



HAVAITSEVAN TÄHTITIETEEN PK I

TEKNISET INNOVAATIOT

Syksy 2022

Thomas Hackman



13. TEKNISIÄ INNOVAATIOITA

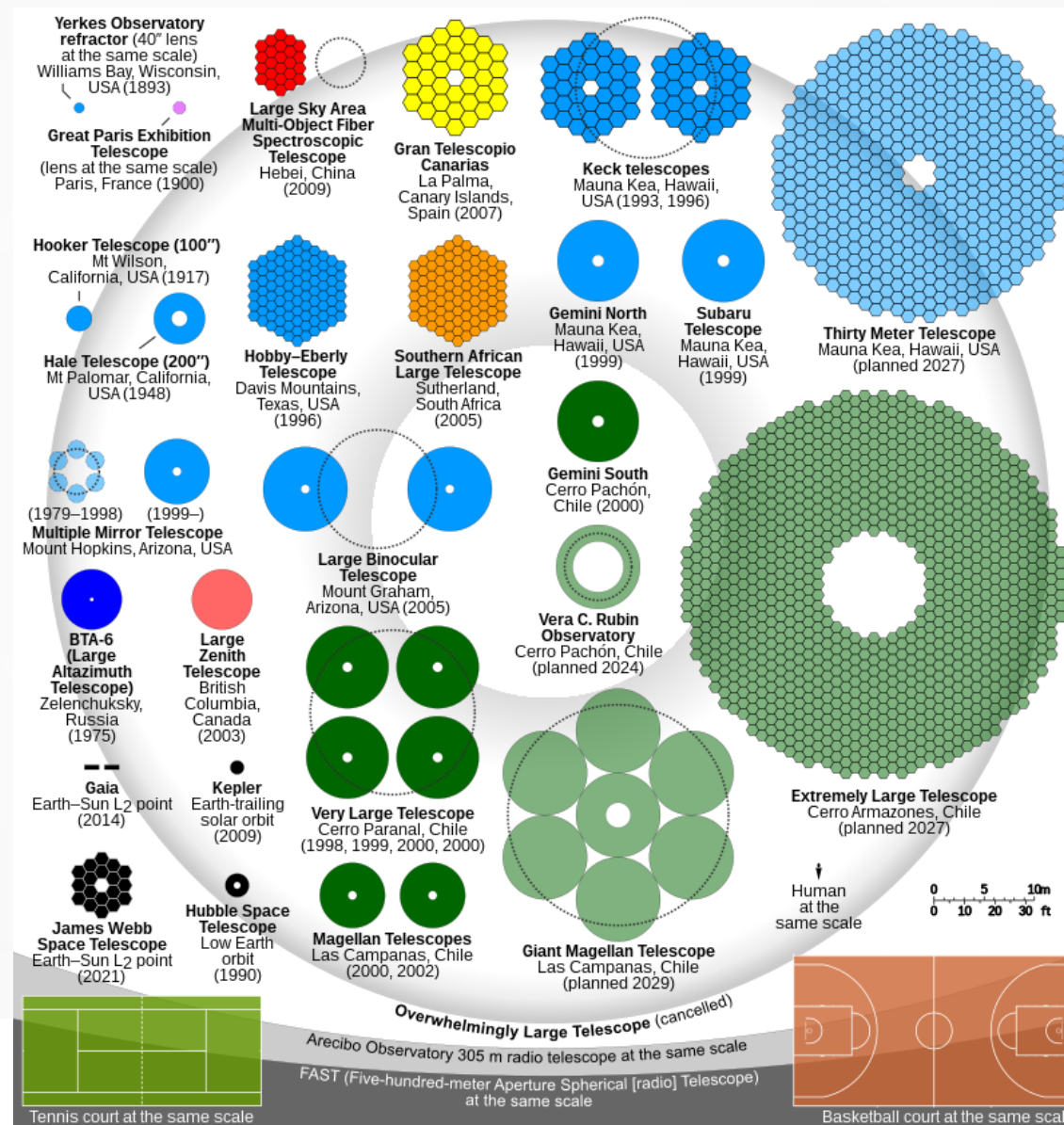
- Uudet teleskoopit
- Erotuskykyä parantavat tekniikat
- Detektorikehitys
- Monitoimintainstrumentit





13.1 TELESKOOPIT

Tämänhetken ja
lähitulevaisuuden
teleskooppeja





13.2 MONIPEILI- JA MOSAIKKITELESKOOPIT

- Suurten monoliittipeilien yläraja ~8 metriä (*LBT* 8.4m isoin)
- Yli 6m yleensä kuitenkin mosaiikkeja
- Mosaiikkiteleskooppi toimii kuin yksipeilinen
 - erotuskyky ja valonkeräyskyky lasketaan kuin yhtenäiselle peilille
 - peilien positiot toistensa suhteen säädettävä erittäin tarkasti
- Monipeiliteleskooppi toimii kuin monta teleskooppia yhdessä
 - => erotuskyky sama kuin yksittäisillä peileillä. Sen sijaan valonkeräyskyky yhteenlaskettu
 - => mahdollisuus tehdä interferometriaa, jolloin erotuskyky vastaa systeemin halkaisijaa

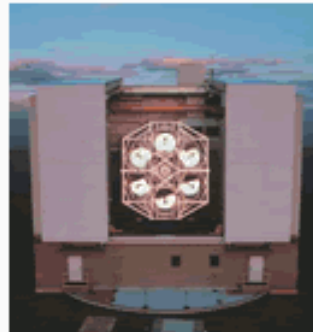
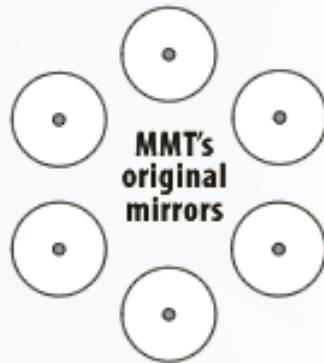


13.2 MONIPEILI- JA MOSAIKKITELESKOOPIT

STRATEGY 1

The Multiple Mirror Telescope (MMT) in Arizona

One group built a telescope using six individual mirrors held by a single mounting. The six mirrors created separate images that astronomers lined up by using joystick-like controls. Later, computers were used to align the images.



Courtesy Dane Penland

Above, the six separate mirrors of the original MMT are visible.

STRATEGY 2

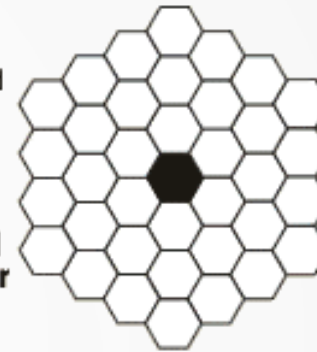
Keck I telescope in Hawaii

Another group of astronomers, at the Keck Observatory, pieced together 36 individual mirror segments into one gigantic mirror for the Keck I telescope.

One mirror segment



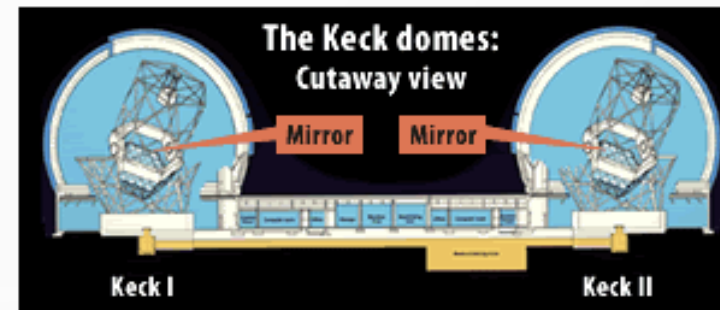
Keck I mirror



STRATEGY 3

Keck I telescope plus Keck II telescope

Eventually, scientists combined strategies 1 and 2. For example, Keck I now has a twin sister, Keck II. The telescopes' two separate mirrors can be used together to produce a single image.

