

Teleskopoj – de Galileo ĝis la Spac-teleskopo



Amri Wandel

Israelano (1954). Profesoro de astrofiziko en la Universitato de Jerusalemo, gastprofesoro en la Universitato de Los-Anĝeleso. Membro de la Akademio de E-o, profesoro ĉe AIS. Ofta preleganto pri astronomio en IKU. Iama estrarano de UEA pri scienca kaj faka agado, iama prezidanto de TEJO, prezidanto de E-Ligo en Israelo. Kunaŭtoro de la libro *La kosmo kaj ni* (2001; 2005)

Resumo

La Jaro 2009 estas la 400a datreveno de la invento kiu ŝanĝis nian komprenon de la universo: la teleskopo. Tial ĝi estis proklamita de UN kaj Unesko la internacia jaro de Astronomio. Galileo Galilei utiligis sian inventaĵon por malkovri interesajn astronomiajn objektojn kaj fenomenojn, kiel makulojn sur la Suno, la kvar lunojn de Jupitero kaj la fazojn de Venuso. Tiu lasta malkovro ankaŭ konfirmis la heliocentran teorion de lia pola samepokano Koperniko. La simplan du-lensan tubon de Galileo nuntempe anstataŭas gigantaj speguloj en la spaco kaj ĉe la pintoj de altaj montoj. Per ili ni povas esplori galaksiojn preskaŭ ĉe la horizonto de nia universo, je distanco (tempa kaj spaca) de miliardoj da lumjaroj. La okulojn de Galileo anstataŭas komplikaj elektronikaj kaj optikaj aparatoj, kiel CCD kaj la spektrometro. La nunaj teleskopoj ne estas limigitaj al la videbla lumo, sed esploras la universon en pluraj specoj da radiado ne videblaj al la homa okulo, kiel radio-ondoj, infra-ruĝo kaj X-radioj. En la daŭrigaj prelegoj ni lernos pli pri tiuj aliaj specoj de teleskopoj, pri novaj teleskopaj teknikoj kiel spektrometrio kaj korekta optiko, kaj fine traigos la plej gravajn perteleskopajn observojn kaj malkovrojn kiuj ŝanĝis nian komprenon de la universo.

Telescopes – from Galileo to the Space telescope

Abstract

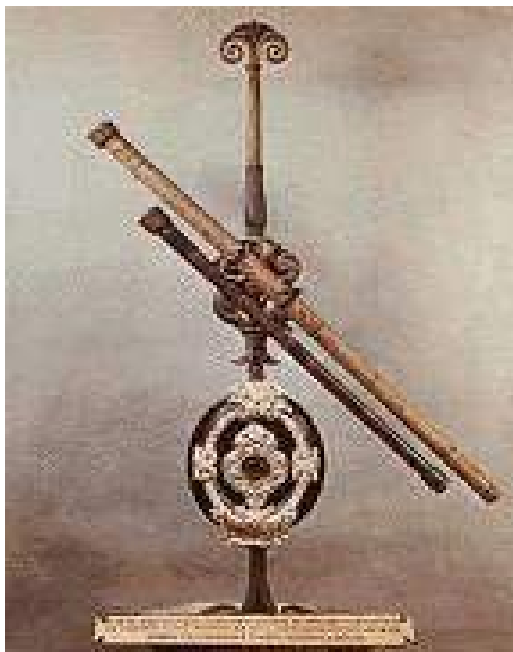
The year 2009 is the 400th anniversary of the invention that changed our understanding of the universe: the telescope. For this reason, it was proclaimed by UNESCO as the International Year of Astronomy. Galileo Galilei used his invention to discover interesting astronomical objects and phenomena, such as sunspots, Jupiter's four moons and the phases of Venus. That last discovery also confirmed the heliocentric theory of his Polish contemporary Copernicus. Galileo's simple tube with two lenses is now replaced by gigantic mirrors in space and at the tops of tall mountains. With these we can investigate galaxies almost at the horizon of our universe, at a distance (in time and space) of thousands of millions of light years. Galileo's eyes are replaced by complicated electronic and optical equipment, such as CCDs and the spectrometer. Today's telescopes are not limited to visible light but explore the universe through several types of radiation invisible to the human eye, such as radio waves, infrared and X-rays. In the follow-up lectures we will learn about these other kinds of telescopes, about new telescope technologies such as spectrometry and corrective optics, and finally we will go through the most important telescopic observations and discoveries which have changed our understanding of the universe.

Teleskopoj – de Galileo ĝis la Spac-teleskopo

1. Enkonduko

Astronomio estas unu el la plej antikvaj fundamentaj sciencoj. Ĝi profunde influas nian kulturon kaj estas potenca esprimo de la homa intelekto. En la lastaj jardekoj la astronomia esploro faris gigantan progreson. Antaŭ cent jaroj ni apenaŭ konsciis pri la ekzisto de la Lakta Vojo, nia hejma galaksio. Hodiaŭ ni scias ke la Universo konsistas el miliardoj da galaksioj, kaj ke ĝia aĝo estas 13,7 miliardoj da jaroj. Antaŭ dudek jaroj ni ne sciis, ĉu ekzistas planedaj sistemoj similaj al nia Sun-sistemo. Hodiaŭ ni konas pli ol ducent planedojn ĉirkaŭ aliaj steloj en nia parto de la Lakta Vojo. Antaŭ cent jaroj ni observis la ĉielon nur per la lumo videbla per niaj okuloj. La nunaj teleskopoj ne estas limigitaj al la videbla lumo, sed esploras la universon en pluraj specoj da radiadoj ne videblaj al la homa okulo, kiel radio-ondoj, infra-ruĝo kaj X-radioj.

La Jaro 2009 estas la 400a datreveno de la inventaĵo kiu ŝanĝis nian komprenon de la



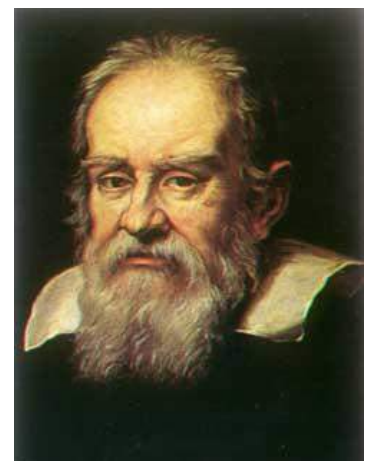
Frua teleskopo el la 17a jarcento

universo: la teleskopo. Tial ĝi estis proklamita de Unesko la internacia jaro de Astronomio. Galileo Galilei utiligis sian inventaĵon por malkovri interesajn astronomiajn objektojn kaj fenomenojn, kiel makulojn sur la Suno, la kvar lunojn de Jupitero kaj la fazojn de Venuso. Tiu lasta malkovro ankaŭ konfirmis la heliocentran teorion de lia pola samepokano Koperniko. De tiu epoko la astronomio evoluis enorme. La simplan tubon de Galileo nuntempe anstataŭas gigantaj teleskopoj en la spaco kaj ĉe la pintoj de altaj montoj. Per ili ni povas esplori galaksiojn preskaŭ ĉe la horizonto de nia universo, je distanco (tempa kaj spaca) de miliardoj da lumjaroj. La okulojn kaj desegnaĵojn de Galileo anstataŭas komplikaj elektronikaj kaj optikaj aparatoj, kiel CCD kaj la spektrometro, per kiuj sciencistoj povas analizi la lumon el la steloj kaj galaksioj kaj konkludi pri ili multe pli ol videblas al la homa okulo.

2. Frua Historio

Teleskopo estas optika aparato kiu amasigas kaj enfokusigas elektromagnetan radiadon (ofte de astroj). Ĝi pligrandigas la ŝajnan angulan grandecon de objektoj kaj amplifas la ŝajnan helecon de astroj. Ĝia nomo venas de la greka, tele = malproksima kaj skopo = rigardi, vidi.

La teleskopo estis inventita de Roger Bacon, kiu studis optikon kaj lensojn en la 12a jarcento. La unuaj teleskopoj aperis en Nederlando en 1608. La inventistoj de la teleskopo: Hans Lippershey kaj Zacharias Janssen, okulvitristoj de Middelburg, kaj Jacob Metius de Alkmaar. En 1609 Galileo Galilei plibonigis kaj unue uzis la teleskopon por observi astrojn – la sunon, la lunon kaj planedojn. Tio estis la unua uzo de teleskopo por astronomiaj celoj.



