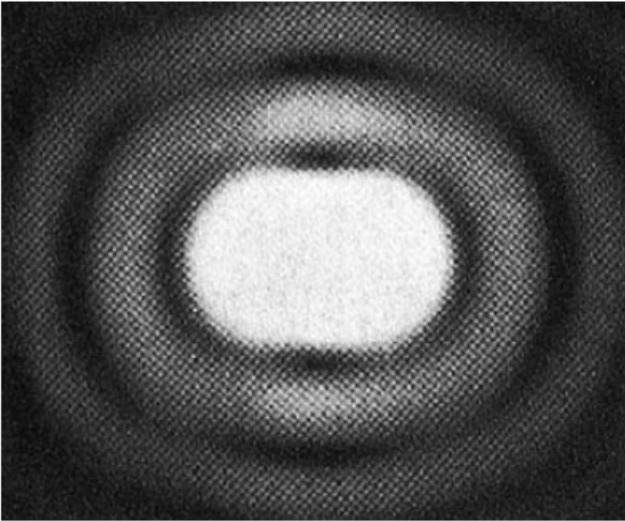
Bu nedenle, kullanılan teleskopun çapına bağlı olarak, birbirine gökküre üzerindeki konumları birbirine yakın iki yıldızdan gelen ışıkların çözümlenmesinde **açısal çözünürlük** adı verilen doğal bir sınır vardır. Teleskobun ışık toplama yüzeyi ne kadar büyük olursa, açısal çözünürlük de o kadar iyi olur (aralarında daha küçük açısal mesafe olan cisimler birbirinden ayrılabilir). Sonuç olarak daha keskin görüntüler elde edilir!

Ne yazık ki teleskobun boyutu tek sınırlayıcı faktör değildir. **Dünyanın atmosferi** de görüntüleri “bulanıklaştırır”. Atmosferimiz, en iyi koşullarda ~1 yaysaniyelik açısal çözünürlüğe ulaşılmasına neden olur. Gözlemlerde teleskop boyutuyla (uzay teleskopları) sınırlı olunan durum “**kırınım sınırlı**” (**diffraction limited**), atmosfer tarafından sınırlı durum ise “**görüş sınırlı**” (**seeing limited**) olarak bililir.



İki ışık kaynağının açısal ayrıklığı teleskobun açısal çözünürlüğünden büyük ise cisimler birbirinden ayrıştırılabilir

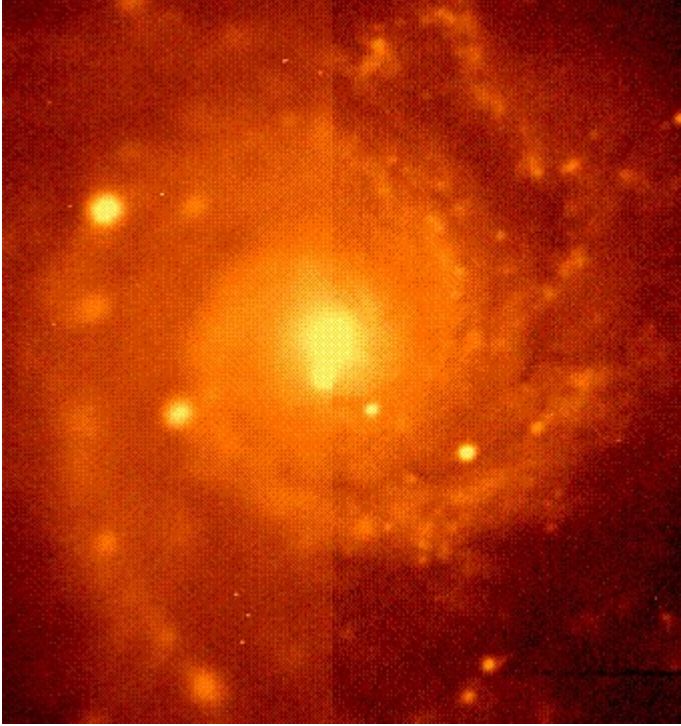
(a)



İki ışık kaynağı birbirine yaklaştırılıp açısal ayrıklık ile açısal çözünürlük eşitlenirse orada iki ışık kaynağı olduğunu söylemek zorlaşır

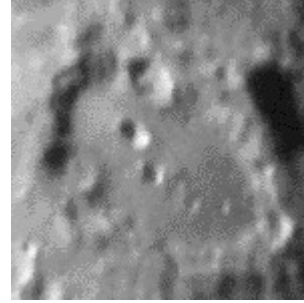
(b)

Atmosferik Görüş



M74, NGC 628 Galaksi'sinin iki farklı atmosferik görüşteki görüntüsü

© Bill Keel, University of Alabama



Ay'daki Clavius Krateri

© Philipp Salzgeber

Dünya atmosferinin katmanları arasındaki sıcaklık farklılıklarından dolayı oluşan türbülans, cismin hem parlaklığı hem de görünür konumu değiştirerek **titreşim (sintilasyon)** adı verilen hareketlere neden olur. Atmosferik görüşteki bozulmanın ana sebebi bu türbülanstır.

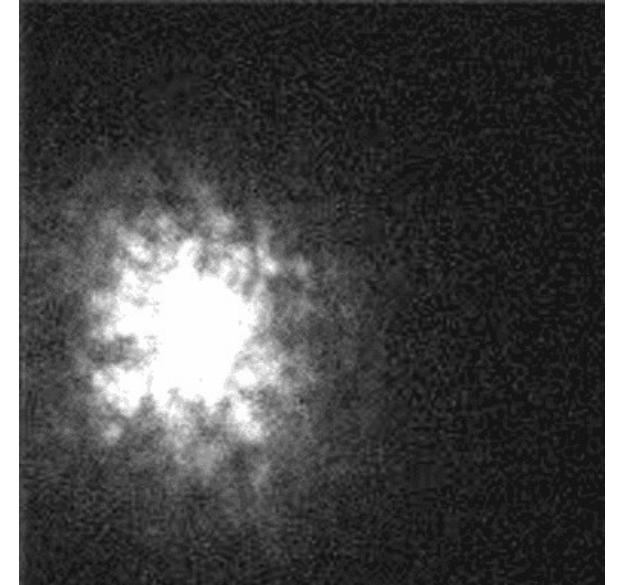


Image Credit: John Oliver

<http://www.astro.ufl.edu/~oliver/>



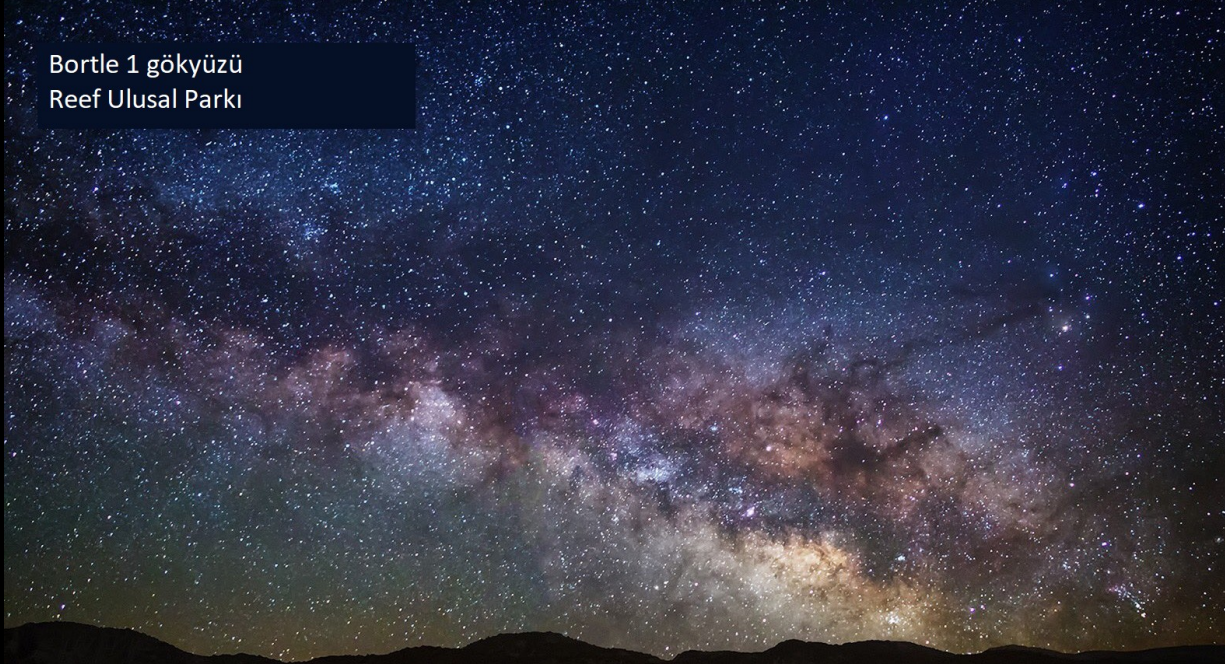
Sıcak bir günde bir otoyolun ya da plajın yüzeyinden bakıldığında görülen bozulmalar gibi etkiler, yüzeye yakın ve uzak katmanlar arasındaki havanın sıcaklık farkları kaynaklı türbülans dolayısıdır.



Özellikle şehirlerde ışık kirliliği en az atmosferik görüş kadar önemlidir!



