

ESO

Euroopan
eteläinen
observatorio

Löytöretki maailmankaikkeuteen



ESO ja tähtitiede

Tähtitiedettä kutsutaan usein vanhimaksi tieteeksi. Kirkkaana pimeänä yönä taivasta halkovan majesteettisen Linnunradan on täytynyt olla kunnioitusta herättävä näky menneiden aikojen ja kulttuurien ihmisille — aivan kuten se on meille. Nykyään tähtitiede erottuu muista yhtenä dynaamisimmista tieteistä. Tähtitieteilijät käyttävät joitakin kaikkein kehittyneimmistä teknologioista ja hienostuneimmista menetelmistä. Näiden teknologioiden ansiosta voimme tutkia kohteita havaittavan maailmankaikkeuden äärilaidoilla ja löytää muita tähtiä kiertäviä planeettoja. Voimme alkaa vastata meitä jokaista kiehtovaan perustavanlaatuisen kysymykseen: onko muualla maailmankaikkeudessa elämää.

ESO on maailman johtava hallitustenvälinen tähtitieteen organisaatio. Se toteuttaa kunnianhimoista ohjelmaa, joka keskittyy tehokkaiden maanpäällisten havaintovälineiden suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöön. Vuonna 2012 vietettiin ESON perustamisasiakirjan allekirjoittamisen 50-vuotisjuhlaa. Vuonna 2013 puolestaan tulee 50 vuotta täyteen ESON pitkää ja tuloksekasta yhteistyötä isäntämaansa Chilen kanssa.

ESO hallinnoi La Silla Paranal -observatoriota kahdessa eri sijaintipaikassa Atacaman autiomaan alueella Chilessä. La Sillalla sijaitsee useita teleskooppeja, joiden pääpeilien halkaisijat ovat jopa 3.6 metriä. ESON

lippulaiva on VLT-teleskooppi (Very Large Telescope) Cerro Paranalilla. Sen rakenne, havaintolaittevalikoima ja toimintamalli muodostavat normin maanpäällisen optisen ja infrapuna-tähtitieteen aloilla. VLTI (Very Large Telescope Interferometer) parantaa tämän ainutlaatuisen havaintolaitteen suorituskykyä entisestään, kuten myös VST (optinen) ja VISTA (lähi-infrapuna) -kartoitusteleskoopit.

Joka vuosi ESON teleskooppien käyttämiseksi esitetään noin 1700 hakemusta, joilla haetaan 3–5 kertaa enemmän havaintoaitia kuin on tarjolla. Tämä kysyntä on yksi syy miksi ESO on maailman tuotteliain maanpäällinen observatorio. Joka päivä

ESOn Paranalin observatorio, VLT-teleskoopin koti.

Julkaistaan yli kaksi vertaisarvioitua tutkimusjulkaisua, jotka perustuvat ESON havaintoaineistoon (871 julkaisua pelkästään vuonna 2012).

ESoon keskittyy myös Euroopan osallistuminen ALMA-teleskooppihankkeeseen (Atacama Large Millimetre/submillimetre Array), joka on toteutettu yhteistyössä Pohjois-Amerikan, Itä-Aasian ja Chilen tasavallan kanssa. ALMA-kumppanit hallinnoivat tätä ainutlaatuisia tutkimuslaitosta Chajnantorissa, korkealla Chilen Altiplanolla. ALMAN vihki käyttöön Chilen presidentti, Sebastián Piñera, vuonna 2013, mutta varhaisen tiedevaiheen havaintojen teko osittaisella teleskoopisarjalla alkoi vuonna 2011.

Seuraavana vaiheena ESON toimenkuvassa maailman maanpäällisen tähtitieteen liikkeelle panevana voimana on rakentaa E-ELT -teleskooppi (European Extremely Large Telescope), jonka erillisistä paloista koostuvan pääpeilin halkaisija on 39 metriä. E-ELT -hanke hyväksyttiin vuonna 2012 ja havaintojenteon odotetaan alkavan noin vuonna 2023. E-ELT -teleskoopista tulee maailman suurin tähtitaivasta havainnoiva silmä – suurin olemassaoleva optisen ja lähi-infrapuna-alueen teleskooppi.



Tim de Z

Tim de Zeeuw
ESOn pääjohtaja

ESOn toimipaikat

Atacaman autiomaan osittain peittämissä Chilen pohjoisosissa taivas on poikkeuksellisen kirkas ja pimeä, minkä ansiosta Linnunradan tärkeä keskusta ja kaksi Magellanin pilveä näyttävät ihastuttavina.

ESOn ensimmäinen observatorio rakennettiin La Sillalle, 2400 metrin korkeudelle merenpinnasta ja 600 kilometriä pohjoiseen Santiago de Chilestä. Siellä on useita optisia teleskooppeja, joiden pääpeilit ovat halkaisijaltaan jopa 3.6 metriä. ESON 3.6-metrin teleskoopilla on nykyään maailman merkittävin eksoplaneettojen metsästäjä, HARPS (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher).

Paranal, 2600 metrin korkeudella merenpinnasta on yhdessä maailman kuivimmista paikoista. Se on VLT-teleskoopin koti ja sijaitsee Chilessä noin 130 kilometriä etelään Antofagastasta ja 12 kilometriä sisämaahan Tyynen valtameren rannikolta. VLT ei ole vain yksi teleskooppi vaan neljän yksikköteleskoopin sarja. Kukin pääpeili on halkaisijaltaan 8.2 metriä. VLT käsittää myös neljä

liikuteltavaa, halkaisijaltaan 1.8-metristä apoteleskooppeja, jotka muodostavat osan VLT:n interferometriä. Paranalilla on myös kaksi tehokasta kartoitusteleskooppeja: VST ja VISTA.

Tuleva 39-metrinen E-ELT -teleskooppi rakennetaan Cerro Armazonesille vain 20 kilometrin etäisyydelle Paranalin observatoriosta. Se yhdistetään Paranalin toimintajärjestelmiin.

Jättimäisistä 12-metrisistä ja 7-metrisistä, kaikkiaan 66 antennista koostuva ALMA (Atacama Large Millimetre/submillimetre Array) on yhteistyöhanke Pohjois-Amerikan, Itä-Aasian ja Chilen tasavallan kanssa. Se sijaitsee korkeimmalla kaikista ESON toimipaikoista, Chajnantorin ylätasangolla 5000 metrin

korkeudella merenpinnasta. Se on yksi maailman korkeimmalla sijaitsevista tähtitieteellisistä observatoriopaikoista. Chajnantor on myös 12-metrisen millimetri- ja alimillimetriaallonpituusalueiden APEX-teleskoopin (Atacama Pathfinder Experiment) koti.

ESOn päämaja sijaitsee Garchingissa, lähellä Müncheniä Saksassa. Kyseessä on ESON tieteellinen, tekninen ja hallinnollinen keskus. ESOn toimisto Santiagoossa, Chilessä.

ESOn päämaja, lähellä Müncheniä, Saksassa.



Tämä kartta osoittaa missä ESON observatoriot sijaitsevat Chilessä.



La Sillan observatorio.



ESO / José Francisco Salgado (josefrancisco.org)

ALMA (Atacama Large Millimetre/submillimetre Array) Chajnantorin ylätasangolla.