Galileo Galilei

La plej signifaj astronomiaj malkovroj de Galileo Galilei estis:

- * la fazoj de Venuso
- * la kvar lunoj de Jupitero
- * makuloj sur la Suno
- * krateroj sur la Luno

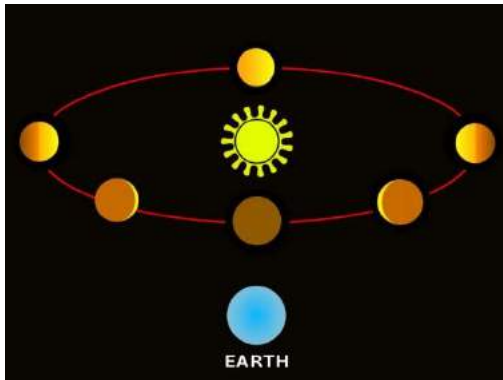
3. Unuaj malkovroj

Tra sia teleskopo Galileo vidis astrajn trajtojn kiujn neniu homo antaŭ li povis rimarki, kaj faris pluraj malkovrojn kun gravajn sciencaj implicioj.



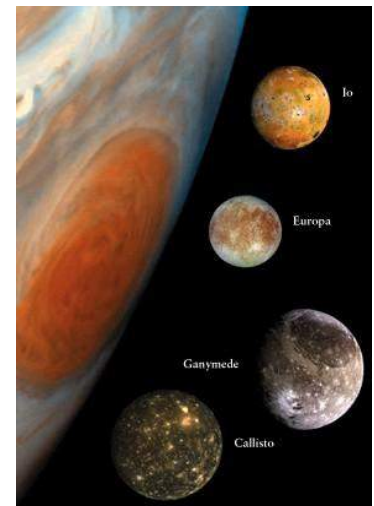
3.1 La fazoj de Venuso

Li notis ke la planedo Venuso ne estas punkto kiel ĝi aspektas al la nuda okulo, sed simile al la luno, foje ĝi estas plena, foje kiel duonluno, foje kiel novluno. Kiam Venuso estis plena ĝi aspektis plej malgranda, kaj kiam novluna – kvankam mallarĝa, kiel parto de pli granda cirklo. El tio Galileo konkludis ke Venuso kaj Tero revoluas ĉirkaŭ la suno. Laŭ tiu modelo, ke Venuso estas novluna kiam ĝi troviĝas inter Tero kaj la Suno, kaj ni vidas ĉefe ĝian nelumigitan parton, kaj plena kiam ĝi troviĝas en la parto de ĝia orbito plej for de Tero, kaj la Suno estas inter Tero kaj Venuso. Tiu observo forte subtenis la heliocentrisman teorion de Nikolao Koperniko.



3.2 Jupitero kaj ĝiaj lunoj

La brila planedo Jupitero aperis en la teleskopo de Galileo kiel cirklo, kun strioj kaj ruĝa makulo. Aldone, Galileo estis la unua homo kiu vidis ke Jupitero havas kvar etajn akompanantojn – lunojn – kiuj estas ordigitaj en la formo de perfekte rekta linio. Ili estas pli malpli similaj al la luno de Tero, kaj Galileo nomis ilin laŭ kvar nimfoj en la greka mitologio. Laŭ la distanco de Jupitero ili estas Io, Europa, Genymede kaj Calypso.



3.3 Makuloj sur la Suno

Tra sia teleskopo Galileo rimarkis ke la ora perfekta disko de la Suno ne estas senmakula: jen kaj jen ĝi havas malhelajn makulojn kiuj ŝanĝiĝas laŭ formo kaj situo.



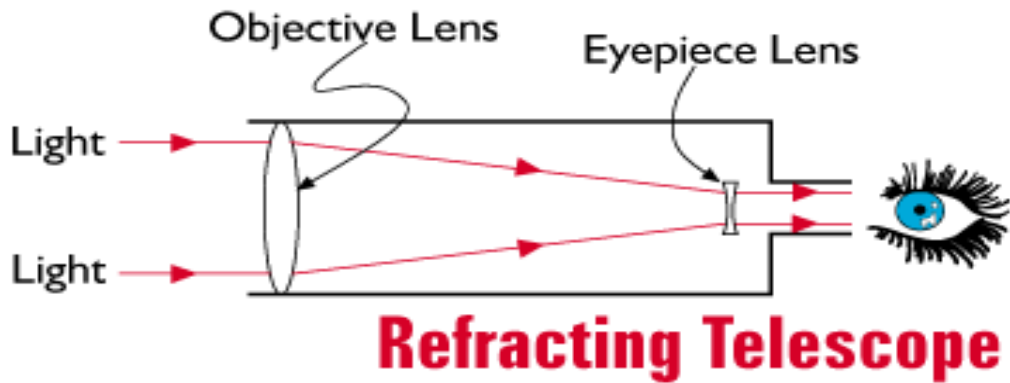
3.4 Krateroj sur la Luno

Galileo notis ke la brile lumigata luno montras centojn da grandaj kaj malgrandaj krateroj, supozeble pro la kolizio de meteoritoj kaj aliaj astroj. Ankaŭ la teron, kompreneble trafas tiuj “falantaj steloj”, sed ili ne lasas tiom da krateroj, unue ĉar tri kvaronoj de la tera surfaco estas oceanoj, kaj due, ĉar la klimato dum la jaroj ilin forviŝas. Kontraŭe, sur la surfaco de la senatmosfera Luno la krateroj restas eterne.

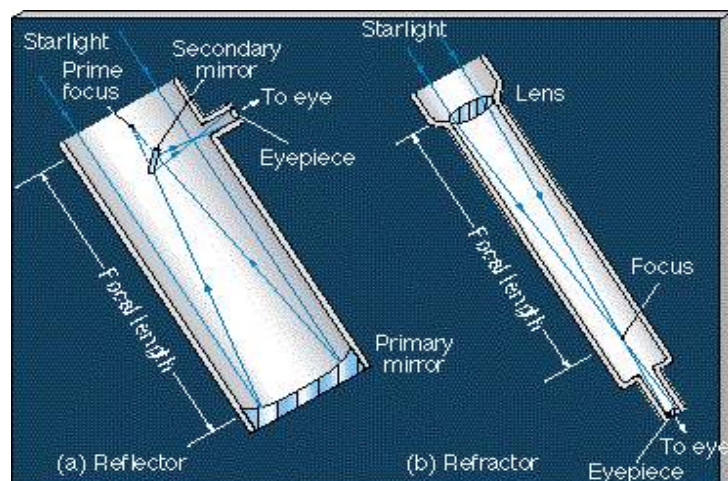
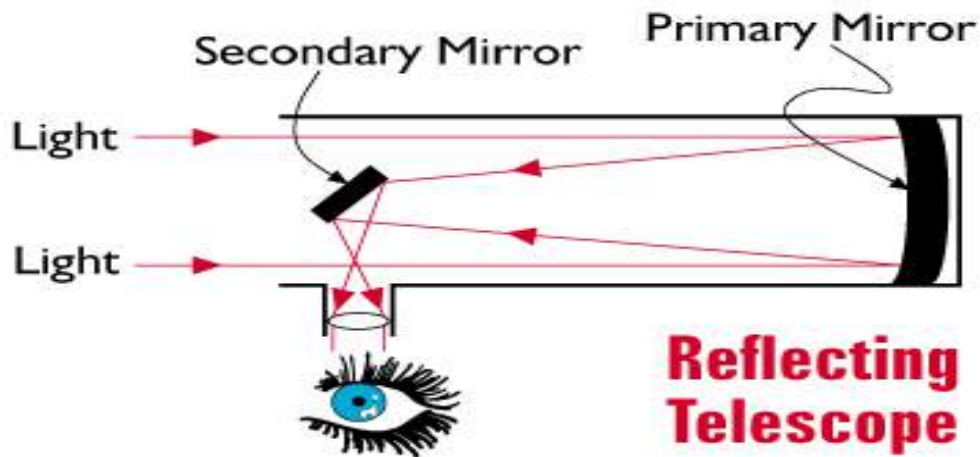
4. Strukturo de la teleskopoj

La unuaj teleskopoj uzis **lensojn**. Ili nomiĝas **refraktaj** teleskopoj. Unue ekzistis la tipoj laŭ Kepler kaj Galileo.