Bortle 1 gökyüzü
Reef Ulusal Parkı



<-- Işık kirliliği arttıkça daha az yıldız görülür



© RoyceBair.com
FindingDarkness.com

Şehir/Şehir
merkezindeki
gökyüzü

8/9

Bortle ölçeği

Banliyöden
şehre geçiş

7

Bortle ölçeği

Parlak banliyö
gökyüzü

6

Bortle ölçeği

Banliyö
konumu

5

Bortle ölçeği

Banliyöden
kırsal alana
geçiş

4

Bortle ölçeği

Kırsal
konum

3

Bortle ölçeği

Karanlık
gökyüzü
konumu

2

Bortle ölçeği

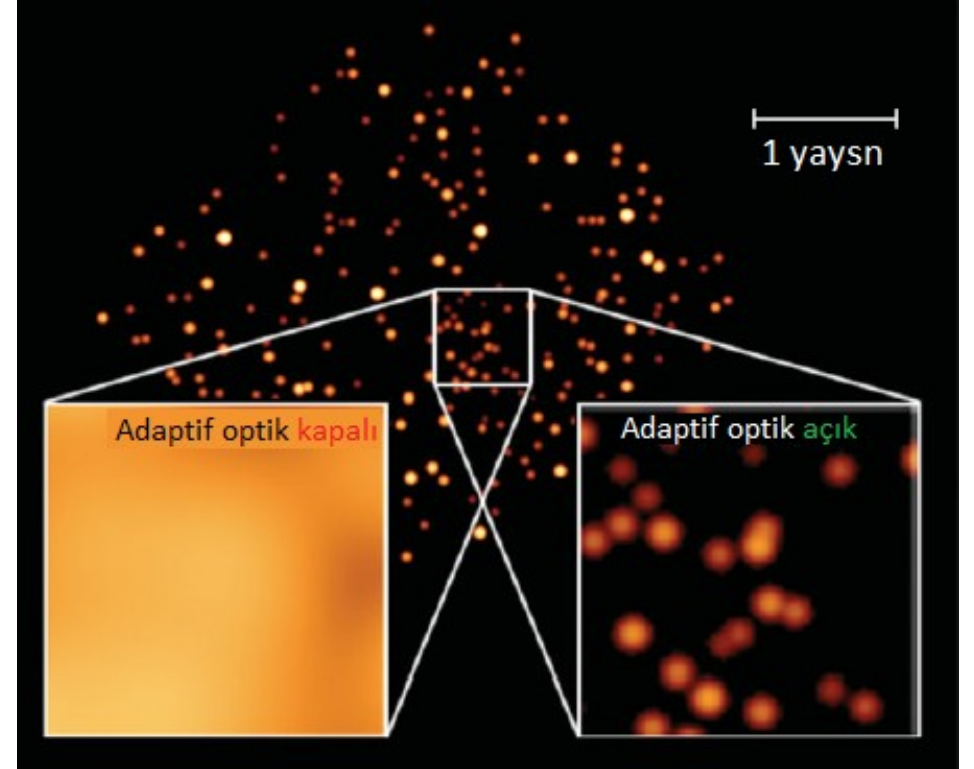
Mükemmel
karanlık gökyüzü
konumu

1

Bortle ölçeği

Adaptif Optik





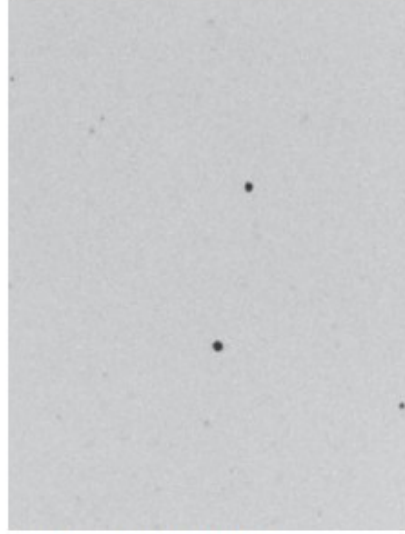
Yapay "yıldız" yaratmak Gökyüzüne gönderilen bir lazer ışını, Şili'nin Atacama Çölü'ndeki Avrupa Güney Gözlemevi'nde bulunan 8.2 metrelik bir teleskop olan Yepun'dan yayılır. (Şekil 6-14a'da bu teleskobun birincil aynası gösterilmektedir). Işın, Dünya'nın yüzeyinden yaklaşık 90 km (56 mil) yükseklikte bulunan sodyum atomlarına çarpar ve onları parlamasına neden olarak yapay bir "yıldız" oluşturur. Bu "yıldızın" göz kırpmasını takip etmek, teleskop görüntülerinde atmosferik türbülansın etkilerini gidermeyi mümkün kılar. (Avrupa Güney Gözlemevi)

Adaptif Optik Kullanılarak Teleskop Görüntülerindeki Bulanıklığın Giderilmesi Bu iki şekilde 1 yaysaniyesi genişlikteki gökyüzü parçasının kızılöte dalgaboylarında Mauna Kea'da (bknz Şekil 6-16) bulunan 10 metrelik KECK II teleskobuyla alınmış görüntüleri bulunmaktadır. Adaptif optik olmadan alandaki yıldızları birbirinden ayırmak mümkün değildir. Adaptif optik aktif olduğunda yirmiden fazla yıldız ayrı ayrı görülebilmektedir. (UCLA Galactic Center Group)

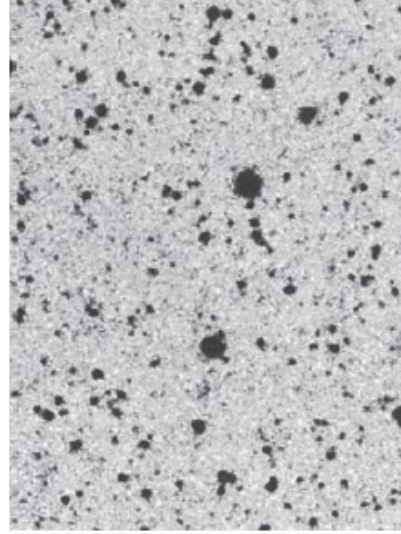
Yük Bağlaşımli Cihazlar (Charge-Coupled Devices, CCDs)



(a) 40 CCD (charge-coupled device) ile oluşturulmuş mozaik



(b) Fotoęrafik film ile oluşturulmuş görüntü



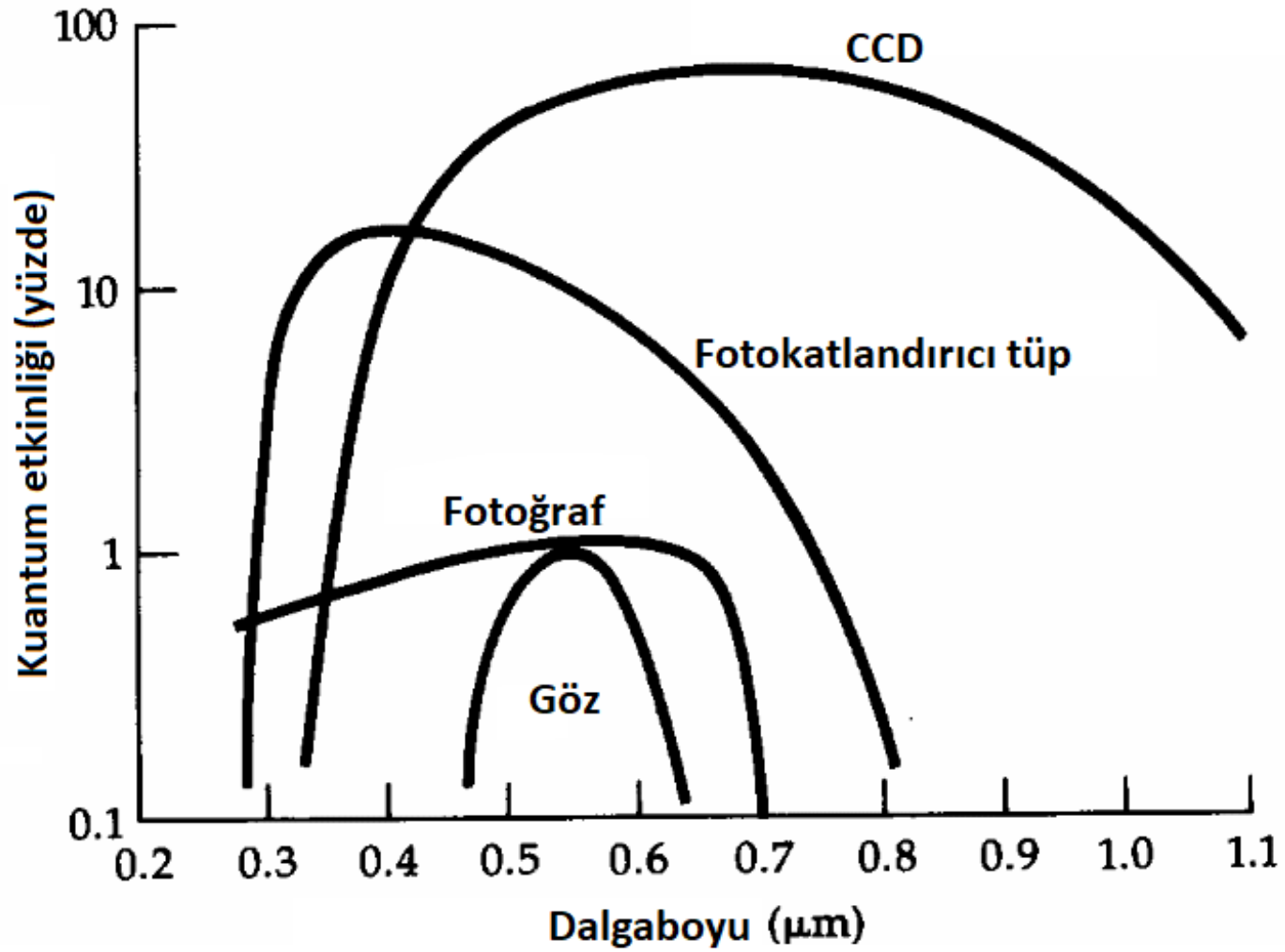
(c) Aynı alanın CCD ile alınmış görüntüsü



