

Prof.dr Dragan Gajić

Uvod u astronomiju





Astronomski instrumenti

Refraktori. Reflektori

Pouzdana podaci o upotrebi sočiva za poboljšanje vida nalaze se u XIII veku. Kao pronalazač naočara označava se italijanskom optičaru i fizičaru Armatiju.



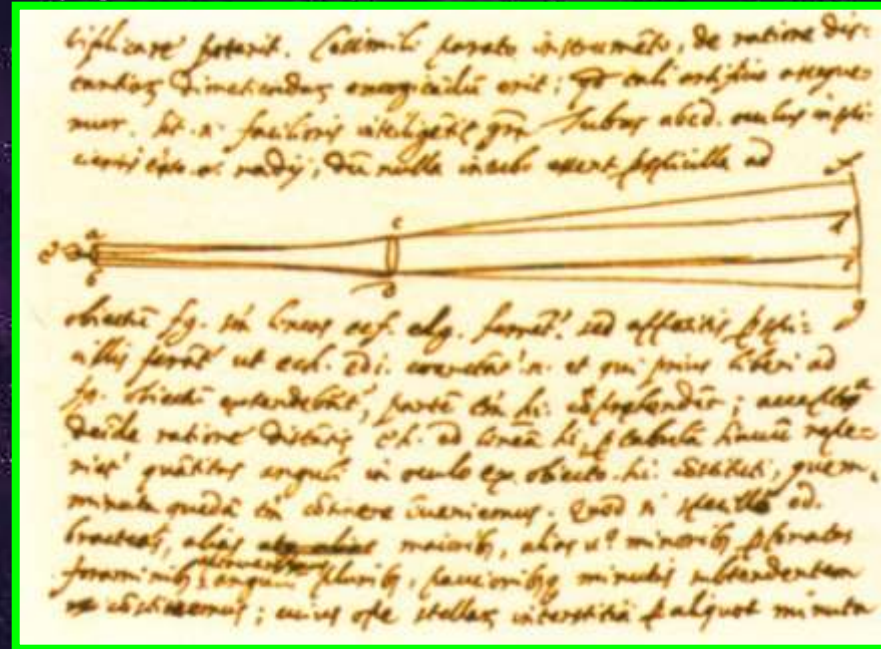
Engleski astronom i astrolog, fizičar i hemičar Rodžer Bekon (1212–1294) nagovestio je da se “korišćenjem cevi sa sočivima ili pomoću ogledala mogu ”približiti” udaljeni predmeti i predeli”. On, ipak, nije pronašao teleskop. Postoje i crteži Leonarda da Vinčija (1452–1519), na kojima se vide cevi sa sabirnim sočivima.

Sa pronalaskom durbina dovodi se u vezu i Frankas-toro (1483–1553). On navodi (1583. g.) da Mesec izgleda mnogo bliže kada se gleda kroz dva sočiva ili kada se gleda kroz jedno debelo sočivo.

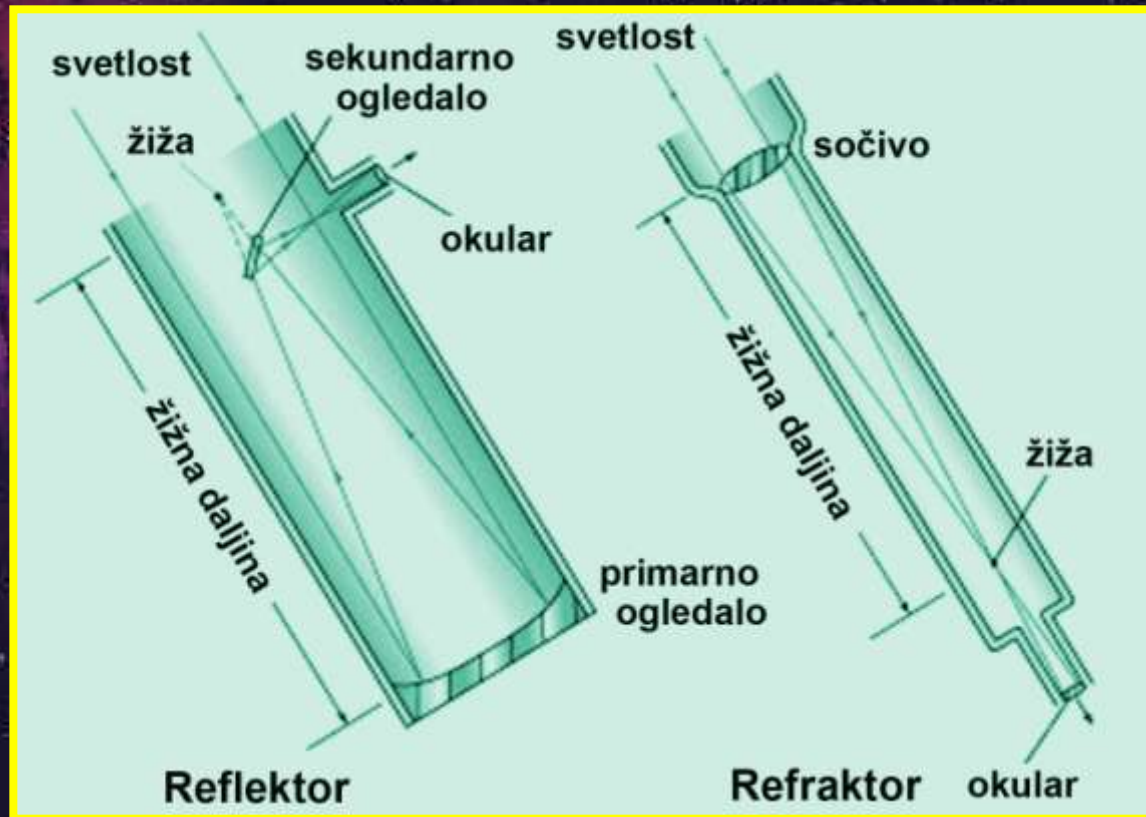
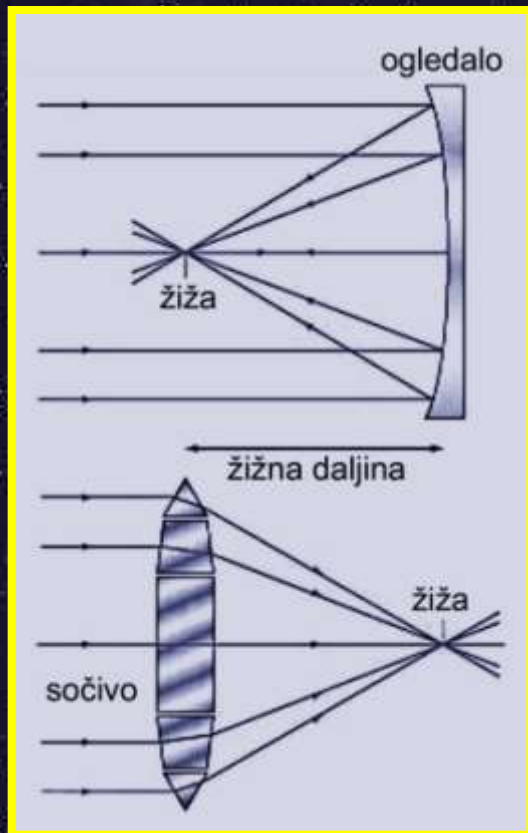
Vlada potpuna nedoumica oko pronalazača teleskopa. Pojavljuju se imena Portija (tvorac “camera obscura”), Portinija (1590). Javnost se sa teleskopima prvi put upoznaje u Holandiji (Milderbah) 1608. g. Holandski optičar Zaharijas Jansen prodaje durbine, ali ih, po svemu sudeći, nije sam proizvodio. Pravo patentiranja teleskopa tražili su i holandski optičari Liperšej, Andrianson. Francuski kralj Anri IV traži 1608. g. od holandskih posetilaca durbin, sa namerom da ga koristi u vojne svrhe. Tokom sledeće godine, Heriot uz pomoć durbina posmatra i crta Mesec.



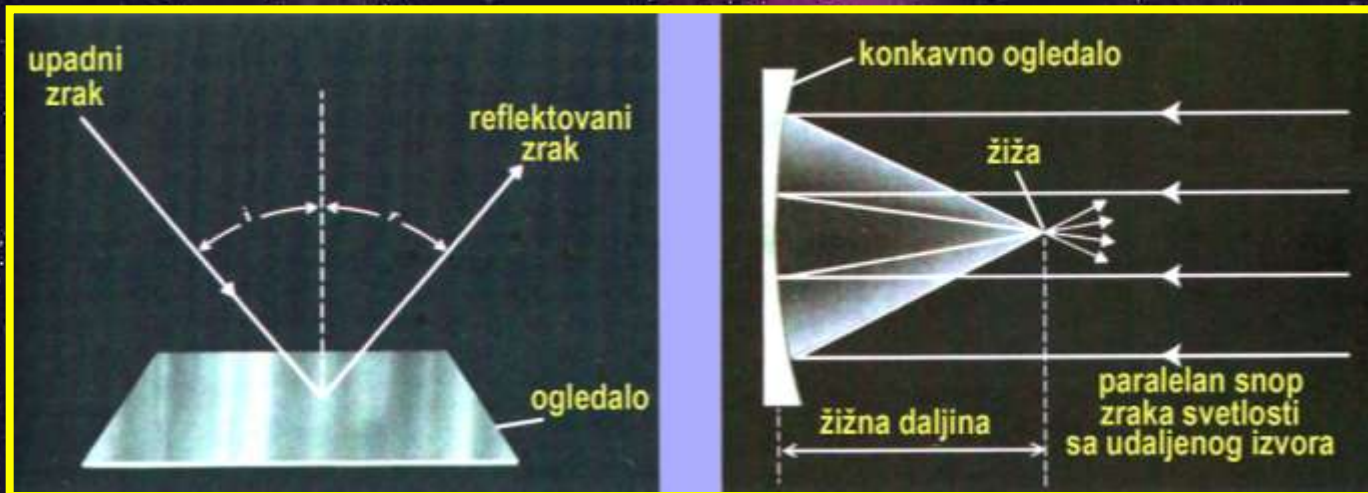
Galileo Galilej 1609. godine saznaje da se u Parizu prodaju durbini. Na osnovu opisa nije mu bilo teško da napravi nekoliko teleskopa. Pomoću njih 1610. otkriva Venerine mene, Jupiterove satelite, planine na Meseću, zvezde u Mlečnom Putu, itd. U to vreme durbine u nebo upiru i drugi astronomi, a Majer, Fabricije, Peresk, Heriot osporavaju Galileju prvenstvo nekih otkrića.



*Osnovni optički deo svakog teleskopa je **objektiv**: on treba da sakupi što više svetlosti i da omogući posmatranje objekta pod većim uglom. Zavisno od toga da li je objektiv sočivo (sistem sočiva) ili ogledalo (kombinacija ogledala) optički teleskopi dele se na **refraktore i reflektore**.*



Bez obzira što se svetlost kosmičkih objekata, u odnosu na njih, prostire radijalno, do nas dolazi u paralelnim snopovima. Nakon prolaska kroz sabirna sočiva ili odbijanja od konkavnih ogledala objektivna, zraci sa kosmičkih objekata seku se u žiži.



Izvrnut lik povećava se do željenog izgleda sočivom okulara.