La Galilea teleskopo konsistis el du lensoj: objektivo, aŭ objekta lenso, kiu estas larĝa ĉar ĝia tasko estas kolekti kaj enfokusigi kiel eble pli da lumo, kaj okulario, aŭ okula lenso, kiu “rektigas” la bildon enfokusigitan de la objektivo.



Por konstrui pli grandajn teleskopojn oni uzas **spegulojn**. Ili nomiĝas **reflektaj** teleskopoj. La objektivon anstataŭas konkava spegulo kiu enfokusigas la lumon, kaj alia, pli malgranda plata aŭ konvekso spegulo anstataŭas la okularon.



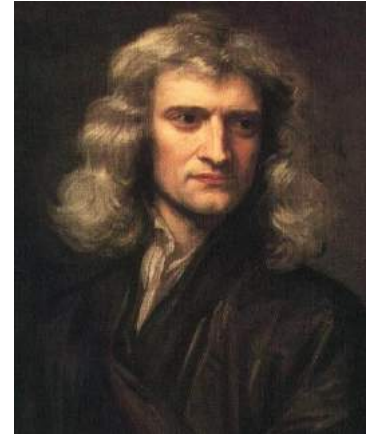
5. Evoluo de la reflekta teleskopoj

1616 – la unua (ne praktika) spegula teleskopo.

1668 – Isac Newton konstruas la unuan praktikan reflektan teleskopon

1672 – Laurent Cassegrain proponas novan strukturon (plej populara nuntempe)

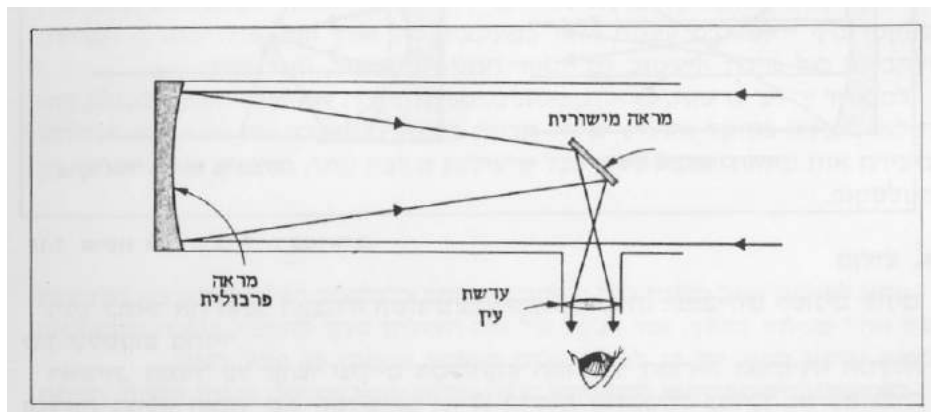
1771 – oni anstataŭigas la konkavajn sferajn spegulojn per paraboloidaj speguloj



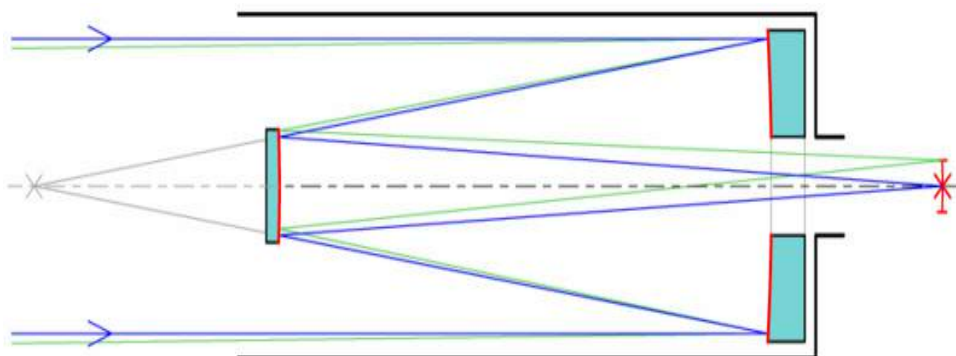
Isac Newton

6. Specoj de reflektaj teleskopoj

En la Newtona dezajno plata speguleto ŝanĝas la direkton de la lumradioj el la objektivo kaj direktas ilin al okularia lenso kiu rektigas la bildon.

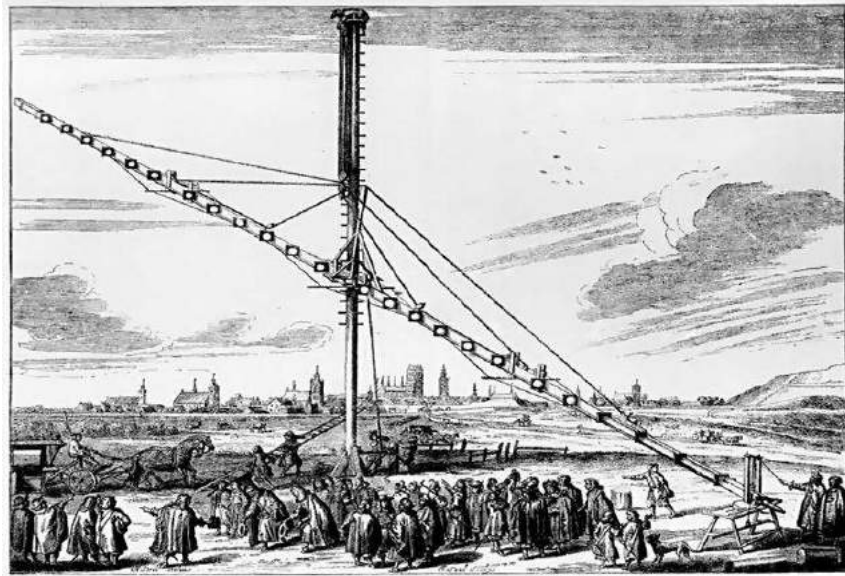


En la dezajno laŭ Cassegrain, speguleto reflektas la lumradiojn en la direkton de la objektiva spegulo kie ili pasas tra eta truo en la spegulo al la observanto.



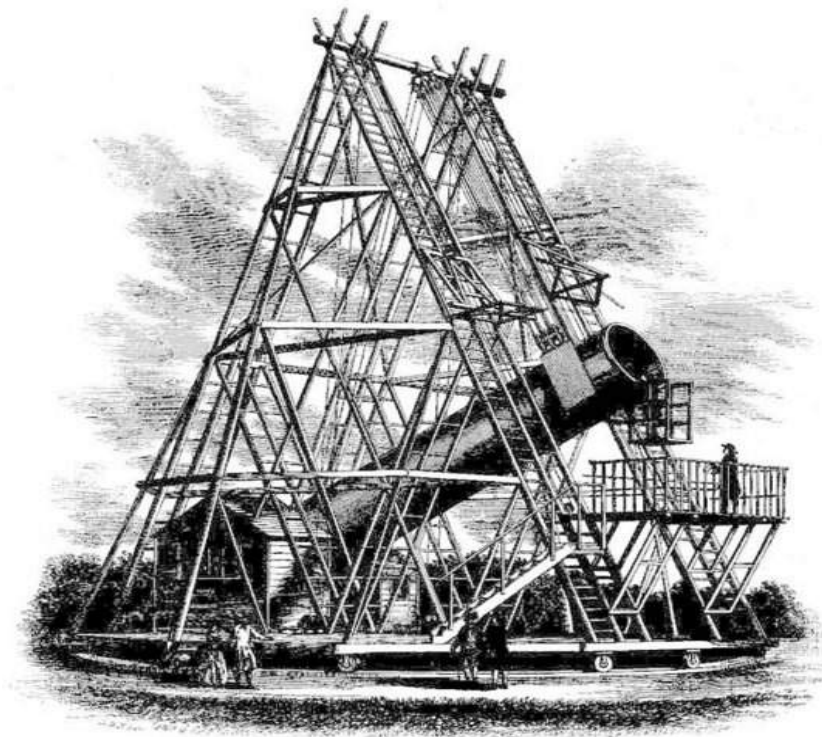
7. Historiaj teleskopoj

Iom post iom oni konstruis pli kaj pli grandajn teleskopojn. La unua teleskopo de Galileo havis diametron de nur 1,5 cm. En 1612 li konstruis pli bonan modelon kun diametro de 2,6 cm, kaj en 1620 – 3,8 cm. Dudek jarojn poste Hevelius konstruis en Gdańsk reflektan teleskopon kun diametro de 12 cm, kiu estis 45 metrojn longa.



