



pri

TELESKOPEGOJ

aŭ

VETKURO

AL GIGANTAJ OPTIKAJ OBSERVILOJ

POR STUDADO DE LA UNIVERSO

- | | | | |
|---------------|---|---|-----------|
| F.1. | → | Observado per nuda okulo | p. 66-67. |
| F.2. | ↳ | Vidkapablo de nuda okulo | p. 68-69. |
| F.3. | ↳ | La Universo per nuda okulo | p. 70-71. |
| F.4. | → | Observado per Galileja lorno | p. 72-73. |
| F.5. | ↳ | La Universo per Galileja lorno | p. 74-75. |
| F.6. | | Angul-grandigo de teleskopoj | p. 76-77. |
| F.7. | → | Observado per reflektaj teleskopoj | p. 78-79. |
| F.8. | → | Observado per refraktaj teleskopoj | p. 80-81. |
| F.9. | ↳ | Observado per granda reflektaj teleskopoj | p. 82-83. |
| F.10. | ↳ | Observado per granda refraktaj teleskopoj | p. 84-85. |
| F.11. | → | Fotado per reflektaj teleskopoj | p. 86-87. |
| F.12. | ↳ | Fotado per modernaj teleskopoj | p. 88-89. |
| F.13. | → | Mezurado per optikaj interferometroj | p. 90-91. |
| F.14. | ↳ | Fotado per interferometraj teleskopoj | p. 92-93. |
| F.15. | ↳ | La Universo per modernaj teleskopoj | p. 94. |
| | | Diversaĵoj | p. 95. |
| F.16. Enigmo. | | Ĉu ni solas en la universo? | p. 96. |



F.1. OBSERVADO PER NUDA OKULO

KIAL ni uzu teleskopojn? De kiam astronomoj ekuzis observilojn? Mi volas montri, kiel evoluis la instrumentoj, la iloj, kaj kiel astronomoj uzis ties bildojn por kompreni la astrojn. Kiel tio okazis en pratempo? Jen estas ia vojaĝo de la unuaj observiloj ĝis la estontaj kaj espereble fabrikotaj teleskopoj.

Sciencistoj studas la universon laŭ pluraj radiadoj : radioondaj, infraruĝaj, iksradiaj, ktp. sed videbla lumo ludis plej gravan rolon pasintece. Ankoraŭ hodiaŭ amatoroj spektas la ĉielon nur laŭ tiu eta parto de la elektromagnetaj radiadoj, kiun kaptas niaj homaj okuloj. Nur tion ni do priparolu ĉi-kajere.

La okuloj ĉiam funkcias. Ĝis antaŭ unu jarcento la esploristoj uzis nur siajn okulojn. Per okulo kaj per cerbo ili observadis kaj desegnadis. Efektive, foto-grafoj aperis nur ĉirkaŭ jaro 1900. Do, antaŭ unu jarcento, ili nur desegnadis kaj tute ne uzis alian manieron. Hodiaŭ ege malmulte da astronomoj desegnas.

Kiam en okulon lumo alvenas, ĝin devojigas kristalino, kiu funkcias kvazaŭ kiel lenso. Kaj aperas bildo en la fundo de la okulo.

Estas facile montri la principon, sur la muro, kiu kontraŭas fenestron. Se mi alproksimigas lenson al la muro, aperas pejzaĝo! Lumo alvenas, trairas la lenson, kaj konstruas bildon sur la muro.

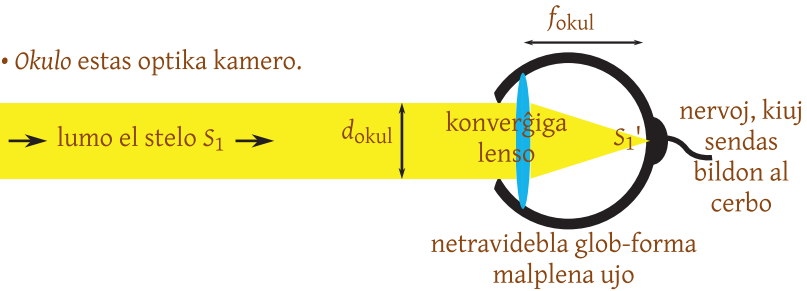
F.1.1.

Lenso kreas bildon same kiel en okulo. Antaŭe (maldekstre) maldika paperfolio ludas rolon de travidebla ekrano, tie aperas inversa bildo de flamo; malantaŭ la ekrano (meze) estas konverĝiga lenso tenata de stativo; fone (dekstre) petrol-lampo ludas rolon de lumo-fonto.

Se la lumo-fonto estus ege for, distanco inter lenso kaj ekrano estus fokus-distanco : $f = 290 \text{ mm}$.



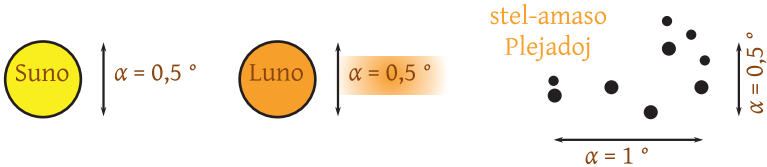
• Okulo estas optika kamero.



• La *eniga pupilo* de okulo estas la surfaco kaptanta lumon. Ties diametro varias inter tri (en forta lumo) kaj naŭ (en mallumo) milimetroj. Dum observado, averaĝa pupil-diametro estas jena : $d_{\text{okul}} = 8 \text{ mm}$.

• Stelo S_1 sendas ĝis la okulo paralelajn lum-radiojn. Ili konverĝas en fokuson S_1' . La fokus-distanco de la lenso estas jena : $f_{\text{okul}} = 16 \text{ mm}$.

• Du steloj S_1 kaj S_2 sendas siajn lum-radiojn, kiuj konverĝas en malsamajn fokusojn S_1' kaj S_2' . Tiel la cerbo konstruas bildon de stelaro. Inter du steloj, anstataŭ distancon, observanto mezuras *angulon* : α . Jen sciindaj valoroj pri etaj anguloj en la ĉielo :



tri lum-radioj el stelo S_2

lum-fasko el stelo S_1

α

α

S_1'

S_2'

Modelo F.1. – Observado per nuda okulo.

F.2. VIDKAPABLO DE NUDA OKULO

LA UNUA homo, kiu uzis teleskopon, estis Galilejo. Antaŭ li, neniu iam uzis optikan ilon por observi ĉielon. Tamen ekzistis observiloj en pratempo.

Homoj uzis angul-mezurilojn delonge. La unuaj spuroj estas en Babilono de ĉirkaŭ jaro – 2000. Ilo, kiu ricevis plurajn nomojn, estas konata kiel «jakob-bastono». Ĝi konsistas el stango, sur kiu ŝoviĝas orta stangeto. Uzanto, kiu deziras mezuri angulon inter du punktoj, koincidigas la du pintojn de la orta stangeto ekzakte antaŭ ambaŭ punktoj. Ekzemple (malsupre dekstre en bildo F.2.1.), homo mezuras inter la supro de turo kaj la bazo. Mezuro de angulo utilas al kalkulo de distanco, per simpla geometrio. Eblas dedukti la alton de la turo, se estas konata la distanco de la observanto al la turo, aŭ reciproke.



Ekzistas alia uzmaniero de angul-mezurilo, iom pli komplike. Du homoj (meze en bildo F.2.1.) samtempe mezuras el malsamaj lokoj. Ankoraŭ per geometrio, eblas dedukti la distancojn al la turo, do poste ankaŭ la alton de la turo, se estas konata nur la distanco inter ambaŭ observantoj. Ĉi-foje ne estas necese koni la distancon al la mezurita objekto. Estas granda avantaĝo.

F.2.1. Uzado de jakob-bastonoj (desegno el jaro 1533).



Tre longe astronomio precipe konsistis el mezuradoj de pozicioj inter steloj, Luno, Suno, horizonto, ktp. (maldekstre en bildo F.2.1.). Astronomoj ne zorgis pri la strukturo mem de la astroj, sed nur pri la pozicioj de unu relative alian. Foje tiuj anguloj ebligis kalkuladon de distancoj. Ekzemple, astronomo, kiu mezuris en januaro kaj poste en julio, observis astron el du malsamaj anguloj rilate fiksan stelon. Tamen, ĝis antaŭ unu aŭ du jarcentoj, ne eblis kalkuli precizajn distancojn inter planedoj, kaj tute ne eblis inter steloj.

Astronomo Tiko Braheo provis atingi kiel eble plej akran precizecon. Ĉirkaŭ jaro 1585 li fabrikis gigantajn instrumentojn por mezuri inter-astrajn angulojn (bildo F.3.1.). Tiam li atingis la teorion vidkapablon de okulo, kio estas la sesdekono de unu grado. Okulo ne kapablas distingi du punktojn, se angulo inter ambaŭ valoras malpli ol unu angul-minuton.

Vi mem provu vian vidkapablon. Estas ĝuste unu angul-minuto inter du nigraj punktoj el ĉi bildo : , se vi malproksimiĝas ĝis tri metroj ; aŭ inter du nigraj punktoj el ĉi bildo : , se vi malproksimiĝas ĝis unu metro kaj duono ; aŭ inter la randoj de ĉi kajero, se vi rigardas ĝin el unu-kilometra distanco...

Tiko Braheo atingis la limon de okula vidkapablo. Liaj aparatoj uzis la saman metodon kiel jakob-bastono, sed ne plu estis transporteblaj iloj, ili ek-estis plurajn metrojn grandaj instrumentoj ! Dum kelkaj jardekoj astronomoj konstruis en diversaj lokoj tiajn aparatojn, tiom grandajn, sed ne pli, ĉar homa okulo ne ebligis atingi pli bonan precizecon.

Vidkapablo je unu angul-minuto sufiĉis nek por observi detalojn, nek por kalkuli la distancojn al la steloj per la citita metodo, ĉar ili estas multe tro malproksimaj. Do, antaŭ Galilejo, astronomoj ricevis el la universo nur mal-bonan bildon.

- La *distingivo* de okulo estas la plej malgranda angulo, kiu ebligas al okulo distingi inter du punktoj, se lumo estas sufiĉe forta :

$$\alpha_{\min} = 1' = 1/60^\circ = 0,017^\circ = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

- Estas rilato inter la alto de objekto : L , ties distanco : x kaj la eta angulo α (en rad), kiom ĝi ŝajnas malgranda :

$$\alpha \simeq L/x.$$



Modelo F.2. – Vidkapablo de nuda okulo.

F.3. LA UNIVERSO PER NUDA OKULO

TIKO BRAHEO rimarkis, per precizaj mezuroj, ke distancoj inter planedoj ne kongruis kun jam konataj valoroj kaj eĉ kun la tuta modelo de la universo.