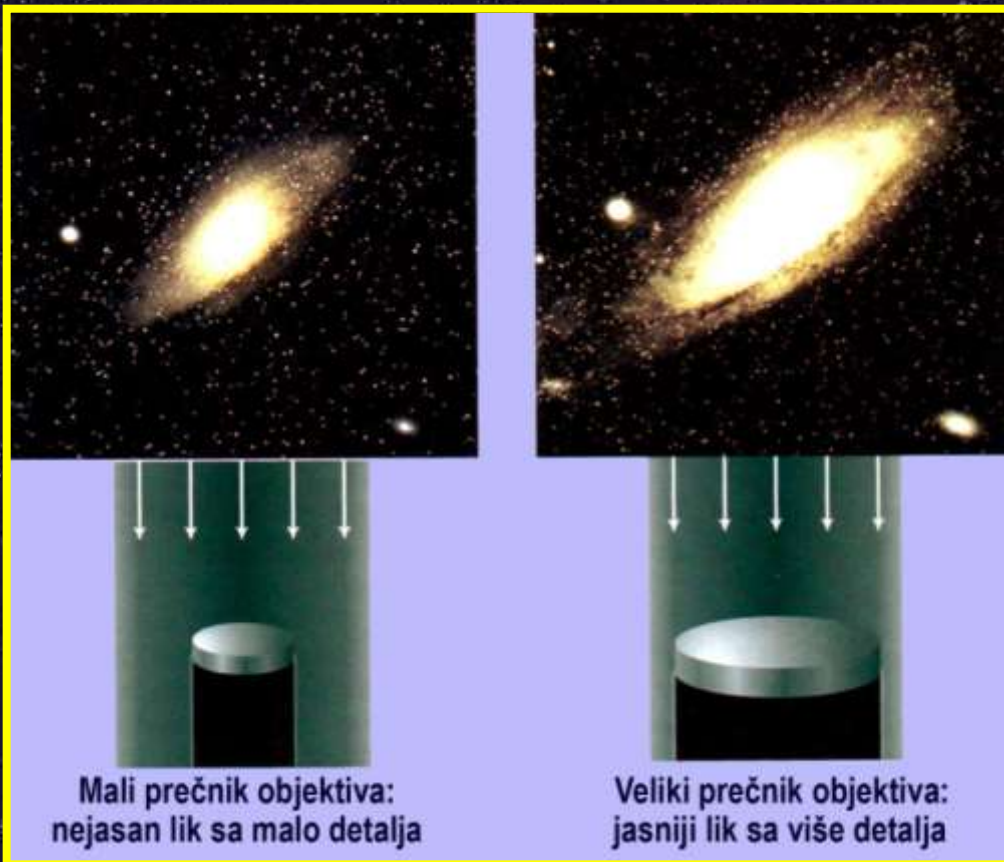
Uvećanje teleskopa određuje se formulom:

$$u = F/f = D/d$$

gde su F i f žižne daljine objektiv i okulara, a D i d prečnici objektiv i izlaznog snopa, respektivno.



Uvećanje teleskopa je važna karakteristika teleskopa, ali je za praćenje kosmičkih objekata vrlo značajna količina svetlosti koju objektiv fokusira ka okularu. Veći prečnik objektiva omogućuje prikupljanje veće količine zračenja posmatranog objekta, što se manifestuje na taj način što je njegov lik jasniji i ima više detalja.



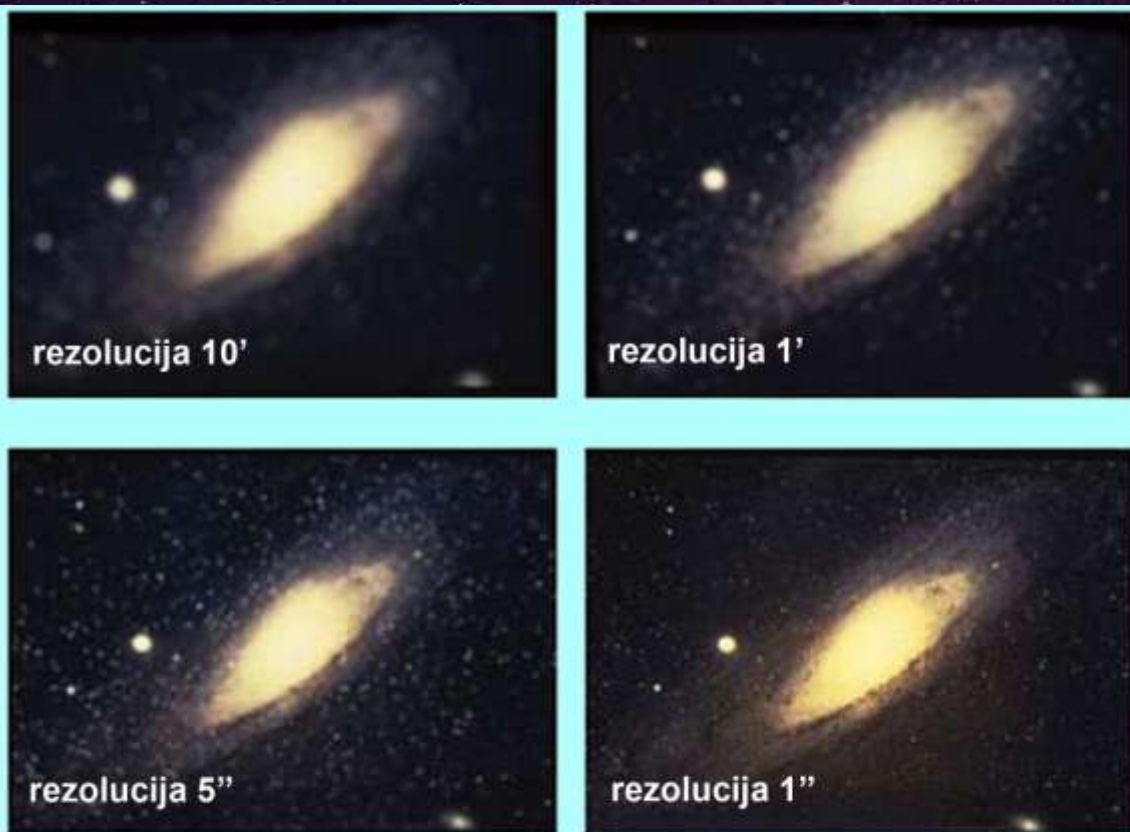
Optička moć teleskopa predstavlja odnos fluksa zračenja koji izlazi iz teleskopa i koji ulazi u njega:

$$S_M = \Phi_i / \Phi_u = (D/d)^2$$

*Sa veličinom objektiva povezana je i **razdvojna moć teleskopa**: recipročna vrednost najmanjeg ugla koji teleskop razdvaja. Ta veličina određena je talasnom dužinom svetlosti i prečnikom objektiva. Teorija difrakcije daje za najmanji ugao razdvajanja formulu:*

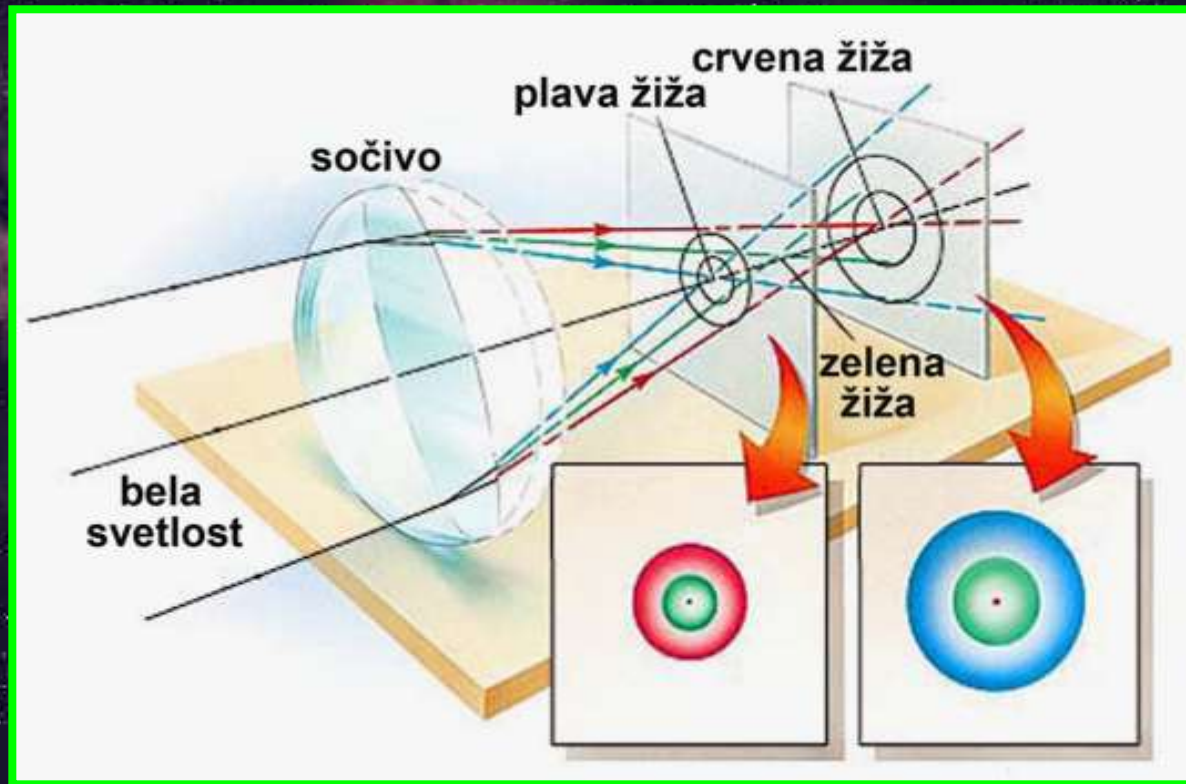
$$\delta('') = \lambda(\text{nm}) / (4D(\text{mm}))$$

Od kvaliteta optike zavisi da li će biti dostignuta ova vrednost.

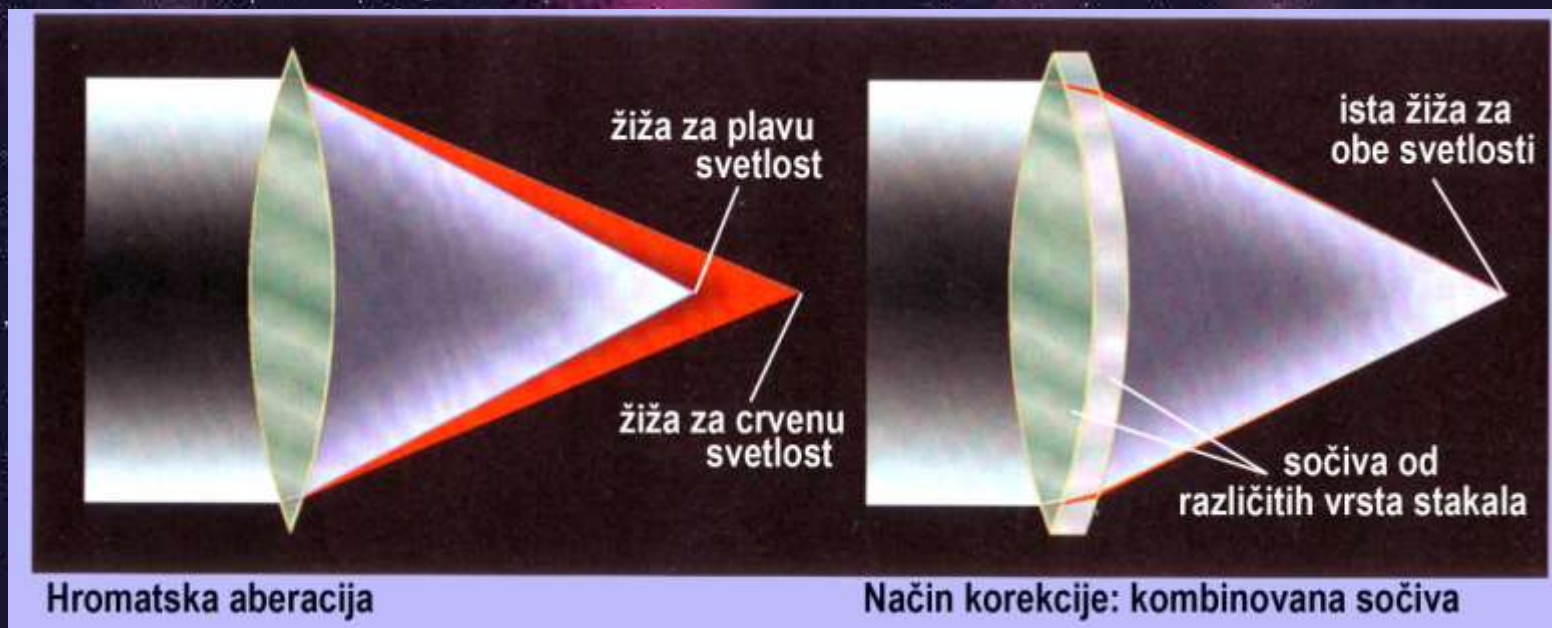


Andromedina galaksija (M31) sa uvećanjem 600 puta i različitim rezolucijama

*Pojedinačna sočiva imaju **hromatsku aberaciju**: grešku koja potiče od toga da žižna daljina zavisi od talasne dužine svetlosti. Žiža plave svetlosti bliže sočivu od žiže crvene svetlosti. Zbog toga je lik замуćen obodom u više boja.*



Ova aberacija se otklanja kombinacijom sabirnih i rasipnih sočiva načinjenih od lakog i teškog stakla (kron i flint). Ova kombinovana sočiva smanjuju hromatsku aberaciju tako da fokusiraju zrake dve boje (ahromat) ili više boja (apohromat).