La teleskopo de Hevelius

En 1686 la Nederlandano Christiaan Huygens konstruis lensan teleskopon kun diametro de 22 cm. En 1750 James Short el Skotlando atingis diametron de 50 cm. En la periodo 1789-1815 William Herschel funkciigis en Anglio gigantan teleskopon kiu estis 13 metrojn longa kaj havis diametron de 126 cm.



La giganta teleskopo de Herschel

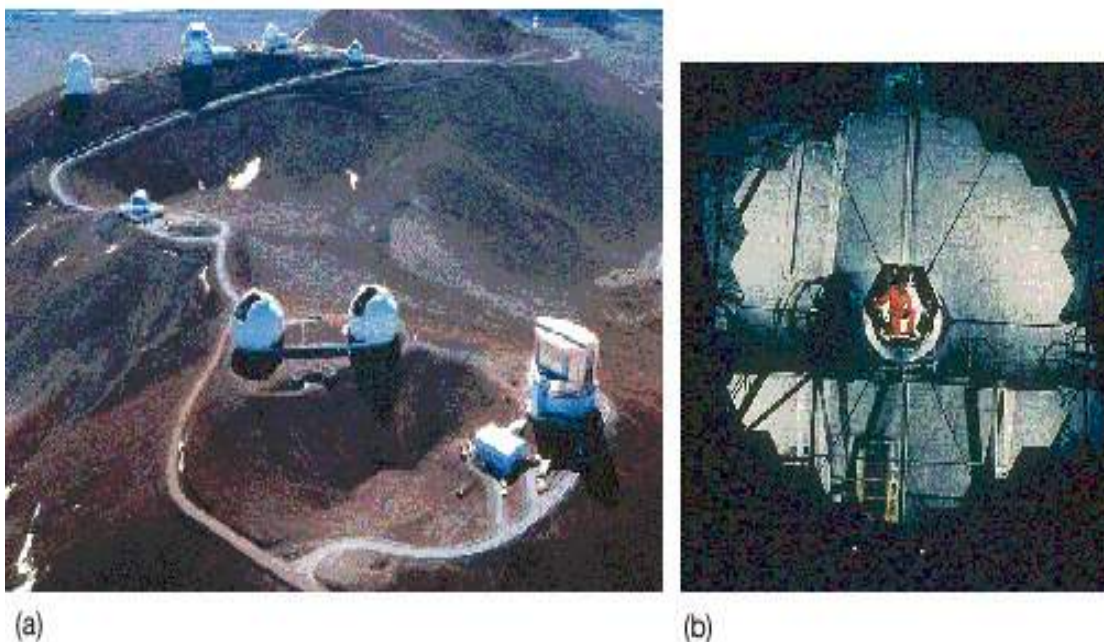
La sekvaj plej grandaj teleskopoj estis konstruitaj en Kalifornio: Hooker (diametro de 2,5 metroj) sur monto Wilson en 1917, kaj Hale (5 m) sur monto Palomar en 1948. Dum preskaŭ tri jardekoj la ĉi lasta estis la plej granda teleskopo de la mondo. Latatempe, en 1993, la Keck-teleskopo sur la monto Manua Kea en Havajo, kun 10-metra diametro fariĝis la plej granda en la mondo, ĝis antaŭ tri jaroj, kiam oni konstruis iomete pli grandan teleskopon en la Kanariaj Insuloj.



La 2,5-metra Hooker teleskopo sur Monto Wilson, Kalifornio



La 5-metra Hale-teleskopo sur Monto Palomar, Kalifornio

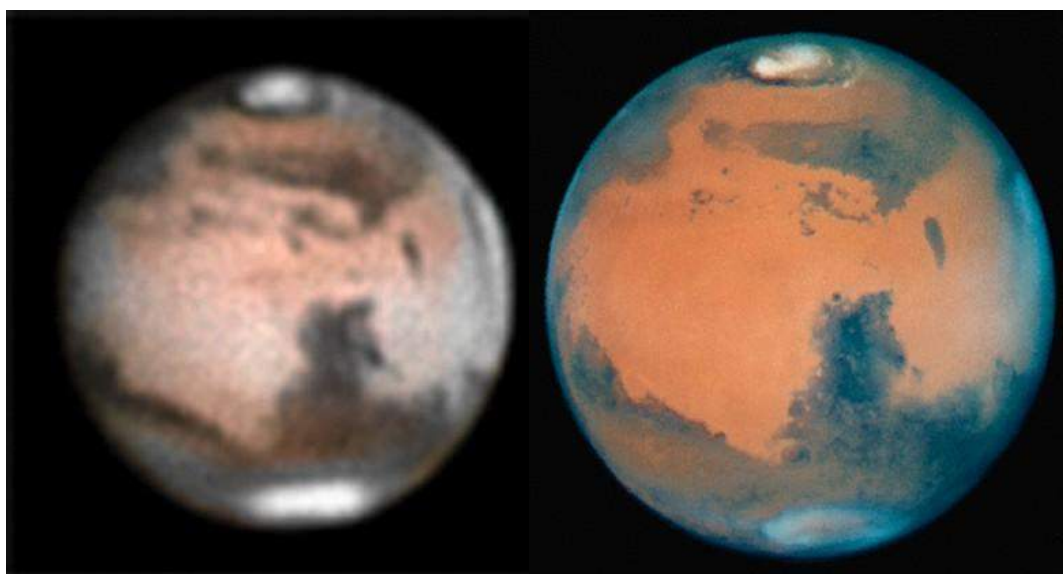


(a) La teleskopo Keck – de 1993-2006 la plej granda de la mondo.
 (a) la pinto de monto Manua Kea, Havajo, (b) la 10-metra spegulo, konsistanta el heksagonaj pecoj

8. La spac-teleskopo “Hubble”

Kvankam nia atmosfero estas travidebla al lumo, eĉ videbla lumo suferas de la trapaso tra la atmosfero. Altaj nuboj, polvo kaj malsekeco distordas la bildon. Eĉ en perfektaj kondiĉoj, la lumradioj iomete kurbiĝas pro refrakcio en la tavoloj de la atmosfero, kaj tiu kurbiĝo daŭre ŝanĝiĝas pro la moviĝo de la aero pro ventoj kaj vertikalaj varmaj kurentoj. La rezulto estas la konata “okulumo” de la steloj, kiam oni ilin rigardas per okulo. Se oni faras longdaŭran foton, kiel estas pli kutime en moderna esplorado de foraj kaj malhelaj astroj, la rezulto estas kvazaŭ ne enfokusigita bildo.

Stelo, kiu sub idealaj kondiĉoj aperus en la foto kiel punkto, efektive kreas pro la atmosfera malhelpo “nubon” da punktoj, kies angula diametro estas inter unu ark-sekundo kaj pluraj sekundoj.



Du aspektoj de Marso: dekstre el la spaco, maldekstre de la tera surfaco

Por povi havi pli akrajn bildojn oni lanĉis la Spac-teleskopon kiu estis nomita je la usona astronomo Edwin Hubble [Habl]. Ĝi estas satelito kiu ĉirkaŭiras la Teron je alteco de 600 km, kaj la diametro de ĝia spegulo estas 2,5 m.