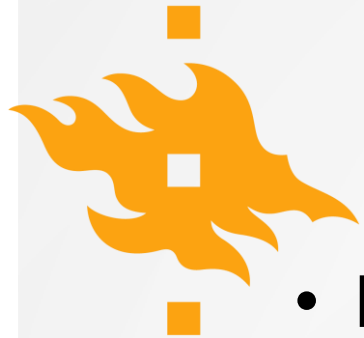


Courtesy NASA/JPL-Caltech



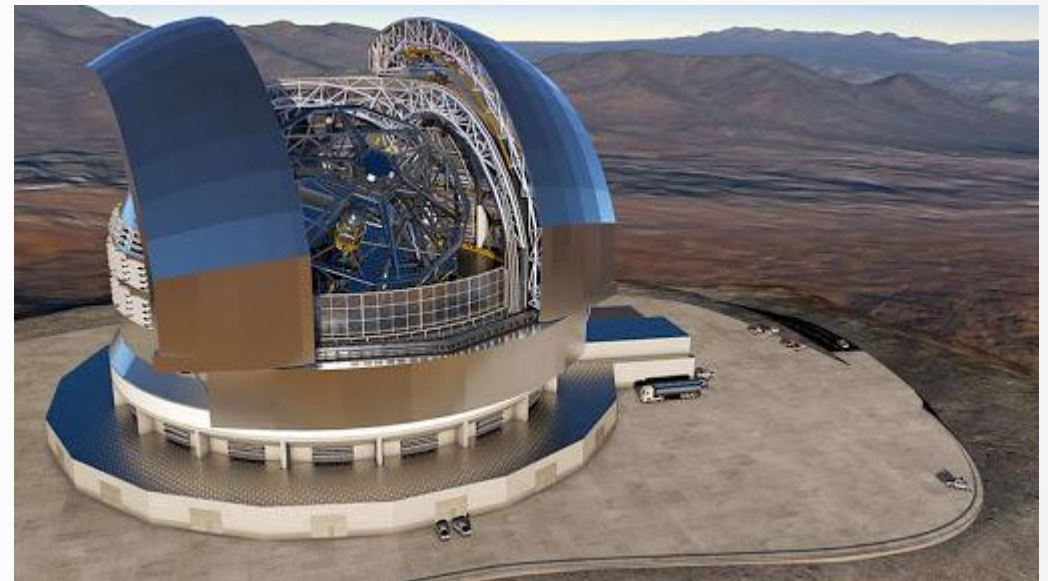
13.3 SUURET TELESKOOPIT

- Detektorien parannuttua, teleskooppien valonkeräyspinta-alasta tuli rajoite
- Kehitetty uusia tekniikoita, joilla pystytty rakentamaan yhä isompia teleskooppeja
- Motivaattorina halu nähdä kauemmas ja/tai himmeämpiä kohteita
- Suuret teleskoopit usein optimoituja lähi-infrapunaan (maailmankaikkeuden laajenemisesta johtuva punasiirtymä)



13.3.1 E-ELT

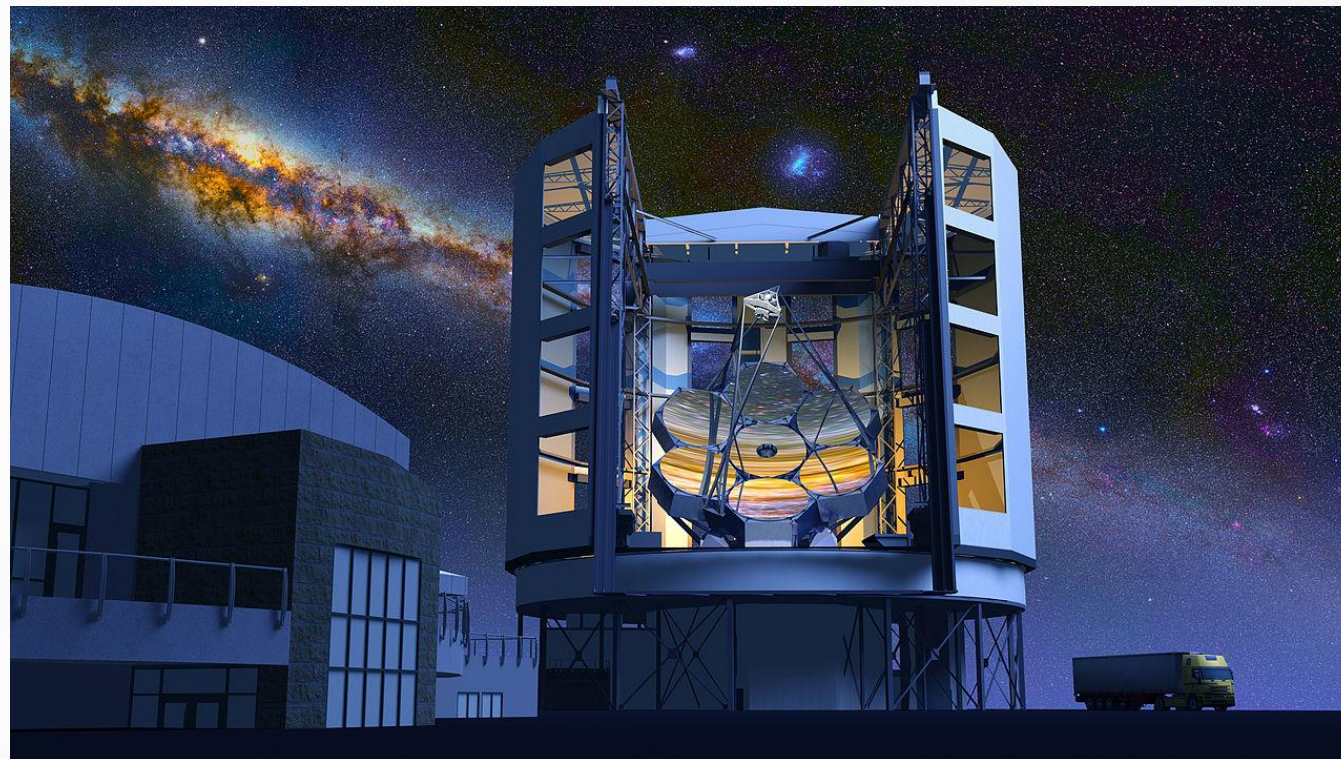
- European Extremely Large Telescope
- Rakentaminen aloitettu 2014: Cerro Armazones (kork. 3060m), 39.3 m pääpeili
- Valmis 2028 (arvio)
- Ensimmäiset galaksit ja tähdet, eksoplaneetat, maailmankaikkeuden laajeneminen ...





13.3.2 GIANT MAGELLAN TELESCOPE

- Rakenteilla parasta aikaa, Las Campanas, Chile (valmis 2029 ?)
- 24.4 m halkaisija
- Ensimmäiset tähdet, galaksit, ja raskaat alkuaineet
- Eksoplaneetat: massat, ilmakehien spektroskopiaa ja planeetan suoraa kuvaamista



Giant Magellan Telescope - GMT Corporation



13.3.3 THIRTY METER TELESCOPE

- Erotuskyky kertaluokan parempi kuin HST, ja kertaluokan himmeämpiä kohteita kuin Keck
- Ensimmäiset tähdet ja raskaat alkuaineet
- Spektroskopiaa eksoplaneetoista
- Projekti välillä ”jäissä”
- Valmis 2029 (?)