Refraktor ahromat

Refraktor ahromat: raspon apertura 80–150 mm. Dužina tubusa približno je jednako žižnoj daljini objektiva.



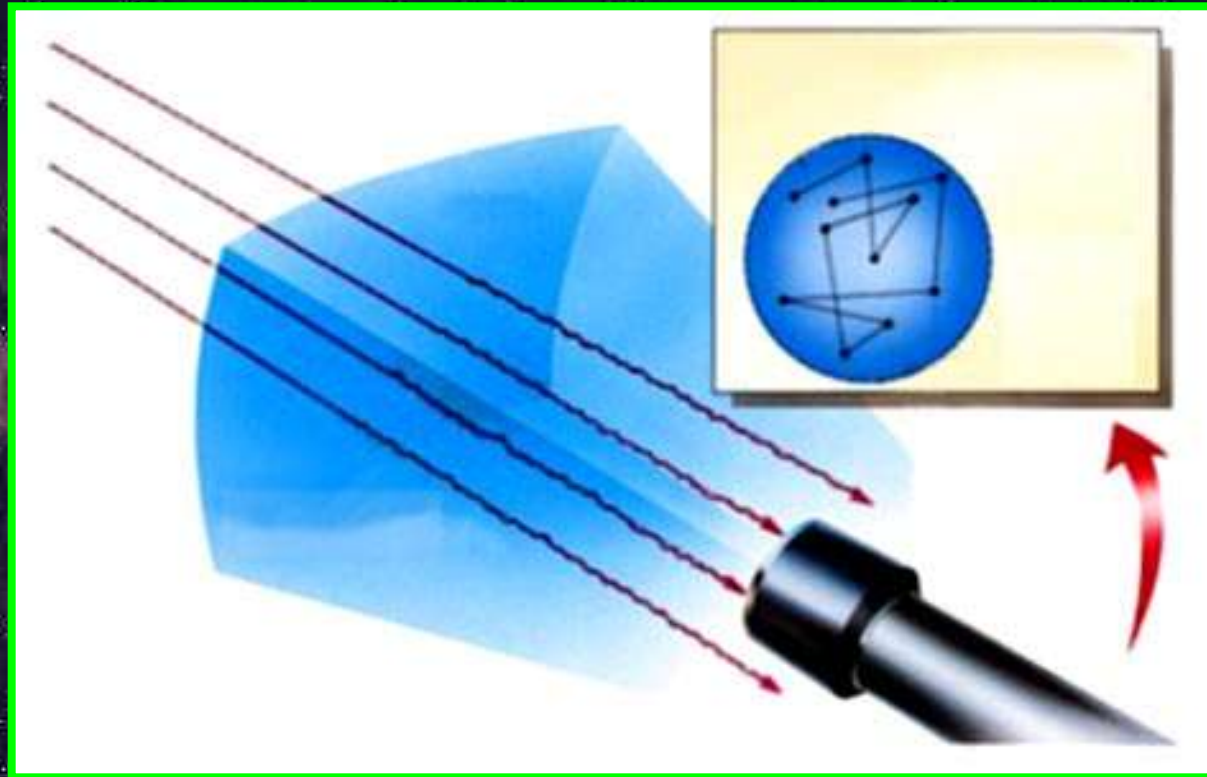
Refraktor apohromat

Refraktor apohromat: raspon apertura 70–200 mm. Dužina tubusa približno je jednako žižnoj daljini objektiva.

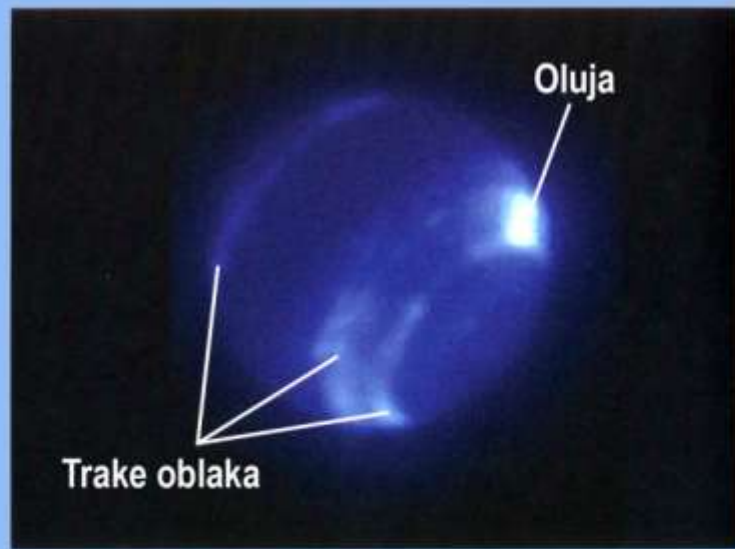
Sferna aberacija – anomalija sočiva ili oledala sfernih površina, koja se javlja zbog toga što je žižna daljina manja za zrake koji su dalje od optičke ose. Problem se ublažava na taj način što se koriste paraboličke i/ili eliptičke površine ili kombinacije sočiva i ogledala.



Veliki problem predstavljaju i turbulentnosti vazduha u atmosferi. Zbog njih je lik objekta koji se posmatra zamućen i ima manje detalja.



*Da bi se izbegli poremećaji svetlosti zbog treperenja u nemirnoj atmosferi, danas se kod teleskopa koristi i **adaptivna optika**. To je kompjuterski prilagodljiv optički sastav teleskopa, kojim se uz pomoć malog, savitljivog ogledala u deliću sekunde popravljaju slika posmatranog tela.*

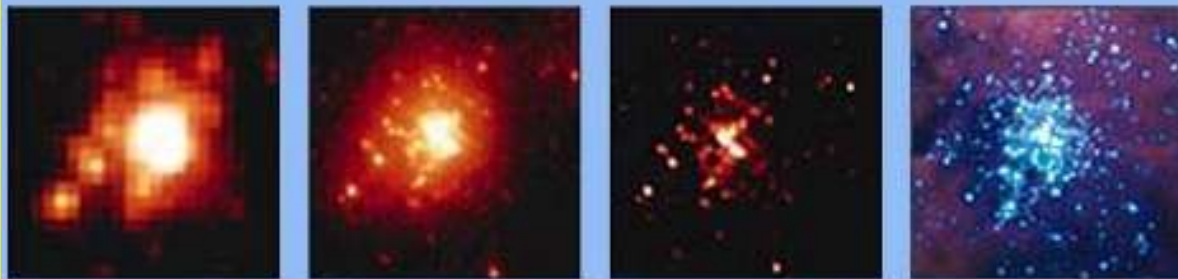


Neptun snimljen bez adaptivne tehnike (levo) i sa njom (desno)

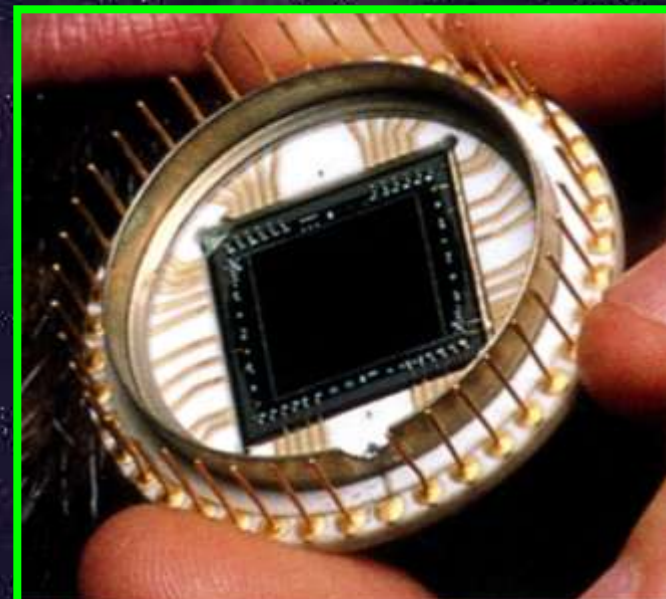
Poremećaj se koriguje upoređivanjem sa likom “etalonske” zvezde, koja može biti i “veštačka”, stvorena laserskim zrakom u visokoj temperaturi.



*Savremena tehnika snimanja i kompjuterske obrade slika kosmičkih objekata bitno su doprineli boljem poznavanju njihovih karakteristika. Npr. detektor **CCD kamere** predstavlja optički senzor koji se sastoji od poluprovodničkih dioda (piksela) osetljivih na svetlost. Fotoni u njima izbijaju elektrone koji se sakupljaju u toku ekspozicije. Nakon toga se naelektrisanje “ćelija” očitava. Dobija se digitalna slika koja je mnogo kvalitetnija od slika dobijenih klasičnom fotografskom emulzijom.*

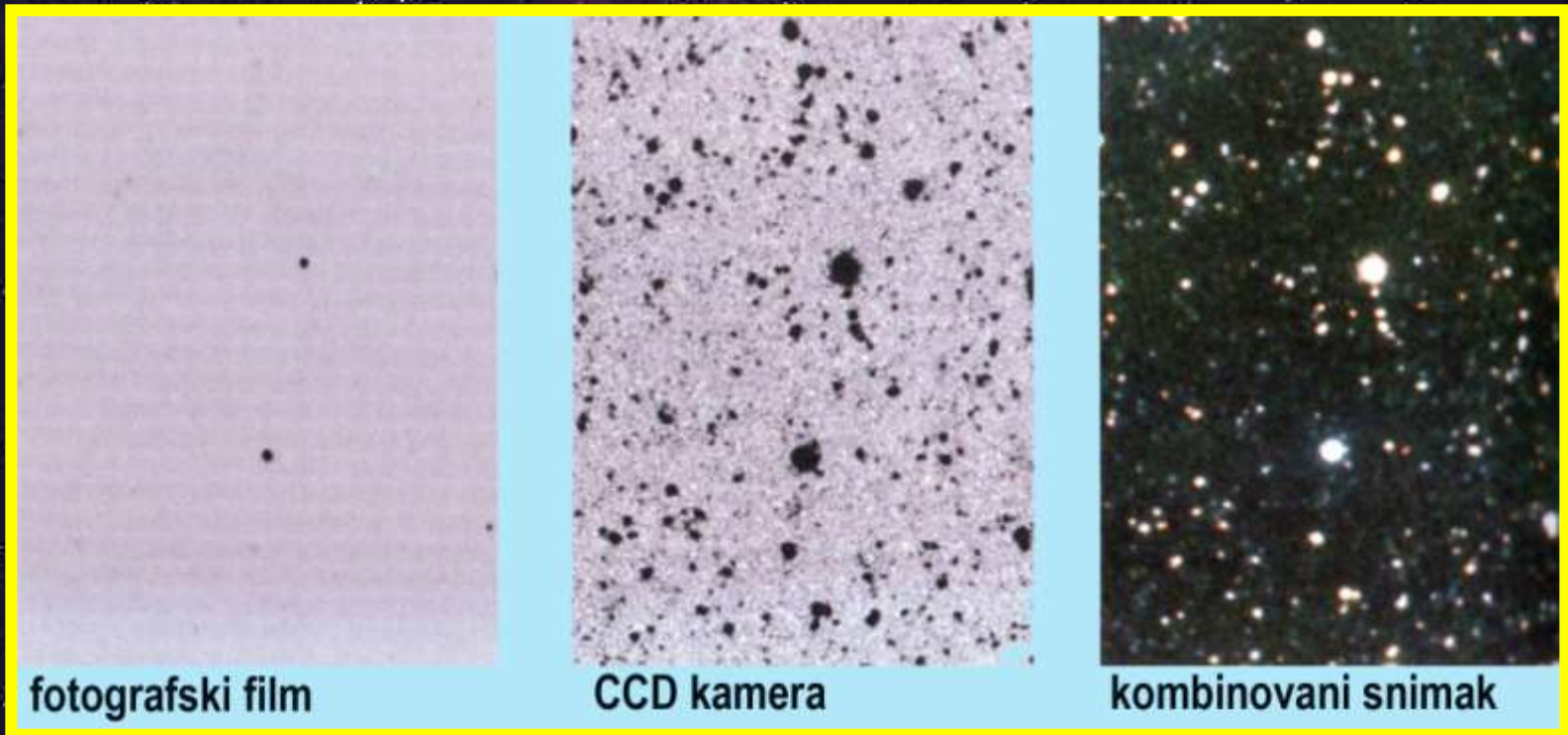


Kompjuterska obrada snimaka dela Velikog Magelanovog oblaka



Čip CCD kamere sa 16 772 216 piksela

Često se vrši i kombinovanje snimaka dobijenih fotografskim filmom i CCD kamerom.