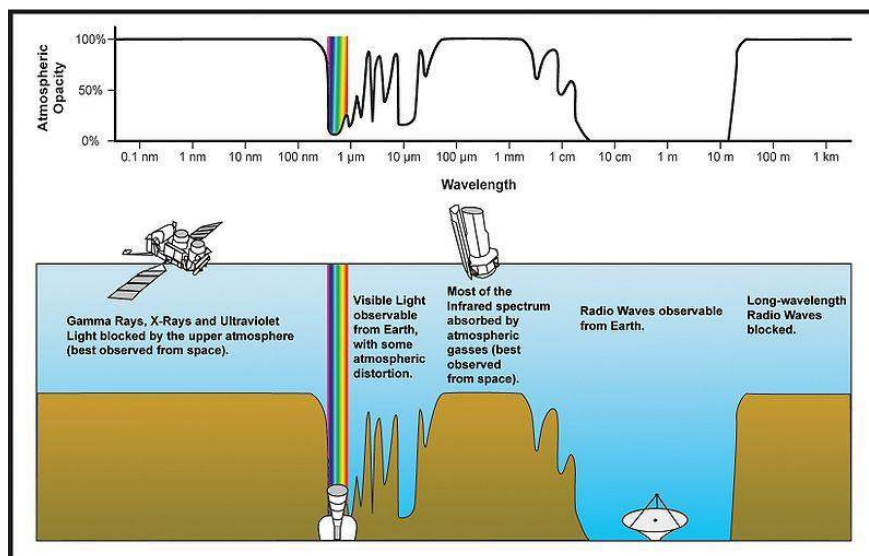
Kvankam laŭ sia diametro “Hubble” apartenas al la klaso de mezgrandaj teleskopoj, ĝi estas verŝajne la plej valora kaj utila teleskopo en la historio. Dum du jardekoj de funkciado, astronomoj faris per ĝi pli gravajn malkovrojn ol per ajna alia teleskopo. Kelkaj el ĝiaj plej gravaj malkovroj: plej akraj fotoj de planedoj kaj aliaj astroj en nia sunsistemo, foraj sunsistemoj kaj planedoj, gigantaj nigraj truoj en la centroj de galaksioj, kvazaroj kaj iliaj hejmaj galaksioj...



La Spac-teleskopo “Hubble” en orbito 600 km super la Tero

9. Teleskopoj en aliaj ondolongoj

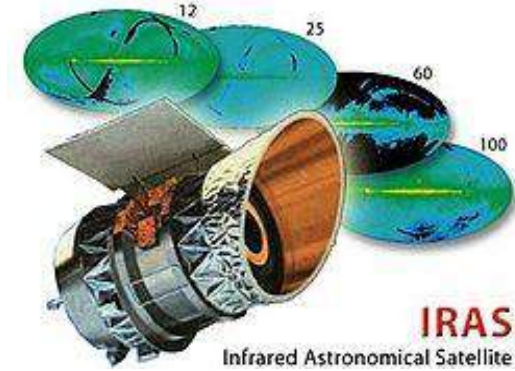
La atmosfero estas travidebla al radiado nur en du regionoj de la elektromagneta spektro: videbla lumo kaj radio-ondoj (vidu la desegnaĵon).



Tial por esplori la kosmon en aliaj specoj de radiado, kiel infraruĝo, ultraviolo, X-radioj ktp, oni bezonas teleskopojn por la koncerna ondolongo super la atmosfero, en la spaco. En la lastaj du jardekoj oni sendis multajn tiajn teleskopojn kiuj observis la ĉielon en diversaj ondolongoj.

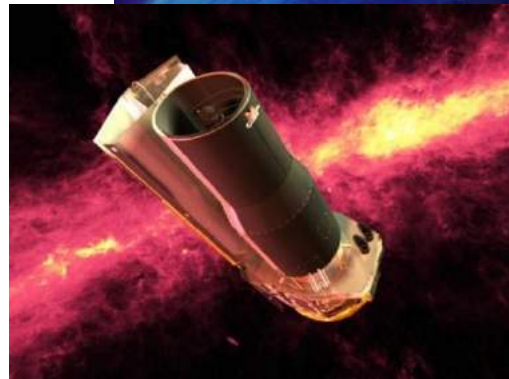
9.1 Infraruĝo

En la infraruĝo (ondolongo de 10-160 mikronoj) estis lanĉitaj la spacteleskopoj IRAS (Infra Red Astronomical Satellite) de NASA en 1983, ISO (Infrared Space Observatory) de ESA (Eŭropa Spac-Agentejo) en 1995, Spitzer (NASA) en 2007, kaj Herschel (ESA) en 2009.



La infraruĝaj spacteleskopoj Spitzer (dekstre) kaj IRAS

La specialaj esplortemoj en la infraruĝo estas stelaj embrioj, ekster-sunsistemaj planedoj, la koroj de galaksioj kaj tre foraj objektoj.



Infraruĝa bildo de la glaksio Andromedo, fotita de Spitzer-spacteleskopo

9.2 Ultraviolaj teleskopoj

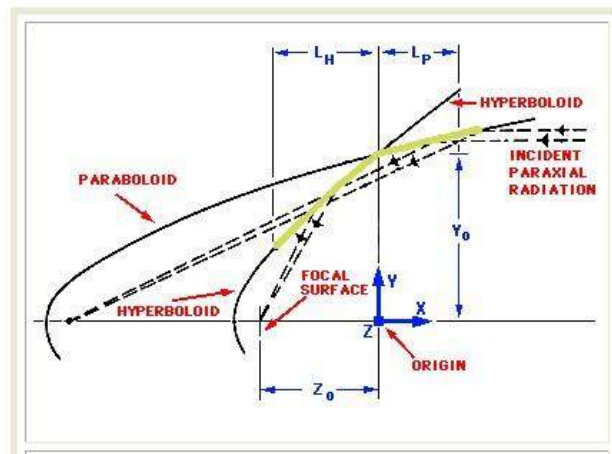
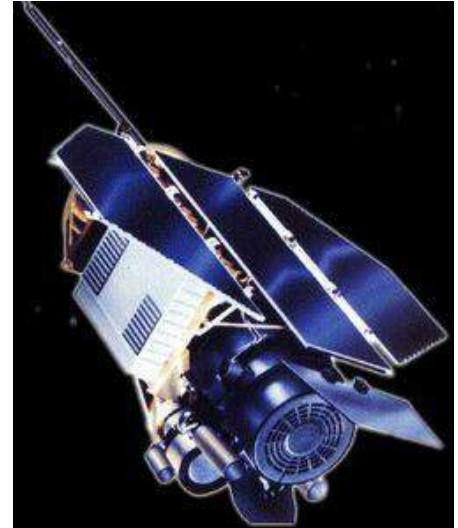
En 1978 NASA sendis en la spacon la ultraviolan teleskopon IUE (International Ultraviolet Explorer), en 1999 la Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (FUSE) kaj en 2003 la Galaxy Evolution Explorer (GALEX), en la apuda bildo. En tiu parto de la spektro oni esploras junajn tre grandajn stelojn, la varman interstelan gason kaj junajn pragalaksiojn.

9.3 X-radiaj kaj Gama-teleskopoj

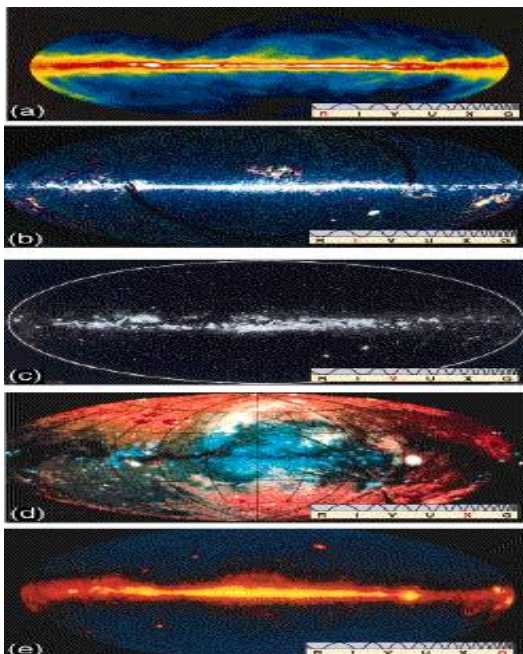
X-radioj estas tre energia radiado, nature emisiita el steloj (ekzemple dum magnetaj ŝtormoj en la suna korono, varmega interstela gaso kaj nigraj truoj). Ĉar ordinaraĵaj speguloj ne taŭgas por X-radioj, specialaj speguloj el pezaj metaloj kiel oro, en speciala geometrio (proponita de Wolter en 1952) estas bezonataj.