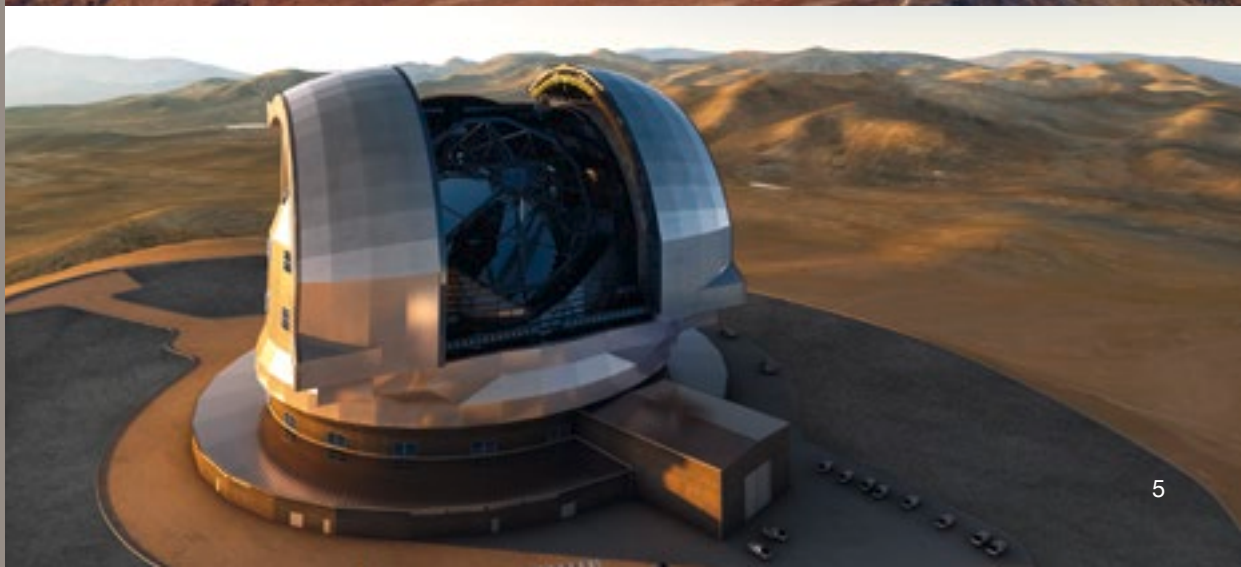
Clem & Adri Baer-Normiet (wingsofscience.com/ESO)

Ilmavalokuva Paranalin observatoriosta. Vasemmalla on VLT-teleskooppi Cerro Paranalin huipulla ja oikealla infrapuna-kartoitusteleskooppi VISTA.



J. L. Dauwergne & G. Hudepohl (atacamaphoto.com/ESO)

E-ELT -teleskooppi Cerro Armazonesilla (taitelijan näkemys).

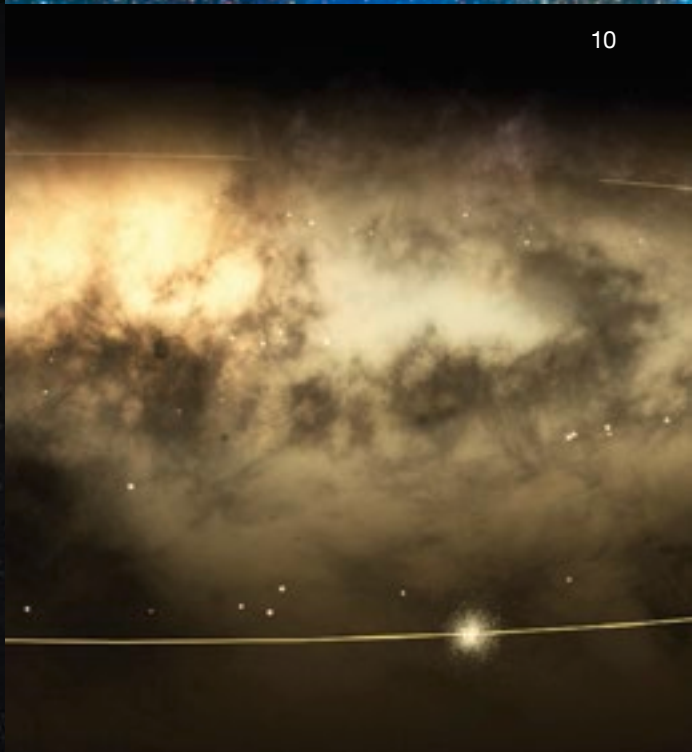
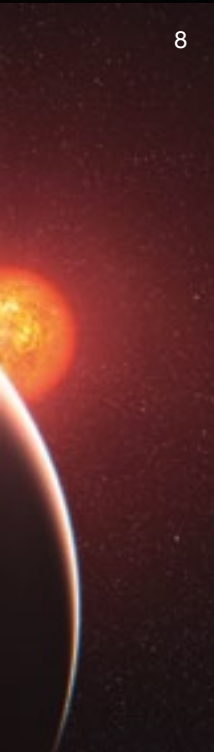
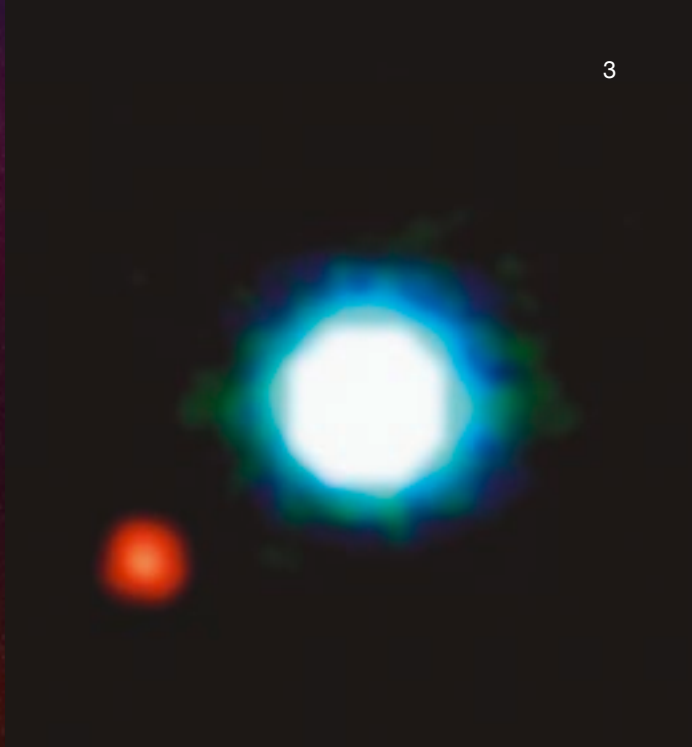
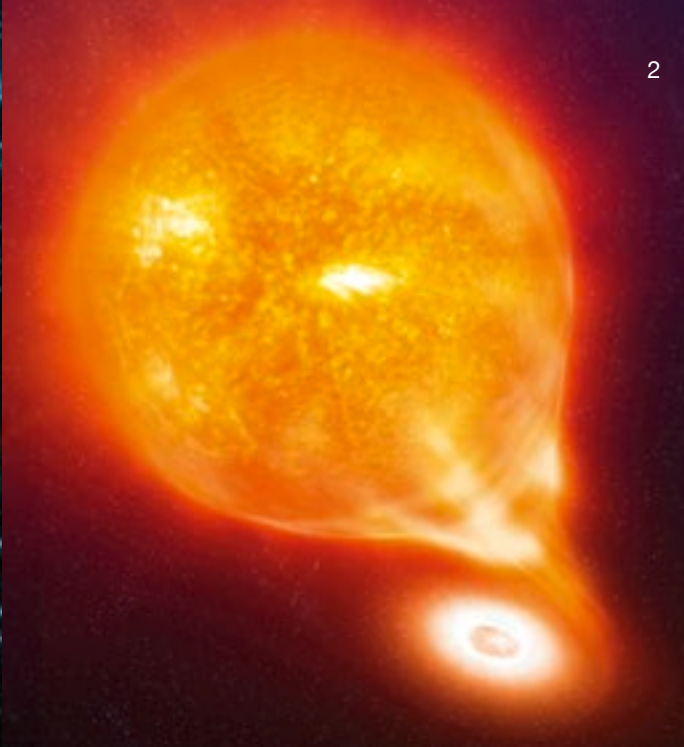