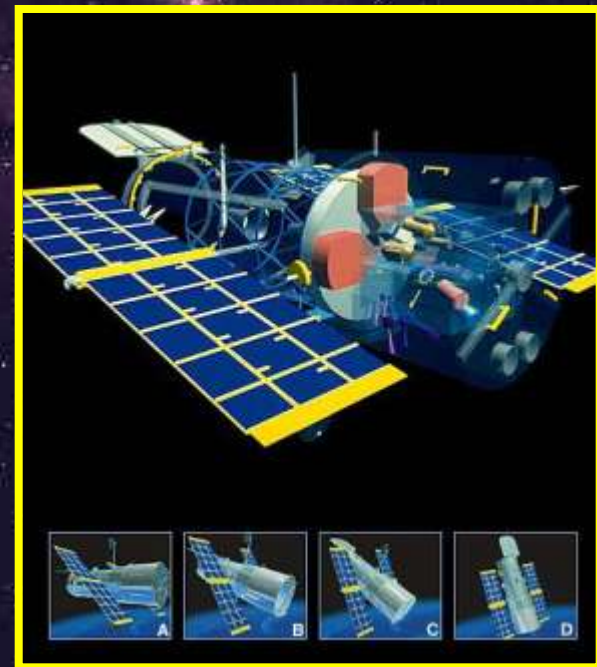
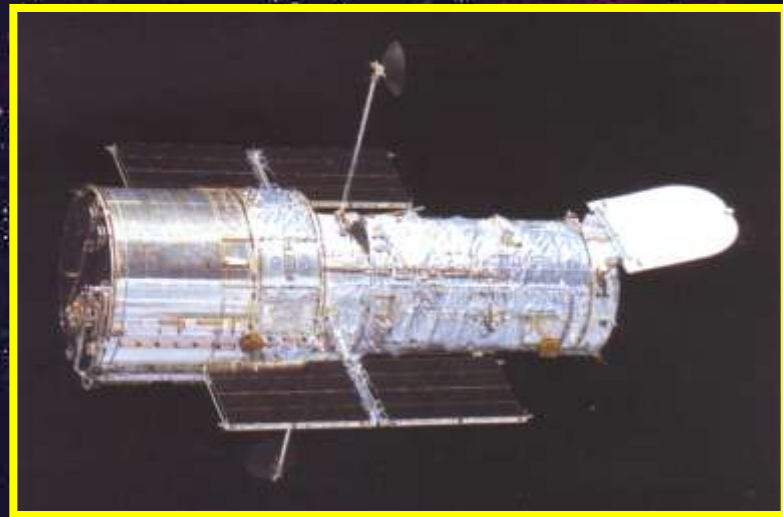
*Kao detektori zračenja koriste se prijemnici koji reaguju na **intenzitet zračenja** (npr. naše oko), **osvetljenost** (npr. fotografska emulzija), koji detektuju **čestičnu emisiju** (Wilsonova komora, Gajger–Milerov i Čerenkovljev brojač, itd.), koji reaguju na **fluks zračenja** (termopar, fotomultiplikator, električni dipol).*

Da bi se eliminisao uticaj atmosferskih turbulencija i apsorpcije koriste se visinske astronomske stanice (nalaze se u zoni pogodnih ruža vetrova i iznad oblaka) i teleskopi na satelitima koji na većim visinama kruže oko Zemlje.

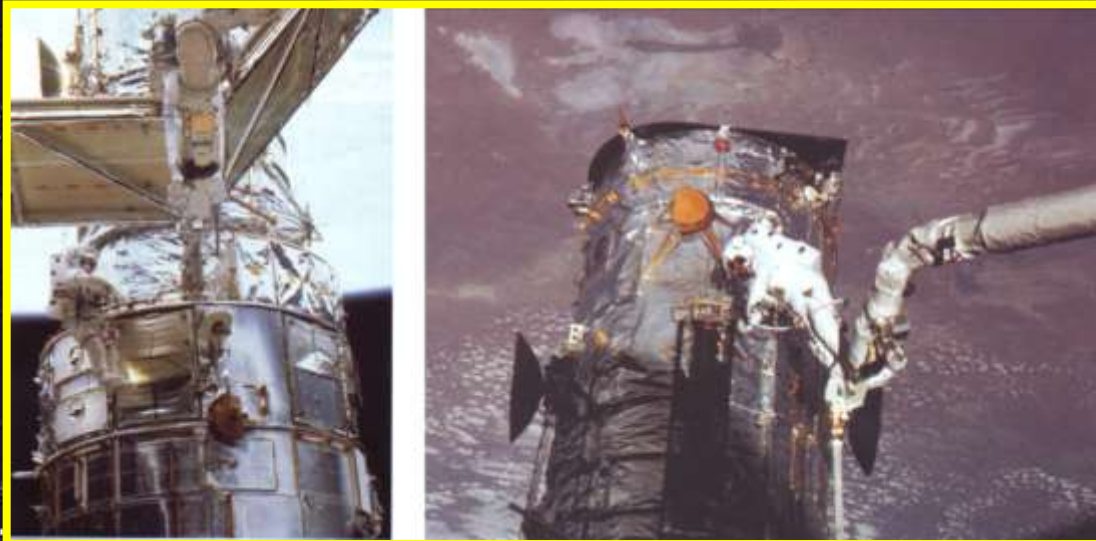


ESO- Evropska južna opservatorija (Andi, Čile, 2400 m)

Od 1990. g. oko Zemlje na visini oko 600 km po skoro kružnoj putanji funkcioniše svemirski teleskop "Habl" (HST). U orbitu je postavljen pomoću šatla "Discoveri". Radi se o optičkoj opservatoriji NASA-e i ESA-e. Teleskop ima ogledalo prečnika 2.4 m (iste veličine kao onaj iz prve polovine XX v. koji je koristio Edvin Habl).



Nedostaci izvedene optike korigovani su 1993. g., čime je postignuto ugaono razdvajanja od 0.1". Solarni paneli remontovani su 2002. g. Njegovi snimci dali su značajan doprinos savremenom razvoju astronomije i astrofizike.



*Mnogi optički teleskopi su **katadioptrijski**: njihov optički mehanizam za oblikovanje slike sastoji se od kombinacije sočiva i ogledala.*

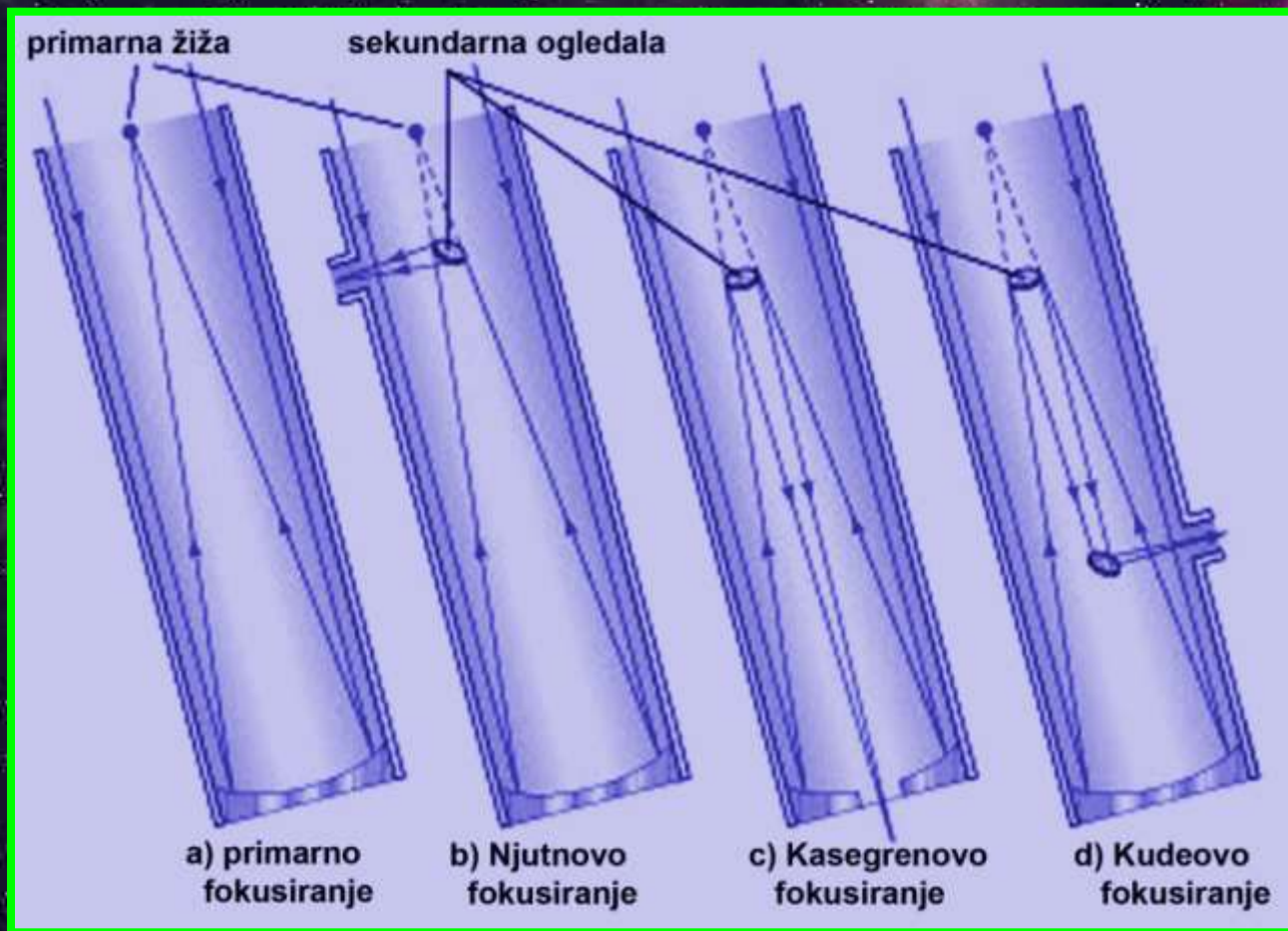
Primeri optičkih sistema teleskopa

***Keplerov refraktor**: objektiv je sabirno sočivo iza čijeg se fokusa stavlja okular – sabirno sočivo male žižne daljine.*