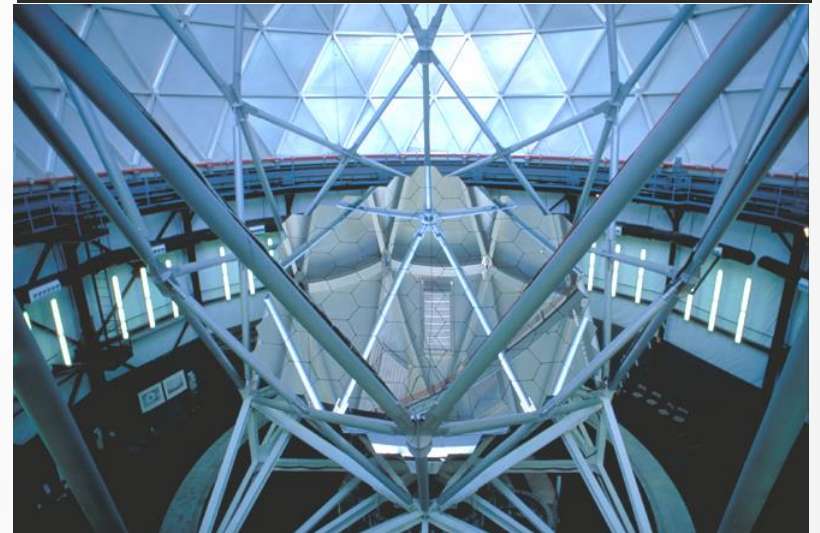


Thirty Meter Telescope (TMT, Hawaii)



13.4 KIINTEÄ ZENIITTIKULMA

- • *Hobby-Eberle Telescope* ja *South African Large Telescope*
 - Isoja mosaiikkiteleskooppeja, pääpeilin zeniittikulma on kiinteä
 - => Voidaan liikuttaa vain atsimuuttisuunnassa
 - => Huomattavia säästöjä rakennuskuluissa
 - Apupeiliä liikuttamalla saadaan skannattua noin 70% taivaasta yön aikana
 - Erinomaisia ns. “service mode” havaintoihin



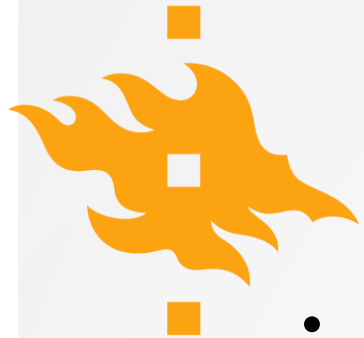
HET gallery



13.5 NESTEMÄINEN PÄÄPEILI

- Pyörivä neste muodostaa paraabelipinnan
- Heijastavana nesteenä esim. elohopea (myrkyllinen!)
- Testeissä rauta- & hopea-nanopartikkeleita etyyliglykolinesteessä (+ peilin muokkaus magneettikentällä)
- Etuna hinta (~1% peilistä, ~5% koko teleskoopista)
- Rajoituksena suuntaus (peiliä ei voi kääntää)
- Suurin käytössä ollut oli Kanadassa sijaitseva 6m *Large Zenith Telescope* (2003-16)





13.6 KARTOITUSTELESKOOPIT

- Halutaan kartoittaa:
 - suurempi osa pimeästä taivaasta
 - himmeämpään rajamagnitudiin
 - mahdollisimman usein
 - mahdollisimman tarkalla monivärifotometrialla
 - mahdollisimman tarkalla astrometrialla
- Vaatii kehittynyttä datankäsittelyä

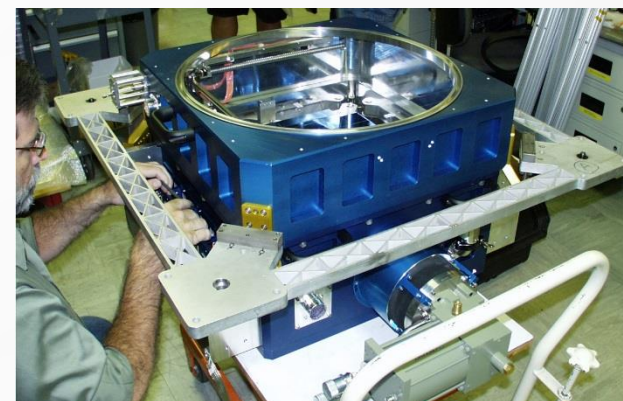
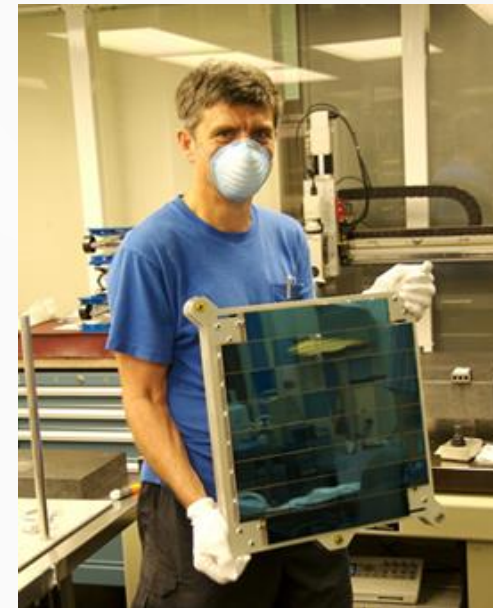