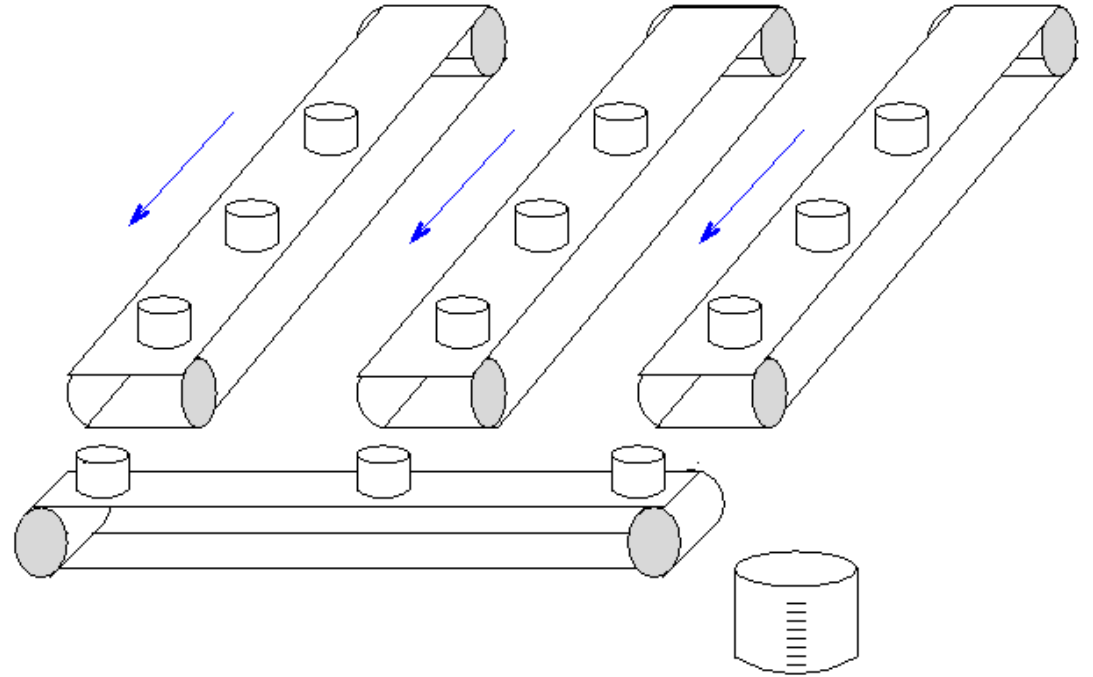
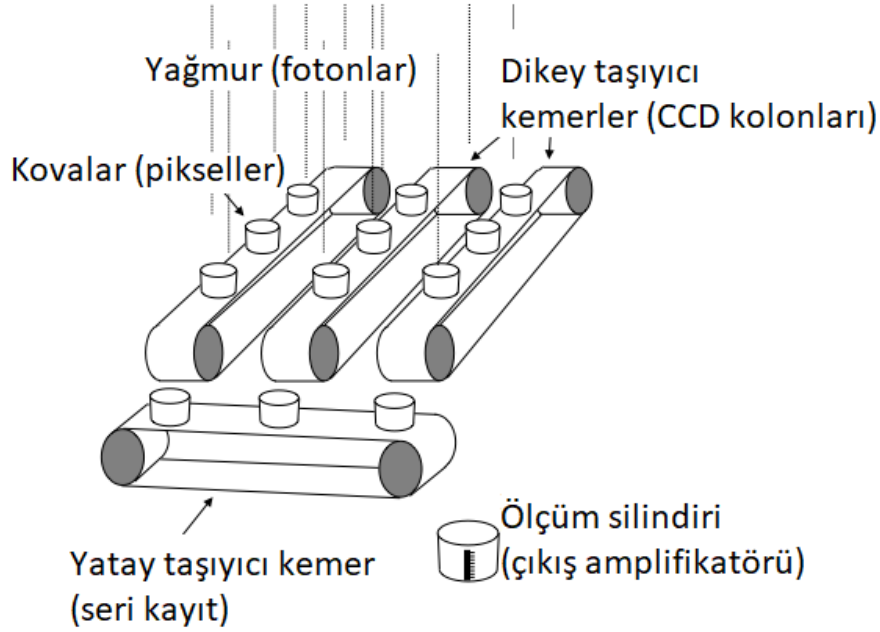
(d) Farklı renklerdeki filtrelerle alınmış CCD görüntülerinin birleştirilmiş hali

Yük Bağlaşımli Cihazlar (CCD'ler) ve Görüntüleme (a) Bir mozaik oluşturacak şekilde dizilen bu 40 CCD, Kanada-Fransa-Hawaii Teleskobu tarafından toplanan ışığı kaydetmek için kullanılmaktadır. Pozlamanın ardından mozaikteki 377 milyon ışığa duyarlı pikselin her birinden gelen ölçümler bir bilgisayara aktarılır. (b) Bu negatif görüntü (siyah yıldızlar ve beyaz gökyüzü), 4 metrelik bir teleskop ve fotoğraf filmi kullanılarak görüntülenen gökyüzünün bir kısmını göstermektedir. (c) Gökyüzünün aynı bölgesinin bu negatif görüntüsü aynı teleskopla çekilmiş, ancak fotoğraf filminin yerini bir CCD kamera almıştır. Bu görüntüde çok daha fazla yıldız ve galaksi görülebilmektedir. (d) Aynı bölgenin bu renkli pozitif görüntüsünü üretmek için farklı renk filtreleri kullanılarak bir dizi CCD görüntüsü kullanılmış ve bu görüntüler bir bilgisayar görüntü işleme programı aracılığıyla birleştirilmiştir. (a: J. C. Cullandre/Kanada-Fransa-Hawaii Teleskobu; b, c, d: Patrick Seitzer, Ulusal Optik Astronomi Gözlemevleri (NOAO))

Dedektörlerin Karşılaştırmalı Etkinliği



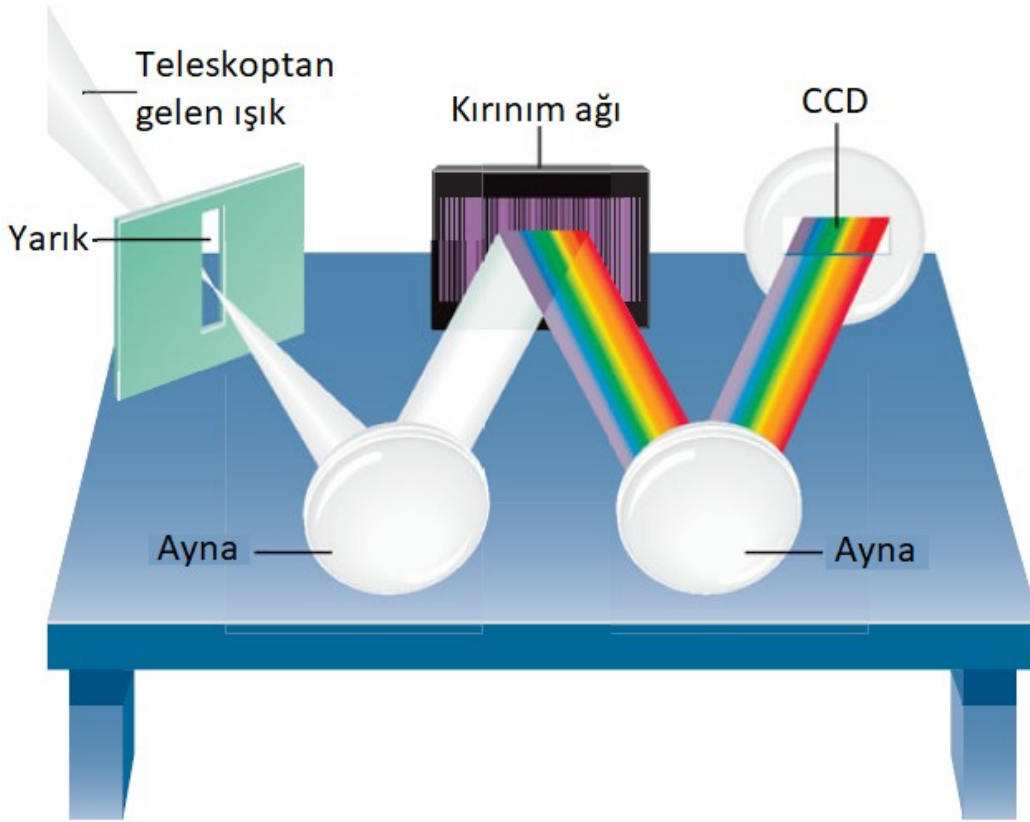
Bir CCD Dedektör Nasıl Çalışır?



<http://support.faulkes-telescope.com/multimedia/ccd/CCD%20Fullscreen.swf>

Tayfçekerler (Spektrograflar)

Işıktan kaybetmemek ve dedektör üzerine daha eşit dağılan tayf çizgileri elde etmek, bir başka deyişle daha iyi bir tayfsal çözünürlük ve dağılım elde etmek için Newton'un yaptığı gibi prizmalar yerine **kırınım ağları** (ing. diffraction grating) kullanılmaktadır.