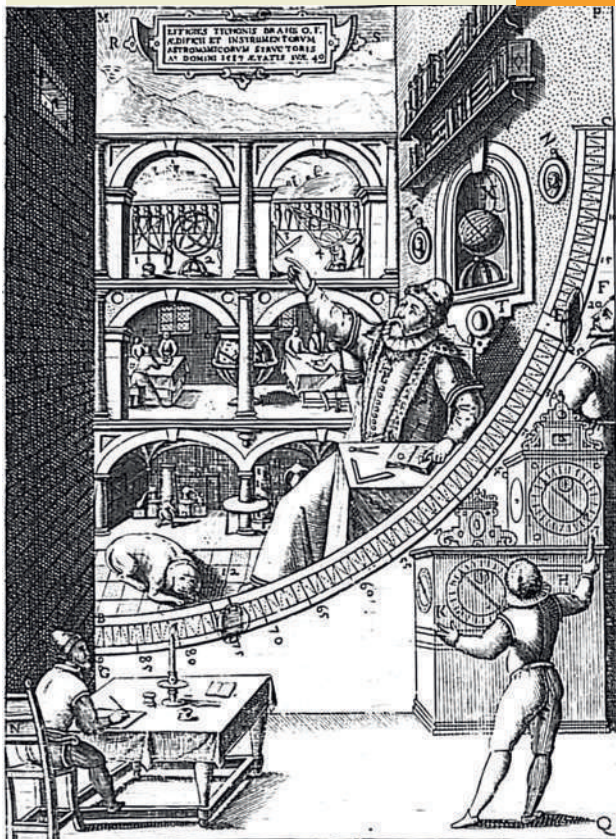
Dum lia epoko, jam estis batalo por decidi, ĉu Suno, ĉu Tero, estas en la centro de la sunsistemo. Laŭ la pratempa modelo de filozofo Ptolemeo, Tero estas en la centro, kaj ĉiuj astroj rondiras ĉirkaŭ Tero. Tiun Ptolemean sistemon vere perturbis la propono de astronomo Koperniko, kiu metis Sunon en la centron kaj ĉion rondirantan ĉirkaŭ. Sed Tiko Braheo deziris ne perferi la malnovan modelon, kies centro estas Tero. Li opiniis, ke Suno rondiras ĉirkaŭ Tero kaj ke ĉiuj aliaj planedoj rondiras ĉirkaŭ Suno.

Li rimarkis, ke Marso estas aŭ tre malproksime aŭ tre proksime al Tero.

Tiun diferencegon li tute ne povis klarigi kun Tero en la centro. Tute ne glatis la pratempa modelo, en kiu Marso ĉiam estas pli-malpli je la sama distanco. Tial li proponis, ke Tero estas en la centro, Suno rondiras ĉirkaŭ Tero, kaj Marso ĉirkaŭ Suno.

Problemo estis, ke ĉiu modelo rondirigis la planedojn ĉiam laŭ cirkloj. Nun ni scias, ke estas elipsoj, ne cirkloj. Pro elipso la pozicio de planedo estas ĉu proksima ĉu malproksima al Suno. Sed ni bone memoru, ke, ankoraŭ dum la epoko de Tiko Braheo, ĝis Luno regis homaj malperfektecoj, kaj trans Luno regis diaj perfektecoj. Kaj ĝuste unu el la perfektecoj

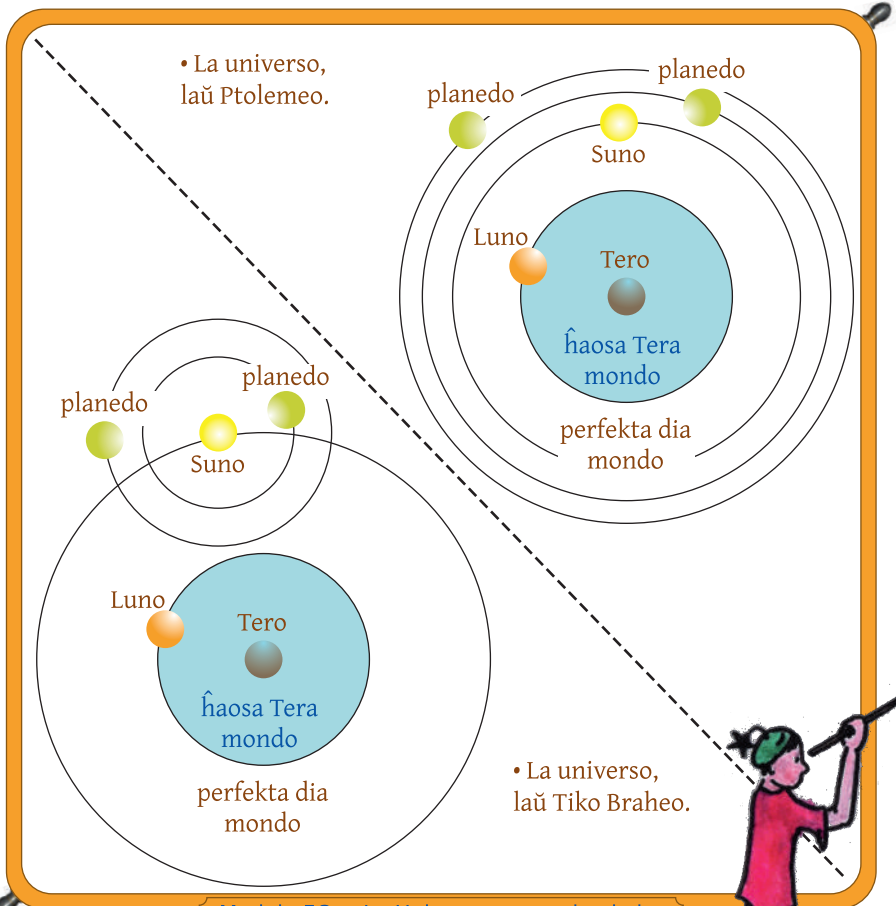
Tiko Braheo en sia observatorio. F.3.1.





estas la vojaĝo laŭ cirklo. Do tute ne eblis, ke planedoj apartenantaj al dia mondo vojaĝus alie ol sur cirklo.

Tiaj estis tiamaj bataloj, por modeligi la universon. Ne estis multe da alinĝantoj al la ideo de Tiko Braheo, kiu estis sufiĉe rapide forgesita. Sed estas tre interese, ke per pra-instrumentoj, per nuda okulo, astronomoj tamen ekkomprenis, ke la modelo de Ptolemeo, kun Tero en la centro, ne estas sufiĉa por klarigi la diversajn aspektojn de planedo Marso.



Modelo F.3. - La Universo per nuda okulo.



F.4. OBSERVADO PER GALILEJA LORNO

Antaŭ kvarcent jaroj, Galilejo unuafoje ekobservadis per lorno. Tiam aŭ eklazio tute koleris kaj postulis, ke Galilejo publike rezignu pri siaj observadoj, kiuj estis nur fuŝaĵoj de fantaziulo, de frenezulo. La vereco ne estu videbla tra lorno sed en Biblio. Bonŝance li havis ideon rezigni, tiel li pluvivis... Iom pli frue, astronomo Ĝiordano Bruno estis forbruligita, ĉar li asertis, ke, kiam oni metas Sunon en la centron de la sunsistemo, eblas imagi ĉirkaŭ ĉiu stelo arojn da planedoj, kiuj estas tiom da mondoj kun ties loĝantoj...



F.4.2.

Antaŭ la okulario, Galilejo metis paperon, por limigi la pupilon al kio necesis.

F.4.1.

Unu el la unuaj lornoj konstruitaj de Galilejo mem ĉirkaŭ 1610 (konservita en muzeo de Florenco).
 Fokus-distanco de la objektivo : $F = 1300$ mm.
 Fokus-distanco de la okulario : $f = 94$ mm.
 Angul-grandigo : $G = 1300 / 94 = 14$. Diametro de la objektiva lenso : 51 mm.
 Diametro de la okularia lenso : 26 mm. Longo de la lorno : 1,2 m.

Nun mi priskribu iomete pli detale la lornon. Galilejo metis okulon malantaŭ tubo. La lumo de la steloj alvenis tra la fronta parto, kie estas unua vitropeco, lenso, kiu nomiĝas objektivo, kaj poste la lumo eliris la tubon tra dua lenso, kiu nomiĝas okulario. Ĉiam reaperas tiuj vortoj en la observiloj.

La unua lenso havas formon konveksan, ĝi estas dika en la mezo kaj maldika ĉe la rando. Male la dua lenso havas formon pli-malpli konkavan. Tiel la lumradioj trairas la tubon koncentritaj, kaj poste eliras dise.

Nuntempe tiu lorno kvazaŭ ne plu estas uzata, krom por malgrandaj teatro-binokloj. Tra teleskopo la bildo aperas inversa. Male, tra lorno la bildo aperas en la sama orientiĝo, kiel per nuda okulo. Galilejo la unua direktis lornon al ĉielo, sed ne li ĝin inventis. Ĝin uzis unue militistoj por observo kaj rekono de

ŝipoj malproksimaj. Ili konstruis ilojn, kiuj ebligis grandigon sen ŝanĝo de la sencumo.

Tiu sistemo tute ne komplika bone funkcias, kiam la longeco de la tubo estas almenaŭ dekoble pli granda ol la diametro. La lorno de Galilejo estis tre mallarĝa kaj tre longa. La radioj de blanka lumo konverĝas malsame laŭ sia koloro.

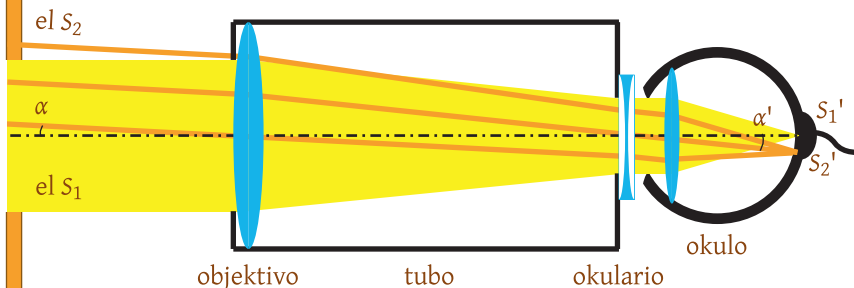
Radioj ruĝaj iras al fokuso, bluaj al alia fokuso, ktp. Tiel blanka lumo fariĝas spektro kun ĉiuj koloroj. La bildo de stelo aperas strange kolorigita kaj malneta. La sola rimedo por eviti tiun disdividon de koloroj estas longigo de la fokus-distanco, do de la tubo. Tial la lornoj ne estas tre grandaj en diametro sed ege longaj.



- Galileja lorno konsistas el konverĝiga lenso kiel objektivo, kaj el diverĝiga lenso kiel okulario.

- Lum-radioj el steloj S_1 kaj S_2 .

En ĉi skemo, fokus-distanco de objektivo : $F = 100$ mm ; fokus-distanco de okulario : $f = 50$ mm ; angul-grandigo : $G = 2$; eniga pupilo (utila diametro de objektivo) : $D = 20$ mm ; eliga pupilo : $d = 10$ mm.



Modelo F.4. - Observado per Galileja lorno.