ESO-VLT:n GOODS-kartoitus



13.6.1 PAN-STARRS

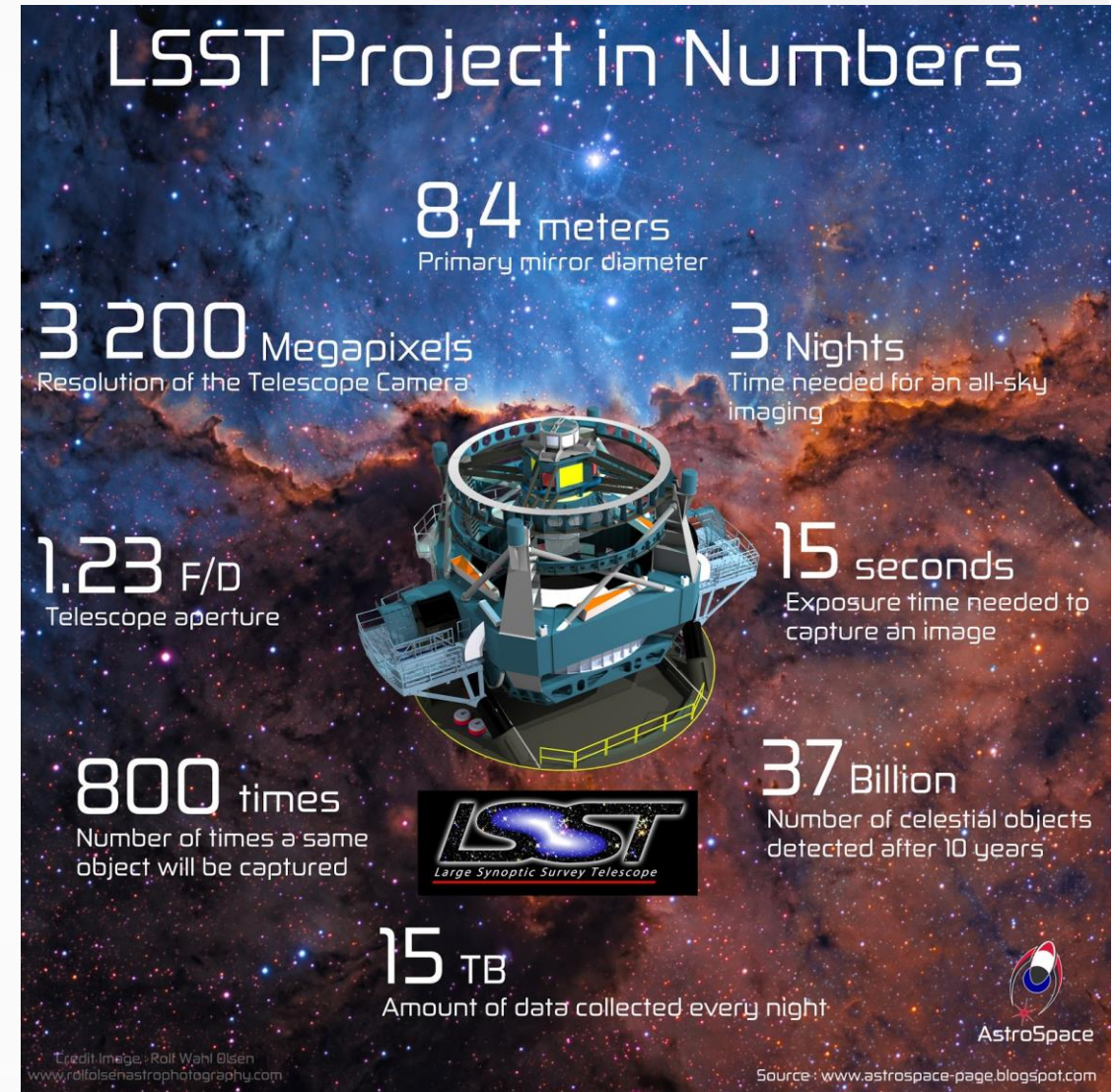
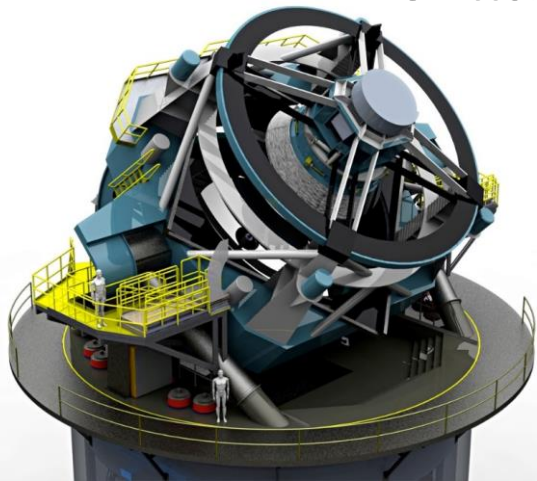
- Mount Haleakala, Hawaii
- (4x)1.8m teleskooppi: 3 deg kenttä
- Päätehtävä: NEO asteroidit ja komeetat
- Myös muut aikariippuvaliset ilmiöt, esim. muuttuvat tähdet
- Koko Hawaiin taivas kartoitetaan 3 kertaa kuukaudessa





13.6.2 VERA RUBIN OBSERVATORY (LSST)

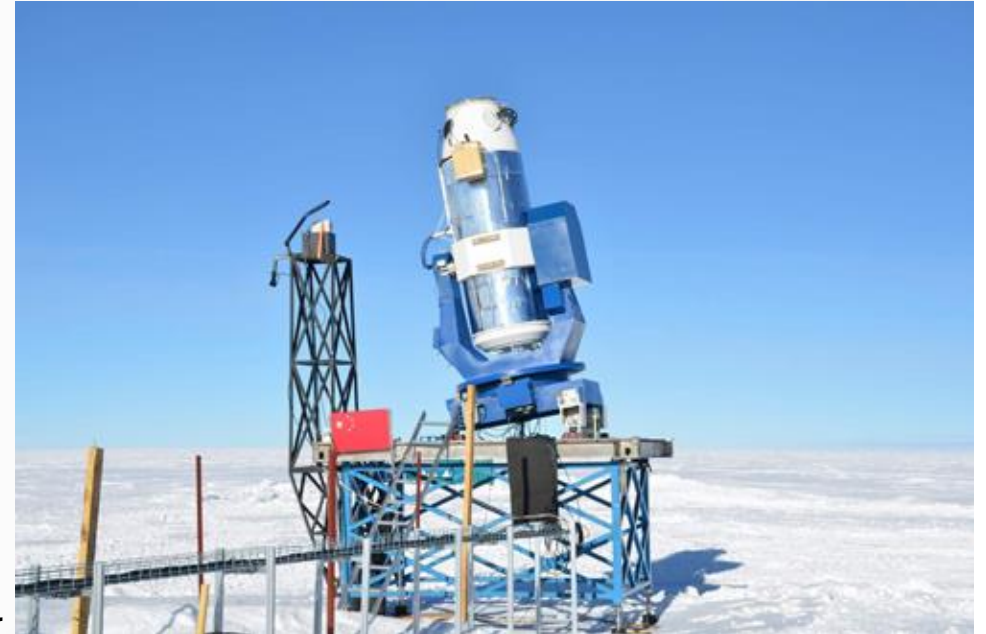
- Large Synoptic Survey Telescope
- Cerro Pachon, Chile, ensivalo 2023
- 8.4m teleskooppi: 9.6 deg² kenttä





13.7 TÄHTITIEDETTÄ ANTARKTIKSELLA

- Suurin osa seeingiä aiheuttavista ilmiöistä tapahtuu troposfäärissä.
- Antarktiksella tropopaussi on lähellä maan pintaa => seeing jopa 0.07"
- Ilma erittäin kuivaa (NIR)
- Pitkä yö => kohteiden monitorointi
- Ongelmana lähinnä kaukainen sijainti ja äärimmäiset sääolosuhteet (+ rajoitukset havaintokohteille taivaalla)
- Esim. *Antarctica Schmidt Telescopes*



Antarctic Survey Telescope
AST3 (CAS)



13.8 AVARUUSTELESKOOPIT

- Avaruudessa ilmakehän ongelmat (seeing, absorptio,...) poistuvat
- Optisella alueella esim. *Hubble* ja *Gaia*
- Lähi-infrapunassa *James Webb ST* (0.6 - 28 μm , laukaisu 18.12.2021)
- Myös useita pienempiä teleskooppeja, esim. *Kepler*
- Hyvin kallista verrattuna maanpäälliseen tutkimukseen
- Äärimmäiset olosuhteet => voimakkaita rajoja teknologialle