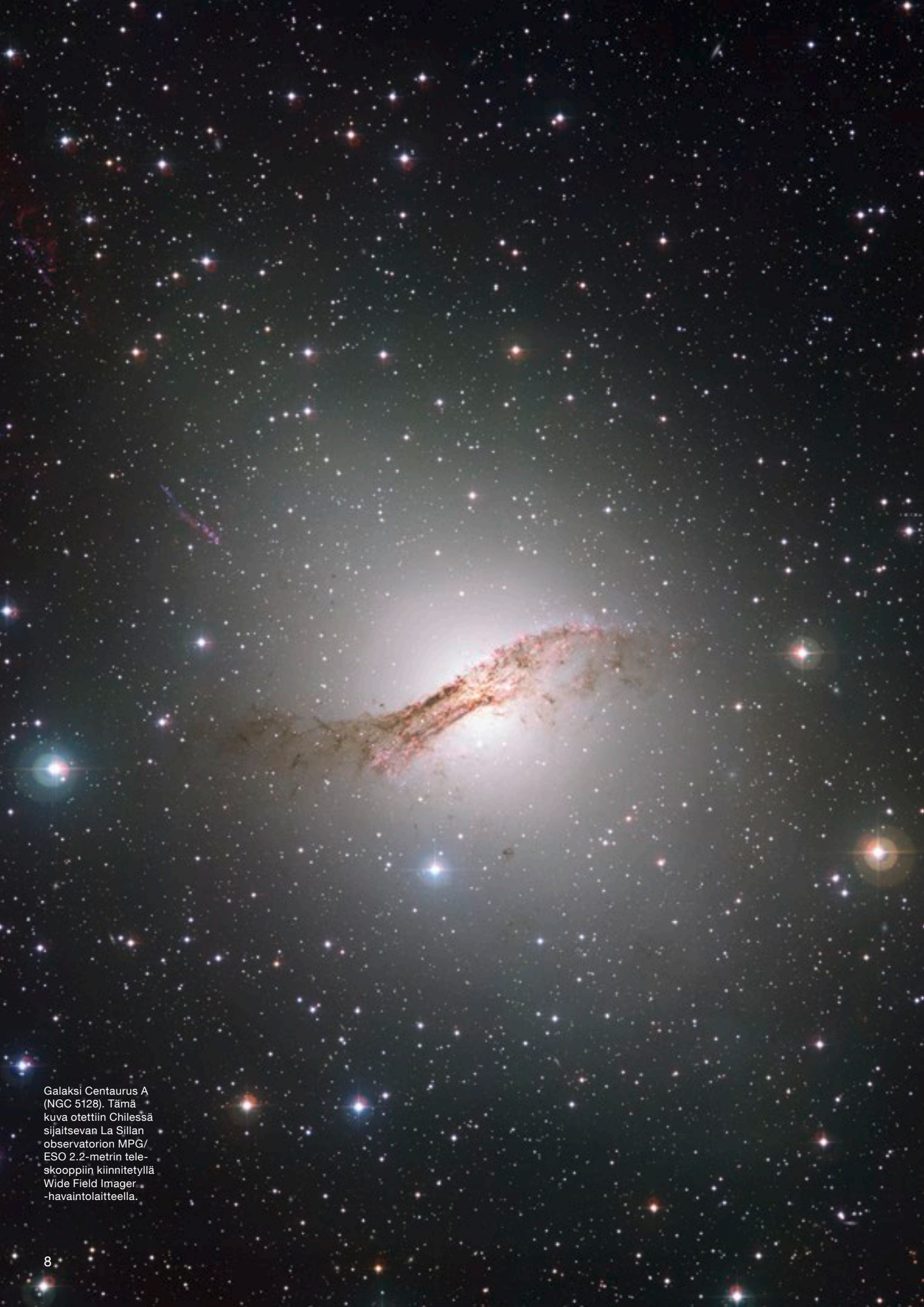
ESOn tieteelliset tähtihetket

ESOn 10 tähtitieteellistä huippuhavaintoa:

- 1 Linnunradan supermassiivista mustaa aukkoa kiertävät tähdet**
Useita ESON lippulaivateleskooppeja käytettiin taltioimaan tähtien liikkeitä galaksimme ytimessä olevan hirviön ympärillä tarkemmin kuin koskaan aikaisemmin — lähes kahdenkymmenen vuoden ajan.
- 2 Kiihtyvä maailmankaikkeus**
Kaksi itsenäisesti toimivaa tutkimusryhmää on tehnyt havaintoja räjähtävistä tähdistä muun muassa ESON teleskooppeilla La Sillalla ja Paranalilla. He ovat osoittaneet, että maailmankaikkeuden laajeneminen kiihtyy. Vuonna 2011 fysiikan Nobelin palkinto myönnettiin tästä tuloksesta.
- 3 Ensimmäinen kuva eksoplaneetasta**
VLT on ottanut kaikkien aikojen ensimmäisen kuvan aurinkokunnan ulkopuolisesta planeetasta. Planeetta on viisi kertaa Jupiteria massiivisempi ja kiertää epäonnistunutta tähteä, ruskeaa kääpiötä, etäisyydellä, joka vastaa 55 Maan etäisyyttä Auringosta.
- 4 Gammapurkaukset — yhteys supernoviin ja yhteensulautuviin neutronitähtiin**
ESOn teleskoopit ovat ratkaisseet pitkäaikaisen kosmisen arvoituksen tarjoamalla ratkaisevan todisteen siitä, että pitkäkestoiset gammapurkaukset liittyvät massiivisten tähtien lopullisiin räjähdysiin. La Sillan teleskooppi havaitsi myös ensimmäistä kertaa näkyvää valoa lyhytkestoisesta gammapurkauksesta ja osoitti, että ne ovat mitä ilmeisimmin seurausta kahden yhteensulautuvan neutronitähden rajusta törmäyksestä.
- 5 Kosmisen lämpötilan mittaaminen**
VLT-teleskooppi on havainnut hiilimonoksi- dimolekyylejä lähes 11 miljardin valovuoden etäisyydellä olevassa galaksissa. Tämä saavutus vältteli tutkijoita 25 vuoden ajan. Sen ansiosta tähtitieteilijöiden oli mahdollista tehdä ensimmäinen kosmisen lämpötilan tarkka mittaus niin kaukaiselta ajalta.
- 6 Linnunradan vanhin tunnettu tähti**
ESOn VLT-teleskooppeja käyttäneet tähtitieteilijät ovat mitanneet galaksimme vanhimman tunnetun tähden iän. 13.2 miljardin vuoden ikäinen tähti syntyi maailmankaikkeuden varhaisimman tähtienmuodostusvaiheen aikana. Eräässä Linnunradan tähdessä on myös havaittu uraania, mitä käytettiin riippumattomaan galaksin iän määrittämiseen.
- 7 Linnunradan supermassiivisen mustan aukon purkaukset**
VLT ja APEX yhdistivät voimansa tutkiakseen Linnunradan keskustan supermassiivisen mustan aukon lähellä tapahtuvia raivokkaita roihuja. Tutkimukset paljastivat materian venyvän pituutta sen kiertäessä keskustan mustan aukon lähellä olevassa voimakkaassa painovoimakentässä. Lisäksi monimutkaiset VLT-havainnot paljastivat voimakkaita infrapunaleimahduksia mustan aukon ympäristössä, mikä viittaa vahvasti siihen, että musta aukko pyörii hyvin nopeasti.
- 8 Suoria mittauksia eksoplaneetan kaasukehäästä**
Supermaapallo-eksoplaneetan kaasukehää on analysoitu ensimmäistä kertaa VLT-teleskooppeja käyttäen. Nimellä GJ 1214b tunnettua planeettaa tutkittiin sen kulkiessa emätähtensä editse ja osan tähden valosta kulkiessa planeetan kaasukehän kautta.
- 9 Runsain planeettajärjestelmä**
HARPS-planeettametsästäjää käyttäneet tähtitieteilijät ovat löytäneet planeettajärjestelmän, jossa on vähintään viisi planeettaa. Planeetat kiertävät Auringon kaltaista tähteä HD 10180. Järjestelmään saattaa kuulua kaksi muutakin planeettaa. Näistä toisella saattaa olla alhaisin koskaan havaittu massa. Lisäksi tutkimusryhmä on löytänyt todisteita siitä, että planeettojen etäisyydet tähdestään noudattavat säännöllistä kaavaa, aivan kuten planeetat aurinkokunnassa.
- 10 Linnunradan tähtien liikkeet**
Tähtitieteilijät ovat määrittäneet yli 14 tuhannen auringonkaltaisen tähden liikkeet Auringon naapurustossa käyttäen yli tuhannen yön havaintoja La Sillalla 15 vuoden aikana. Tulokset osoittavat, että kotigalaksimme on viettänyt paljon myrskyisämpää ja kaoottisempaa elämää kuin aikaisemmin oletettiin.