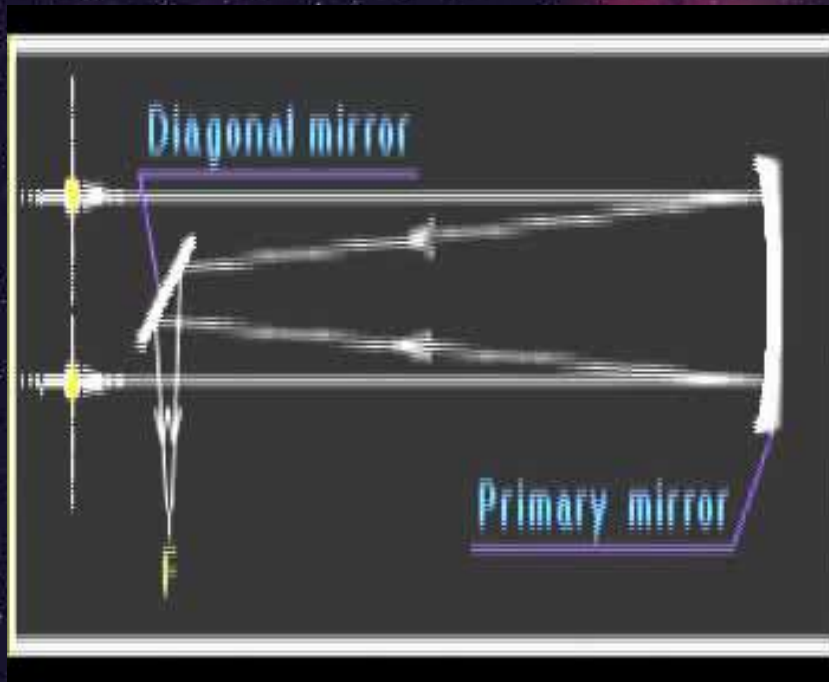
***Galilejev durbin**: okular je rasipno sočivo koje se postavlja ispred žiže sabirnog sočiva objektiva.*

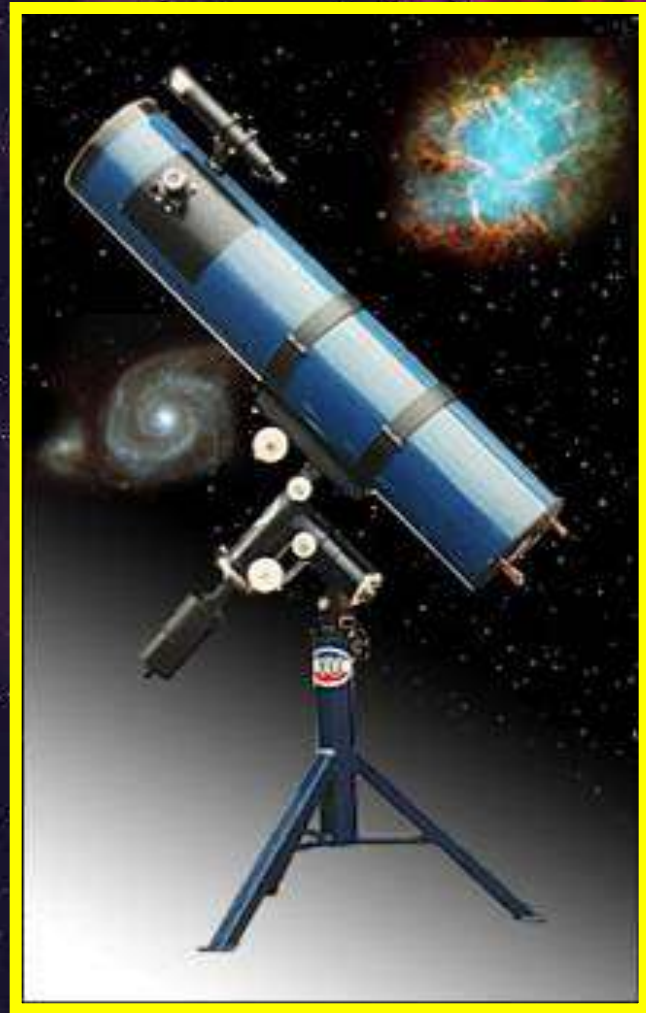
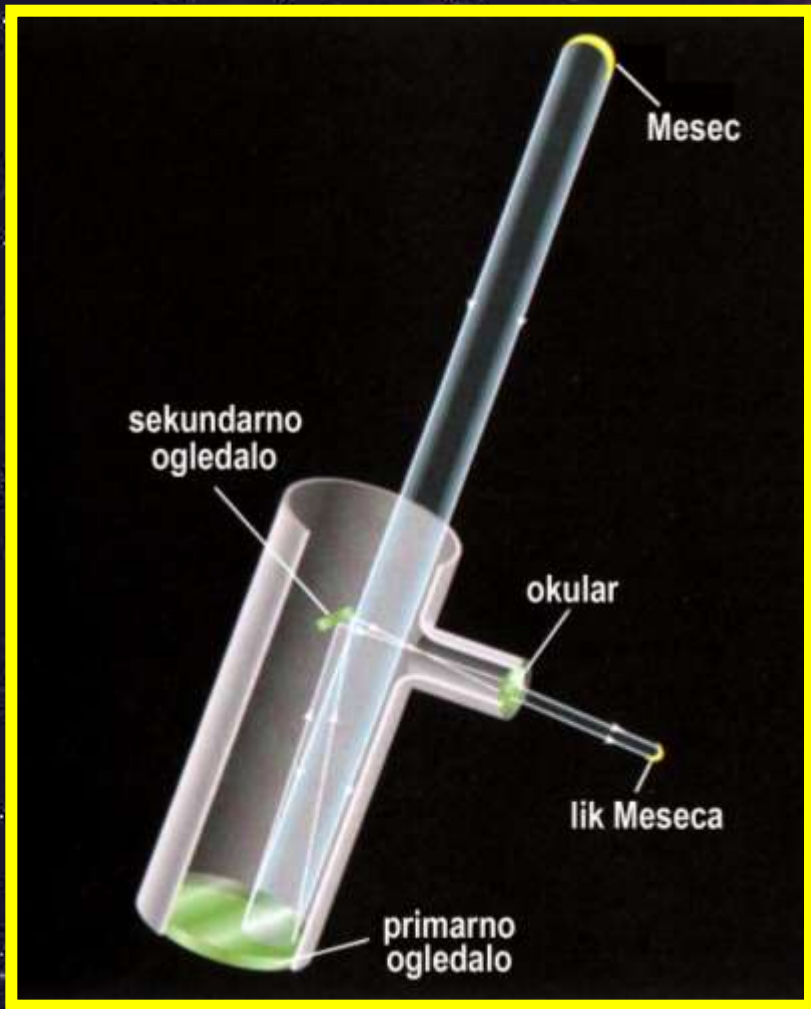


Reflektori: javljaju se u više varijanti (Njutnov, Gregorijev, Kasegrenov, itd.). Za fokusiranje se koristi ogledalo.

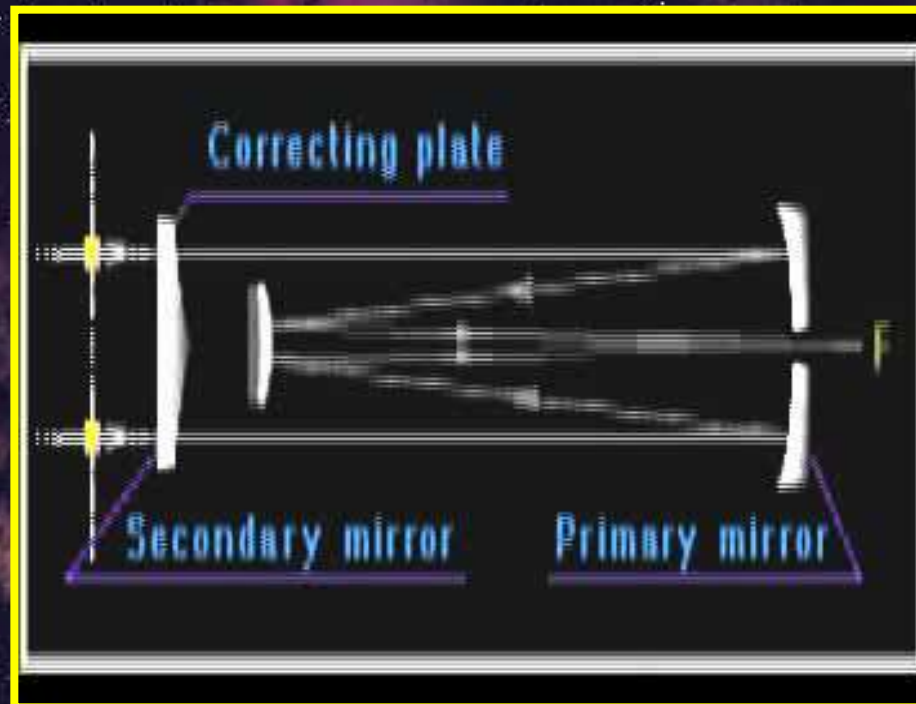


Njutnov reflektor (1661. g.): objektiv je od sfernog ogledala. U tubusu je malo sekundarno ravno ogledalo, postavljeno nešto ispred žiže objektiva. Konvergentan snop zraka ovo otklonsko ogledalo skreće pod pravim uglom van cevi teleskopa u okularni sistem.

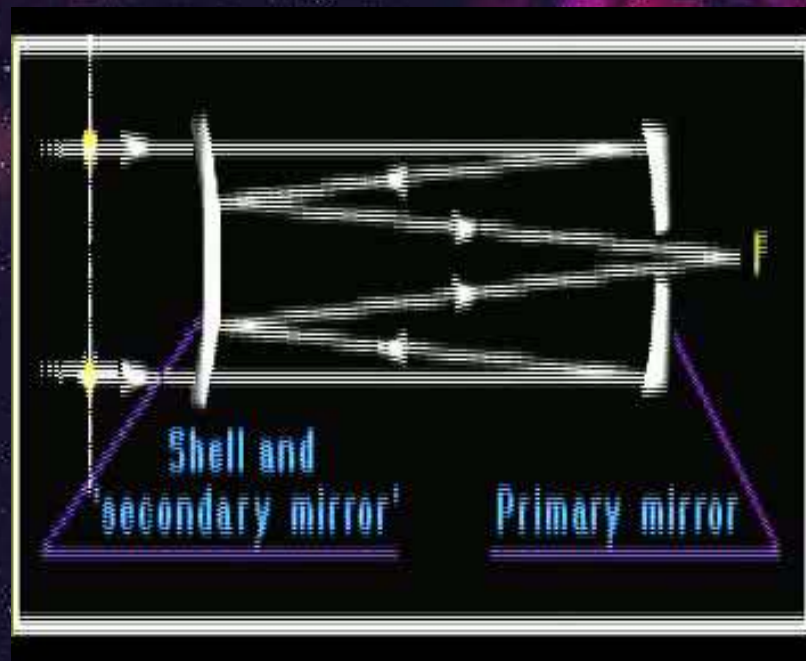
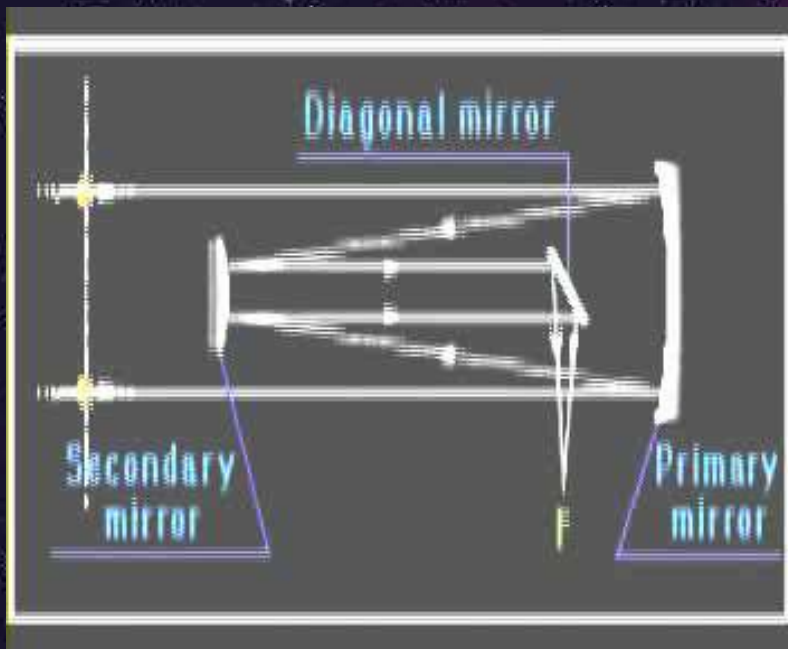




Gregorijev i Kasegrenov reflektor: radi se o reflektorima koji u sfernom ogledalu objektiva imaju otvor. Kroz njega prolaze zraci koji se odbijaju od konkavnog sfernog ili elipsoidnog sekundarnog ogledala. Ovo ogledalo nalazi se na optičkoj osi objektiva iza (Gregorijev) ili ispred žiže objektiva.