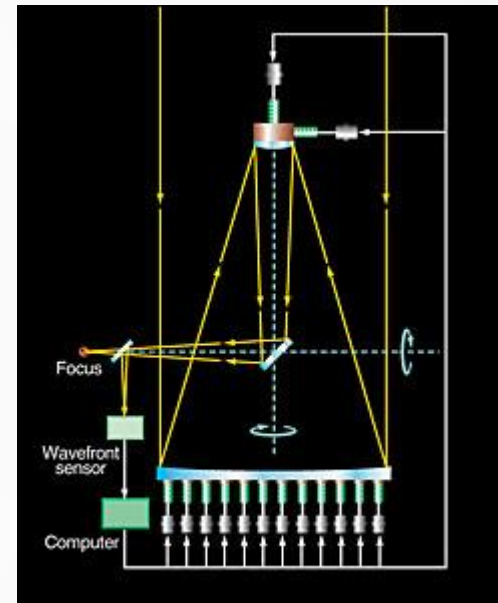


Hubble ST ja Kepler



13.9 AKTIIVINEN OPTIIKKA

- *Aktiivisella optiikalla* tehdään hitaita ($f \sim 0.01$ Hz) muutoksia peilin muotoon
- Kaikki nykyaikaiset peilit ohuita => pääpeilin muotoa voidaan säätää
- Voidaan aktiivisesti seurata aaltorintaman muotoa ja/tai noudattaa ennalta rakennettua mallia
- Peilin ja teleskoopin lämpötilan ja asennon muutoksiin voidaan reagoida aktiivisella optiikalla
- Myös ilmakehän hitaita muutoksia voidaan kompensoida

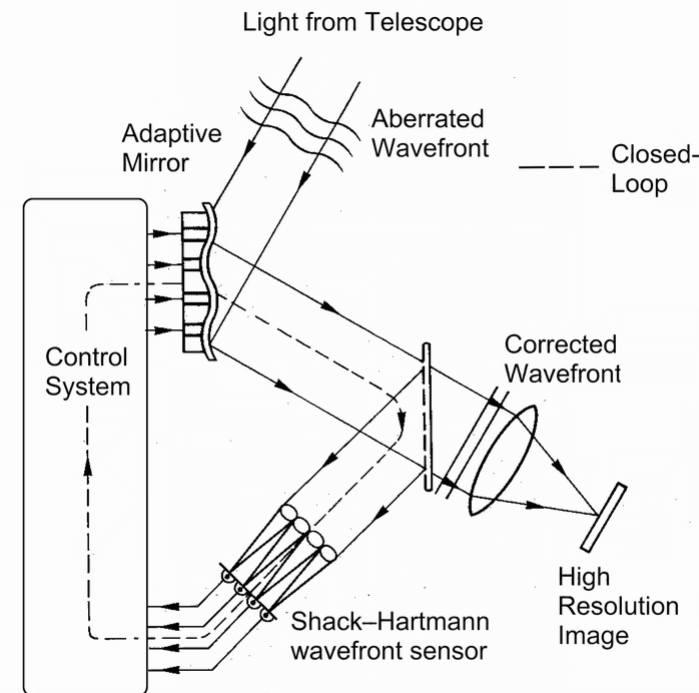


VLT:n aktiivinen optiikka



13.10 ADAPTIIVINEN OPTIIKKA

- *Adaptiivisellä optiikalla* korjataan ilmakehän muutoksia jopa 1000 kertaa sekunnissa
- Aaltorintaman muotoa seurataan => muutokset kompensoidaan muuttamalla apupeilin muotoa
- Tarvitsee referenssilähteen (läheinen tähti, lasermajakka)
- Kuvan terävyys parantuu noin kymmenkertaisesti
- Pieni käyttökelpoinen kuvakenttä





13.10.1 KEINOTÄHTI

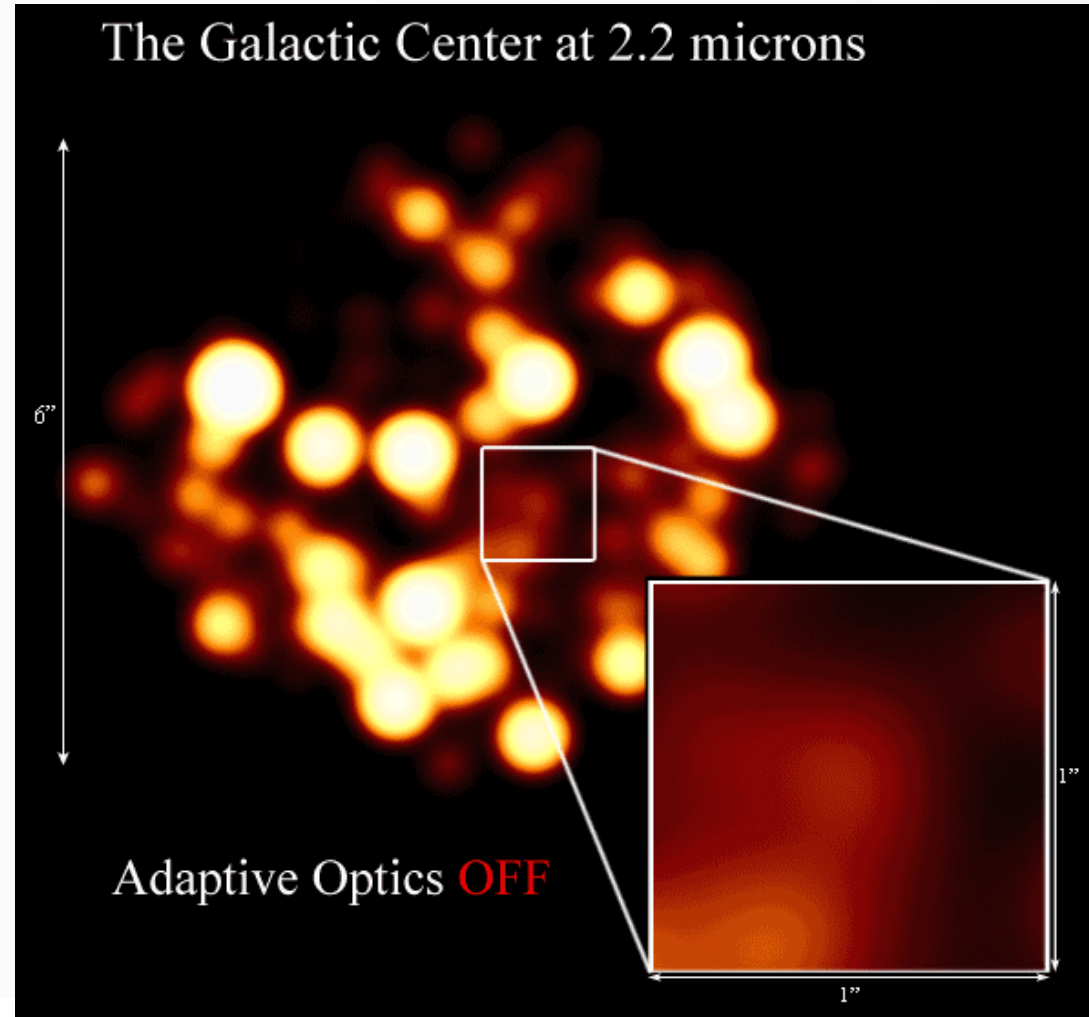
- Riittävän kirkasta referenssitähteä vaikea löytää
- Laserin avulla voidaan luoda “keinotähti”
- Käytetään hyväksi joko Rayleigh’n sirontaa tai 92km korkeudella olevaa natrium kerrosta (589 nm)
- Laser voi häiritä observatorion muita teleskooppeja (puhumattakaan lentoliikenteestä)