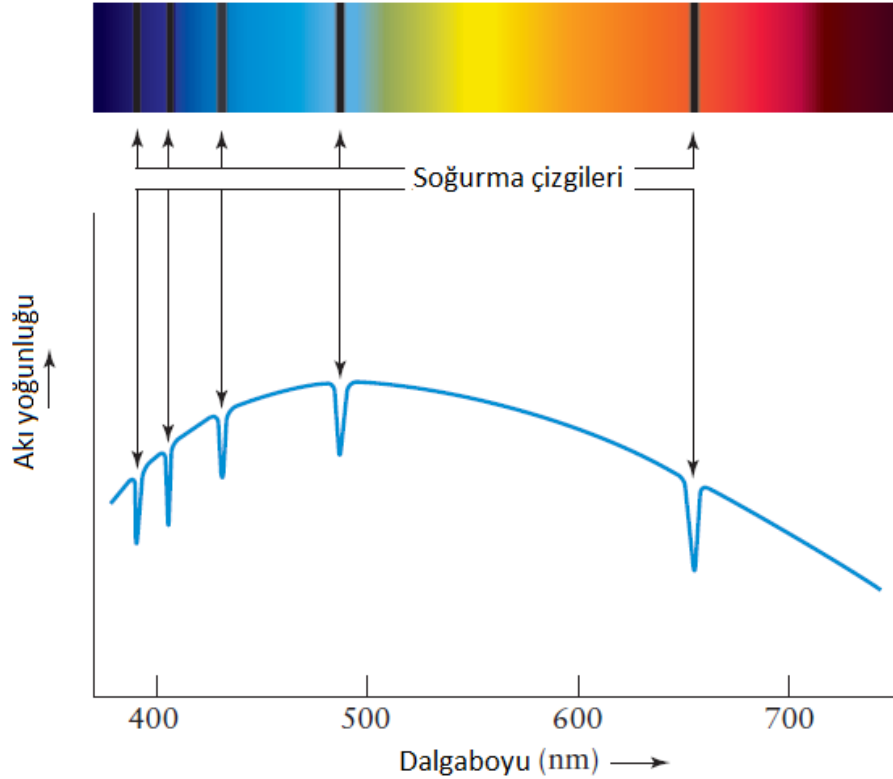


Tipik ve basit bir tayf düzeneğinde bir teleskoptan gelen ışık önce bir yarıktan geçirilip paralelleştirme için bir aynaya yönlendirilir. Işığı tayfına ayırmak için bir kırınım ağı, bu tayfı kaydetmek amacıyla da bir CCD kamera kullanılır. Kırınım ağına oluşturulan tayf bir ayna aracılığıyla kameranın üzerine düşürülür.

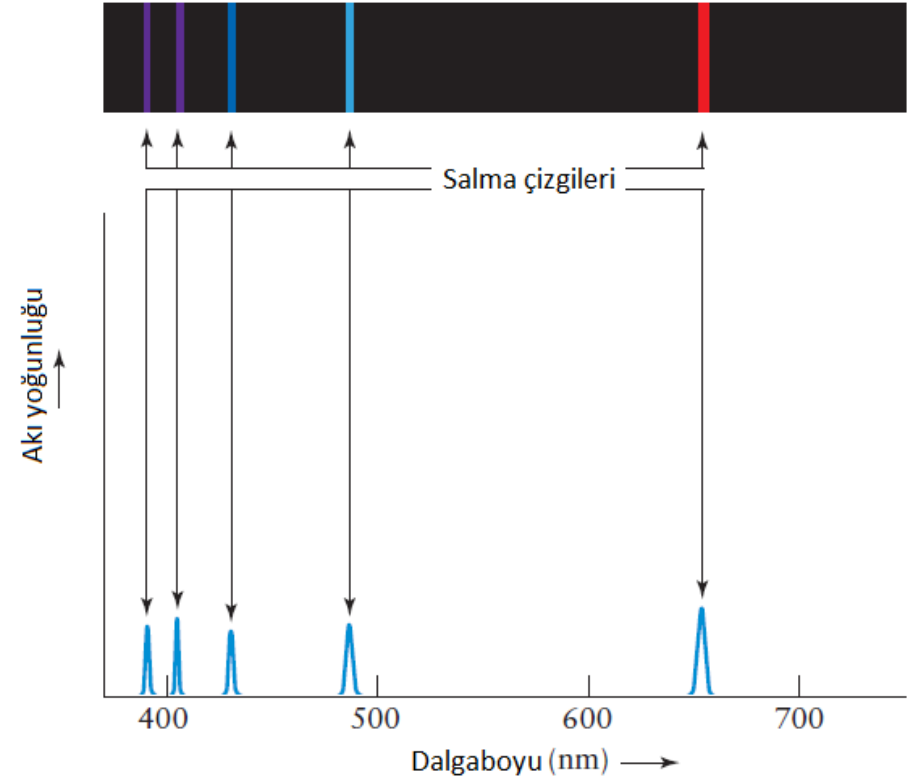


Bilgiyi üzerinde birbirine yakın aralıklı bir dizi çukur ve tepecikte depolayan bir kompakt disk, ışığı benzer şekilde renklerine ayırır. (Dale E. Boyer). Kırınım ağları, prizmalarda olduğu gibi “kırılma” yerine “**kırınım**” ve **girişim** prensipleri temelinde çalışır.

Tayfların 2-Boyuttan 1-Boyuta Dönüştürülmesi ve Dalgaboyu Kalibrasyonu



(a) Soğurma çizgi tayfının iki farklı gösterimi



(b) Salma çizgi tayfının iki farklı gösterimi

1 ve 2-Boyutlu Tayflar: CCD üzerine kaydedilen 2-boyutlu tayflarda her bir piksele karşılık gelen dalgaboyları referans olarak alınan ve FeAr, He gibi bir gaz içeren lambaların ürettiği emisyon çizgilerinin aynı düzencele gözlenmesiyle belirlenir. Daha sonra her bir pikselin karşılık geldiği dalgaboyundaki akılar ölçülür ve bir grafiğe aktarılır (1-boyutlu tayf) **(a)** Böyle bir grafikte soğurma çizgileri akıda düşüşler olarak görünürken, **(b)** emisyon çizgileri yükselteler olarak görünür. Bu örnekteki koyu soğurma çizgileri ve parlak emisyon çizgileri, hidrojenin Balmer çizgileridir.

Radyo Teleskoplar



1932 yılında, Bell Telefon Laboratuvarları'nda elektrik mühendisi olarak çalışan Karl Jansky, Samanyolu merkezinin bulunduğu Yay takımyıldızı yönünde güçlü bir radyo gürültüsü kaynağı olduğunu fark etti!

Daha sonra Grote Reber, 1938'den 1944'e kadar 10 m çapındaki bir çanakla, 1,93 m ve 0,63 m dalgaboylarında gökyüzünden gelen radyo sinyallerini (emisyonlarını) haritaladı.. Samanyolu Galaksisi'nin tamamından ve özellikle de merkezinden gelen radyo dalgalarının gözlemleri Samanyolu'nun yapısını belirlemede kritik bir rol oynamıştır.

Bir Radyo Teleskop New South Wales, Avustralyada bulunan Parkes radyo teleskobununun uydusunun çanağı 64 metre çapa sahiptir. Çanaktan yansıyan radyo dalgaları odakta toplanır ve buradaki anten tarafından toplanır. (David Nunuk/Photo Researchers)

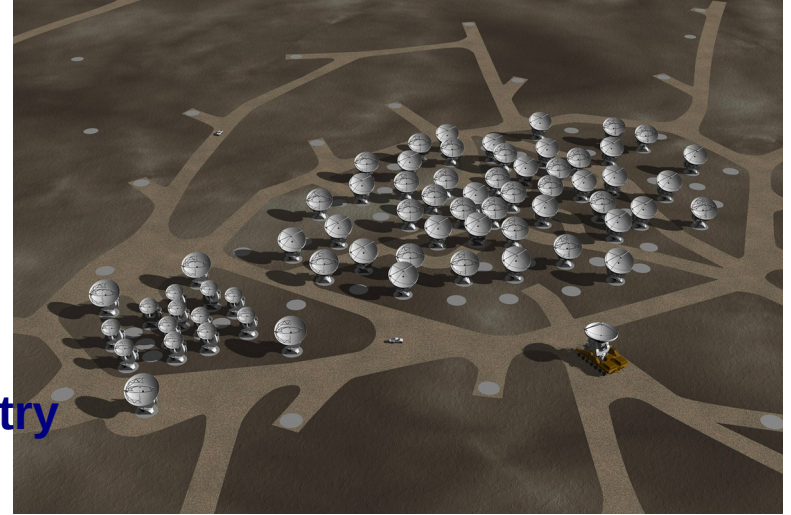


Arecibo'daki bu büyük tek çanak radyo teleskopu ($D = 305$ m) bile bir optik teleskobun açısal çözünürlüğüne ulaşamaz. Zira, çözünürlüğü kontrol eden parametre açıklıktan ziyade gözlemin dalgaboyudur ($\theta = 1.22 \lambda / D$).