Galaksi Centaurus A
(NGC 5128). Tämä
kuva otettiin Chilessä
sijaitsevan La Sillan
observatorion MPG/
ESO 2.2-metrin tele-
skooppiin kiinnitettyllä
Wide Field Imager
-havaintolaitteella.



Näyttävä
tähtienmuodostusalue
Kölin sumu on taltioitu
hyvin yksityiskohtaisesti
ESOn Paranalin
observatorion VST-
kartoitusteleskoopilla.
Tätä kuvaa oli ottamassa
Chilen presidentti,
Sebastián Piñera.

ESO, Kittaleiset, VPHAS+, Consortium/Cambridge Astronomical Survey Unit



Upea näkymä tähtien
lastentarhasta IC 2944
paljastettiin juhlistamaan
virstanpylvästä:
15 vuotta ESOn VLT-
teleskooppia.

VLT-teleskooppi

VLT-teleskooppiryhmä on Euroopan tähtitieteen lippulaivatutkimuslaitos kolmannen vuosituhatvuotikauden alkaessa. Se on maailman edistyksellisin optinen havaintolaite ja koostuu neljästä yksikköteleskoopista, joissa on ennätyskelliset, halkaisijaltaan 8.2 metrin pääpeilit, sekä neljästä siirrettävästä 1.8-metrisestä aputeleskoopista, jotka voidaan yhdistää interferometrin muodostamiseksi.

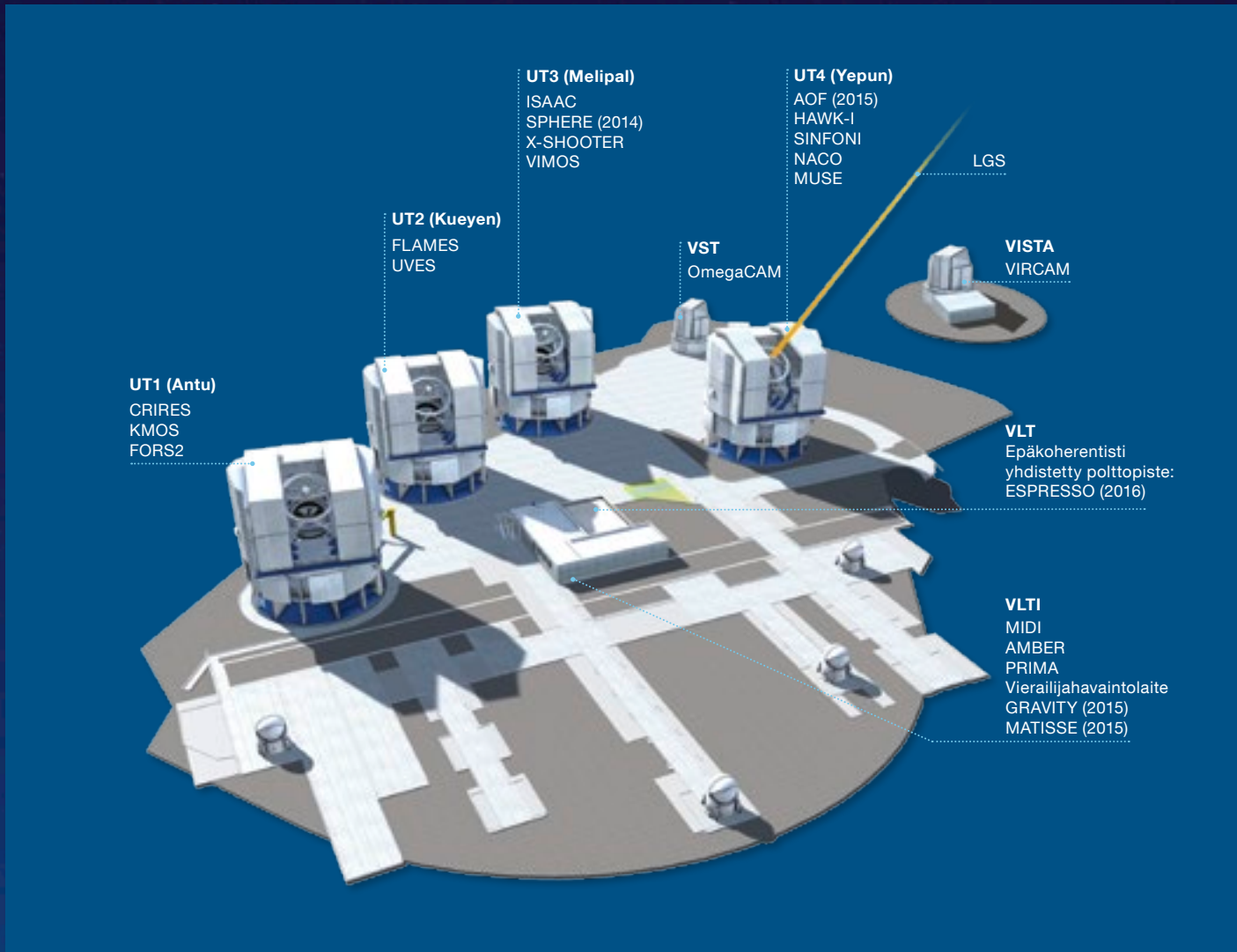
8.2-metrisiä yksikköteleskooppeja on mahdollista käyttää myös erikseen. Nämä teleskoopit ovat niin tehokkaita, että yksikin niistä voi ottaa kuvia tähtitaivaan kohteista, jotka ovat neljä miljardia kertaa himmeämpiä kuin mitä paljaalla silmällä voi nähdä.

VLT:n havaintolaiteohjelma on yksi kunnianhimoisimpia yksittäisen observatorion milloinkaan käynnistämiä. Se käsittää laajakulmakameroita, tähtitieteellisiä kameroita ja spektrografeja, jotka kattavat laajan aallonpituusalueen ultravioletista (0.3 μm) keski-infrapuna-alueelle (20 μm).

8.2-metriset yksikköteleskoopit on sijoitettu kompakteihin lämpötilakontrolloituihin rakennuksiin, jotka pyörivät yhdessä teleskooppien kanssa. Tämä pienentää merkittävästi havaintojenteon paikallisia haittoja, kuten teleskooppi-tilassa vaikuttavaa ilman turbulenssia, joka saattaa seurata lämpötilan vaihteluista ja ilmavirtauksista.