13.10.2 ADAPTIIVISEN OPTIIKAN VAIKUTUS

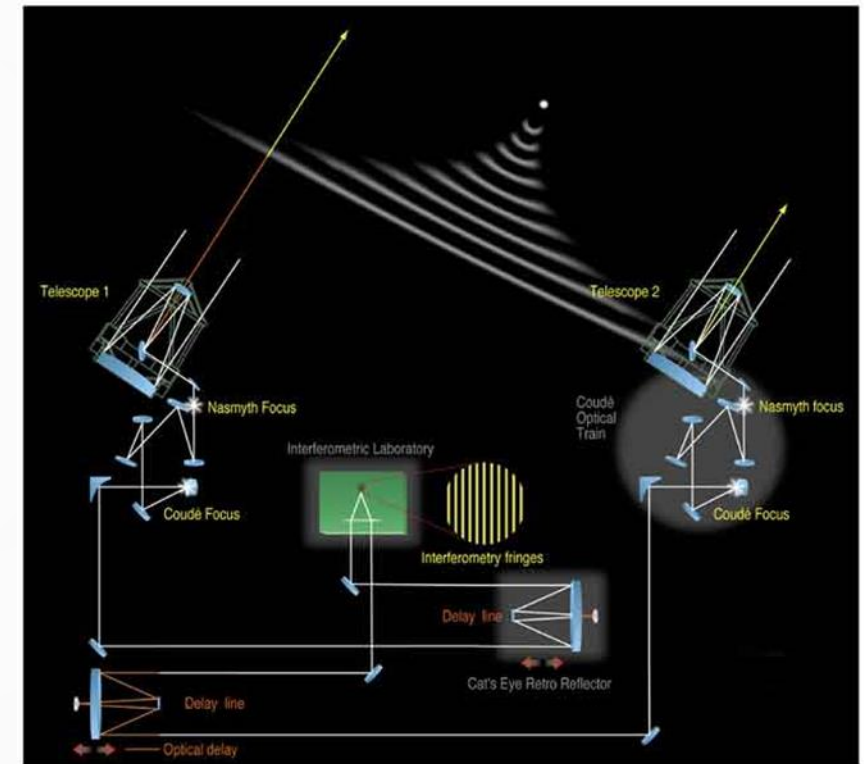
Animaatio, ei
toimi PDF:nä.





13.11 INTERFEROMETRIA

- Yhdistämällä useasta teleskoopista tuleva valo samassa vaiheessa saadaan resoluutio, joka vastaa teleskooppien välisen matkan
- Valonkeräyspinta-ala on peilien yhteenlaskettu pinta-ala
- Vaatii teleskooppien välimatkan erittäin tarkkaa hallintaa (muuttuu koko ajan)
- Kuva muodostetaan Fourier -muunnoksella



Overview of the VLT Interferometer

ESO PR Photo 10c/01 (18 March 2001)

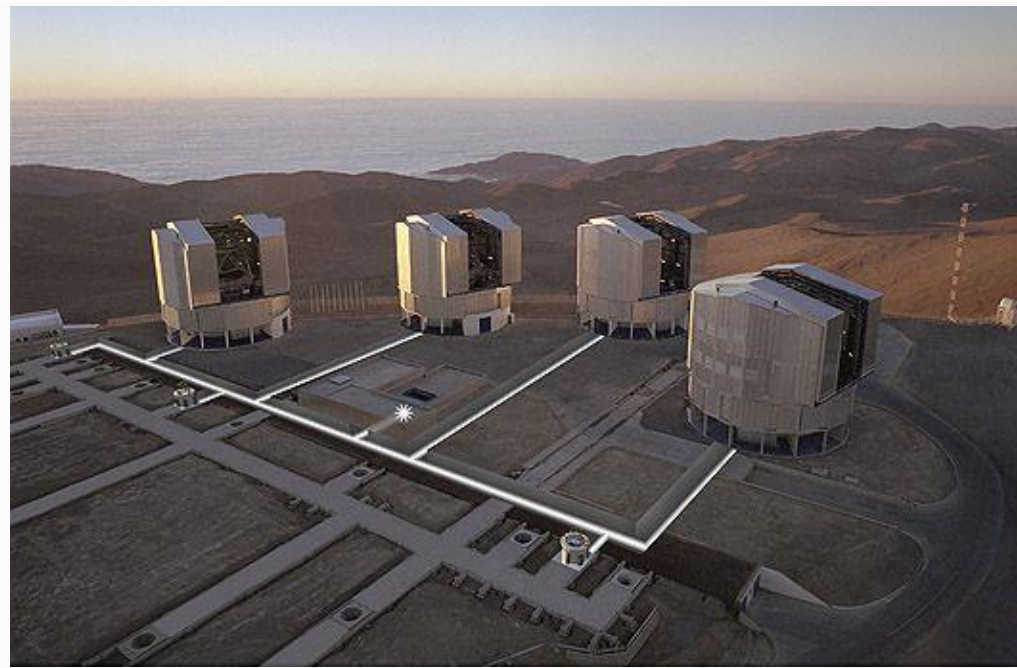
© European Southern Observatory



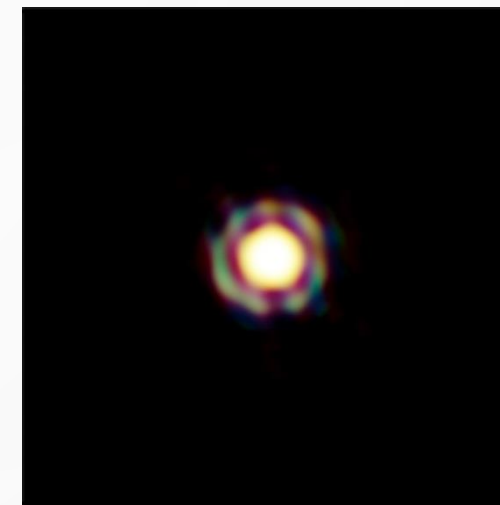


13.11.1 VLT

- VLT + 4x1.8m aputeleskooppeja
- Millikaarisekunnin resoluutio
- Havaitaan kompakteja kohteita, esim. AGN, tähtien pintarakenteita, eksoplaneettoja
- Maksimihalkaisija 200m



ESO 0906a: T Lep.
Tähti on ejektoinut kaasua, joka muodostaa molekyylipilven sen ympärille (res 0.004")

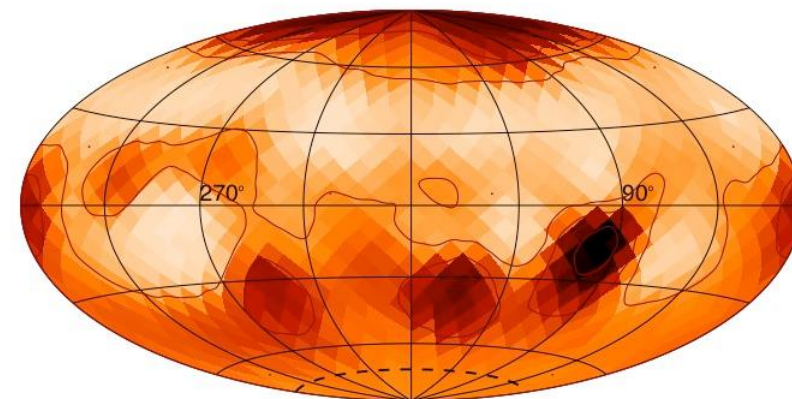
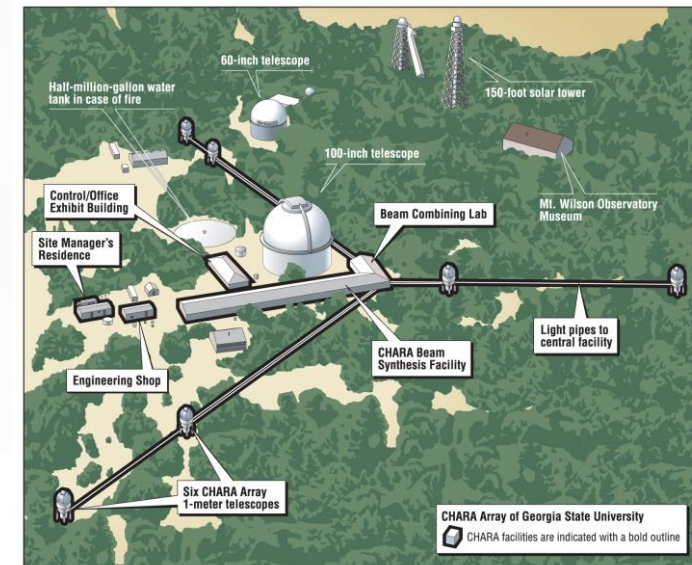