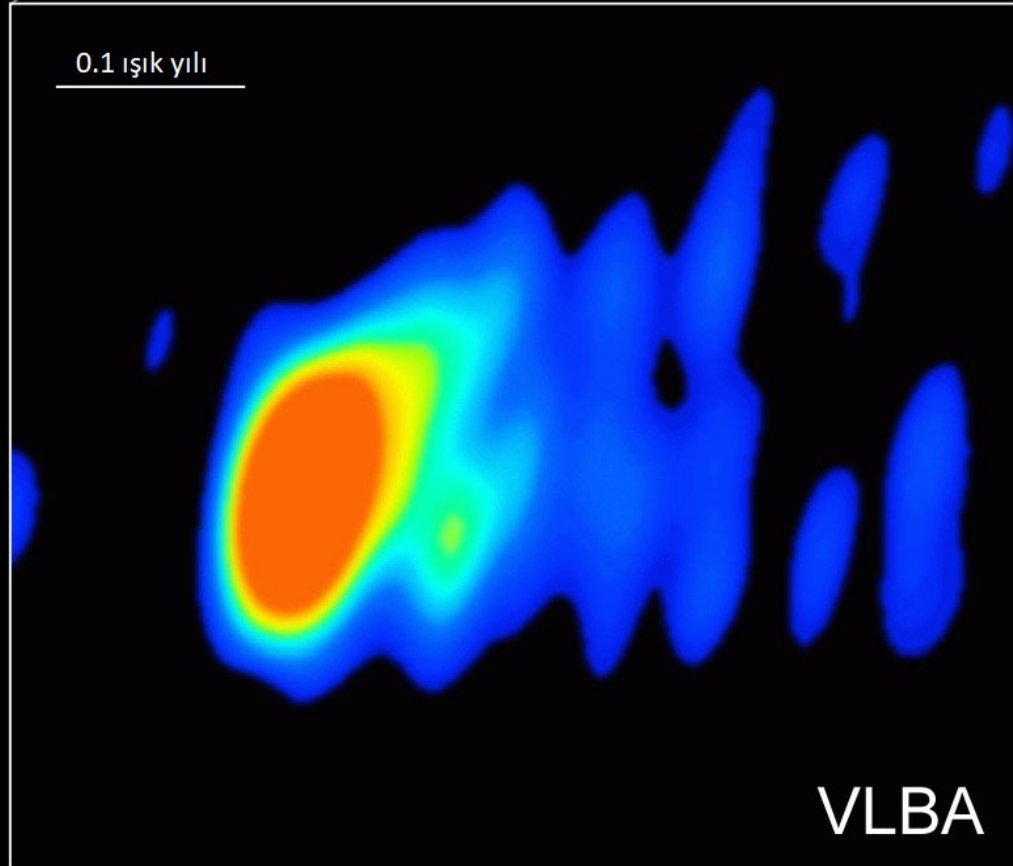
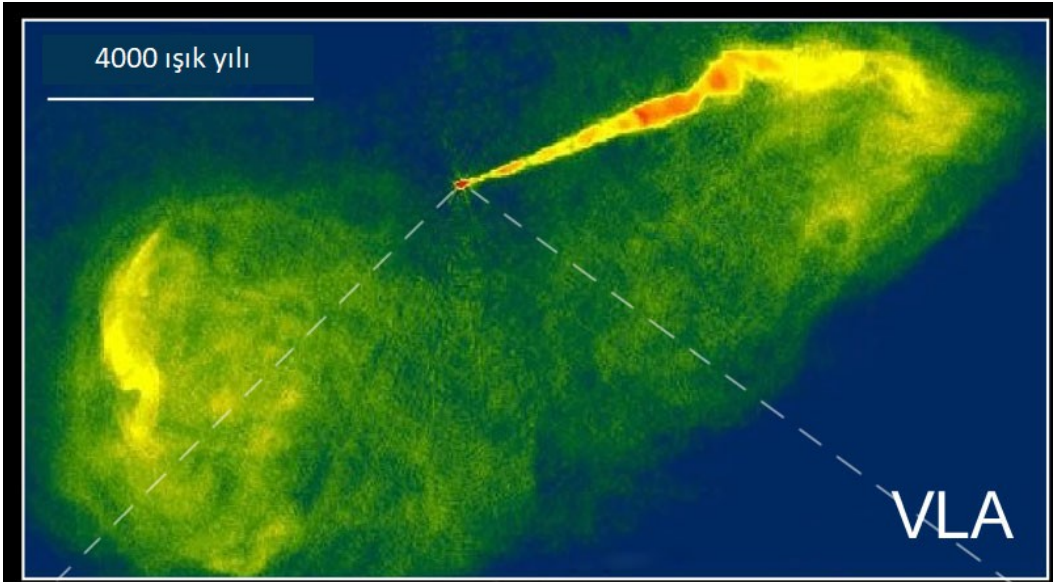


İnterferometry

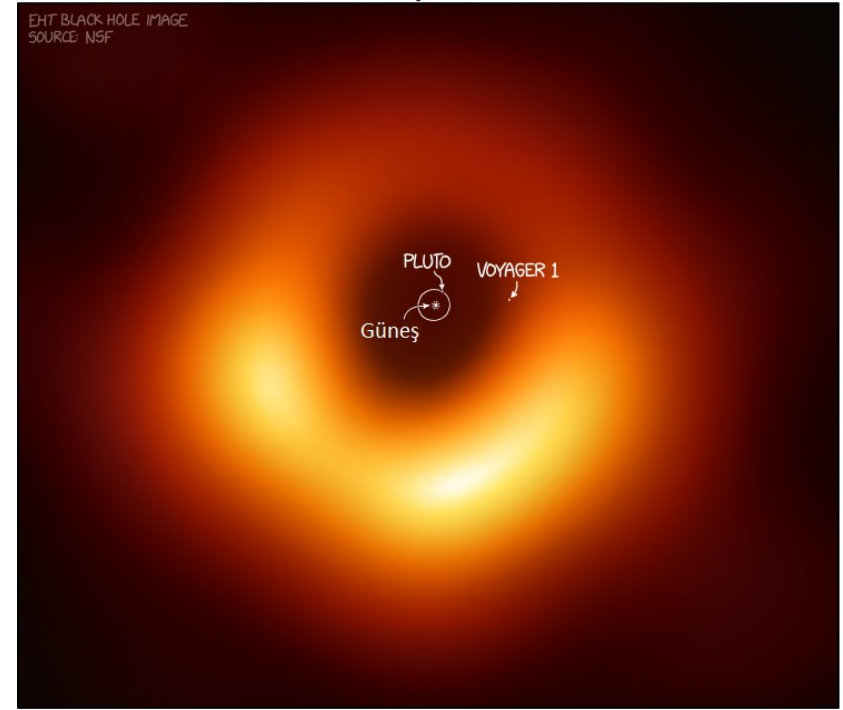
Very Large Array, New Mexico
25 m çapında 27 parabolik anten
27 km çapında bir alana dizilmiş durumda



Atacama Large Millimeter Array (ALMA), Şili
54'ü 12 m, 12 'si 7 m çapında 66 çanak
Aralarındaki mesafeler değiştirilebilmektedir.



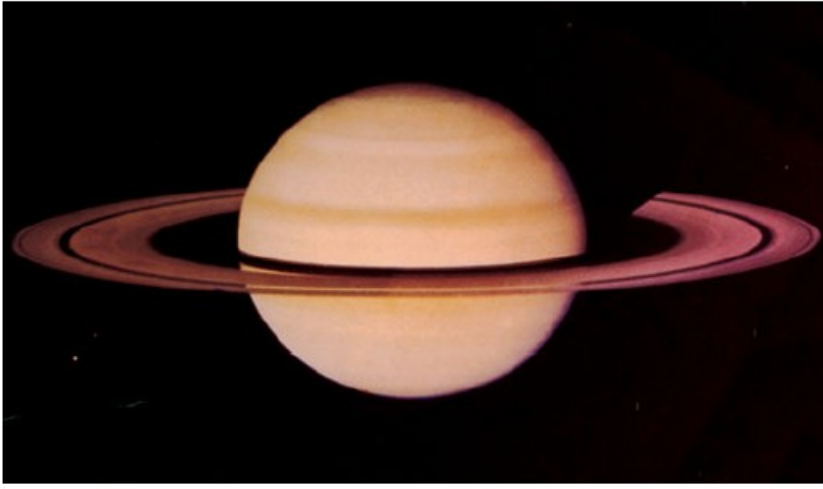
BÜYÜKLÜK KARŞILAŞTIRMASI:
M87 KARA DELİĞİ
VE
GÜNEŞ SİSTEMİMİZ



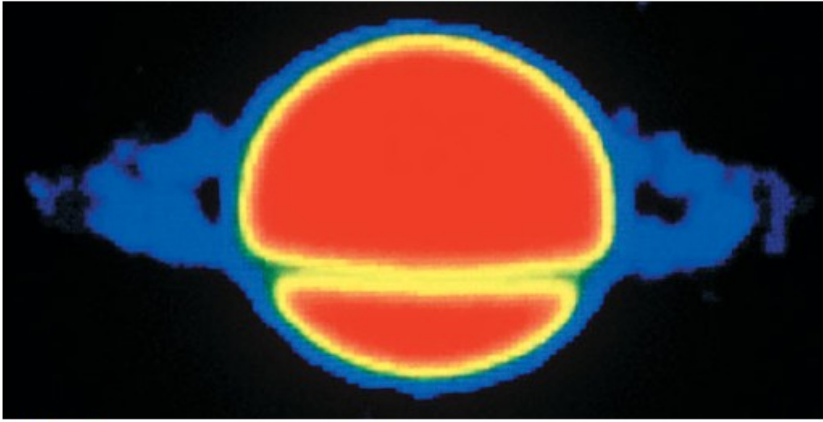
Sağ üst: M87'nin merkezindeki süper-kütleli karadeliğin gölgesinin Güneş Sistemimizin boyutuyla karşılaştırılması. Bu radyo görüntüsü, olay ufkuyla karşılaştırılabilir açılal çözünürlükteki radyo kaynaklarını gözlemlemek için interferometri prensibiyle çalışan küresel bir senkronize radyo gözlemevleri ağı olan Olay Ufku Teleskobu (Event Horizon Telescope, EHT) adı verilen bir dizgeyle elde edilmiştir.

Sol üst: M87 galaksisinin Şubat 1989'da Very Large Array (VLA) radyo teleskop dizgesi ile çekilen bu radyo görüntüsü, radyo emisyonunun Dünya'dan gelen atom altı parçacıkların jetleri tarafından güçlendirildiği düşünülen dev baloncuk benzeri yapıları göstermektedir. Renklendirme jet tarafından yayılan radyo enerjisinin yoğunluğuna karşılık gelir. M87, Başak takımyıldızında, 50 milyon ışık yılı uzaklıkta yer almaktadır.