En la lastaj du jardekoj oni lanĉis plurajn teleskopojn por X-radioj. En la 1990-aj famiĝis la HEAO-B (Einstein) de NASA kaj la germana ROSAT (Roentgen Satellite, en la bildo), poste Rossi-XTE kaj Newton-XMM, kaj lastatempe “Swift” kaj “Chandra”.

Gama-radioj estas eĉ pli energiaj, kaj venas el nukleaj reakcioj, radioaktivaj nukleoj, supernovaoj, kvazaroj kaj la misteraj gama-radiaj eksplodoj. Teleskopoj por observi ilin havas tute alian strukturon, kaj aplikas teknikojn konatajn de esplorado de altenergia fiziko kiel la Gajger-detektilo.



La desegnaĵo montras geometrion de X-radiaj speguloj: ili estas ring-formaj partoj de paraboloido, kaj povas deflekti la radiojn nur je malgrandaj anguloj, de kelkaj gradoj



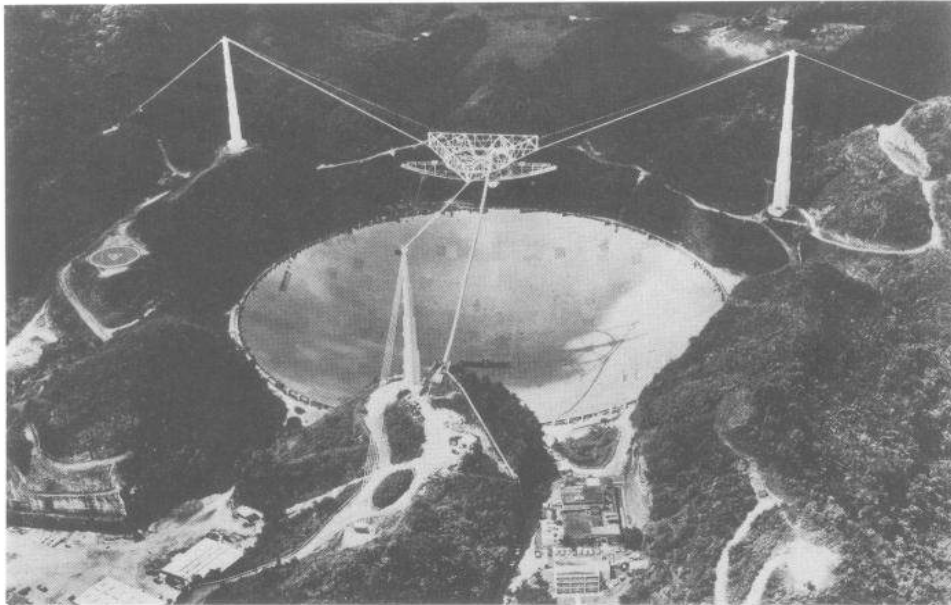
Kvin aspektoj de la Lakta Vojo:

- a. radio,
- b. infra-ruĝo,
- c. videbla lumo,
- d. X-radioj,
- e. gama-radioj.

10. Radio-teleskopoj

En la dudeka jarcento multe evoluis nova branĉo de astronomio: la radio-astronomio. Radio-ondoj el la kosmo alportas multajn gravajn informojn pri la distribuo de gaso, pri la strukturo de nia galaksio kaj de aliaj galaksioj, pri strangaj objektoj kiel pulsaroj, kvazaroj kaj nigraj truoj, kaj pri la origino de la universo. La radio-ondoj havas ondolongon de kelkaj milimetroj (mikro-ondoj) ĝis dekoj kaj eĉ centoj da metroj.

Astronomoj observas la radio-emision per grandaj radio-”teleroj” kies diametro estas dekoj kaj eĉ centoj da metroj. La plej granda sola radio-teleskopo de la mondo troviĝas apud la urbeto Arecibo en Porto-Riko. Ĝia diametro estas 300 metroj.



Arecibo: la plej granda radio-teleskopo en la mondo

Pli grandajn efektivajn radio-teleskopojn oni povas krei per inferometrio (vidu 11.2). Unu el la plej famaj el tiuj estas la VLA (“Very Large Arrey” en Esperanto, Tre Granda Aranĝo), en la urbeto Socorro, Nov-Meksiko, Usono. Eĉ pli granda estas la VLBI (Very Large Baseline Interferometer” (Tre Granda Baz-linia Interferometro) kiu konsistas el pluraj grandaj radio-teleskopoj en apartaj kontinentoj.





La radio-teleskoparo VLA en Socorro, Nov-Meksiko (Usono)



Unu el la radio-teleskopoj konsistantaj la VLBI – radio-teleskoparon interkontinentan

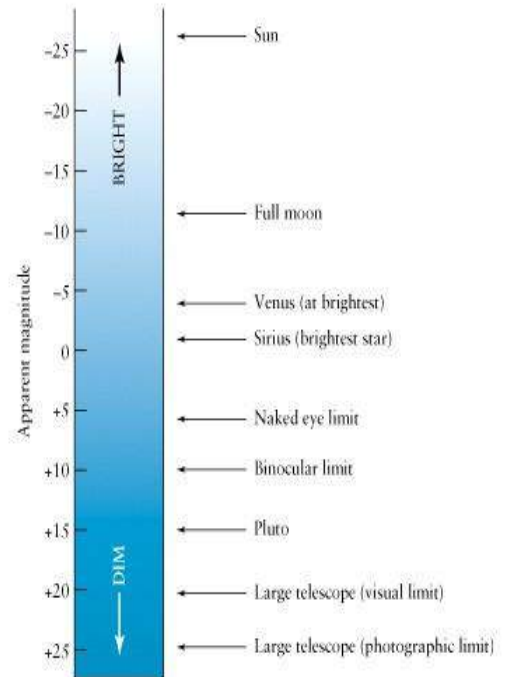
11. Modernaj metodoj en teleskopa astronomio

Galileo kaj liaj sekvantoj dum du jarcentoj admiris la novan bildon de la ĉielo kaj la astroj kiujn ili malkovris per la nova aparato – la teleskopo – nur per siaj nudaj okuloj. En la deknaŭa kaj eĉ pli en la dudeka jarcento oni kombinis la potencon de grandaj teleskopoj kun modernaj aplikoj de optiko, fotografio kaj modernaj analizaj kaj bildo-prilaboradoj por akiri kvaliton kaj povon pri kiuj Galileo kaj liaj samepokanoj eĉ ne povis revi.

11.1 Fotografio

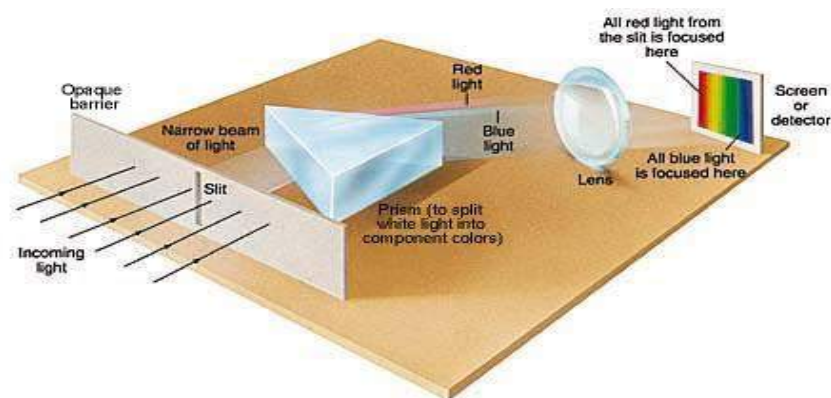
La homa okulo ŝanĝas la bildon (aŭ, analoge al televido aŭ filmo, “refreŝigas la ekranon” ĉ. 20 fojojn en sekundo. Sekve la kvanto da lumo kiu povas akumuliĝis por krei bildon en nia okulo estas tre limigita – kaj se temas pri tre foraj steloj kaj galaksioj, tio eventuale ne sufiĉas por krei klaran bildon. En la deknaŭa jarcento oni komencis apliki la novan eltrovaĵon – la fotografion – por astronomiaj celoj. Longe oni uzis vitrajn aŭ plastajn tavolojn kovritajn per kemiaĵoj por registri nigra-blankajn bildojn fotitajn tra la okulario de la teleskopoj. Nuntempe oni uzas CCD-n – matricon de fotoelektaj ĉeloj kiuj kapablas registri eĉ unuopajn fotonojn.