Ensimmäinen yksikköteleskooppi aloitti säännöllisen tieteellisen toiminnan 1. huhtikuuta 1999. VLT on jo vaikuttanut suunnattomasti havaitsemaan tähtitieteeseen. Se on maailman tuotteliain yksittäinen maanpäällinen tutkimuslaitos ja VLT:n tulokset johtavat keskimäärin useamman kuin yhden vertaisarvioitun tieteellisen julkaisun julkaisemiseen joka päivä.

VLT-teleskooppi
Auringon laskiessa.



VLT-teleskoopin havaintolaitteita.



ESO/G. Hudepohl (atacamaphoto.com)

Adaptiivinen optiikka

Turbulenssi Maapallon ilmakehässä vääristää jopa maailman parhaissa havaintopaikoissa tehtäviä havaintoja. ESO:n observatoriot Chilessä eivät ole poikkeus. Turbulenssi aiheuttaa tähtien tuikkimista tavalla, joka ilahduttaa runoilijoita mutta turhauttaa tähtitieteilijöitä, sillä se epäterävöittää kosmoksen hienot yksityiskohdat. Tekemällä havaintoja suoraan avaruudesta käsin tähtitieteilijät voivat välttää ilmakehän epäterävöittävän vaikutuksen, mutta avaruusteleskooppien rakentamisen ja käyttämisen suuret kustannukset maanpäällisiin verrattuna rajoittavat avaruuteen sijoitettavien teleskooppien kokoa ja toimintaa.

Tähtitieteilijät ovat kääntyneet adaptiivisena optiikkana tunnetun menetelmän puoleen ratkaistakseen tämän ongelman. Tietokoneiden kontrolloimat kehittyneet, muovattavissa olevat peilit voivat reaaliaikaisesti korjata Maan ilmakehän turbulenssien aiheuttamat vääristymät ja saada kuvista lähes yhtä teräviä kuin

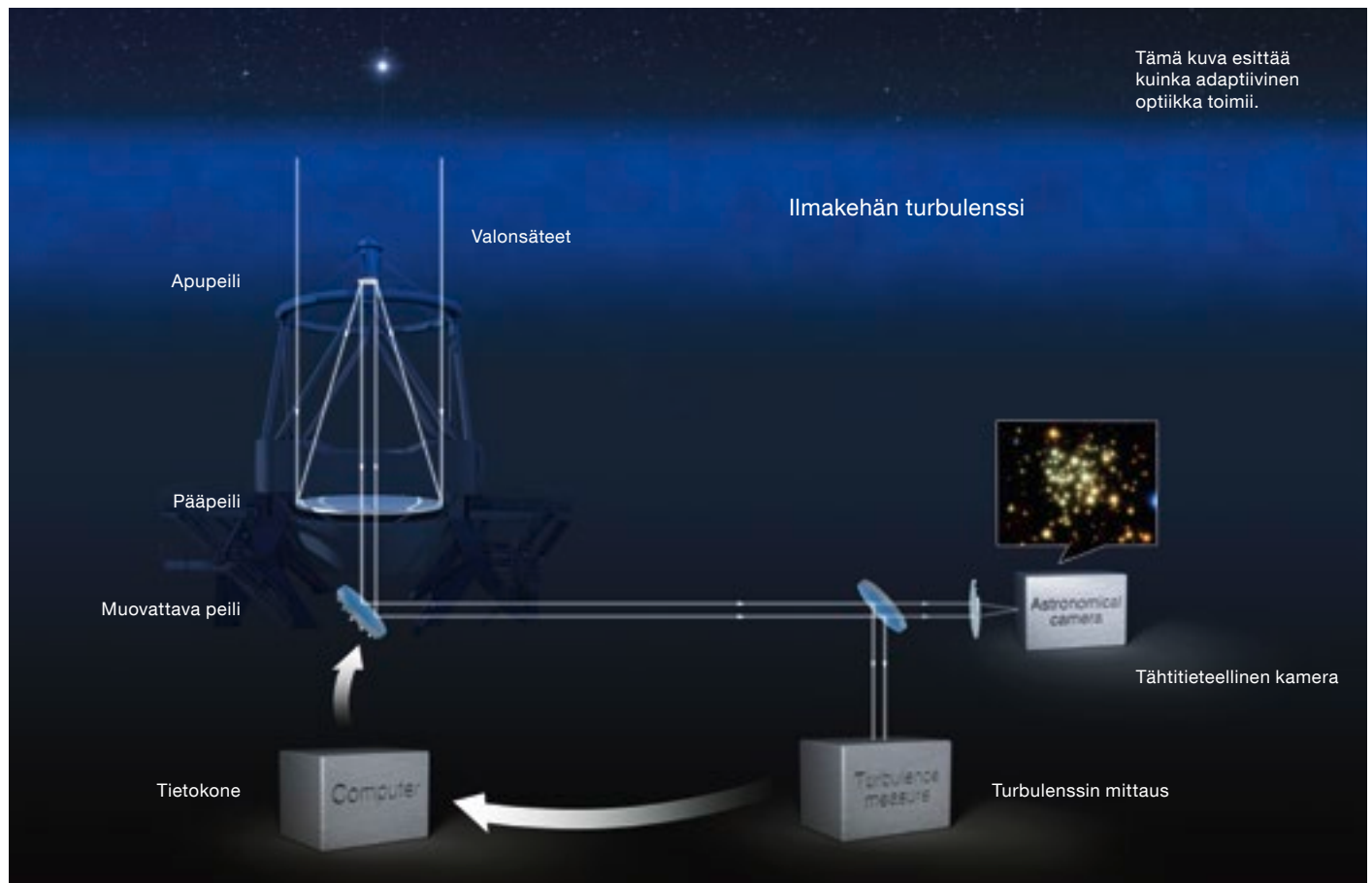
avaruudesta otetut. Adaptiivisen optiikan avulla korjattu optinen järjestelmä voi havaita tarkempia yksityiskohtia paljon himmeämmistä tähtitieteellisistä kohteista kuin muutoin olisi mahdollista maanpäällisillä teleskoopeilla.

Adaptiivinen optiikka vaatii suhteellisen kirkkaan vertaustähden näkymisen hyvin lähellä tutkittavaa kohdetta. Tätä vertaustähteä käytetään mittaamaan ilmakehän aiheuttama epäterävyys ja näin muovattava peili voi korjata sen. Koska sopivia tähtiä ei ole käytettävissä kaikkialla yötaivaalla, tähtitieteilijät voivat luoda keinotekoisia vertaustähtiä ampumalla tehokkaan lasersäteen 90 kilometriä ylös Maan ylempään ilmakehään. Näiden teleskooppien lasertähtien ansiosta lähes koko taivasta voidaan nykyään tarkkailla adaptiivista optiikkaa käyttäen.

ESO on näyttänyt tietä adaptiivisen optiikan ja teleskooppien lasertähtien teknologioiden kehittämisessä

sekä tehnyt yhteistyötä useiden eurooppalaisten tutkimuslaitosten ja teollisuuden kanssa. ESO:n adaptiivisen optiikan laitteistot ovat saavuttaneet useita huomattavia tieteellisiä tuloksia. Näihin sisältyvät ensimmäinen suora havainto eksoplaneetasta (ks. s. 6), samoin kuin yksityiskohtainen tutkimus Linnunradan keskustassa olevan mustan aukon ympäristöstä (ks. s. 6).