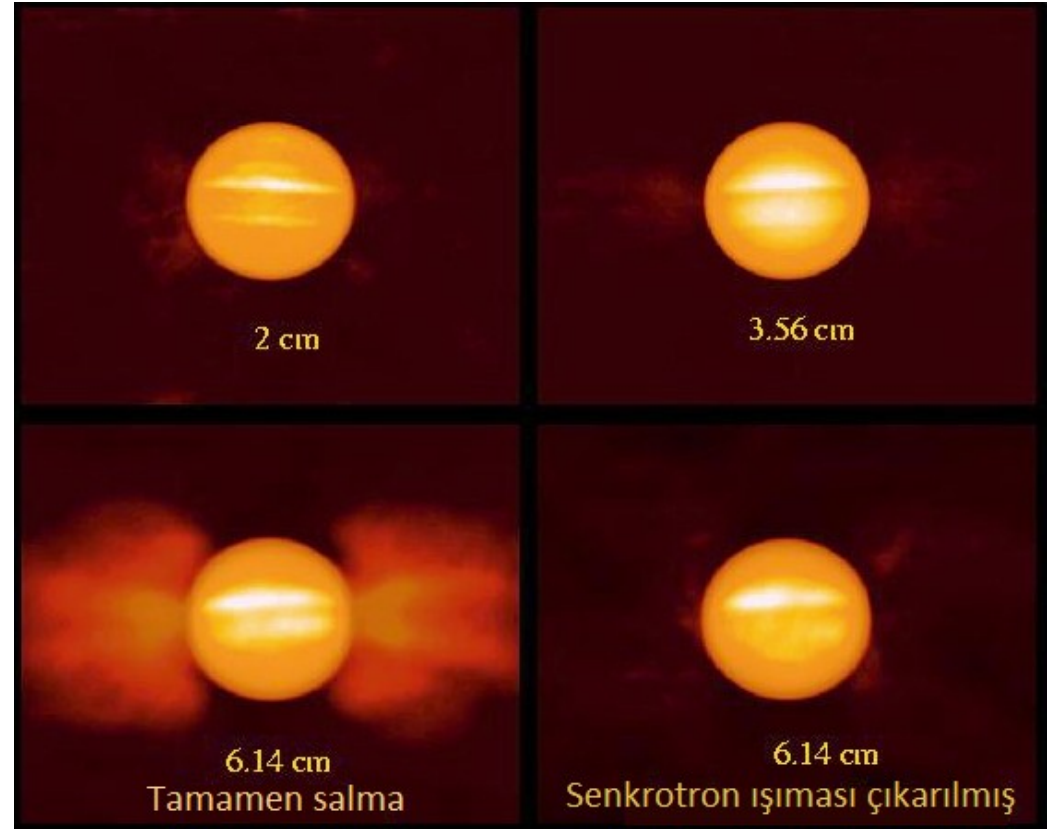
Sol alt: Kara deliğe yakın bölgenin Very Large Baseline Array (VLBA) radyo teleskop dizgesiyle elde edilen görüntüsü. Renklendirme jet tarafından yayılan radyo enerjisinin yoğunluğuna karşılık gelir. En yoğun ışınım alınan kırmızı bölge yaklaşık 1/10 ışık yılı genişliğindedir. Görüntü Mart 1999'da çekildi. Kredi: NASA, Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi/Ulusal Bilim Vakfı, John Biretta (STScI/JHU) ve Associated Universities, Inc.



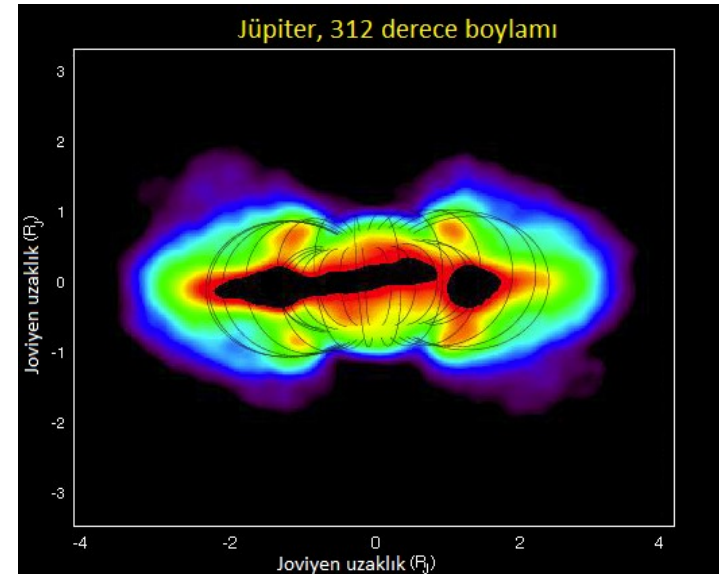
(a) R I V U X G



(b) R I V U X G



Jüpiter'in Farklı Dalgaboylarındaki Radyo Emisyonu



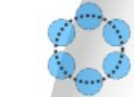
Satürn'ün Optik ve Radyo Görüntüleri (a) Bu fotoğraf Satürn'e 18 milyon kilometre uzaklıkta bulunan bir uzay aracından çekilmiştir. Görüntü, Güneş ışınlarının Satürn'ün üst atmosferindeki bulutlardan ve halkalarından yansması sayesinde oluşmaktadır. (b) VLA ile 2 cm dalgaboyunda elde edilmiş bu görüntüde Satürn'ün radyo bölgedeki salmasını gösterilmektedir. Renklendirmenin gerçekçi olmadığı bu görüntüde salmanın en yoğun olduğu bölge kırmızı ile, en az yoğun olan bölge ise mavi ile gösterilmektedir. Sarı ve yeşil orta düzeyde salmanın görüldüğü yerleri, siyah ise salmanın görülmeyen yerleri göstermektedir. Radyo "gölge", halkaların gezegenin önünde kalan kısmından kaynaklanmaktadır. (a: Nasa; b: Image courtesy of NRAO/AUI)

Great Paris Exhibition Telescope

(Mercekler aynı ölçektedir)
Paris, Fransa (1900)

Yerkes Observatory
(40" refractor lens at the same scale)
Williams Bay, Wisconsin (1893)

Hooker (100")
Mt Wilson, California (1917)



Multi Mirror Telescope
Mount Hopkins, Arizona (1979-1998)



BTA-6 (Large Altazimuth Telescope)
Zelenchuksky, Russia (1975)



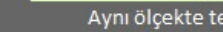
Large Zenith Telescope
British Columbia, Canada (2003)



Gaia
Earth-Sun L2 point (2014)

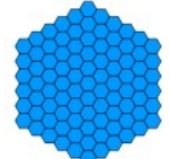


James Webb Space Telescope
Earth-Sun L2 point (planned 2018)



Aynı ölçekte tenis kortu

Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope
Hebei, China (2009)



Hobby-Eberly Telescope
Davis Mountains, Texas (1996)



Large Binocular Telescope
Mount Graham, Arizona (2005)



Kepler
Earth-trailing solar orbit (2009)

Hubble Space Telescope
Low Earth Orbit (1990)



Very Large Telescope
Cerro Paranal, Chile (1998-2000)



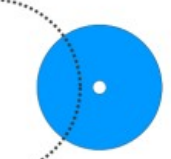
Magellan Telescopes
Las Campanas, Chile (2000/2002)



Gran Telescopio Canarias
La Palma, Canary Islands, Spain (2007)



Southern African Large Telescope
Sutherland, South Africa (2005)



Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)



Kepler
Earth-trailing solar orbit (2009)

Very Large Telescope
Cerro Paranal, Chile (1998-2000)

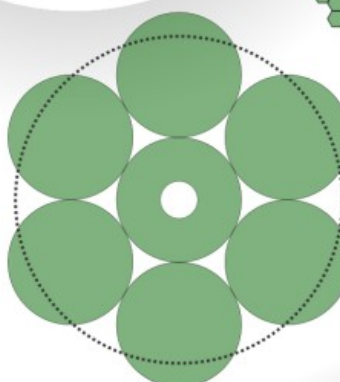


Magellan Telescopes
Las Campanas, Chile (2000/2002)



Aynı ölçekte Arcibo Radyo Teleskobu

Overwhelmingly Large Telescope
(İptal edildi)



Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory, Chile (planned 2020)



Gemini North
Mauna Kea, Hawaii (1999)



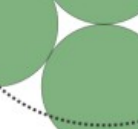
Gemini South
Cerro Pachón, Chile (2000)



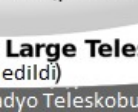
Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)



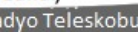
Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)



Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory, Chile (planned 2020)



Overwhelmingly Large Telescope
(İptal edildi)



Aynı ölçekte Arcibo Radyo Teleskobu

Keck Telescope
Mauna Kea, Hawaii (1993/1996)



Gemini North
Mauna Kea, Hawaii (1999)



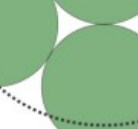
Gemini South
Cerro Pachón, Chile (2000)



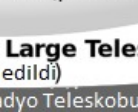
Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)



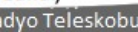
Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)



Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory, Chile (planned 2020)



Overwhelmingly Large Telescope
(İptal edildi)



Aynı ölçekte Arcibo Radyo Teleskobu

Subaru Telescope
Mauna Kea, Hawaii (1999)



Gemini South
Cerro Pachón, Chile (2000)



Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)



Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)