La fotilan okulon, nome la obturilon, oni povas lasi malfermita dum longa tempo, same kiel oni faras en ordinaraĵoj fotiloj por foti ekzemple noktajn scenojn, tiel akumulante multe pli da lumo ol povas la homa okulo. Se temas pri astronomiaj fotoj, necesas ke la teleskopu sekvu la stelon dum ĝia ŝajna moviĝo sur la ĉielo, kiu estas kaŭzata de la taga turniĝo de la Tero. Profesiaj teleskopoj havas elektran motoron kiu kompensas tiun moviĝon. Per longa fotado kiu daŭras ekzemple unu horon, la teleskopu povas kolekti preskaŭ centmiliblo da lumo ol povas la homa okulo. En la apuda diagramo oni vidas kiom pligrandigas teleskopoj kaj aparte la kombino de teleskopoj kaj fotado nian kapablon rigardi astrojn. Astronomoj mezuras la brilecon de steloj per specialaj unuoj nomitaj magnitudoj. La plej brila stelo en la ĉielo, Venuso, havas maksimuman magnitudon -4. Per nuda okulo oni povas vidi stelojn ĝis la magnitudo 6 (ju pli granda la magnitudo, des pli malluma la ŝajna lumeco de la stelo). Per binoklo oni atingas magnitudon 10. Kun granda teleskopu, perokule oni atingas magnitudon 21, dum kun ordinara fotografado – ĝis 25, kaj per CCD ĝis 30.



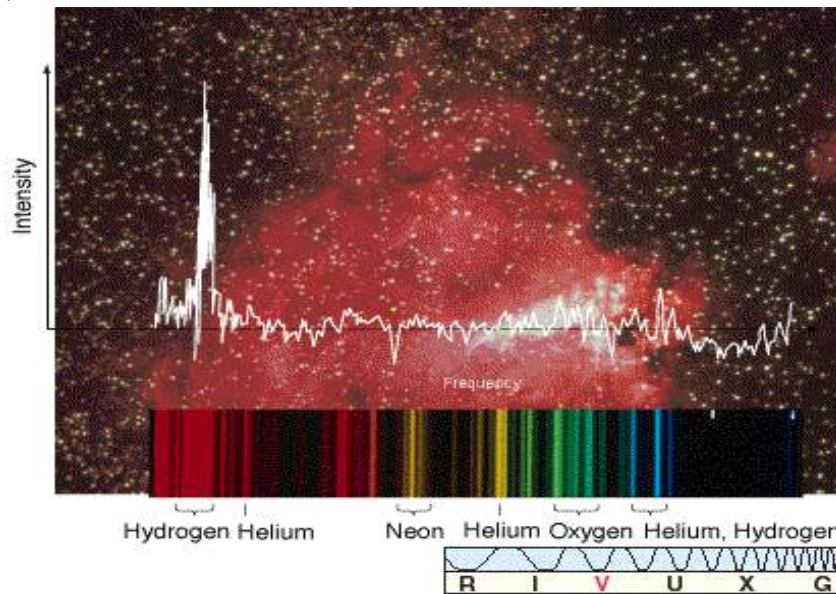
11.2 Spektroskopio

Newton, kiun ni jam renkontis kiel inventanto de la unua praktika spegula teleskopu, ankaŭ eksperimentis per anlizado de la blanka lumu al ĝiaj apartaj koloroj, kaj per tio metis la fundamenton al gravega branĉo en astronomio, la spektroskopio. Per analizo de la lumu el stelo astronomoj



povas mezuri la temperaturon de ĝia surfaco kaj ĝian kemian konsiston. La koncerna aparato nomiĝas spektrografo, kaj estas ligita al granda teleskopu. Ĝi konsistas el prismo aŭ pli

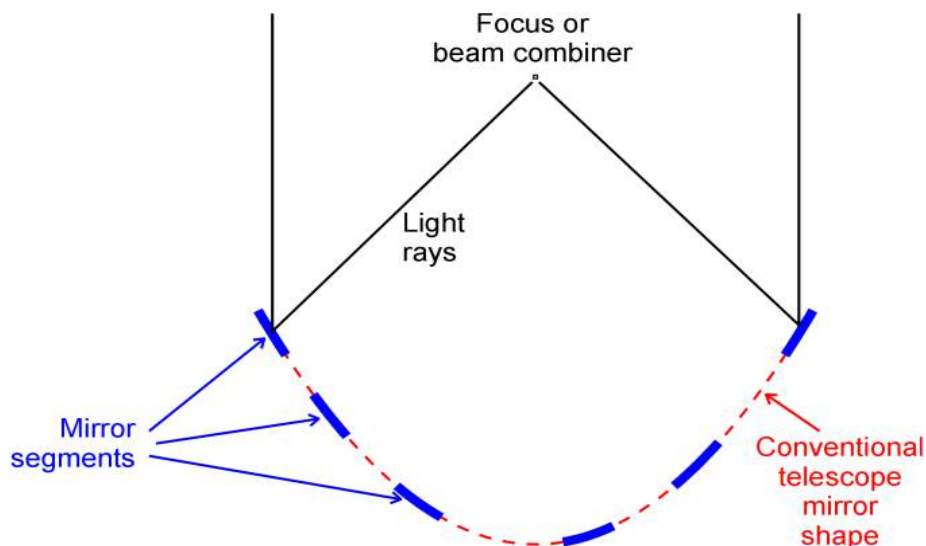
moderna ekvivalento, kaj mezuras la distribuon de la luma intenso laŭ la apartaj frekvencoj. La bildo kiu montras la rezulton konsistas el “linioj” kaj nomiĝas spektro. Analizante specifajn liniojn en la spektro astronomoj povas konkludi la kemian konsiston de astro. Ekzemple, la elemento heliumo estis unue malkovrita en la spektro de la Suno (tiel oni fiksis ĝian nomon, el “Helios” – suno en la greka). Tiel oni esperas malkovri signojn de vivo sur foraj planedoj – malkovro de “linioj” de oksigeno en iliaj atmosferoj povos indiki ekziston de fotosintezo kaj plantoj. Analizante la situon de la linioj en la spektro, astronomoj povas per la efiko de Doppler kalkuli la rapidecon kaj moviĝon de astroj, kio neniel estas mezurebla rekte per simpla teleskopa bildo.



Spektro de luma nebulozo, montranta la liniojn de diversaj elementoj

11.3 Interferometrio

Interferometrio estas tekniko kiu kombinas la signalojn el pluraj teleskopoj, kunmetante la apartajn signalojn en unu bildon, simile al tio kio okazas kiam nia cerbo kunmetas la apartajn bildojn de ĉiu el niaj du okuloj. Per interferometrio oni povas atingi angulan apartigon de teleskopo kun la grandeco (diametro) de la distanco inter la apartaj teleskopoj. Praktike oni povas pensi pri tiu metodo kiel aranĝo de pluraj pecoj de unu paraboloida spegulo, kiel montrite en la desegnaĵo.



Pro la malfacileco krei tre grandajn spegulojn, la plej grandaj optikaj teleskopoj aplikas la interferometrian principon. Tiel ekzemple la LBT (Granda Binokla Teleskopo) en Italio konsistas el du teleskopoj, ĉiu kun diametro de 8,4 metroj, kiuj komune nuntempe estas la plej granda optika teleskopo en la mondo.