Adaptiivisen optiikan seuraava sukupolvi asennetaan sekä VLT- että E-ELT -teleskooppiin. Tämä käsittää useiden lasertähtien käytön VLT:llä sekä sellaisia kehittyneitä adaptiivisen optiikan havaintolaitteita kuin planeettaetsimiä. Vieläkin kehittyneempiä järjestelmiä kehitetään aktiivisesti vastaamaan erityisesti E-ELT:n haasteisiin. Viime aikoina on saavutettu merkittävää edistymistä laajemman korjatun näkökentän saavuttamiseksi. Tämä tulos vaikuttaa tulevien VLT:n ja E-ELT:n adaptiivisen optiikan järjestelmien suunnitteluun.





VLT:n PARIA-laser.
Lasera käytetään
luomaan keinotekoinen
tähti noin 90 kilometrin
korkeudelle ilmake-
hässä.

VLT-interferometri

VLT:n yksittäiset teleskoopit voidaan yhdistää jättimäiseksi VLT-interferometriksi, jonka avulla tähtitieteilijät voivat nähdä jopa 16 kertaa tarkempia yksityiskohtia kuin yksittäisillä teleskoopeilla ja tutkia taivaan kohteita ennennäkemättömän yksityiskohtaisesti. VLT:n avulla on mahdollista nähdä yksityiskohtia tähtien pinnalla ja jopa tutkia toisen galaksin keskustassa olevan mustan aukon lähiympäristöä.

Teleskooppien valonsäteet yhdistetään VLT:ssä käyttäen monimutkaista peilien järjestelmää maanalaisissa tunneleissa, joissa valon kulkumatkat täytyy pitää yhtenevinä yhden tuhannesosamillimetrin tarkkuudella yli sadan metrin matkalla. Tämän 130-metrin ”virtuaaliteleskoopin” avulla VLT voi suorittaa mittauksia, joilla voisi nähdä ruuvinkannan kansainvälisen avaruusaseman kyljessä, 400 kilometrin korkeudella maanpinnasta kiertävällä kiertoradalla.

Yksi neljästä 1,8-metrin aputeleskoopista, jotka muodostavat osan VLT-interferometristä.

Panoraamakuva VLT-interferometrin tunnelista.

VLT:n aputeleskoopit

Vaikka 8.2-metriset yksikköteleskoopit voidaan yhdistää VLT-interferometrissa, näitä suuria teleskooppeja käytetään enimmäkseen yksittäin muihin tarkoituksiin ja ne ovat siten käytettävissä interferometria havaintoihin vain rajoitetun määrän öitä vuosittain.

Neljä pienempää aputeleskooppia (AT) on käytettävissä VLT:n tehokkuuden hyödyntämiseksi joka yö. Aputeleskoopit on rakennettu raiteille ja niitä voidaan siirtää täsmälleen määritettyjen havaintopisteiden välillä. Näistä pisteistä aputeleskooppien peilien keräämät valonsäteet heijastetaan yhdistettäväksi VLT:ssä.

Aputeleskoopit ovat hyvin epätavallisia teleskooppeja. Ne ovat riippumattomia hyvin kompakteissa suojakuvuissaan. Ne kuljettavat mukanaan oman elektroniikkansa, ilmanvaihtojärjestelmänsä, hydraulikkansa ja jäähdytyksensä. Niillä on omat kuljettimensa, jotka nostavat teleskoopit ylös ja siirtävät ne paikasta toiseen.



Kartoitusteleskoopit

ESOn Paranalin observatoriolla sijaitsee kaksi tehokasta kartoitusteleskooppia: VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy) ja VST (VLT Survey Telescope). Ne ovat maailman tehokkaimmat valokuvakartoittamiseen omistetut teleskoopit ja lisäävät merkittävästi Paranalin observatorion mahdollisuuksia tieteellisten löytöjen tekemiseen.

Useimmat kaikkein kiinnostavimmista tähtitieteellisistä kohteista ovat harvinaisia, aina Linnunradan himmeistä ruskeista kääpiötähdistä kaikkein etäisimpiin kvasareihin. Niiden löytäminen on kuin etsisi neulaa heinäsuvasta. ESOn VLT-teleskoopin ja NASAn ja ESAn Hubblen avaruusteleskoopin kaltaiset suurimmat teleskoopit voivat tutkia vain pikkuruista osaa taivasta kerrallaan, mutta VISTA ja VST on suunniteltu kuvaamaan suuria alueita nopeasti ja tehokkaasti. Nämä kaksi teleskooppia

suorittavat parhaillaan useaa huolellisesti suunniteltua kartoitusta ja luovat valtavia arkistoja, joissa on sekä valokuvia että kohdeluetteloita. Tähtitieteilijät tulevat käymään näitä arkistoja läpi vuosikymmenien ajan.

Kartoitukset tuottavat jo nyt tieteellisiä tuloksia suoraan ja lisäksi kartoitusteleskoopeilla havaitut kiinnostavat kohteet ovat hyviä kohteita tarkemmille tutkimuksille, joita voivat suorittaa sekä niiden naapurissa oleva VLT-teleskooppi että muut teleskoopit Maapallolla ja avaruudessa. Kumpikin kartoitusteleskooppi on tähtitornissa VLT:n lähellä ja jakaa sen kanssa samat poikkeukselliset havainto-olosuhteet samoin kuin samanlaisen ja hyvin tehokkaan toimintamallin.

VISTAn pääpeili on halkaisijaltaan 4,1 metriä ja se on kaikkein tehokkain lähi-infrapuna-aallonpituuksien kartoitusteleskooppi maailmassa.

VISTAn ytimessä on kolme tonnia painava kamera, joka koostuu 16:sta infrapunavalolle herkästä ilmaisimesta, joissa on yhteensä 67 megapikseliä. Sillä on suurempi näkökenttä kuin millään muulla tähtitieteellisellä lähi-infrapunakameralla.

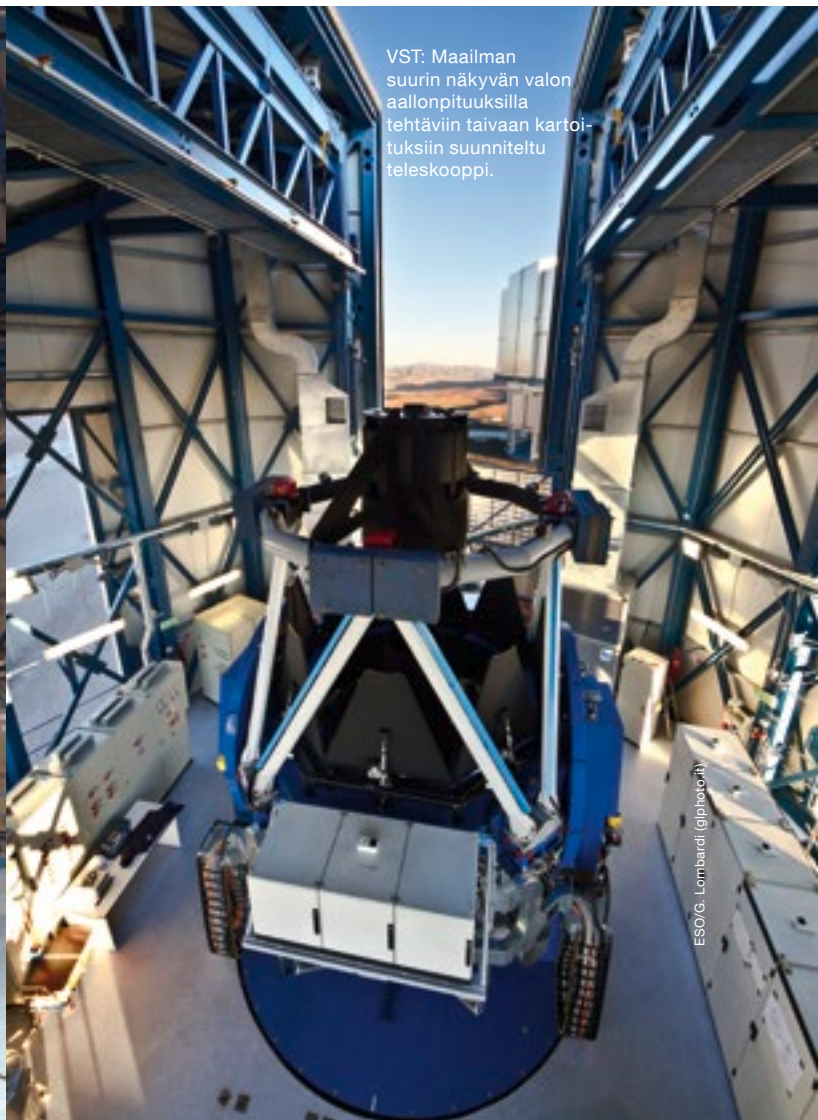
VST on 2,6-metrin huipputeknologiateleskooppi, jossa on OmegaCAM, hirviömäinen 268 megapikselin CCD-kamera, jonka näkökenttä on suurempi kuin neljän täydenkuun peittämä ala taivasta. Se täydentää VISTAa ja kartoittaa taivasta näkyvän valon aallonpituuksilla.