F.5. LA UNIVERSO PER GALILEJA LORNO



PER sia lorno Galilejo ekobservis Venuson. Ĝi aperis komplete stranga. Foje, kiam Venuso estis ŝajne proksima al Suno, li vidis nur punkton. Kiam Venuso estis en pozicio pli for el Suno, aŭ vespere post sun-subiro aŭ matene antaŭ sun-suriro, ĝi aspektis kiel duondisko. Kaj foje ĝi aspektis kiel granda tre maldika krescento.

Tiuj mirindaj malkovroj konfirmis al Galilejo, ke efektive Venuso ĉirkaŭiras Sunon. Estis la sola klarigo de tiuj aspektoj sinsekvaj de Venuso. Tio konfirmis la modelon de Koperniko. Suno estas en la mezo de la sunsistemo, kaj ĉirkaŭ rondiras Merkuro, pli malproksime Venuso kaj pli malproksime Tero. Sed tiu konfirmo aĝas nur kvarcent jarojn. Estas moderna malkovro.

Nun pri Luno. Ĝis Galilejo oni konsideris, ke Luno estas perfekta sfero tute ĝlata. Oni eĉ demandis sin, ĉu Luno estas travidebla sfero kaj ĉu estas interna lumo? ĉar de tempo al tempo oni vidis la tre malbrilan parton, kvazaŭ se interna lumo de tempo al tempo estus videbla tra la surfaco.

Kiam Galilejo ekobservis per lorno, li malkovris, ke estis montoj same, kiel sur Tero. Subite Luno foriris el la dia perfekta mondo al la ĥaosa Tera mondo. Tio estis revolucio. Preskaŭ nur pro tio la eklezio postulis al Galilejo rezignon pri liaj ideoj. Per tiu observado Galilejo konkretigis astronomion : ni studu astrojn. Ĝis tiam tute senutilis studi astron, ĉar ĉio, ekde Luno, estis perfekta. Post Galilejo tute ŝanĝiĝis tiu vidpunkto. Luno ekestis studenda objekto.

Tria observado. Ĉiuj konas la brilan zonan, nian galaksion, kiu trairas la tutan ĉielon. En Azio, ĝi nomiĝas Ĉiela Rivero, en Eŭropo ĝi estas Lakta Vojo. Legendo diris, ke kreis ĝin infano Herakleso, filo de dio Zeŭso. Naskis lin ne la edzino Herao, sed belega, ne dia, virino, kiu tamen ambiciis al tiu infano vere belan estontecon. Por ke li fariĝu duon-dio, li devis trinki diinan lakton. Do ŝi kaŝe metis la bebon al la mammo de Herao. Dum li glutis la lakton, li vekis la diinon, kiu konstatis, ke ne sian bebon ŝi nutris, sed bebon el trompaj rilatoj de sia edzo. Ŝi ege koleris tiom, ke ŝi forĵetis la bebon tra la ĉielo. Dume kelkaj gutoj da lakto eliris el lia buŝo, kaj tiujn laktajn spurojn ni ĉiam vidas.

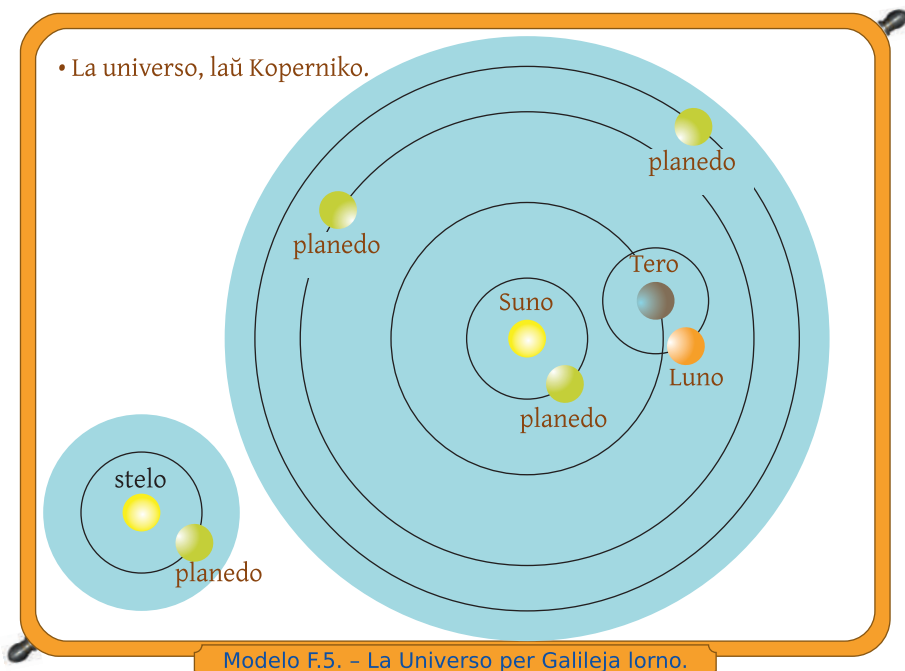
Kiam Galilejo ekobservis per lorno, li vidis arojn da steloj, kaj tute ne plu blankan makulon. Lakta Vojo estas nur iluzio de niaj okuloj, kiuj ne kapablas distingi la stelojn unu el la aliaj. Estas same pri arbaro. Kiam vi staras apud arbaro, vi vidas la arbojn unu apud la alia. Kiam vi vidas arbojn de tre malproksime estas nur makulo, vi ne plu povas distingi la arbojn unu el la aliaj. En



Lakta Vojo la steloj estas tiom multnombraj kaj tiom ŝajne proksimaj unu al la aliaj, ke nudokule ni vidas nur blankan makulon sen detalo. Tiu tria observado de Galilejo ekmontris, ke la universo ĉirkaŭ ni estas multe pli komplika ol astronomoj imagis ĝis tiam. Dia perfekteco ekestis malfacile komprenebla.

Kvaran gravan observadon Galilejo faris. Jupitero estas vere brila, la dua plej brila punkto de la ĉielo (la unua plej brila estas Venuso), sed nudokule ĝi estas nur punkto. Kiam li grandigis la bildon, Galilejo vidis gigantan planedon kaj kvar punktojn, kiuj rondiris ĉirkaŭ la planedo. Tio estis konfirmo por Galilejo pri ekzisto de planedaj sistemoj. Giganta korpo en la centro kun malpli grandaj korpoj ĉirkaŭe konsistigas kvazaŭ etan modelon de la sunsistemo. Hodiaŭ ni nomas la kvar satelitojn Galilejaj, ĉar Galilejo unuafoje en januaro de 1609 notis ilian ĉeeston. En Eŭropa mitologio, Jupitero estas alia nomo de sama dio Zeŭso. La kvar Galilejaj satelitoj ricevis nomojn omaĝe al la malfideleco (kiun ni jam konstatis) de Jupitero, kiu enamumis kun tri virinoj : Ioo, Eŭropo, Kalisto, kaj kun viro : Ganimedo.

Galilejo, nur danke al lorno, komplete ŝanĝis la vidon de la astroj super ni.



F.6. ANGUL-GRANDIGO DE TELESKOPO

KIAM observilo grandigas bildon, ni vidas pli da detaloj ol nudokule. En la epoko de Galilejo, estis tre malfacile kompreni, ke per ilo oni vidas pli bone ol nudokule. Nun tio ŝajnas al ni tute nature kaj kutime, sed ne en tiu epoko. Estis vera batalo.

Ni vidis, ke lorno konsistas el du partoj : objektivo kaj okulario. Estas same en teleskopoj.

Okulario funkcias kiel lupeo, ĝi utilas por konstrui la bildon, kiun vi vidas kiam vi alproksimigas vian okulon al lorno aŭ teleskopoj. Galilejo uzis kiel okularion diverĝigan lenso (F.4.). Kelkajn jarojn poste, astronomo Keplero proponis uzon de konverĝiga lenso (F.8.). Ĉirkaŭ jaro 1700, astronomo Huigenso, kunmetinte plurajn lensojn, inventis pli kompletan okularion. Hodiaŭ ni uzas ankoraŭ similan sistemon.

Objektivo kaptas kaj koncentras lumradiojn. Estas grave kompreni, ke la sola unua rolo de objektivo estas alvenigi multe pli da lumo en la okulon. Tial astronomoj ĉiam baraktis por konstrui pli kaj pli grandajn teleskopojn (F.8.). Ju pli alvenas da lumo, des pli eblas grandigi la bildon kaj vidi multe pli da detaloj.

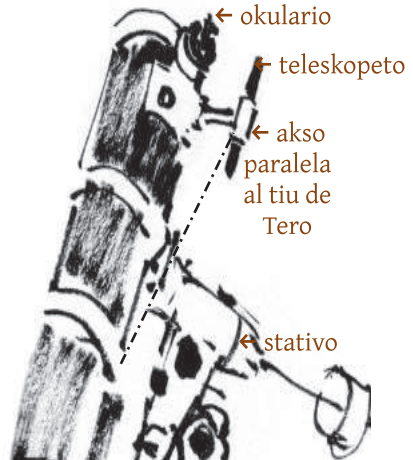
Kun certa objektivo ne eblas uzi iun ajn okularion. Okulo mem limigas la kvanton da lumo, ĝi povas akcepti lumfaskojn ĝis diametro de ok milimetroj (F.1.). Maljunaj okuloj estas limigitaj al kvin aŭ kvar milimetroj, tio malboniĝas laŭ aĝo.

Ekzemple, se vi uzas teleskopon, kies diametro estas ducent milimetroj, kaj se vi uzas okularion, kiu grandigus la bildon nur dekoble, lumo elirus la teleskopon laŭ diametro de dudek milimetroj. Tio estus multe pli granda ol okulo,

F.6.1. Portebla refleksa teleskopoj por komencanto. $D = 150 \text{ mm}$; $F = 750 \text{ mm}$. Kun ĝi, estas du okularioj : $f = 25 \text{ mm}$ kaj $f = 10 \text{ mm}$. Per la unua okulario : $G = 30$; do $d = 5 \text{ mm}$; okulo ricevas plej bonan lumon. Per la dua okulario : $G = 75$, bildo ŝajnas pli granda ; sed $d = 2 \text{ mm}$, kvankam lumeco estas teorie pli forta, la okulo vidas bildon tro malluman.



objektivo (spegulo) →
← okularioj



vi perdus lumon, vi ne uzus la tutan eblon de la teleskopo. Male, se vi grandigus la bildon pli ol centoble, la luma diametro estus malpli ol du milimetroj, multe tro malgrande.

• Difinoj.

Lorno estas optika observilo por surteraj aferoj. Ĝi donas bildon ne inversa rilate al objekto.

Teleskopo, ĉu refleka ĉu refrakta, estas optika observilo por astroj. Ĝi donas bildon inversa rilate al objekto.

La astro estas objekto; tio, kion okulo vidas, estas ties bildo.

Teleskopo konsistas el objektivo, kies fokus-distanco estas F ; kaj okulario, kies fokus-distanco estas f .

Eniga pupilo de teleskopo estas la surfaco, kiu kaptas utilajn lum-radiojn. Ties diametro estas D .