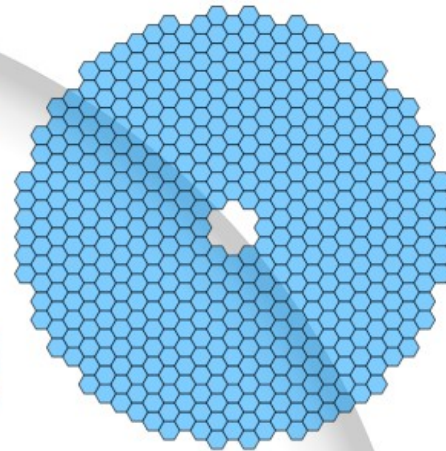
Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory, Chile (planned 2020)



Overwhelmingly Large Telescope
(İptal edildi)



Aynı ölçekte basketbol sahası



Thirty Meter Telescope
Mauna Kea, Hawaii (planned 2022)



Gemini South
Cerro Pachón, Chile (2000)



Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)



Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)



Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory, Chile (planned 2020)



Overwhelmingly Large Telescope
(İptal edildi)



Aynı ölçekte basketbol sahası

European Extremely Large Telescope
Cerro Amozones, Chile (planned 2022)

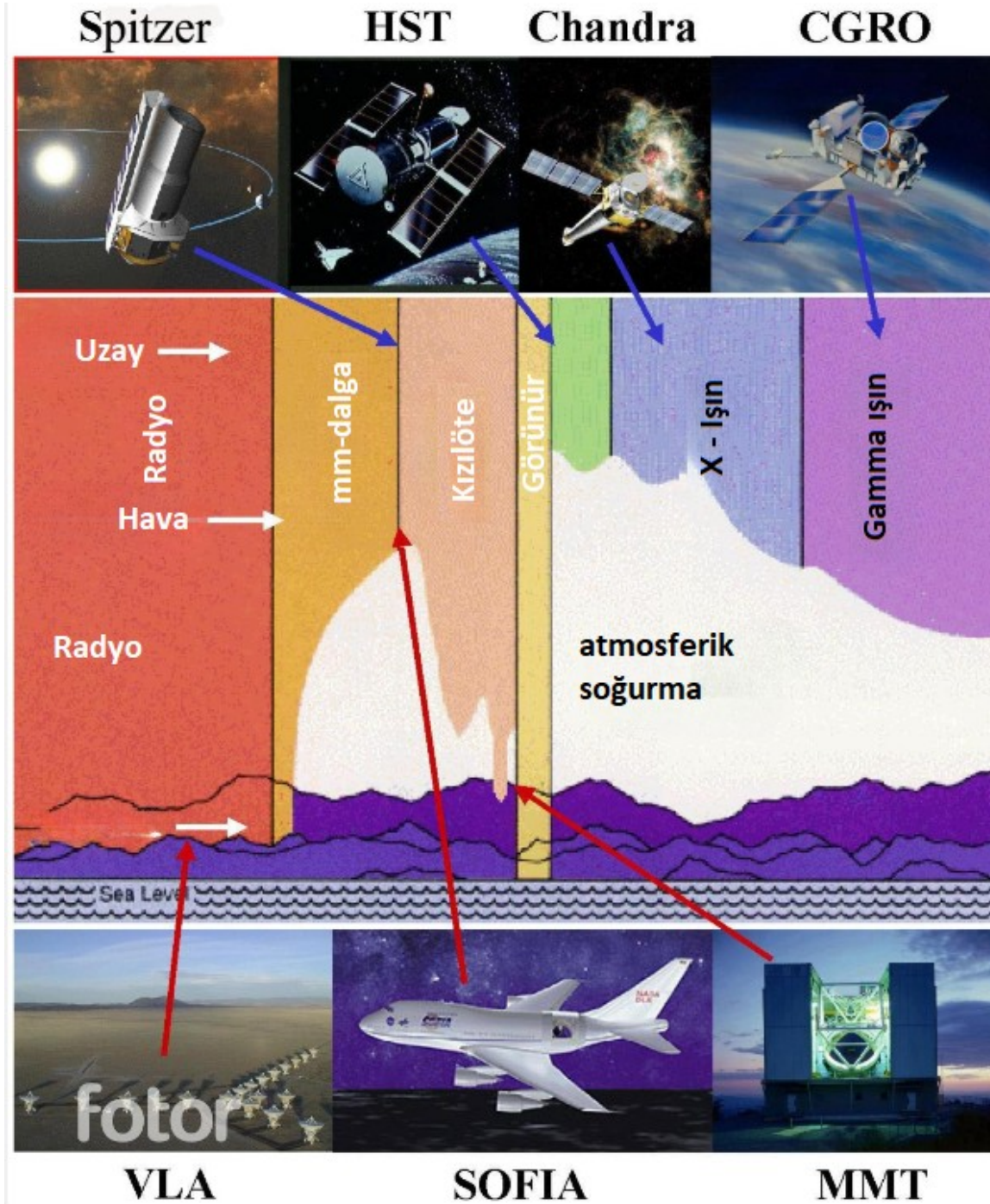


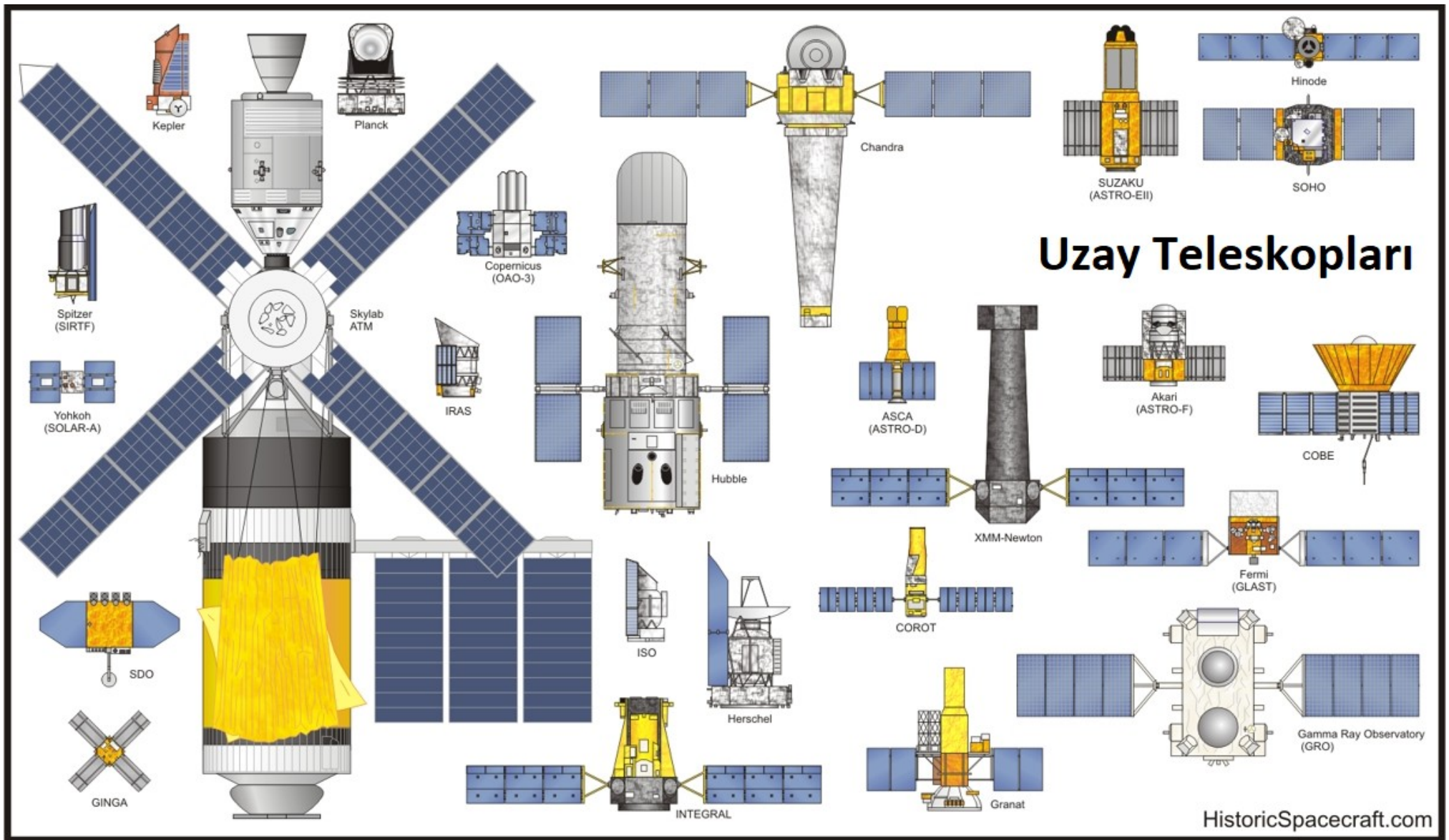
Aynı ölçekte basketbol sahası

Aynı ölçekte bir insan

0 5 10 m
0 10 20 30 ft

Uzay Teleskopları





Uzay Teleskopları

HistoricSpacecraft.com

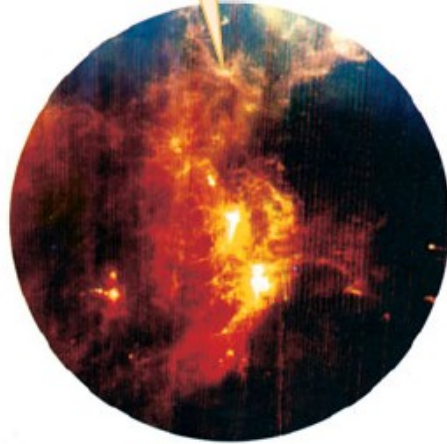
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_space_telescopes