VST on ESOn ja napolilaisen Capodimonten tähtitieteellisen observatorion (OAC) yhteistyön tulos. OAC on Italian kansallisen astrofysikaalisen instituutin (INAF) tutkimuskeskus.

VISTAn tähtitornissa.



VST: Maailman suurin näkyvän valon aallonpituuksilla tehtäviin taivaan kartoituksiin suunniteltu teleskooppi.





ESO/J. Emerson/VISTA. Kiitokset: Cambridge Astronomical Survey Unit

Tämä näkyvän valon kuva noin 1350 valovuoden etäisyydellä Maasta sijaitsevasta Orionin sumusta (Messier 42) otettiin VISTA-teleskoopilla ESO:n Paranalin observatoriolla Chilessä.



ESO/IRAF-VST/OmegaCAM. Kiitokset: OmegaCen/Astro-WISE/Kapteyn Institute

Ensimmäinen julkaistu VST-kuva esittää näyttävää tähtienmuodostusalueita Messier 17, joka tunnetaan myös nimillä Omega-sumu tai Joutsensumu.

ALMA

Korkealla Chajnantorin ylätasangolla, Chilen Andeilla, Euroopan eteläinen observatorio käyttää yhdessä kansainvälisten kumppanien kanssa ALMA-teleskooppia (Atacama Large Millimetre/submillimetre Array). ALMA on huipputeknologiateskooppi, joka tutkii valoa maailmankaikkeuden kylmimmistä kohteista. Tämän valon aallonpituus on tyypillisesti noin yksi millimetri eli se sijaitsee sähkömagneettisessa spektrissä infrapunavalon ja radioaaltojen välissä. Siten se tunnetaan millimetri- ja alimillimetrisäteilynä. ALMA voi luoda maailmankaikkeutta näillä aallonpituuksilla ennennäkemättömällä herkkyydellä ja tarkkuudella. Sen näkökyky on jopa kymmenen kertaa terävämpi kuin Hubblen avaruusteleskoopin ja se täydentää VLT-interferometrillä otettuja kuvia.

Näillä aallonpituuksilla valo tulee valtavista tähtienvälisen avaruuden kylmistä pilvistä lämpötiloissa, jotka voivat olla niinkin alhaisia kuin -263 celsiusastetta, sekä joistakin maailmankaikkeuden varhaisimmista ja etäisimmistä galakseista. Tähtitieteilijät voivat käyttää tätä valoa tutkiessaan kemiallisia ja fysikaalisia olosuhteita molekyyliportivissa, jotka ovat uusia tähtiä synnyttäviä, tiheitä kaasun ja pölyn alueita. Usein nämä maailmankaikkeuden alueet ovat pimeitä näkyvän

valon aallonpituuksilla, mutta loistavat kirkkaina sähkömagneettisen spektrin millimetri- ja alimillimetrialueilla.

ALMA tutkii tähtien, planeettajärjestelmien, galaksien ja itsensä elämän rakennusosasia. Tarjoamalla tutkijoille yksityiskohtaisia kuvia syntymässä olevista tähdistä ja planeetoista aurinkokunnan lähistöllä sekä havaitsemalla näkyvän maailmankaikkeuden ääri laidalla muodostuvia etäisiä galakseja ALMA tekee tähtitieteilijöille mahdolliseksi tutkia joitakin kosmisen alkuperämme perimmäisimpiä kysymyksiä.

Millimetri- ja alimillimetrisäteily avaa ikkunan arvoitukselliseen kylmään maailmankaikkeuteen, mutta nämä avaruudesta tulevat signaalit imeytyvät tehokkaasti Maan ilmakehän vesihöyryyn. Tämänkaltaiset tähtitieteelliset teleskoopit pitää siis rakentaa korkealla sijaitseville kuiville paikoille.

Tästä syystä ALMA, maailmanhistorian suurin tähtitieteellinen projekti, rakennettiin 5000 metrin korkeudelle merenpinnasta korkealle Chajnantorin ylätasangolle. Noin 50 kilometriä itään Pohjois-Chilen San Pedro de Atacamasta sijaitseva paikka on yksi kuivimmista Maapallolla. Tähtitieteilijät ovat huomanneet, että olosuhteet

ovat verrattomat havainnointiin, mutta heidän täytyy käyttää tieteen eturintaman observatoriota hyvin vaikeissa, vähähappisissa olosuhteissa. Chajnantor sijaitsee yli 750 metriä korkeammalla kuin Mauna Kea observatorio ja 2400 metriä korkeammalla kuin VLT Cerro Paranalilla.

ALMA on yhteistyöhanke johon osallistuvat Eurooppa, Pohjois-Amerikka ja Itä-Aasia yhteistyössä Chilen kanssa. ALMA:a rahoittavat Euroopassa Euroopan eteläinen observatorio (ESO), Pohjois-Amerikassa Yhdysvaltain kansallinen tiedesäätiö (NSF) yhteistyössä Kanadan kansallisen tutkimusneuvoston (NRC) ja Taiwanin kansallisen tiedeneuvoston (NSC) kanssa, ja Itä-Aasiassa Japanin kansalliset luonnontieteelliset instituutit (NINS) yhteistyössä Taiwanin Academia Sinican (AS) kanssa. ALMA:n rakentamista ja toimintaa ohjaa Euroopan osalta ESO, Pohjois-Amerikan osalta Kansallinen radiotähtitieteen observatorio (NRAO), jota hallinnoi Associated Universities, Inc. (AUI), ja Itä-Aasian osalta Japanin Kansallinen tähtitieteellinen observatorio (NAOJ). Yhteinen ALMA-observatorio (JAO) huolehtii ALMA:n rakentamisen, kokoonpanon ja operaation yhtenäisestä johdosta ja hallinnoinnista.

Ilmavalokuva Chajnantorin ylätasangosta, noin 5000 metrin korkeudella merenpinnasta Chilen Andeilla. Tämä on ALMA:n antennien sijaintipaikka.



ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



Sadan tonnin painoista eurooppalaista ALMA-antennia kuljetetaan Lorella, yhdellä valtavista ALMA-kuljetusalustoista, toimintojen tukikeskuksesta Chilen Andeilla.



Antenni-galaksit ovat vääristyneiden, törmäävien spiraaligalaksien pari noin 70 miljoonan valovuoden etäisyydellä meistä. Tämä kuva yhdistää ALMAN varhaisen testivaiheen aikana kahdella eri aallonpituusalueella tehdyt havainnot näkyvän valon havaintoihin NASAn ja ESAn Hubblen avaruusteleskoopilta.