Eliga pupilo de teleskopo estas la surfaco, kiu ellasas la utilajn lum-radiojn. Ties diametro estas d .

Por plej bonaj kondiĉoj, kongruu eliga pupilo kaj okula pupilo: $d = d_{\text{okul}}$.

Se okulo vidas la objekton laŭ angulo α , kaj la bildon laŭ angulo α' , la angul-grandigo de teleskopo estas tia, ke

$$G = \alpha' / \alpha.$$

Teleskopo bone agordita estas senfokusa: enirantaj paralelaj lum-radioj eliras ankoraŭ paralelaj.

Ĉio, kio sekvas, koncernas senfokusajn teleskopojn.

• La bildo ŝajnas tiom malproksima, kiom la objekto: ĉe infinito. Tiel okulo ne laciĝas per streĉa mem-agordo.

• Objektiva fokuso kongruas kun okularia fokuso. Krome, tio faciligas desegnadon de lum-radioj.

• Validas rilato inter angul-grandigo kaj fokus-distancoj:

$$G = F / f.$$

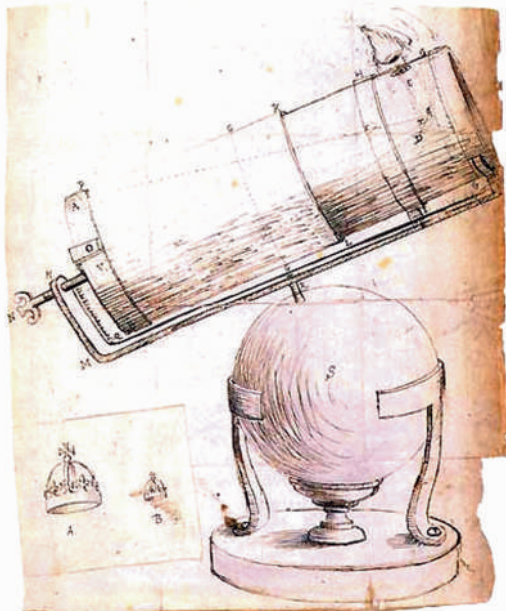
• Validas rilato inter angul-grandigo kaj pupiloj eniga kaj eliga:

$$G = D / d.$$

• Lumeco de teleskopo estas:

$$L = (D / d)^2.$$

F.7. OBSERVADO PER REFLEKTA TELESKOPO



Teleskopo desegnita kaj konstruita de Neŭtono. **F.7.1.**

NEŬTONO, ĉirkaŭ 1670, konstruis teleskopon laŭ nova sistemo : kiel objektivon li uzis spegulon. Male al lenso, spegulo tute ne disigas la kolorojn. El blanka lumo, ties ruĝa, verda aŭ blua radioj sekvas saman vojon. Kian ajn koloron vi sendas laŭ iu direkto, la spegulo resendadas en komunan direkton ĉiun koloron. Neŭtono multe studis pri disigo de koloroj, kaj ĝuste tio donis ideon al li konstrui kavan spegulon.

Plej taŭga formo de spegulo, por ke ĉiuj lumradioj koncentriĝu en fokuson, estas ne sfero, sed paraboloido. Sur papero estas parabolo, sed teleskopo havas simetrian laŭ la akso de la tubo, do la spegulo estas paraboloida. La unuaj speguloj tamen estis sferaj, ĉar tiam neniu kapablis konstrui paraboloidon, kaj Neŭtono ne taksis tre grava la diferencon.

Ĉar la spegulo estis sufiĉe malgranda, observanto, kiu metus sian okulon ĉe la fokuso, barus komplete la alvenon de la lumradioj. Tial Neŭtono aldonis duan spegulon. Okulo observas ĉe la flanko de la tubo. Pro la eta spegulo, ne la tuta lumo alvenas al la granda spegulo. Tamen, se oni respektas kutimajn proporciojn, tio ne fuŝas la bildon.

Neŭtono konstruis nur malgrandan teleskopon, ĉar li celis prui avantaĝojn de la reflektaj rilate la refraktajn. Li antaŭen metis du kvalitojn de sia teleskopo. Unue, spegulo tute ne disigas la kolorojn, do la bildoj ne plu aperis strange kolorigitaj. Due, por la sama diametro kiel en Galilejaj lornoj, lia tubo estis multe malpli longa, preskaŭ dekoble malpli longa.

Tamen Neŭtonaj teleskopoj ne havis sukceson komence, ĉar la lumeco de la bildo estis malpli forta ol tiu per lorno. Tra lorno, observantoj multe pli bone

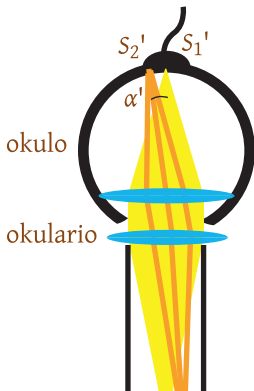


vidis ol tra teleskopoj, pro tiama teknika problemo : speguloj estis el bronzo. La speguloj de la nunaj teleskopoj tre bone funkcias : kvazaŭ 97 % el la lumo alveninta estas spegulata. Ni eĉ kapablas konstrui tre kostajn spegulojn, kiuj sendus ĉirkaŭ 99 %. Sed, antaŭ tricent jaroj, ne ekzistis niaj modernaj teknikoj. La bronzo de speguloj sendis nur 47 % el la lumo. Tial reflektaj teleskopoj ne tuj sukcesis, kiam Neŭtono klopodis montri ties avantaĝojn.

Ni rimarku (en desegno F.7.1.) la apogilon, kiu simple estas sfero libere metita sur stativo, kun du elastaj pecoj, kiuj bremsas la sferon. Estas nur unu ŝraŭbo, por agordi la fokuson. Ĝi proksimigas aŭ malproksimigas la spegulon.



• *Reflekta teleskopo* konsistas el konverĝiga spegulo kiel objektivo, kaj el konverĝiga lenso kiel okulario.



- Lum-radioj el steloj S_1 kaj S_2 . En ĉi skemo, fokus-distanco de objektivo : $F = 50 \text{ mm}$; fokus-distanco de okulario : $f = 25 \text{ mm}$; angul-grandigo : $G = 2$; eniga pupilo (utila diametro de objektivo) : $D = 20 \text{ mm}$; eliga pupilo : $d = 10 \text{ mm}$.

el S_1

α

eta dua spegulo

el S_2

tubo

objektivo (spegilo)

Modelo F.7. - Observado per reflekta teleskopo.



F.8. OBSERVADO PER REFRAKTA TELESKOPO

DUM lastaj tri jarcentoj, okazis vetkonstruado kvazaŭ freneza. Ĉiu astronomo deziris konstrui plej grandan teleskopon, por ricevi ĉiam pli kaj pli da lumo. Estas amuze konstati, ke laŭ la epokoj, furoris ĉe la astronomoj ĉu refraktaj ĉu reflektaj teleskopoj.

Unua ŝtupo de la vetkonstruado : refraktaj teleskopoj.

Post Galilejo, lornoj evoluis, pliboniĝis, ĉar kompreneble ili multe utilis al homaj surteraj aktivadoj, ĉe kiuj gravis, ke la bildo ne estu inversa. Tute male, astronomoj ne zorgis pri tiu detalo, sed preferis observilon simple fabrikeblan laŭ grandaj dimensioj.

Refrakta teleskopo ege simplas. La objektivo estas konverĝiga lenso, same kiel en Galileja lorno. La okulario estas ankaŭ konverĝiga lenso, sed malpli dika. Nura malavantaĝo de tiu aranĝo estas la grandega longo de la tubo. Longo de Galileja lorno estas la diferenco inter la fokus-distancoj; longo de refrakta teleskopo estas la sumo. Cetere, kiel jam dirite, plia kaj plia longigo de la fokus-distancoj restis la nura rimedo, por eviti disigon de koloroj.

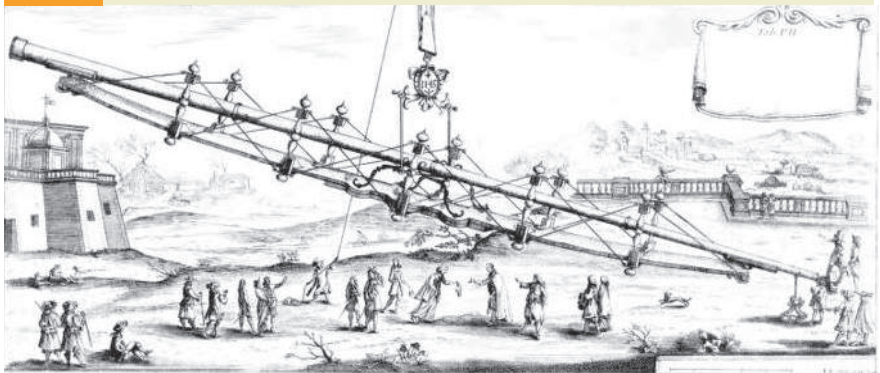
Tiun refraktan teleskopon inventis Keplero en 1611, kiam li matematike studis la funkciadon de lensoj, kion ne faris Galilejo.

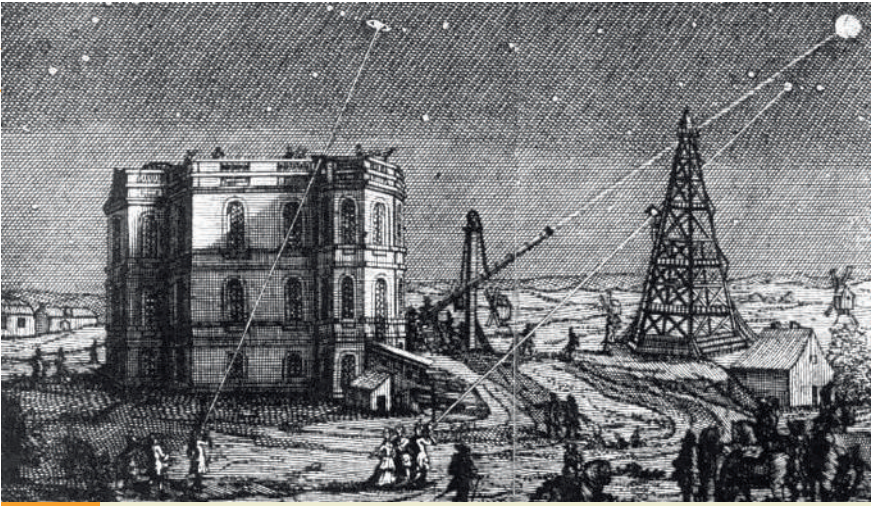
En tiu epoko, la plej gigantaj tuboj de teleskopoj mezuris ĝis kvindek metrojn! Ili pendis sub dika masto (ne videbla en bildo F.8.1., sed videbla meze en bildo F.8.2.). Tamen, ili neniam donis vere bonkvalitajn bildojn.

Per tiom longa teleskopo, astronomo povis observadi eĉ *sen* okulario. Tio eblas, kiam longeco elpasas kvardek-oble la diametron.