13.11.2 CHARA (CENTER FOR HIGH ANGULAR RESOLUTION ASTRONOMY)

- Mount Wilson Observatory:lla
- 6 x 1 m teleskooppia
- Maksimihalkaisija 330 m
- Ensimmäiset pintakuvat pääsarjan tähdille

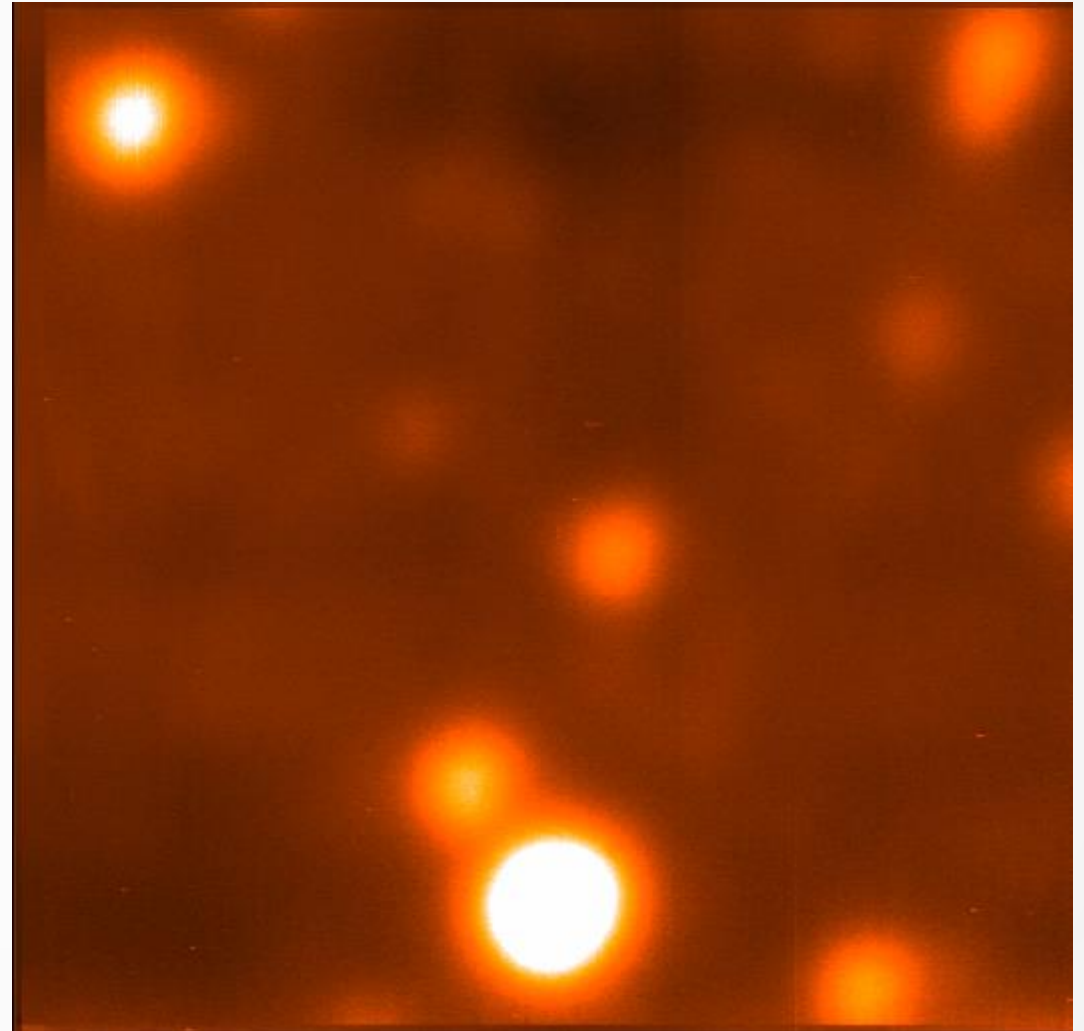
CHARA:n pilkkukartta ζ And:lle
(Roettenbacher et al. 2016)





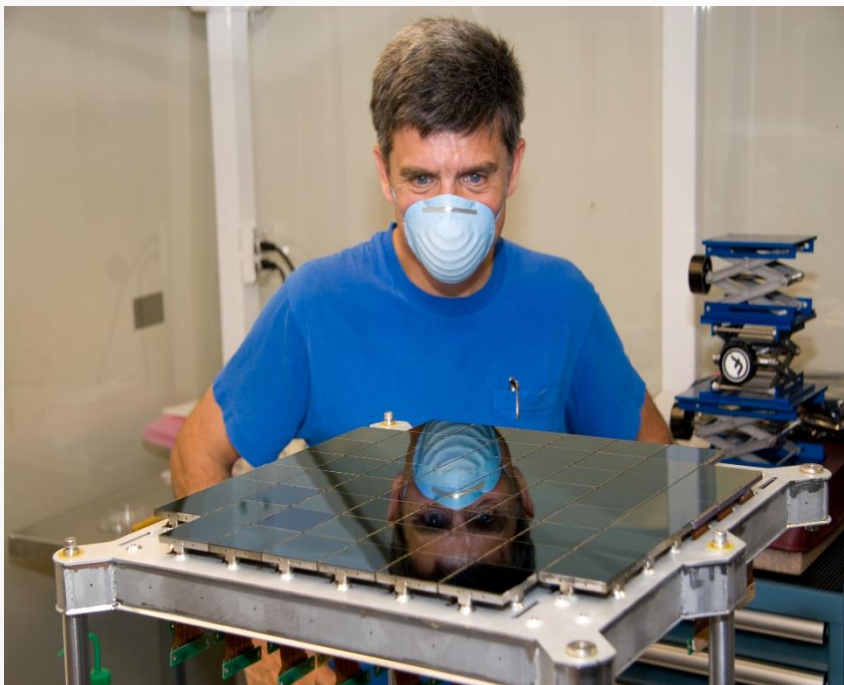
13.12 LUCKY -KUVAUS

- Kohinaton lukutekniikka tehnyt mahdolliseksi
- Luetaan nopeasti ($<100\text{ms}$) ja kuvista valitaan vain parhaat => jopa 5-7 kertainen parannus resoluutiossa
- Kohteiden oltava melko kirkkaita, ~ 15 magnitudin ohjaustähti
- Kuvakenttä rajattu: $\sim 20''$