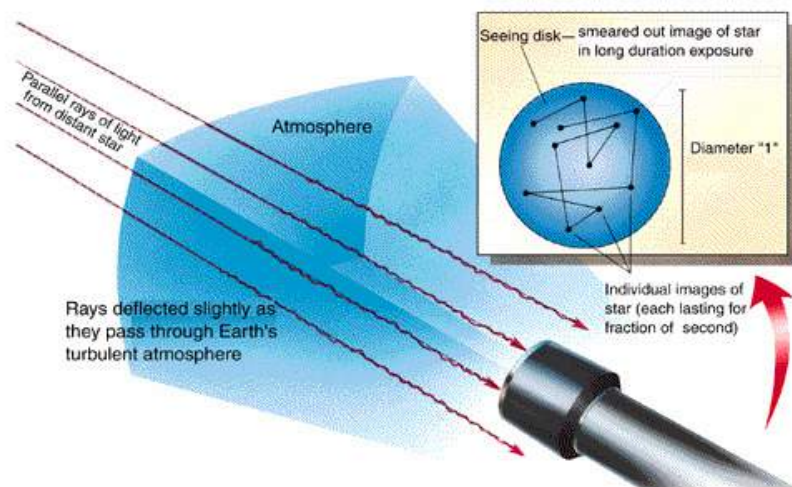


La LBT (Granda Binokla Teleskopo) en Italio

11.4 Adaptiva Optiko

Nia atmosfero ne nur blokas preskaŭ ĉiujn radiadojn (krom videblan lumon kaj radion), sed ĝi ankaŭ malhelpas al la fotado de tre akraj bildoj de astro. La kialo estas la fakto ke la lumradioj estas refraktitaj en la atmosfero, kaj deflektitaj (kvankam nur iomete, je kelkaj angulaj sekundoj). La problemo por akurata teleskopa foto estas ke tiu deflektado ŝanĝiĝas rapide pro la kurentoj de aero en la atmosfero, ŝmiranta la punktan bildon de stelo sur cirklo kun diametro de ĉ. unu aŭ kelkaj angulaj sekundoj.

Pro tio la akreco de surteraj teleskopoj estas limigita al ĉ. unu angula sekundo (kompreneble spac-teleskopoj ne havas tiun problemon. Ekzemple la tipa akreco de “Hubble” estas 0,1 angula sekundo).



La malakriĝo de longdaŭra foto de stelo pro la ŝanĝiĝo en la ŝajna situo kaŭzita de la trapaso de la lumradioj tra la atmosfero

Oni povas korekti tiun problemon per metodo nomata adaptiva optiko (aŭ korekta optiko, angle Adaptive Optics, AO), ĉar la aparato adaptas la optikon de la teleskopo al la ŝanĝigantaj atmosferaj kondiĉoj. La metodo konsistas el komputila sekvado de la ŝanĝiganta situo de kontrola stelo, kaj kompensas la moviĝon per etaj ŝanĝoj en la kurbiĝo de elasta spegulo. En la apuda bildo oni povas vidi la aparataron kaj la elastan spegulon de la korekta optiko en la observatorio Lick, en Kalifornio, Usono. Centoj da etaj pingloj estas ligitaj al la komputilo kaj iomete ŝanĝas la kurbiĝon de la elasta spegulo plurfoje en sekundo, laŭ la signalo de la kontrola stelo. La rezulto estas korektita bildo, multe pli akra ol la originalo. Kun bonaj kondiĉoj oni povas atingi akrecon proksiman al 0,1 angula sekundo, preskaŭ kiel tiu de la Spacteleskopo.



La aŭtoro en la centro de adaptiva optiko ĉe la Lic-observatorio en Kalifornio



Bildo de la galaksio M-100 akirita per granda surtera teleskopo sen korekto (maldekstre) kaj kun adaptiva optiko

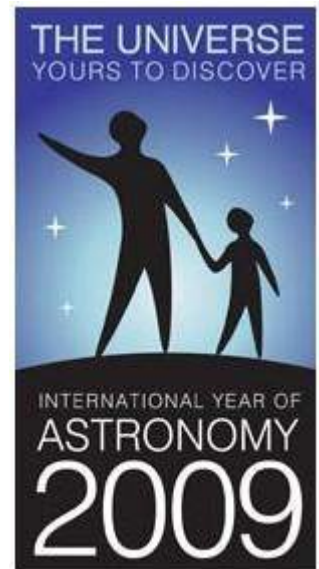
12. La Internacia Jaro de Astronomio 2009

La Internacia Jaro de Astronomio 2009 (akronime IJA2009, rete <http://www.astronomy2009.org/>) estas tutmonda projekto iniciatita de Internacia Astronomia Unio (IAU) kaj Unesko por helpi al ĉiuj homoj remalkovri sian lokon en la universo per simpla alrigardo kaj observo de la nokta ĉielo, tiumaniere atingante personan admiron de la universo, spertadon kaj komprenon de la mirindaj atingoj de moderna astronomio dum la lastaj jarcentoj, ĝia giganta kontribuo al nia kompreno de la Universo kaj kiel la profunda influo de scienco en la ĉiutaga vivo povas kontribui al pli justa kaj paca socio.

IAU lanĉis la IJA2009-n dum sia ĝenerala asembleo en Aŭstralio, 2003, sub la temo “Malkovru la Universon”. En 2005 aliĝis al ĝi Unesko, kaj la 20an de decembro 2007 UN proklamis la jaron 2009 Internacia Jaro de Astronomio. La intenco estas krei internacian manifestacion de astronomio kaj ĝiaj kontribuoj al la socio kaj kulturo, kun emfazo pri edukado, publika enmiksiĝo kaj partopreno de gejunuloj. Junulojn kaj personojn ĉiuaĝajn certe allogos la oficiala video-filmeto de IJA2009: <http://www.youtube.com/watch?v=WVJmZmo6kzI>.

La celoj de la IJA2009 estas:

- Pligrandigi la sciancon de la ĝenerala publiko per informado pri sciencaj astraonomiaj rezultoj.
- Progresigi la alireblecon de fundamenta scienco per la admiro de astronomio kaj la sperto de ĉiel-observado.
- Progresigi astronomiajn komunumojn en evoluantaj landoj per iniciado kaj flegado de internacia kunlaborado.
- Subteni kaj plibonigi formalan kaj neformalan sciancon edukadon en lernejoj kaj sciencaj centroj, planetarioj kaj muzeoj.
- Provizi la socion per moderna aspekto de scienco kaj sciencistoj por fortigi la rilaton inter scienca edukado kaj scienca kariero, tiumaniere stimulete longdaŭran kreskon de la nombro de studentoj en la sciencaj kaj teknologiaj fakoj.
- Krei novajn kaj ekscitajn kontaktojn inter amatoraj astronomoj, edukistoj, sciencistoj kaj amaskomunikiloj per lokaj, regionaj, landaj kaj internacia agadoj.
- Plibonigi sekse-egalan reprezentigon de sciencistoj en ĉiuj niveloj kaj kuraĝigi la enmiksiĝon de minoritatoj en sciencaj kaj inĝenieraj karieroj.
- Faciligigi la konservadon kaj protektadon de nia natura heredaĵo de malluma ĉielo kaj historiaj astronomiaj restaĵoj, kaj krei konscion pri la graveco de tiu konservado por la medio kaj la homa heredaĵo.



Dum la jaro 2009 oni planis astronomiajn aranĝojn je niveloj nacia, regiona kaj tutmonda. En 141 landoj funkcias naciaj nodoj, kiuj helpas krei kunlaboron inter amatoraj kaj profesiaj astronomoj, sciencaj centroj kaj publikaj komunumoj. Por trovi la retadreson de la nacia nodo en via lando klaku <http://www.astronomy2009.org/organisation/nodes/national/>.

Fine de julio aldoniĝos al tiu listo unu plia lando: Esperantujo. Temas pri la Internacia Kongresa Universitato dum UK en Bialistoko. Unu el la prelegoj de tiu ĉi AIS-IKU-kurso pri la temo “Teleskopoj” estas dediĉita al la IJA2009.

Bibliografio

Vikipedio - <http://en.wikipedia.org/wiki/Telescope>

La Kosmo kaj Ni A. Wandel kaj D. Galadi-Enriquez, FEL 2001; dua eld. 2005

La Internacia Jaro de Astronomio - <http://www.astronomy2009.org/general/>