Ĉirkaŭ 1650, Huiĝenso proponis konstruadon de teleskopoj sen tubo (maldekstre kaj dekstre en bildo F.8.2.). La okulario restis ĉe observanto, sed la

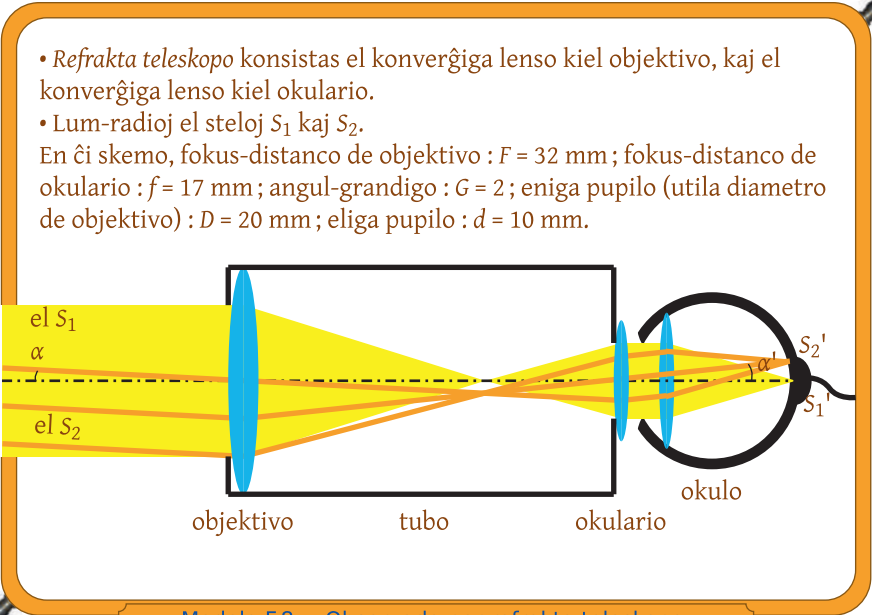
F.8.1. Teleskopo ĉirkaŭ 1650.





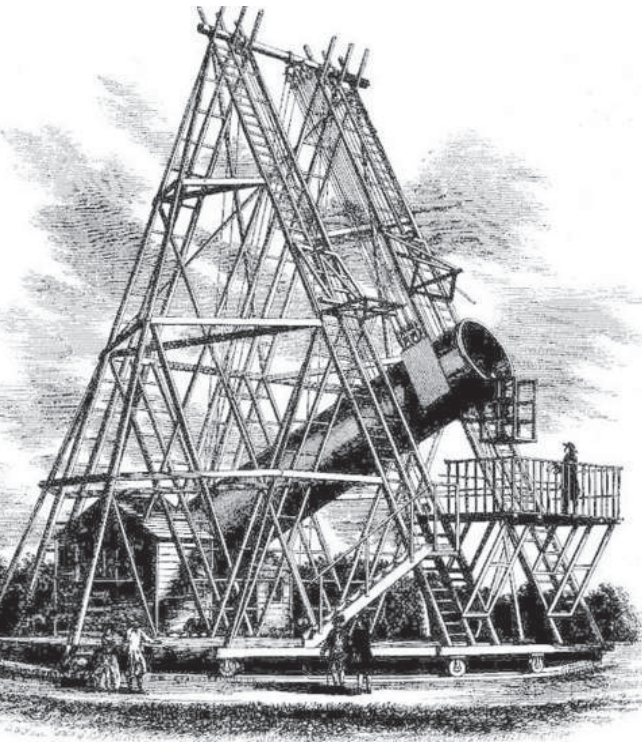
F.8.2. Tri observadoj ĉe observatorio de urbo Parizo, ĉirkaŭ 1685.

objektivo staris sur alta turo aŭ tegmento, ligita per ŝnuro kaj komplika sistemo, kiu certigis taŭgan orientiĝon.



Modelo F.8. - Observado per refrakta teleskopo.

F.9. OBSERVADO PER GRANDA REFLEKTA TELESKOPO



Reflekta teleskopo de Herŝelo. **F.9.1.**

DUA ŝtupo de la vet-konstruado : reflektaj teleskopoj.

Riĉa astronomo Herŝelo konstruis plurajn teleskopojn. La plej grandan (bildo F.9.1.) li konstruis en 1789. Fokus-distanco : $F = 12$ m; diametro : $D = 1,2$ m. Necesis tuta skafaldo ĉirkaŭ la tubo. Observanto staris ĉe la supro, li rigardis senpere en la tubon mem, sen dua spegulo. Tio ŝparis iom da lumo, ĉar la kvalito de la tiamaj speguloj el bronzo estis malbona. La teleskopo estis tiom grandega, ke ĝi bezonis dudek personojn por movi ĝin.

La plej giganta teleskopo el tiu tipo (bildo F.9.2.) aperis en 1845. Fokus-distanco : $F = 17$ m; diametro : $D = 1,8$ m.

Astronomo Roseo, kiu jam spertis pri teleskopoj, konstruigis du muregojn, kaj starigis sian tubon inter ambaŭ. Dum li observadis, kvindek personoj movis la teleskopon. Ĝi estis terure pezega. Ne ekzistis motoroj, laboris nur brakoj. Tasko estis, ke la tubo turniĝu tre regule kaj precize, por nuligi la rotacion de Tero.

Ĉar la tubo moviĝis nur inter la du muregoj, ne eblis observi saman astron dum pluraj horoj, sed eblis trafi ĉiun astron inter horizonto kaj zenito. Lumradioj el astro alvenis super la kapo de observanto, ĝis la spegulo funde de la tubo, kaj revenis koncentritaj en la okulon.

Ankaŭ tiu spegulo estis el blanka bronzo, kiu ebligis la plej perfektajn spegulojn tiutempe, kvankam ĝi sorbis pli ol duono el la lumo. Por ricevi tian

gigantan spegulon, la astronomo tamen La unuaj kvin speguloj estis fuŝaj. Kiam malvarmiĝis, aperis fendoj meze sur la restis varma dum la rando malvarmiĝis. Oni kiel por sonoriloj. Malvarmigado okazu ege malrapide.

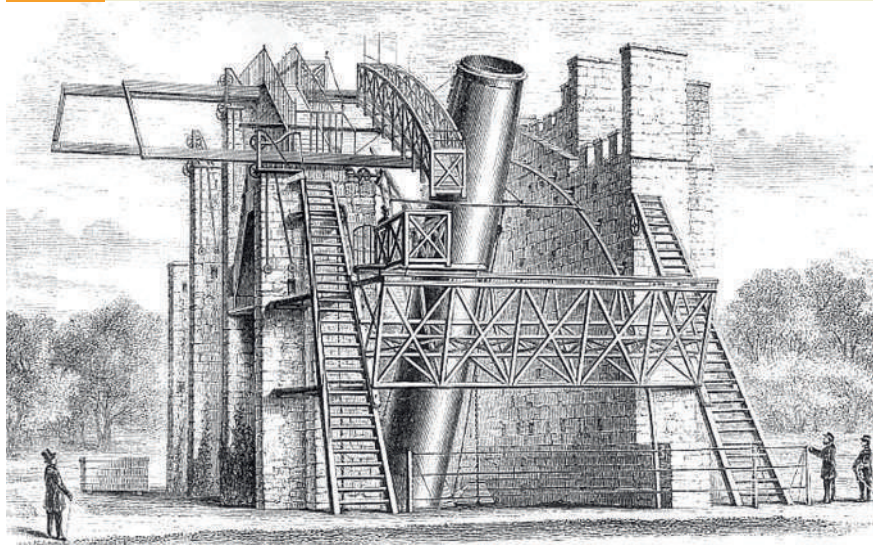


fandis kvin aŭ ses. spegulo tro rapide surfaco, ĉar la centro uzis la saman teknikon,

Restas teknika malfacilaĵo dum konstruo de spegulo, kiu ne ekzistas dum konstruo de lenso : tre gravas, ke estu nenia difekto sur la surfaco, kiu estu ege perfekte glata. La diferenco inter la konkreta kaj la teoria surfacoj estu multe malpli ampleksa, ol kiam temas pri lenso. Ĉar ondo-longo de flava lumo estas ĉirkaŭ duono de mikrometro, la plej ampleksaj difektoj sur la surfaco de lenso atingu maksimume unu duonon de mikrometro. Sur spegulo la maksimumaj difektoj atingu unu dekonon de duono de mikrometro. Tio estas multe pli postulema, kiam ni volas fine ricevi perfektan bildon.

Hodiaŭ, por sama granda diametro, reflektita teleskopo estas inter tri- kaj dek-oble malpli kosta ol refrakta teleskopo aŭ lorno. Objektivo de refrakta teleskopo estas lenso, kies vitro ĉiam estu samkvalita de unu flanko al la alia, kaj tio estas tre malfacile farebla por granda diametro. Tial en observatorioj la grand-diametraj teleskopoj estas reflektaj, ili funkcias kiel spegulo.

F.9.2. Reflektita teleskopo de Roseo.



F.10. OBSERVADO PER GRANDA REFRAKTA TELESKOPO

TRIA ŝtupo de la vetkonstruado : gigantaj refraktaj teleskopoj. La principo mem de la teleskopoj ne evoluis, sed progresoj pri konstru-teknikoj ebligis uzadon de materialoj pli kaj pli taŭgaj.

La problemon pri disigo de koloroj fine solvis konstruado de objektivo, kiu konsistas el du aŭ tri kunmetitaj lensoj, ĉiu el malsama vitro. Tion proponis jam Neŭtono en 1700, sed konkretigo postulis tempon. Restas ege malfacile konstrui perfektan vitro-pecon laŭ grandaj diametroj.

Ne plu estis necese freneze longigi la fokus-distancon, kaj la teleskopoj ekestis pli racie longaj.

Plej granda refrakta teleskopo aperis en observatorio apud urbo Nico (Eŭropo) en 1887 (foto F.10.1.). Diametro : $D = 760$ mm. Fokus-distanco : $F = 18$ m. La oblikva akso estas paralela al tiu de Tero. Tiel la teleskopo sekvas astron per nur unu movo. Tiam ne estis elektraj motoroj : mekanika horloĝo, kun pezilo, turnigis la tubon.



F.10.1.

Refrakta teleskopo en la observatorio de Nico.



La plej granda refrakta teleskopo, kiu bone funkciis, ekstaris en observatorio apud urbo Ŝikago (Nord-Ameriko), en 1897 (foto F.10.2).

Diametro de la objektivo : $D = 1000$ mm. Fokus-distanco : $F = 19$ m. Diametro de la tubo : 1,6 m. Longo de la tubo : 20 m. Maso de la nura tubo : 6 t. Maso de la apogilo : 80 t.

La polurado de la objektivo daŭris preskaŭ tri jarojn.

En tiu observatorio, la tuta planko leviĝas aŭ malleviĝas por atingi la nivelon de la okulario, kaj faciligi observadon.