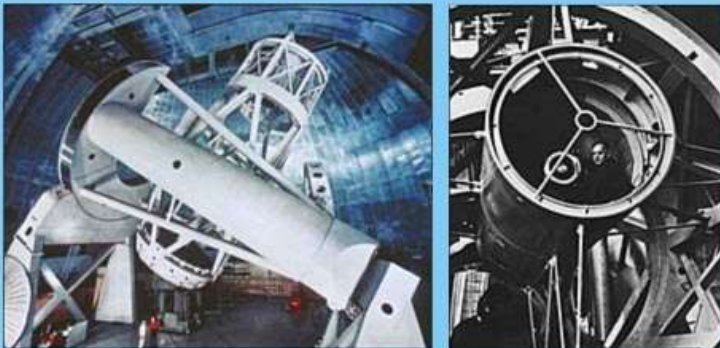
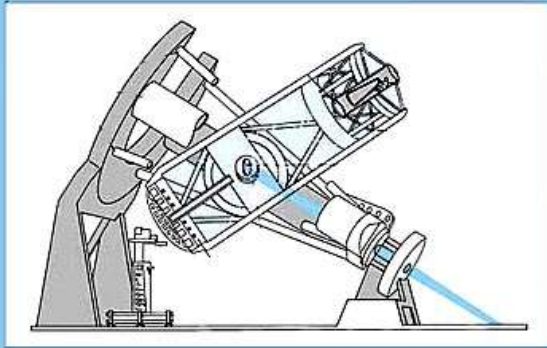
Kasegrenova optika kombinuje se ponekad sa Njutnovom



Kod Maksutovljevog katadioptričkog teleskopa optika se sastoji od sfernog ogledala i čeonog sočiva sa obe sferne površine. Sočivo koriguje aberaciju ogledala. Daje sliku vrlo velikog vidnog polja. Kombinuje se sa Kasegrenovom optikom.

Bez obzira na dimenzije, teleskop mora da bude stabilan, dobro izbalansiran, na masivnom podnožju uz lako rukovanje.

Palomarski teleskop



Teleskopi moraju posedovati mogućnost posmatranja svake tačke na nebu znad horizonta. Treba da se nalazi u preseku dve međusobno normalne osovine oko kojih može slobodo da se obrće.

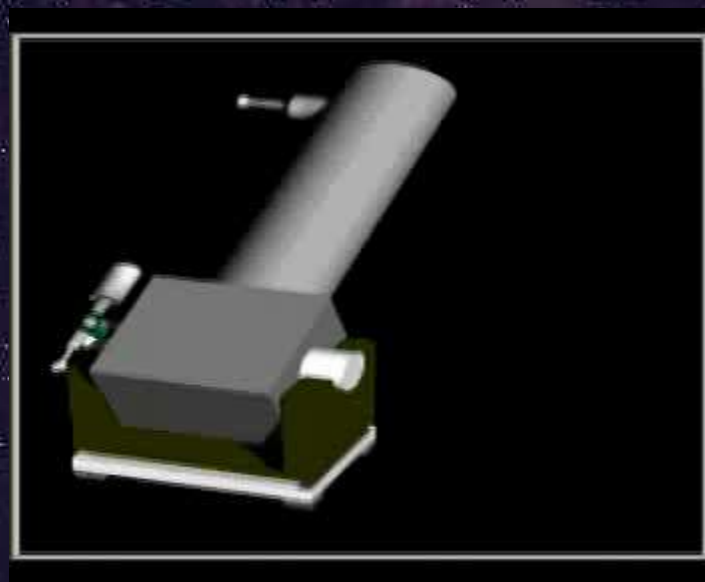


Opservatorija Persivala Lovela



U osnovi mehanizam omeranja teleskopa može biti: horizontska (azimutalna, altazimutalna) i ekvatorijalna (paralaktička) montaža. Obe montaže kreću se u različitim varijantama.

Horizontska (azimutalna) montaža: način montiranja teleskopa sa pokretanjem oko vertikalne i horizontalne osovine. Teleskopska osa orijentiše se u smeru zadatom visinom, oko horizontalne ose, i azimutom, oko vertikalne ose.



U poslednje vreme najveći teleskopi grade se sa ovakvom montažom. Ovakvi teleskopi koriste se za određivanje visine i azimuta nebeskih tela.

***Ekvatorijalna montaža:** koristi se sa jednom osovinom oko koje se obrću delovi teleskopa i koja je paralelna sa Zemljnom osom (polarna osovina). Druga osa je normalna na polarnu osu (deklinacijska osovina). Ovom montažom prati se dnevno kretanje nebeske sfere. Sreće se u više varijanti: nemačka, engleska, potkovičasta, viljuškasta, id.*



Kod nemačke ekvatorijalne montaže telesko je postavljen pored vertikalnog stub (stativ) sa časovnom osovinom, koja je paralelna polarnoj osi. Sa druge strane tubusa je protivteg, kojim se težište vraća na stub.



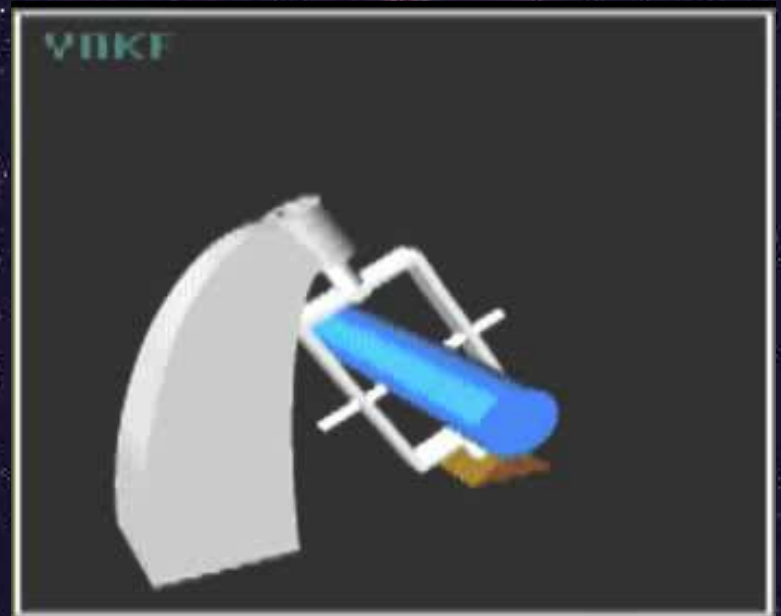
Kod engleske montaže osovinu paralelnu polarnoj osi nose dva stuba, koji su u meridijanskoj ravni. Varijanta ove montaže je američka (potkovičasta) montaža.



*Primer potkovičaste monaže:
Južna evropska opservatorija
u Čileu.*



*Postoje i duge variante
ove montaže. Takva je
npr. šetajuća montaža.*

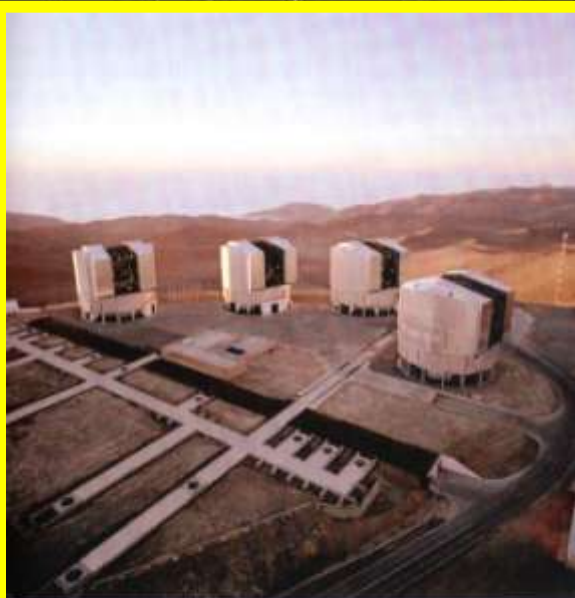


Optički teleskopi najveći na svetu

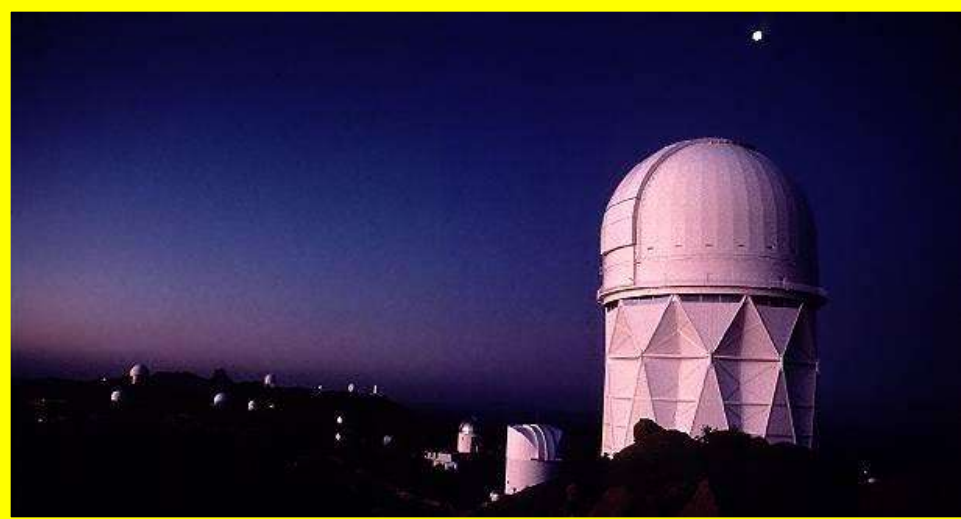
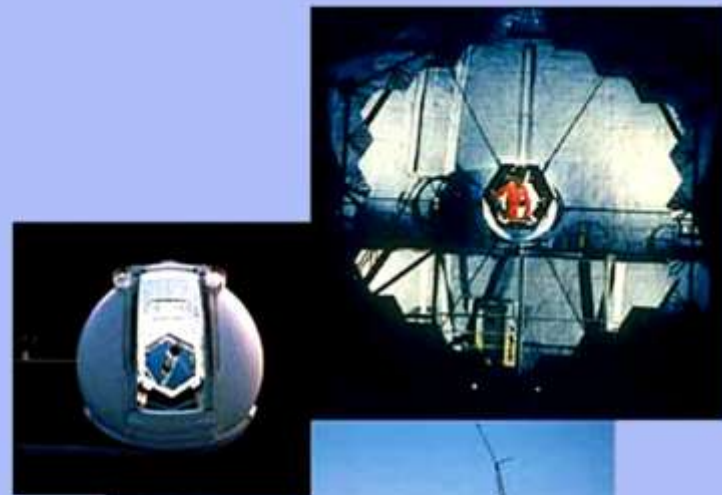
Naziv teleskopa	Lokacija	God. kompletiranja	Prečnik ogledala
Gran Telescopio Canarias	La Palma, Canary Islands, Spain	2004	10.4
Keck II	Mauna Kea, Hawaii	1996	10.0
Keck I	Mauna Kea, Hawaii	1993	10.0
Hobby-Eberly Telescope	McDonald Observatory, Texas	1998	11.0
South African Large Telescope	Sutherland, South Africa	2004	9.2
Large Binocular Telescope	Mount Graham, Arizona	2004–05	8.4
Subaru	Mauna Kea, Hawaii	1999	8.3
VLT UT 1–Antu	Cerro Paranal, Chile	1998	8.2
VLT UT 2–Kueyen	Cerro Paranal, Chile	1999	8.2
VLT UT 3–Melipal	Cerro Paranal, Chile	2000	8.2
VLT UT 4–Yepun	Cerro Paranal, Chile	2000	8.2
Gemini North (Gillett)	Mauna Kea, Hawaii	1999	8.1
Gemini South	Cerro Pachón, Chile	2000	8.1

U Evropi je u funkciji 9 teleskopa sa prečnikom od 3.5 do 4.2 m, 12 teleskopa između 1.9 i 3.5 m, 20 do 25 teleskopa sa ogledalima od 1 do 1.6 m.