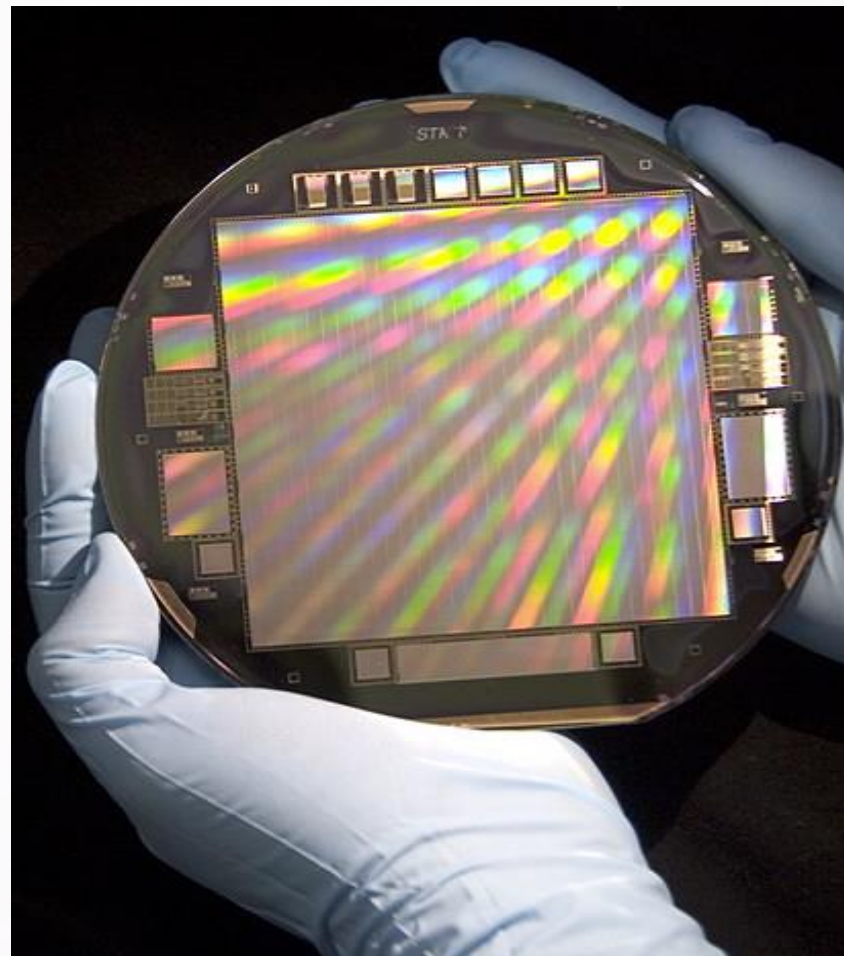




13.13 MOSAIIKKI JA MONOLIITTI CCD



Yllä: Pan-STARRS:in Gigapixel
Camera (1.4 Gpix)
Vieressä: OMI 112 Mpix
monoliittikenno





13.13 MOSAIIKKI VS. MONOLIITTI

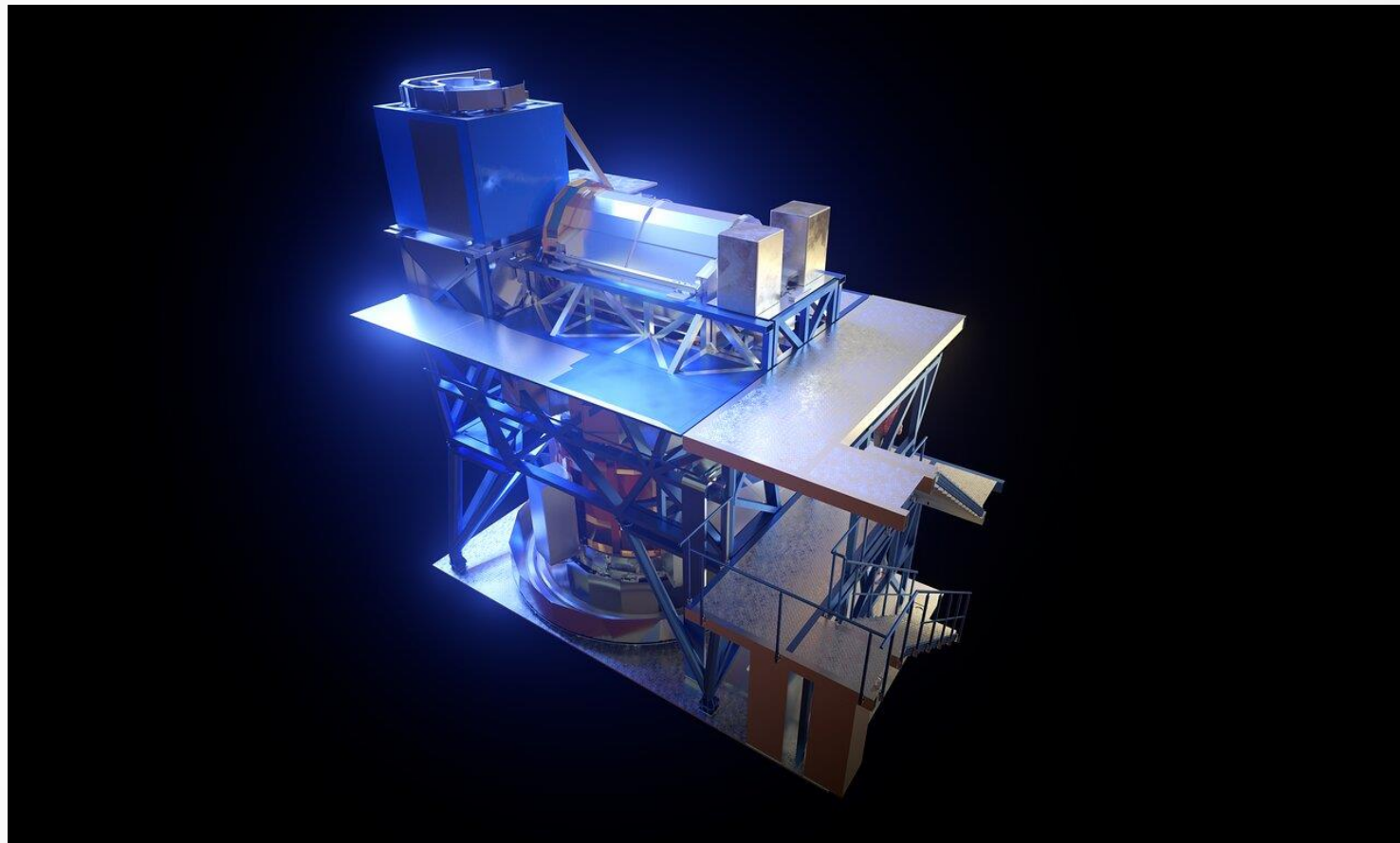
- Mosaiikit rakenteeltaan monimutkaisempia ja siksi kalliimpia
- + Mosaiikeista saadaan paljon suurempia
- Mosaiikeissa yksittäisten kennojen liitoskohdissa “railoja”
- + Mosaiikkien lukunopeus suurempi
- + Saturaatio pienempi ongelma mosaiikille (kenno jossa kirkas tähti voidaan esim. lukea aikaisemmin)

- Monoliitit vaikeita valmistaa
- Monoliitit herkempiä vaurioitumiselle (mosaiikissa vaurio rajoittuu pienemmälle alueelle)
- + Datan käsittely ja laadun valvonta yksinkertaisempaa monoliitilla



13.14 MONITOIMILAITTEET

- HARMONI@ELT
 - High Angular Resolution Monolithic Optical and Near-infrared Integral field spectrograph



Tietokonekuva HARMONI:sta (ESO)