Preskaŭ ekzistis unu pli granda refrakta teleskopo, sed ĝi neniam vere funkciis. Ĝi aperis en 1900, okaze de la universala ekspozicio en Parizo. Diametro de la objektivo : $D = 1300$ mm. Fokus-distanco : $F = 57$ m. La teleskopo estis tiom peza, ke la tubo kuŝis horizontala, sen ebla movigo. Nur spegulo moviĝis antaŭ la objektivo, kaj sendis bildon de la steloj tra la teleskopo.

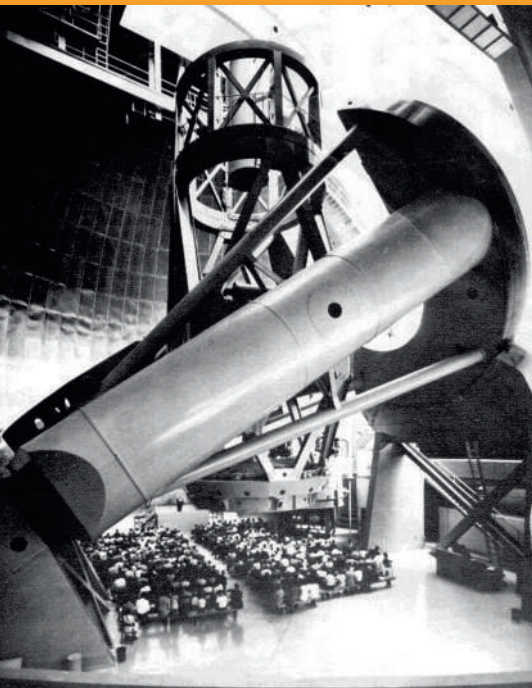
La lenso, pro sia propra pezo, ne konservis sian belan formon, meze dikan kaj rande maldikan, ĝi fariĝis pir-forma. Tio ne videblis nudokule, sed, por ricevi bonan bildon, ĝi tamen estis fuŝa. Neniu sukcesis fabriki vitron sufiĉe firman, por ke ĝi ne misformiĝu. Post la ekspozicio, la teleskopo estis tute elmuntita.

Por refraktaj teleskopoj, finiĝis la freneza vetkuro al giganteco.



F.10.2. Refrakta teleskopo en la observatorio de Ŝikago.

F.11. FOTADO PER REFLEKTA TELESKOPEGO



Teleskopego en 1948. F.11.1.

Post 1900, ĉar ne eblis plu grandigi lensojn, astronomoj revenis al reflektaj teleskopoj, kaj konstruis spegulojn pli kaj pli gigantajn. Kvara ŝtupo de la vetkonstruado : reflektaj teleskopegoj.

Unua giganta, kiu aperis en Nord-Ameriko en 1908, multe utilis al astronomoj. Diametro de la spegulo : 1,5 m. Maso de la spegulo : 860 kg. La spegulo ne plu estis el bronzo sed el vitro. La kava surfaco estis ege bone polurita, kaj poste kovrita de tavolo da aluminio, kiu sin deponis en vakuo. Do vitro donis formon, aluminio donis spegul-efekton. Hodiaŭ sama tekniko ebligas fabrikadon de teleskopoj por amatoroj. La tavolo mezuras ĉirkaŭ dudek mikrometrojn.

En 1917, ankaŭ en Nord-Ameriko, aperis teleskopego, kies diametro estis ankoraŭ pli granda : 2,5 m.

Ĝi multe utilis : ekzemple, astronomo Hublo uzis ĝin por elpensi sian faman modelon pri ekspansio de la universo.

Grandeĝa ŝanĝo okazis ĉe astronomoj. Antaŭe, ili mem observadis. Ekde tiam, eblis fotado. Do en observatorioj neniu plu longe staris apud la tubo, estis nur foto-plako el vitro aŭ poste pli moderna fotilo.

Fotado daŭris ĉirkaŭ dudek aŭ tridek horojn. Nur tiel eblis kapti sufiĉe da lumo por « vidi » ege malluman astron. Sed ne ekzistas tridek horoj da nokto ! En nokto, la plej taŭga momento por foti astron daŭras ĉirkaŭ kvar horojn. Akirado de sola foto, kiu bezonis multe da lumo, do ofte daŭris, nokton post nokto, dum tuta semajno !

Ekzemple, astronomo simple mendis kvardek horojn da pozo por certa galaksio, kaj teknikistoj elturniĝis. Ne estis facile ĉiun nokton remeti la

teleskopon ekzakte en la saman pozicion, por ke sur fina bildo la astroj ne estu streketoj aŭ makuloj.

En 1948 ankoraŭ en Nord-Ameriko aperis la lasta teleskopo tiel giganta, kiu havis klinitan akson paralele al tiu de Tero (en foto F.11.1., la akso tre videblas antaŭ la teleskopo). Diametro de la spegulo : 5,1 m. Maso de la tuto : 400 t.

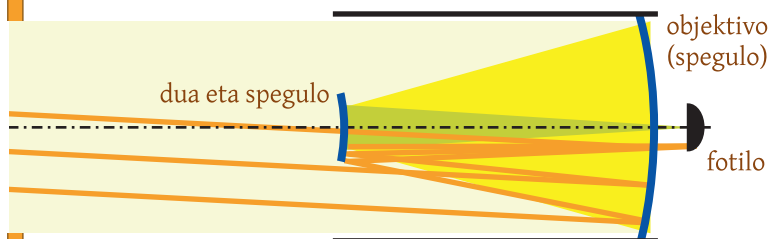
En 1976 ueste de Azio aperis teleskopo iom pli granda. Diametro de la spegulo : 6,0 m. La akso estis vertikala anstataŭ klinita. Tiel la teleskopo estis pli stabila. Sekvado de steloj postulis uzon de komputiloj. Tiuj teknikoj estis tiam tute novaj, kaj rego de la teleskopo ne estis simpla afero. Kvankam ĝi fine funkciis kaj utilis, la teleskopo spertis multajn gravajn teknikajn problemojn.

Poste aperis kelkaj pli grandaj speguloj, fanditaj ankaŭ kiel nura vitro-peco. Tamen tiuj speguloj ne tiom pezis, ĉar ili estis malpli dikaj : ili konservis taŭgan formon en la teleskopo nur danke al multnombraj motoroj stirataj de komputiloj.

Ekzistas hodiaŭ multaj speguloj, kies diametro estas ok metroj. Fabrikantoj, dum ili havis modelon kaj regis teknikon, fandis plurajn. Tial nun troveblas tiuj ok-metra teleskopegoj dise tra la mondo.

La speguloj estis prilaboritaj tiamaniere, ke teleskopegoj estu malpli longaj. Antaŭe, la longo de la tubo estis ĉirkaŭ sesoble la diametro. Nun la longo de la tubo estas ĉirkaŭ trioble la diametro.

- *Reflekta teleskopego* konsistas el unupeco konverĝiga spegulo kiel objektivo, kaj el fotilo anstataŭ okulario.
- Ne plu validas jam viditaj rilatoj pri grandigo, ĉar, kiam ne plu estas okulario, la teleskopo ne plu estas senfokusa. Grandigo dependas de la foto.



Modelo F.11. - Fotado per reflekta teleskopego.

F.12. FOTADO PER MODERNA TELESKOPEGO

HODIAŭ la diametro de la plej grandaj reflektaj teleskopegoj atingas unu dekon da metroj. Ili malsimilas al malnovaj teleskopegoj, pro grandega revolucio : ekuzo de komputiloj.

Unue, komputilo anstataŭis okularion. Ne plu estas observanto, estas nur kamerao. En la pratekniko, astronomo, kiu promenis je la fino de la teleskopo, observis senpere en la tubon. Hodiaŭ, neniu plu eĉ eniras sub la kupolon dum la funkciado, ĉar la varmo de la homo perturbus, kaj tio fuŝus la bildon. Cetere, eĉ ne estas loko por meti okularion. La profesiuloj estas en ŝirmita, hejtita ĉambro subgrunde. Ili rigardas la bildon per ekrano. Se iam paneus elektro, ne plu eblus uzi la teleskopon !

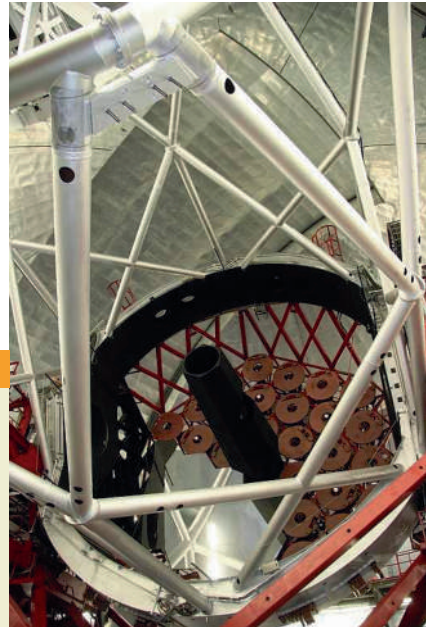
Due, aliaj komputiloj kontrolas la pozicion de la teleskopo rilate la astrojn. Kiam estis oblikva akso paralela al tiu de Tero, nur unu motoro turnis la teleskopon tre simple. Movo laŭ du aksoj estas terure pli komplika, sed facila al komputiloj.

Fine, lasta revolucio estis apero de novtipa spegulo, en kiu komputiloj ludis plej gravan rolon. Spegulo ne plu estis nura vitropeco, sed aro da speguletoj, kiuj kvazaŭ floris sur apogiloj senĉese kontrolitaj de komputiloj.

Tiel la objektivo de teleskopo ĉiam havas plej perfektan formon. Eĉ eblas nuligi la efekton de la atmos-

F.11.2.

Teleskopego ($D = 10$ m) dum konstruado en 2005 por observatorio sur insulo Kanarioj. Supre estas la dua eta spegulo ; malsupre pretas nur parto el la aro da sesangulaj speguletoj. Ĉiu ruĝa disko estas apogilo, kiu per motoro movos sian speguleton. La teleskopego donas nun eksterordinare belajn bildojn.



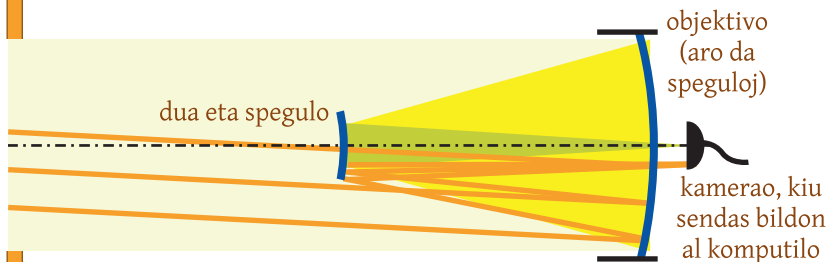
fero, kiu forte influas la bildon : lasero mezuras la « travideblecon » de la aero, kaj komputiloj senĉese movigas la speguletojn.