R I V U X G

(a) Morötede Orion

Devasa toz bulutları, yeni oluşmuş, sıcak ve parlak yıldızlar tarafından ısıtılır; bulutlar (a) moröte ve (b) kızılötede parlar



R I V U X G

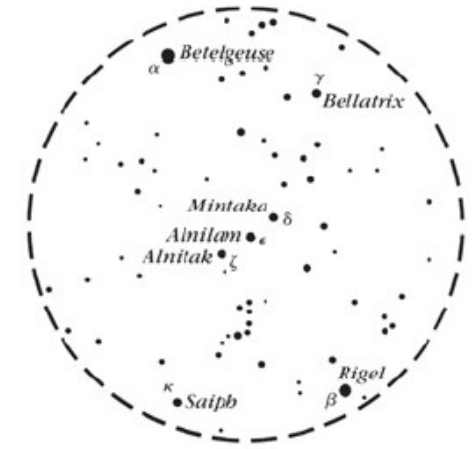
(b) Kızılötede Orion



R I V U X G

(b) Görsel bölgede Orion

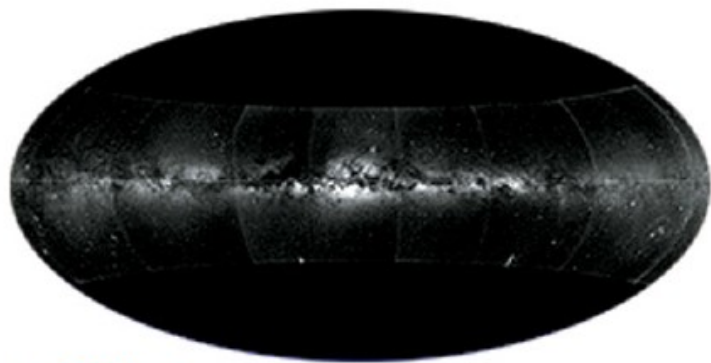
Görsel bölgede toz opaktır; yeni oluşan yıldızları gizler



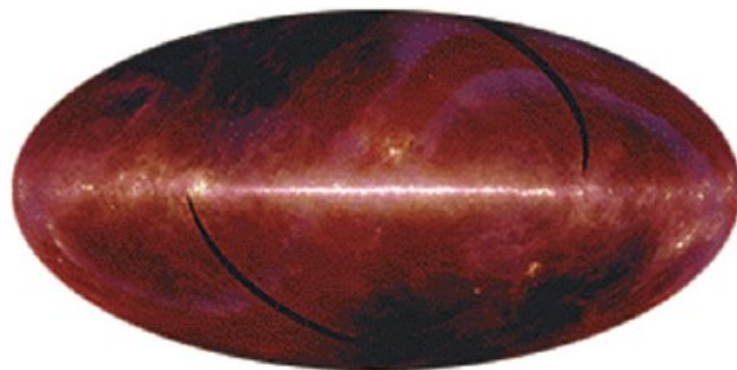
(d) Yıldız haritasında Orion

Morötede, Kızılötede ve Görünür Bölgede Orion (a) Orion takımıyıldızının moröte görüntüsü, 1975'te fırlatılan bir roketten çekilmiştir. 100 saniye poz süresi ile çekilmiş bu görüntü, 125-200 nm arası dalgalıboylarını içermektedir. (b) Kızılöte Astronomi Uydusundan gelen bu sahte-renklendirilmiş görüntü, farklı dalgalıboylarındaki salmayı farklı

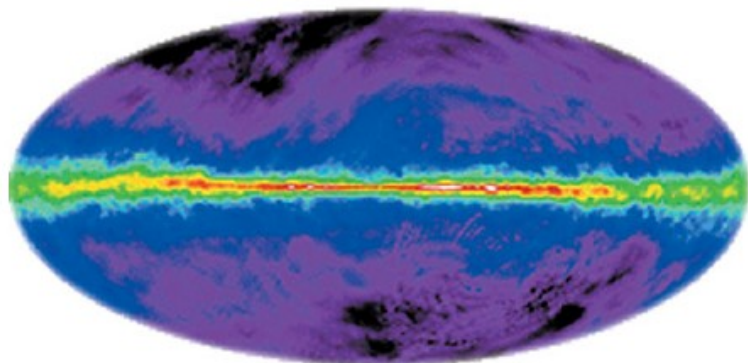
renklerle göstermektedir: 100- μm 'daki ışık kırmızı, 60- μm 'daki ışık yeşil ve 12- μm 'deki ışık mavi ile gösterilmektedir. Bu görüntüyü (c) sıradan görünür dalgalıboylarındaki görüntüyle ve (d) yıldız haritasındaki Orion ile karşılaştırın. (a: G. R. Carruthers, Naval Research LAB; b: NASA; c: R. C. Mitchell, Central Washington University)



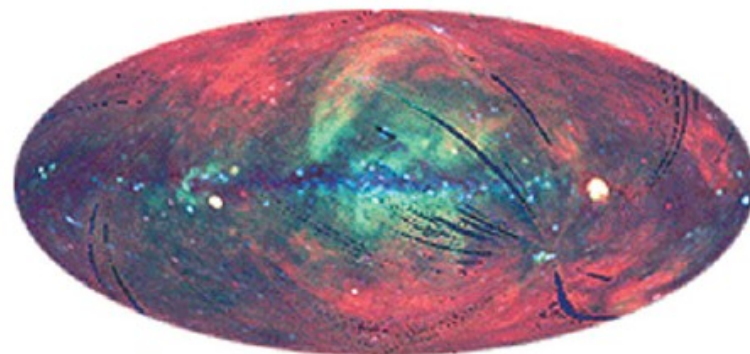
(a) R I **V** U X G



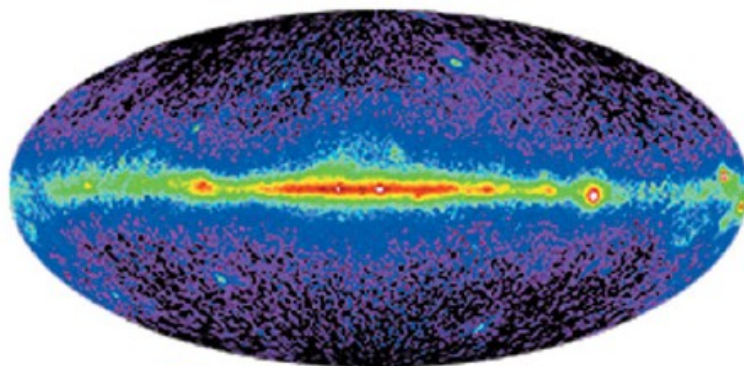
(c) R **I** V U X G



(b) **R** I V U X G



(d) R I V U **X** G



(e) R I V U X **G**

Alıştırma Soruları

- 1) Basit bir mercekli teleskopun oluşturduğu görüntünün neden ters olduğunu bir diyagram yardımıyla gösteriniz.
- 2) (a) 10,0 m çapındaki Keck I teleskopunun ışık toplama gücünü, 2,4 m'lik Hubble Uzay Teleskobu'nun (HST)'kiyle karşılaştırınız. (b) Keck I'in HST'ye göre ne gibi avantajları vardır? HST'nin Keck I'e göre ne gibi avantajları vardır?
- 3) 20 cm (8 inç) çapında ve odak uzaklığı 2 m olan bir Newtonian teleskobun odak uzaklıkları (a) 9 mm, (b) 20 mm ve (c) 55 mm olan göz mercekleriyle sahip olacağı büyütme değerlerini hesaplayınız (d) Dalgı boyu 600 nm olan turuncu ışıkla kullanıldığında bu teleskobun kırınım-sınırlı açısal çözünürlüğü nedir? (e) Teleskobu Mauna Kea'nın zirvesine çıkarırsanız bu açısal çözünürlüğe ulaşmak mümkün olur mu? Cevabınızı gerekçelendiriniz.
- 4) Jüpiter'in en büyük dört uydusu Ay'la kabaca aynı büyüklüktedir ve karşı konumda Dünya'dan yaklaşık 628 milyon ($6,28 \times 10^8$) kilometre uzaktadır. Hubble Uzay Teleskobu'nun (0,1 yay saniyelik çözünürlük) tespit edebileceği en küçük yüzey özelliklerinin kilometre cinsinden boyutu nedir? Bu değeri Ay'da çıplak insan gözüyle görülebilen en küçük yüzey özellikleriyle (1 yaydk çözünürlük) karşılaştırınız.
- 5) Hubble Uzay Teleskobu (HST), Dünya'dan yaklaşık 70 milyon ışık yılı uzaklıktaki M100 galaksisini gözlemek için de kullanılmıştır. (a) HST görüntüsünün açısal çözünürlüğü 0,1 yaysaniyesi ise, görüntüde fark edilebilen en küçük detayın ışık yılı cinsinden çapı nedir? (b) Çapı 1,8 cm olan bir madeni paranın kilometre cinsinden hangi mesafede 0,1 yaysaniyelik açısal boyutu olur?
- 6) Plüto yörüngesinin Dünya'ya en yakın noktasında Dünya'dan 28,6 AB uzaklıktadır. Hubble Uzay Teleskobu Plüto'un herhangi bir yüzey özelliğini ayırt edebilir mi? Cevabınızı basit hesaplara dayalı olarak gerekçelendiriniz.
- 7) Bir kızılötesi teleskopu çok düşük bir sıcaklıkta tutmak neden gereklidir?
- 8) Erzurum'da kurulmakta olan Türkiye'nin en büyük teleskobu olacak DAG 4 m çapındaki teleskobu Bakırlitepe / Antalya'da konuşlu 1,5 m çapındaki mevcut en büyük teleskop olan RTT150 ile hem ışık toplama güçleri hem de sağladıkları açısal çözünürlükler açısından karşılaştırınız.