Planira se da do 2016. g. bude završen Veliki evropski teleskop (VET) od 42 m, do 2018. teleskop od 30 m u Kanadi i Magelanov teleskop od 24.5 m u Australiji.



Četiri Vrlo velika teleskopa (VLT) Evroske južne opservatorije (ESO) u Atakama pustinji (Čile). Dijametri teleskopa su po 8.2 m



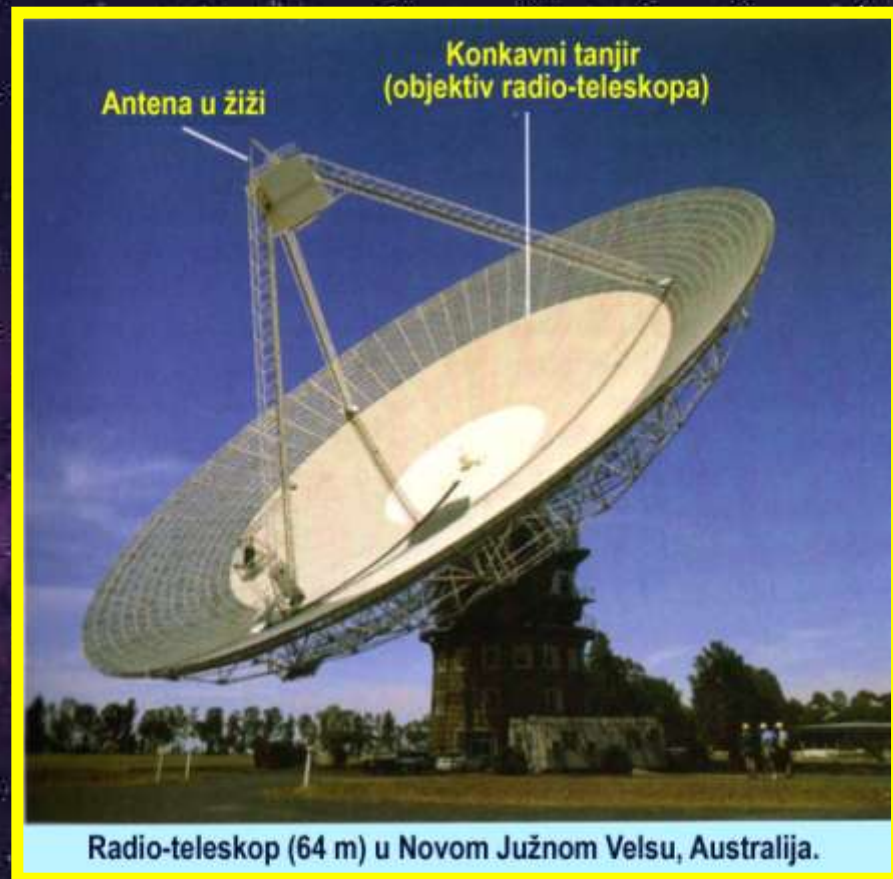
Mauna Kea, Havaji

Radio teleskop

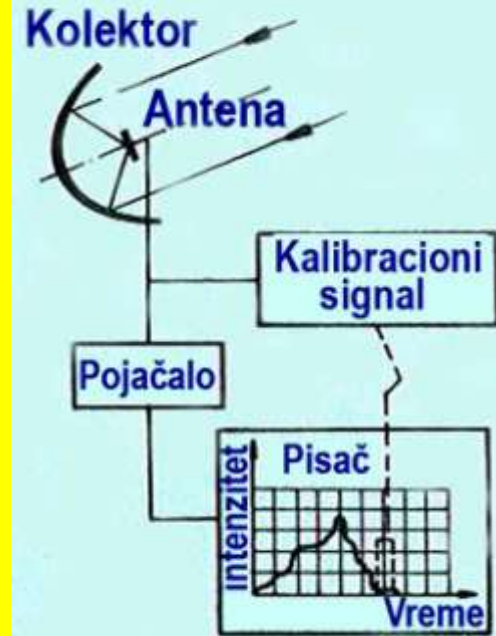


To su uređaji za prihvatanje radio zračenja kosmičkih objekata. Funkcijski odgovaraju reflektorskim teleskopima.

Ulogu primarnog ogledala igra metalni ili mrežasti paraboloid. Obično se (pogrešno) naziva antenom, mada se radi o kolektoru zračenja. U fokusu paraboloida nalazi se detektor – dipolni prijemnik.



Radio teleskop se sastoji od kolektora radio talasa, antene, provodnika, pojačala signala i kompjuterskog analizatora signala.



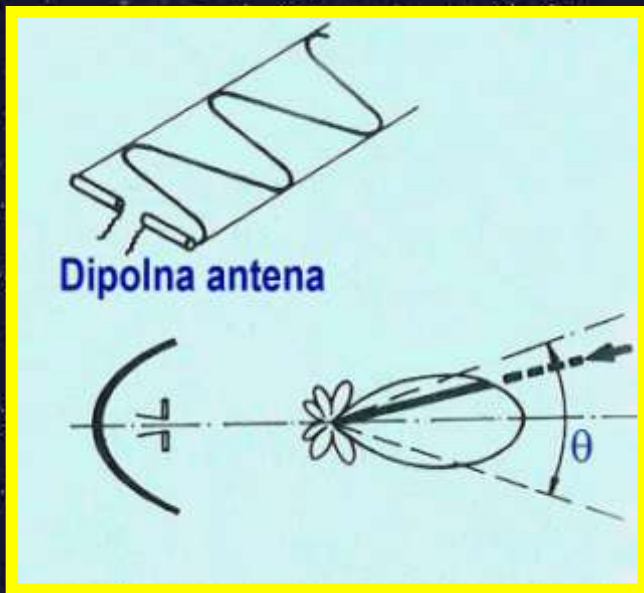
Koriste se i tzv. sinfazni radio teleskopi koji se sastoje od niza dipolnih (Yagijevih) antena.

Snaga ukupnog radio zračenja koje iz Kosmosa dospeva do površine Zemlje je jako mala (odgovara snazi svega par sijalica). Iz tih razloga kolektori radio teleskopa imaju velike dimenzije. Npr. radio teleskop Aresibo (Portoriko) ima najveći nepokretni kolektor prečnika od 305 m. Nalazi se u krateru ugašenog vulkana, a u funkciji je od 1963. godine. Pokretni kolektor radio teleskopa kod Bona ima prečnik od 100 m.

U Zelenčuskoj opservatoriji na Kavkazu, na visini od 2100 m, nalazi se radio teleskop RATAN 600, koji ima kolektor u obliku prstena prečnika 576 m.



Veliki problem u radio astronomiji je eliminacija šumova, koji najčešće potču sa Zemlje i koji su znatno intenzivniji od posmatranog signala. Zato se danas razvijaju metode za razdvajanje pravilnih radio signala nebeskih radio izvora od znatno složenijih šumova stohastičke prirode.



*Osetljivost radio teleskopa najveća je za zračenje koje dolazi iz pravca vizure, a zbog difrakcije brzo se menja sa povećanjem ugla odstupanja od ovog pravca. Zato je potrebno poznavanje **dijagrama osetljivosti** – funkcije osetljivosti od pravca u polarnim koordinatama. Dijagram je u obliku latice.*

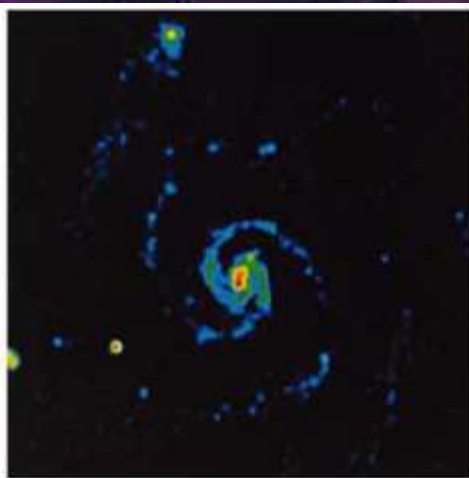
***Razdvojni ugao** radio teleskopa jednak je polovini ugaone širine dijagrama usmerenosti.*

U fluksu kolektora radio teleskopa ne formira se slika, već se radio fotometrom dobija raspodela intenziteta radio zračenja koje potiče od fokusiranog izvora.

Povezivanjem tačaka sa istim intenzitetom zračenja dobijaju se radio izofote. Njihovo poznavanje daje dodatnu sliku o strukturi kosmičkog objekta, izvora zračenja.



Orionova maglina: snimak u vidljivoj i radio oblasti
Udaljenost: 1500 sg

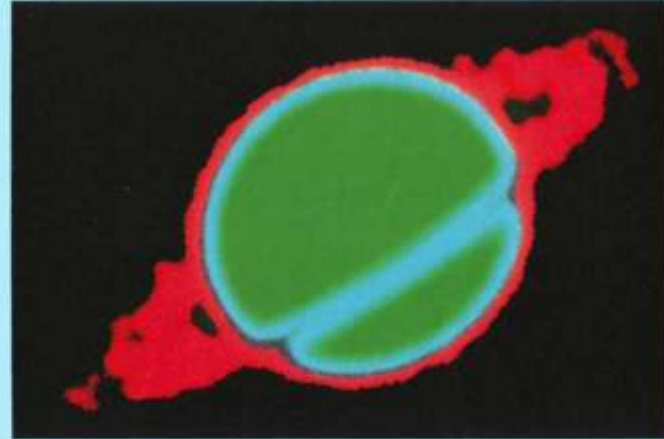


M51: snimak radio teleskopom
Kit Peak (4m)



M51: snimak u vidljivom delu spektra

Kompjuterskom obradom radio izofota u “lažnim bojama” može se dobiti slika kosmičkog objekta. Ona se često drastično razlikuje od slike dobijene u optičkom delu spektra.



Snimak Saturna u vidljivom i radio području

*Za povećanje razdvojne moći radio teleskopa koriste se **radio interferometri** – radio vezom spregnuti pojedinačni radio teleskopi.*

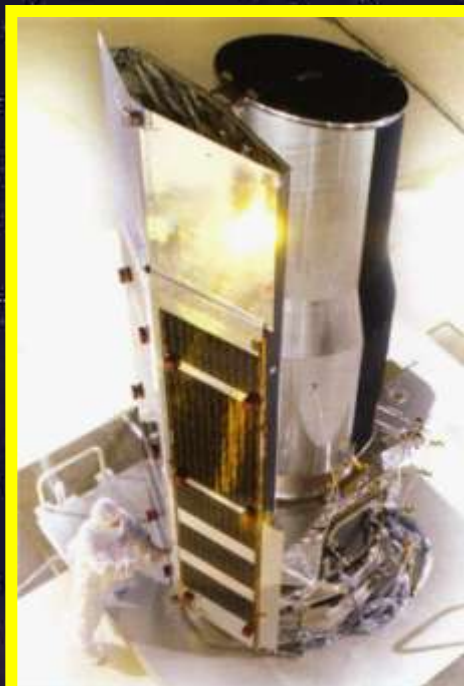


Interferometar u Novom Meksiku (dužina "krsta" 30 km sa 27 radio-antena)

VLBA je radio interferometar u SAD kod kojeg se koriste radio teleskopi na havajskom ostrvu Mauna Kea i na Devičanski ostrvima. Tu baza iznosi 8000 km i postiže se ugaono razdvajanje od 0.001". Koriste se i drugi uređaji (MERLIN, VLBI, itd.).

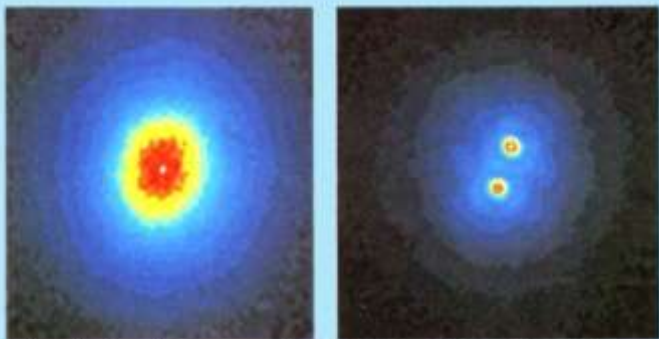


U poslednjih par decenija istraživanje Kosmosa obavlja se i u drugim oblastima e.m. zračenja. To se uglavnom radi na taj način što se detektori zračenja pomoću balona ili satelita šalju izvan Zemljine atmosfere.