Tamen, ne estas facile kunigi speguletojn, por ke ili agu ekzakte same kiel sola spegulo. Precizeco estu ege granda. La ideon naskis studentoj, kiuj deziris konstrui teleskopon en sian propran universitaton kiel eble plej malmultkoste. Ili rekuperis spegulojn forigitajn pro etaj difektoj. Ilin konstruis multnombro militistoj por spionaj satelitoj. La studentoj stumblis kontraŭ la problemo pri precizeco, kaj ili rezignis. En perfekta kombino de du speguloj, la diferenco de la vojoj inter du lumradioj el du speguloj ne estu pli granda ol la dekonono de la ondolongo. La ondolongo de flava lumo estas sescent nanometroj ; la diferenco de la vojoj, do la precizeco pri pozicio estu sesdek nanometroj. Nudokule mi eĉ ne povas vidi tiun diferencon !

La origina projekto fiaskis, sed la ideo estis tre bona, kvankam ĝia konkretigo estis komplika. Danke al komputiloj, ni hodiaŭ kapablas konstrui tiom precizan aron da speguletoj. Ĉiu speguleto estas sesangulo, same kiel en abelujo. Tio ebligas plej grandan surfacon kun minimuma perdo inter la speguletoj.

Nenio plu limigas la dimension de gigantaj teleskopoj. En 2012 la plej grandaj spegularoj diametre mezuras dek metrojn ; en 2022 ili certe mezuros tridek aŭ kvardek metrojn, kiel estas jam decidite. Sed ekzistas projektoj por konstrui spegularojn, kies diametro atingus cent aŭ eĉ pli da metroj. Historio pri vetkonstruado ne finiĝis...

• Moderna teleskopego konsistas el konverĝiga spegularo regita de komputiloj, kaj el kamerao.



Modelo F.12. – Fotado per moderna teleskopego.

F.13. MEZURADO PER OPTIKA INTERFEROMETRO

PLEJ bona solvo por la estonto de teleskopoj, kiuj iam ebligis observadon de ege malproksimaj astroj ĝis hodiaŭ ne observeblaj, estas uzo de interferometroj. Tiu tekniko maksimume baziĝas sur komputiloj.

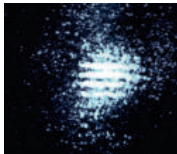
Jam en 1891 astronomo Mikelsono per interferometro sukcese mezuris la diametron de Jupiteraj satelitoj, kaj poste eĉ diametron de steloj! Li metis sep-metrojn longan trabon sur la supro de la tubo de teleskopo. Ĉe ambaŭ finoj de la trabo, speguloj kaptis lumradiojn kaj sendis ilin en la teleskopo-tubon. La ĉefa spegulo de la teleskopo kombinis lumradiojn el la du kaptiloj. Sur la bildo aperis strioj blankaj kaj nigraj, ĉar la lumfaskoj, kiel ondoj, interferis unu kun la alia. Du samstelaj lumradioj, kiuj sekvis malsamajn vojojn, aŭ sumiĝis aŭ nuligis unu la alian.

Inter ambaŭ lumkaptiloj estis distanco : $B = 7$ m. Mikelsono konstatis pri distingivo, ke ĉio mirige funkciis same, kiel se la tuta teleskopo diametre mezurus sep metrojn! kiel se li disponus pri sep-metra spegulo!

Sed tiu gajno koncernis nur distingivon, mezuron de etaj detaloj, ĝi plej ofte utilis al mezuro de astro-diametro. Male, la kvanto de lumo ne kreskis, ne eblis vere spekti la mezuritan astro-diametron. Tiam astronomoj eklernis pri diferenco inter du teleskopaj kvalitoj : kvanto de lumo kaj fajneco de detaloj. Tio estis revolucio. Ĝis tiam ĉiu nova giganta teleskopo samtempe grandigis kaj lumecon kaj precizecon. Poste nur precizecon donis interferometroj.

En 1974, sude de Eŭropo, astronomo Laberio konstruis duteleskapan interferometron (foto F.13.2.). Ambaŭ teleskopoj vojaĝis sur reloj. Ili kaptis lumon el sama astro, kaj sendis ĝin en dometon, kiu situis inter ambaŭ teleskopoj, kaj en kiu komputiloj analizis la datenojn post interferoj. Dum mezurado, la bazo variis ĝis maksimumo : $B = 80$ m. Tio donis precizecon de teleskopo, kies diametro estus okdek metroj! kvankam ĉiu teleskopo estis malgranda : $D = 1,5$ m.

Mi vizitis tiun instalaĵon en 1975, kiam li prov-uzis ĝin. Laberio havis ideon, kaj li obstinis, ĝis kiam li vere konkretigis ĝin. La tekniko estis tiom majstrita



F.13.1.

Stelo Vega, kiun fotis Laberio en 1975 per sia duteleskopa interferometro. Interferoj inter la du lum-faskoj kreis tiujn striojn. Dimensiojn de la stelo donis ne larĝeco de la makulo, sed kontrasto inter interfero-strioj post kalkulado.



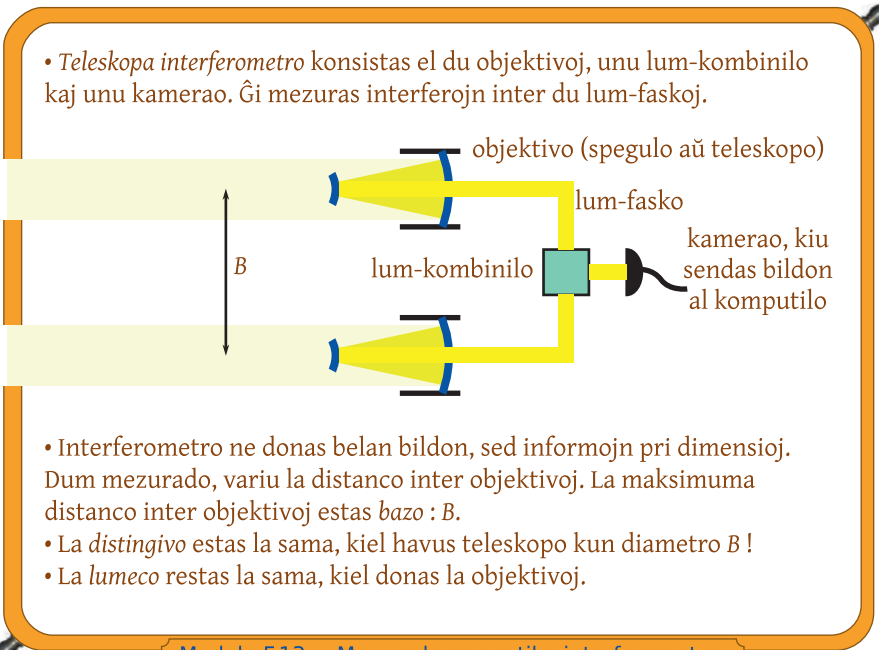
de la skipo de Laberio, ke li fariĝis tutmonde famekonata pro tiu laboro.

Sur alta insulo meze de Pacifiko aperis du reflektaj teleskopoj : Keko la 1^a en 1993 kaj Keko la 2^a en 1996. Ĉiu dek-metrojn larĝa objek-



F.13.2.

tivo konsistis el la aro da ses-angulaj speguletoj (vidu en F.12.). Oni konstruis tie du similajn teleskopojn pro kroma espero uzi interferometron. Distanco inter ambaŭ estis granda : $B = 80$ m. Sed tiu projekto fiaskis! Konstruistoj ne majstris la teknikon. Ili provis aldoni interferometran teknikon al teleskopoj, kiujn ili ne elpensis por tiu uzado. Ili ne sukcesis atingi sufiĉan precizecon pri diferenco inter lum-vojoj el ambaŭ teleskopoj. Hodiaŭ la interferometro pli-malpli bone funkcias, sed ne tiel, kiel astronomoj esperis.



Modelo F.13. – Mezurado per optika interferometro.

F.14. FOTADO PER INTERFEROMETRA TELESKOPEGO

PER interferometroj eblas konstrui grandegajn, eĉ freneze gigantajn teleskopegojn, kiuj montras al ni novajn detalojn de la universo.

Astronomo Laberio transdonis sian teknikon por la konstruado de Tre Larĝa Teleskopo (anglalingve *V.L.T.*) en Sud-Ameriko. Li mendis la plej taŭgajn ilojn, li sukcesis konsentigi la tutan skipon kaj la tutan financiularon, ke oni pensu pri ĉiuj interferometraj aspektoj ekde la komenco.

La lokon sur alta montaro la homoj elektis, ĉar tie kvazaŭ estas plej bela kaj plej pura ĉielo el la planedo. De 1998 pluraj teleskopoj ekfunkciis unu post alia. Hodiaŭ staras kvar fiksjaj teleskopoj, kun granda diametro : $D = 8,2$ m. Ili servas aŭ kun aŭ sen interferometro. La bazo estas longa : $B = 120$ m. Vi imagu la distingivon de cent-dudek-metra teleskopo! Apud staras kvar moveblaj teleskopoj, kun malgranda diametro : $D = 1,8$ m. Ili utilas nur por ŝanĝi la bazon de interferometro. Aperis ankaŭ aliaj teleskopoj kaj iloj. Jam de kelkaj jaroj la astronomoj disponas pri multaj ebloj uzante ian kombinon aŭ alian.

Pro tiu sukceso, Laberio proponis alian projekton : konstruado de interferometra teleskopego sur Luno! Tie estas nenia atmosfero, ĉielo estas vere nigra. Sur grundo, dudek sep unu-metron larĝaj teleskopoj promenus per piedoj, kiel gigantaj insektoj. Ĉiuj koncentrus sian lumon en centran konstruaĵon, kie okazu interferoj. Komputiloj regus la tuton. Sed Laberio ne sukcesis financi tiun projekton, kvankam ĉiuj precizaj detaloj estas pretaj en dosiero ege dika. Mi tre bedaŭras tion.

... Kaj plian projekton : instalado de samtipa teleskopego, kiu flosus en kosmo kiel satelito! Tie ne ekzistas pezo, estus facile regi ĉiujn poziciojn, per raketetoj. Flosus aro da unu-metron larĝaj teleskopoj, kies ĉefa spegulo estus folio streĉita je taŭga formo, kaj kies dua spegulo resendus lumfaskojn en sateliton meze de la aranĝo. Eblus tiel kunigi multnombrajn teleskopojn.

En ankoraŭ pli granda projekto, ĉiu teleskopo konsistigus sendependan sateliton. Tio ebligus grandigon de la distanco inter la teleskopoj. La distingivo atingus nekredible altan valoron! Kvankam la pozicioj inter satelitoj estu ege precizaj, la projekto ŝajnas bone realigebla. Temas nur pri tempo, antaŭ ol ni havos tian teleskopon.