Spicerov kosmički teleskop
Najveći IC teleskop, postavljen
u orbiti oko Zemlje 2003. godine

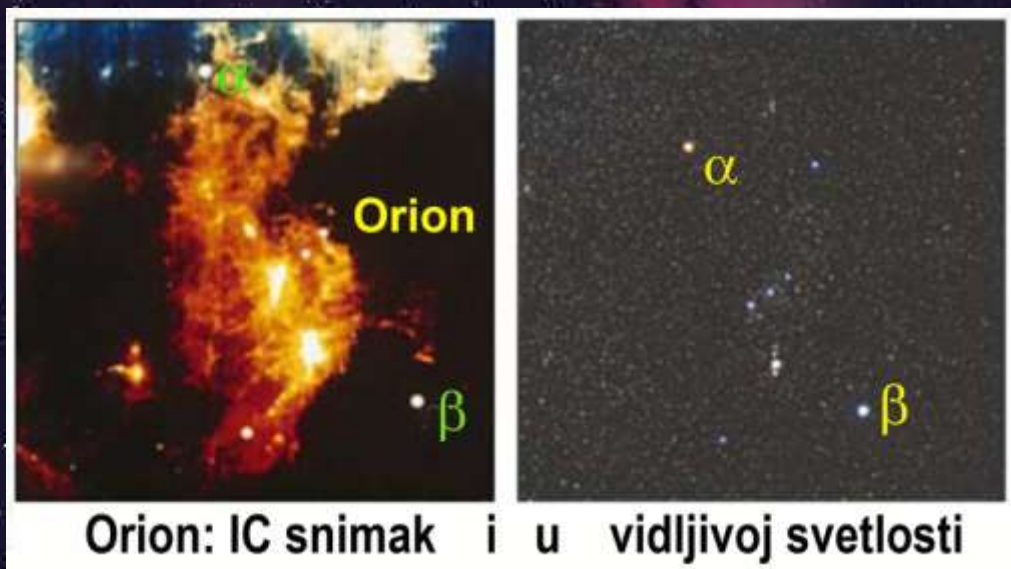
Takav je slučaj sa IC teleskopima.



Snimak dvojne zvezde u bliskoj IC oblasti, snimljen na kanadsko-francusko-havajskom teleskopu (Mauna Kea), bez adaptivne optike za atmosferske smetnje (levo) i sa njom (desno)



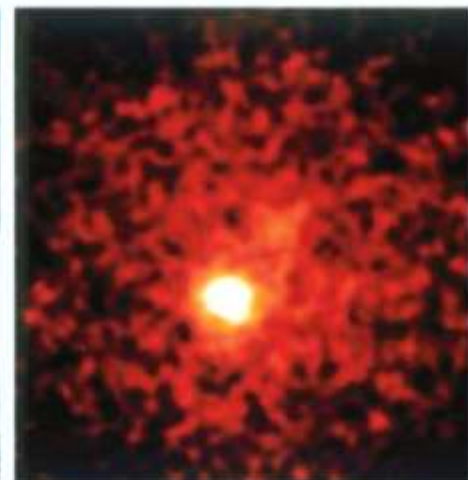
Metode IC astronomije su u punom zamahu razvoja.



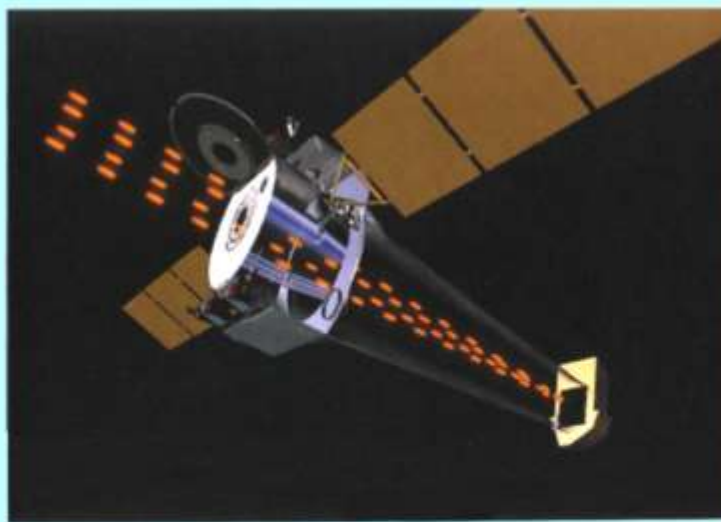
*Razvijaju se i metode
UV, X i gama astronomije.*



Gamma-Ray
Observatory



Gama snimak galaksije
3C279

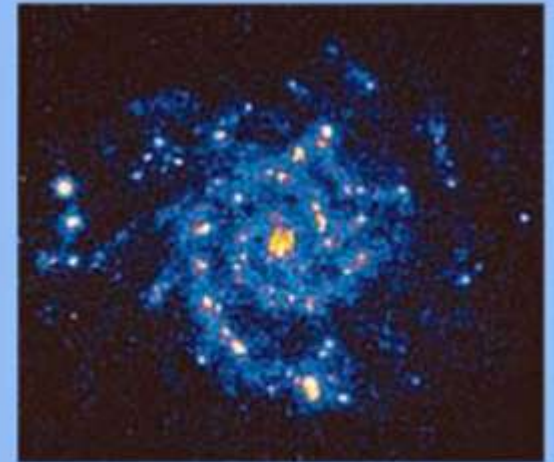


Sateliti sa instrumentima za snimanje u oblasti X zračenja
Chandra: satelit NASA, lansiran 1999. godine, mase 5t, dužine 13 m, sa rendgenskim teleskopom visoke rezolucije



XMM-Newton: satelit ESA, lansiran 1999. godine. Ima 3 rendgenska teleskopa, kao i teleskope za vidljivo i UV zračenje

Ove metode daju potpuno nova saznanja o procesima u kosmičkim objektima.



Snimak galaksije M74 u rendgenskoj oblasti

Snimci Oriona



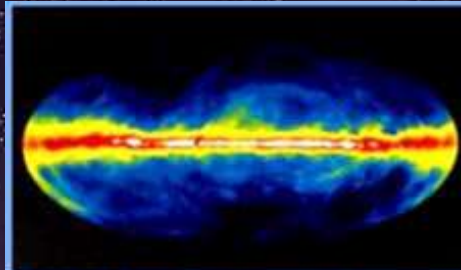
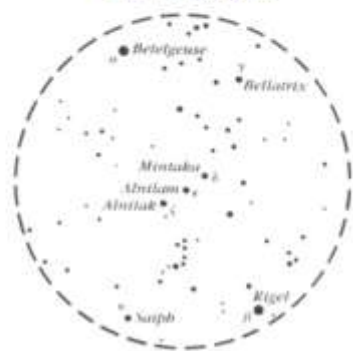
UV oblast



IC oblast



Optička oblast



snimak u radio oblasti



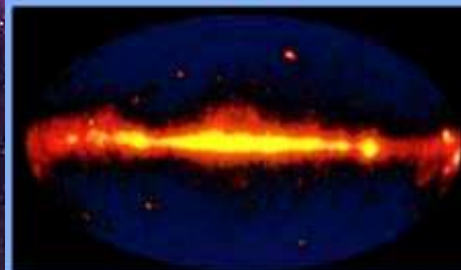
snimak u IC oblasti



snimak u vidljivoj oblasti



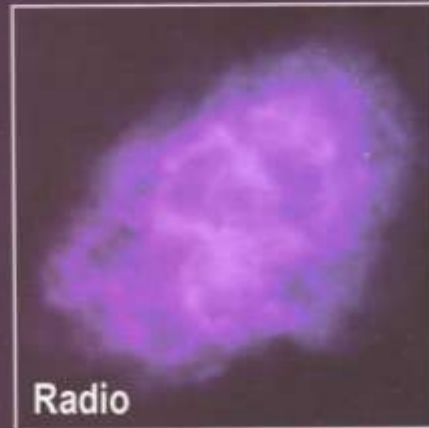
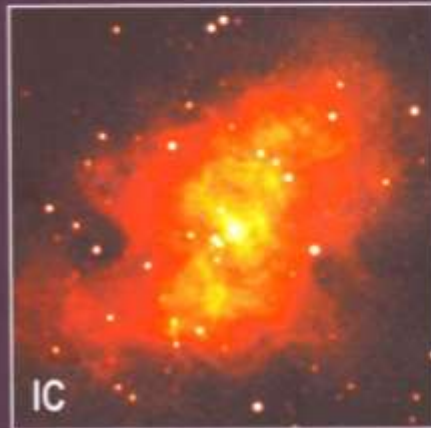
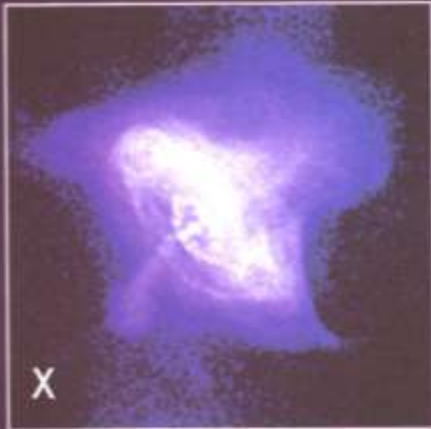
snimak u rendgenskoj oblasti



snimak u gama oblasti

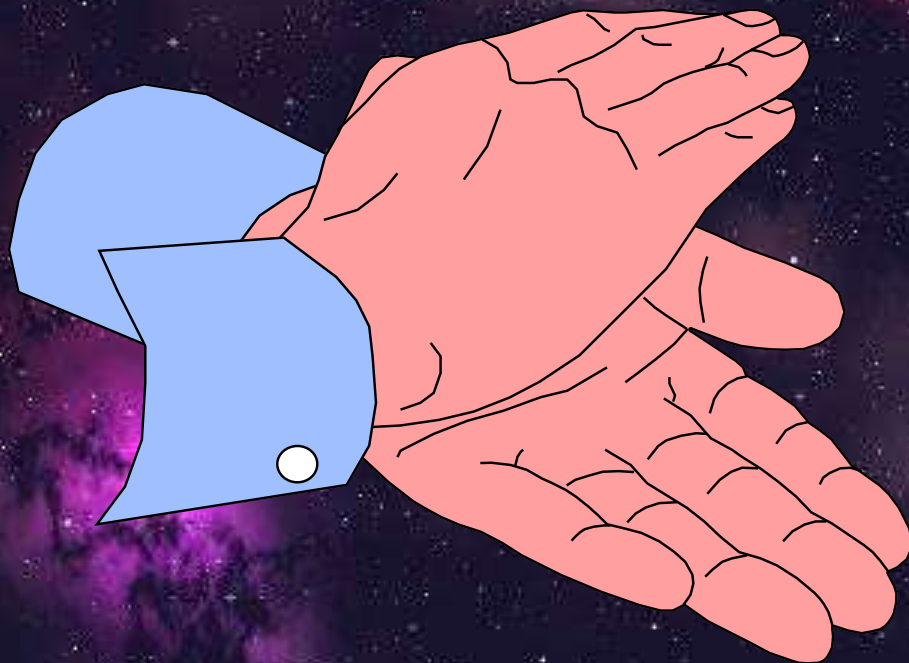
Mlečni put

Maglina Raka u sazvežđu Bika
-ostatak supernove iz 1054. godine-



Maglina Raka u sazvežđu Bika nastala je nakon eksplozije supernove 1054. godine. Širina magline je oko 6 s.g. a od nas je udaljena oko 6000 s.g. U njenom središtu je pulsar – brzo rotirajuća neutronska zvezda, čija se osa rotacije ne podudara sa osom njenog magnetnog polja.

Hvala na pažnji!



To be continued...