Eksperimentoj jam ekis sur Tero. Sciencistoj planas konstrui teleskopon, kiu kuŝos en tuta valo! Naturaj deklivoj helpas instali la multnombrajn teleskoperojn. La valo konsistigos virtualan spegulon, kies nur partetoj vere



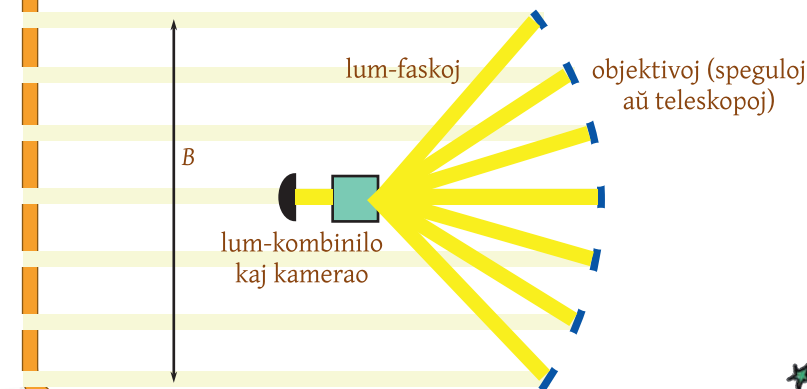
spegulos. Tio estas « diluita teleskopo ». La bazo estos granda : $B = 200$ m. Ĝi samtempe donos precizecon kaj belan bildon. La lum-kombinilo lokiĝu je sama distanco, do alte super la grundo. Ĝi pendos sub aerflosilo plenigita de heliumo! Pluraj provoj jam okazis, ĉio bone disvolviĝas : en 2011, la sciencistoj sukcesis atingi unu-mikrometran precizecon pri lum-vojoj, spite venton !

Ekzistas ideoj por ankoraŭ plu grandigi la bazon de la interferometro. Sur la rondovojo de Tero ĉirkaŭ Suno, estas du Lagranĝaj punktoj, kie regas stabileco. Se ni metus aparaton tien, ĝi konservus sian pozicion, pro nuligo de la Suna kaj Tera gravit-efektoj. Vidite el Suno, la angulo inter tia punkto kaj Tero valoras sesdek gradojn. Sufiĉos meti unu teleskopon po punkto, ili resendos lum-faskojn en observatorion sur Tero, kiu situas ĝuste meze, kaj jen interferometro, kies bazo estos giganta : $B = 300 \cdot 10^9$ m ! Bedaŭrinde multnombraj ŝtonoj havis saman ideon, do tiu regiono jam estas tre okupita.

Kiam astronomoj postulos ankoraŭ pli grandan interferometron, eblos instali la spegulojn en la rondo-vojo de Jupitero. La bazo estos giganta : $B = 1400 \cdot 10^9$ m ! Sed la maso de Jupitero kreis stabilecon tiel efikan, ke ĉe ambaŭ Lagranĝaj punktoj jam estas aroj da ŝtonoj : satelitoj Trojanoj.



- *Interferometra teleskopego* konsistas el multaj fiksjaj objektivoj, unu lum-kombinilo kaj unu kamerao. Eblas doni al la distanco inter du objektivoj multajn malsamajn valorojn, per kombino de la objektivoj.
- Fine komputilo kreas belan bildon aldonante la lumecon de la tuta teleskopo kaj la precizecon de interferometro.



Modelo F.14. - Fotado per interferometra teleskopego.



F.15. LA UNIVERSO PER MODERNA TELESKOPEGO

DANKE AL teleskopoj ĉiam pli kaj pli gigantaj, ni malkovras en la universo detalojn ĉu pli kaj pli ege malproksimajn, ĉu pli kaj pli ege malgrandajn.

Nun ni kapablas fotadi galaksiojn, kiuj sendas al ni, el preskaŭ la « fino » de la universo, ege malmulte da lumo. Kelkfoje aperas strangaj bildoj, eĉ iluzioj (foto F.15.1.). Temas pri gravita efekto. Ŝajnas al ni, ke lumo el iu galaksio venas el pluraj malsamaj direktoj, ĉar grandega maso situante inter ĝi kaj ni, kurbigas spacon, do lumon. Kiel ni jam vidis pri pasinteco, la malfacila tasko de scienco estas paŝo el spektado de bildo ĝis kompreno de la universo.

Krome, tio naskis novan teknikon por imagi gigantegajn observilojn : la progravitaj teleskopoj. Ekzemple, ni uzu Sunon kiel progravitan lenson. Bedaŭrinde, ĝi disigos la kolorojn, kiel lenso el vitro, kaj la bildo estos iom fuŝa. Ne eblos plibonigi Sunon ! sed ni aranĝu okularion, kiu rekonstruos bildon.

Eblas imagi progravitan teleskopon, kies fokus-distanco estos inter du kaj ses miliardoj da kilometroj ! Jam ekzistas projekto proponita de la skipo de Laberio.

La vera celo de ĉiuj tiuj projektoj estas esplorado de la plej malgrandaj detaloj interne de nia propra galaksio. Depost Ĝiordano Bruno, la sama demando tiklas la scivolemon de la teranoj : Ĉu ni solas en la universo ? Astronomoj esperas, ke apud iu stelo ili iam vidos planedon. De kelkaj jaroj, ili pli-malpli bone sukcesas. Ni verŝajne tre baldaŭ ricevos fotojn de alia loĝebla planedo !

F.15.1.



Pri F.1. : en *Homo kaj Kosmo*, 1964, n° 2, p. 23-24, « Kosma Deveno de la okulo » ; en *Amuzo per scienco*, eldonejo Daily Mail, ĉirkaŭ 1963, p. 71-73, « Pinglotrua Fotografilo » (truo ludas rolon de lenso). Pri F.2. : en *Homo kaj Kosmo*, 1967, n° 2, p. 1-5, « la Astronomia Observatorio Ulug Beg en Samarkand ». Pri F.3. : en *Homo kaj Kosmo*, 1975, n° 3-4, p. 22-25, « Kiel vivis kaj laboris Tycho Brahe ». Pri F.4. : en *Homo kaj Kosmo*, 1975, n° 2, p. 16-18, « Galilejo ». Pri F.5. : en *Homo kaj Kosmo*, 1972, n° 4, p. 1-4, « Granda Astronomo Nikolao Kopernik » ; en *Pri nia universo*, Ĉina Esperanto-eldonejo, 1992, p. 15-21, « Geocentrismo », « Forno kaj rostita viando », « Viktimo de sciencoj ». Pri F.11. : en *Homo kaj Kosmo*, 1975, n° 2, p. 22, « Kandellumo videbla je 25 000 km » ; en *Homo kaj Kosmo*, 1981, n° 3-4, p. 11-14, « Teleskopoj sur la Luno ». Pri F.12. : en *Homo kaj Kosmo*, 1980, n° 3-4, p. 1-6, « Ni estas sur sojlo de "kosma astronomio" ». ; en *Homo kaj Kosmo*, 1984, n° 3, p. 20, « Ankoraŭ unu "kosma teleskopo" ». Pri F.15. : en *Homo kaj Kosmo*, 1978, n° 3-4, p. 19-20, « Ĉu stelo 61-Cygnus estas aparta planeda sistemo ? »

ENIGMO-SOLVOJ POR NUMERO 2

La belruĝaj steloj Betelĝuzo kaj Aldebarano situas respektive en Oriono kaj Taŭro. – De plej malvarma al plej varma viciĝas steloj Betelĝuzo, Aldebarano, Polukso, Prociono, Siruso. – Tuta ŝargo en kajuto de Apolo la 13^a estis tia : $Q = 120 \text{ A}\cdot\text{h}$. Daŭro de malŝargado estus tia : $120 \text{ A}\cdot\text{h} / 20 \text{ A} = 6 \text{ h}$. – Tra la fuelpiloj de Apolo la 13^a, dum unu horo, pasis ĉi jena kvanto : $m_{\text{H}_2} = 8 \cdot 10^{-3} \times 3600 = 28,8 \text{ g}$; $n_{\text{H}_2} = 28,8 / 2 = 14,4 \text{ mol}$; $n_{\text{H}_2\text{O}} = 14,4 \text{ mol}$; $m_{\text{H}_2\text{O}} = 14,4 \times (2 + 16) = 259 \text{ g}$. – En plenaj hidrogenoj de Apolo la 13^a estis ĉi jena kvanto : $m = 2 \times 13 = 26 \text{ kg}$; $n = 26 \cdot 10^3 / 2 = 13 \cdot 10^3 \text{ mol}$. Se tiuj hidrogenoj eksplodis kun oksigenoj, tio liberigus energion : $E = 13 \cdot 10^3 \times 242 = 3,15 \cdot 10^6 \text{ kJ}$.

Verkis Patrik Lagrangĝ, Dominik Bertrand, Celin Bernard, Mari-Franc Menanto.
La temon forte instigis staĝoj de 2009 pri astronomio
en kulturcentroj Kvinpetalo kaj Greziljono.

Pres-pretigis en aŭgusto de 2012

DOMINIK BERTRAND 7, RUE DES BRULIS 77320 JOUY-SUR-MORIN FRANCIO.



F.16. ĈU NI SOLAS EN LA UNIVERSO?

KIEL mi observadu malproksiman planedon kaj ties loĝantojn?

Mi havas amikon, kiu loĝas sur planedo ĉirkaŭ stelo Vego. Li regule sendas al mi mesaĝon per sia ege fortega lumo-fonto.

1. Kiu fama astronomo unuafoje vidis planedon, kiu plej certe rondiris ĉirkaŭ stelo?

2. Kiu fama astronomo ricevis plej gravajn problemojn, kiam li asertis, ke estis loĝantoj ĉirkaŭ stelo kiel Vego?

3. Dum priastronomia staĝo de 2009 en Greziljono, mi fotis ĉielon ĉirkaŭ Vego (F.16.1). Por koni skalon, mi mezuris angulon inter Vego kaj Denebo: ĝi valoris tridek gradojn. Kiun tre malnovan mezurilon mi uzis?

4. La kastelo-frontono larĝas kvar metrojn. Je kiu distanco el mi proksimume situis la pinto de la kastelo?

5. Laŭ astronomoj, la distanco al Vego estas jena: $25 \text{ lumjaroj} = 240 \cdot 10^{12} \text{ km}$. Mi provis rigardi al mia amiko nudokule. Mi supozu, ke estas kvincent milionoj da kilometroj inter Vego kaj lia planedo. Kiom valoras la angulo inter Vego kaj lia planedo, vidite el Tero? Ĉu mi povis vidi la luman mesaĝon?

6. Mi decidis grandigi la bildon tricent-oble per teleskopoj. Ĉu tio sufiĉis por atingi la distingivon de okulo?

7. Mi rigardis per mia reflektita teleskopoj, kies $F = 750 \text{ mm}$ kaj $D = 150 \text{ mm}$. Por grandigi la bildon tricent-oble, kiun okulardon mi devis uzi?

8. Kial mi ne facile trovis tian okulardon?

9. Estos pli bone, kiam mi uzos profesion observatorion. Unue mi petos belan foton, en kiu aperu Vego kaj eble kelkaj lumaj korpoj apude. Ĉu mi elektos la plej potencon teleskopon? Ĉu la plej potencon interferometron?

10. En la plej modernaj observatorioj, la sciencistoj uzos por mia bildo ĉu refraktan teleskopegon? Ĉu reflektan teleskopegon?