ALMA (ESO/NAOJ/NRAO). Näkyvän valon kuva: NASA/ESA Hubble Space Telescope

ALMAN rakenne on vallankumouksellinen. Se koostuu 66 suuren tarkkuuden antennista, joissa on viidenkymmenen, halkaisijaltaan 12-metrinen antennin pääsarja, joka toimii yhdessä yksittäisenä teleskooppina, interferometrinä, ja täydentävä, kompakti neljän 12-metrinen ja kahdentoista 7-metrinen antennin sarja. Antennit voidaan siirtää aavikkoisen ylätasangon halki 150 metristä 16 kilometriin ulottuville etäisyyksille, mikä antaa ALMalle tehokkaan, muunneltavan ”zoomin”.

ALMAN supertietokone, korrelaattori, suorittaa 17 tuhatta biljoonaa laskutoimitusta sekunnissa ja on yksi nopeimmista erityiskäyttöisistä tietokoneista maailmassa.

ALMA vihittiin käyttöön vuonna 2013, mutta varhaisen tiedevaiheen havaintojen teko osittaisella antennisarjalla alkoi jo vuonna 2011.

APEX

Tähtitieteilijöillä on toinen täydentävä laite millimetri- ja alimillimetritähtitieteen tekemiseen Chajnantorissa: APEX-teleskooppi (Atacama Pathfinder Experiment). Tämä on 12-metrinen teleskooppi, joka perustuu ALMAN prototyyppiantenniin ja toimii ALMAN yhteydessä. APEX oli toiminnassa useita vuosia ennen ALMAa ja nyt kun suurempi teleskooppi on valmis, sillä on tärkeä rooli kartoituksessa.

Tähtitieteilijät käyttävät APEXia tutkiessaan olosuhteita molekyyli-pilvissä, kuten Orionin sumun tai Kotkasumun Luomisen pilareiden ympärillä. He ovat löytäneet hiilimonoksidikaasua ja monimutkaisia orgaanisia molekyylejä, samoin kuin fluoria sisältäviä sähköisesti varattuja molekyylejä, joita ei milloinkaan ennen ollut havaittu. Nämä löydöt edistävät tietämystämme kaasusta uusien tähtien synnyinseuduilla.

APEX on yhteistyöhanke, johon osallistuvat Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Onsalan avaruusobservatorio ja ESO. Teleskooppia hallinnoi ESO. Se seuraa La Sillalla vuodesta 1987 vuoteen 2003 toimineen, ESO:n ja Onsalan avaruusobservatorion yhteistyönä ylläpitämän SEST-teleskoopin (Swedish-ESO Submillimetre Telescope) jalanjälkiä.



APEXin kuva tähtienmuodostuksesta Orionin sumussa.

APEX Kuun alla.



ESO/Digitized Sky Survey 2

ESO/B. Tafreshi (twanight.org)

Äärimmäisen suurilla teleskoopeilla on maailmanlaajuisesti yksi maanpäällisen tähtitieteen korkeimmista prioriteeteista. Ne edistävät suunnattomasti astrofysikaalista tietämystä mahdollistaen yksityiskohtaiset tutkimukset sellaisista kohteista kuin muita tähtiä kiertävät planeetat, maailmankaikkeuden varhaisimmat kohteet, supermassiiviset mustat aukot ja maailmankaikkeutta hallitsevien pimeän aineen sekä pimeän energian luonne ja jakauma.

Mullistavassa E-ELT -teleskoopissa (European Extremely Large Telescope) tulee olemaan 39 metrin pääpeili ja se tulee olemaan maailman suurin optisen ja lähi-infrapuna-alueen teleskooppi: ”maailman suurin tähtitaivasta havainnoiva silmä”.

E-ELT on suurempi kuin kaikki tällä hetkellä olemassaolevat optiset tutkimusteleskoopit yhteenlaskettuna ja kerää 13 kertaa enemmän valoa kuin suurimmat tämänhetkiset optiset teleskoopit. E-ELT:n rakenne kykenee myös korjaamaan ilmakehän vääristymät ja tuottamaan 16 kertaa terävämpiä kuvia kuin Hubblen avarusteleskooppi. Siinä on ennen näkemätön viiden peilin rakenne ja pääpeili koostuu 798 kuusikulmaisesta palasta, kukin halkaisijaltaan 1.4 metriä mutta paksuudeltaan vain 5 senttimetriä.

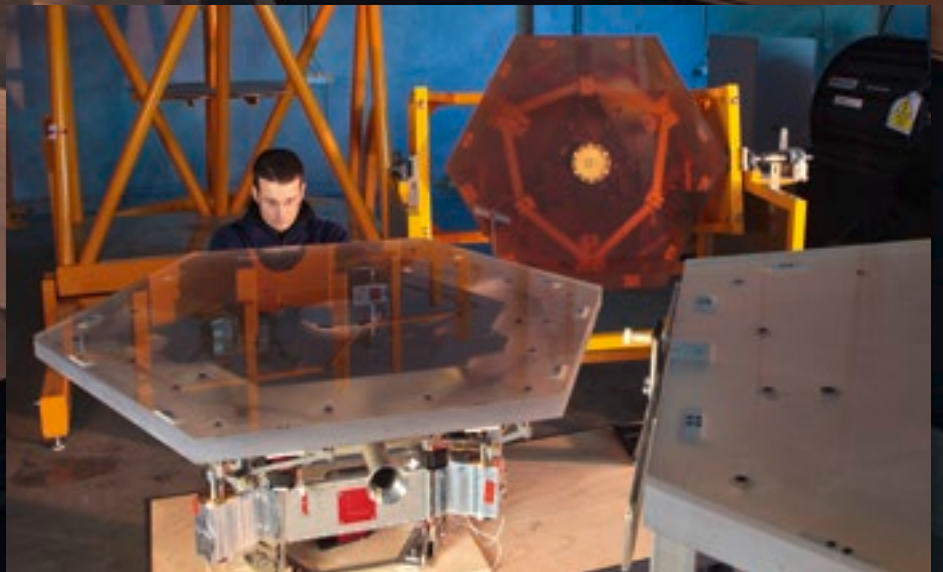
Toiminnan alkaminen on suunniteltu vuodelle 2023. E-ELT tulee selvittämään aikamme suurimpia tieteellisiä haasteita ja tähtäämään joukkoon merkittäviä ensihavaintoja, mukaanlukien maankal-

taisten planeettojen löytäminen muita tähtiä kiertävällä asuttavalla vyöhykkeellä, jolla saattaa esiintyä elämää. Tämä on nykyaikaisen havaitsevan tähtitieteen Graalin malja. Se tulee myös suorittamaan tähtiarkeologiaa tutkimalla vanhoja tähtiä ja tähtipopulaatioita läheisissä galakseissa, samoin kuin antamaan perustavanlaatuisen panoksen kosmologiaan mittaamalla ensimmäisten tähtien ja galaksien ominaisuuksia sekä luotaamalla pimeän aineen ja pimeän energian luonnetta. Kaiken tämän lisäksi tähtitieteilijät valmistautuvat yllätyksiin — uusiin ja ennalta-arvaamattomiin kysymyksiin, jotka varmasti seuraavat E-ELT:llä tehtyjä löytöjä.

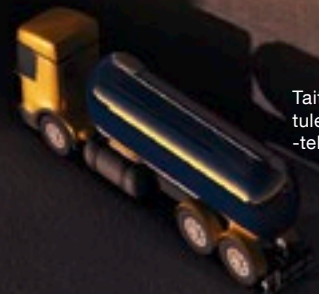
Tämä kuva esittää öistä Cerro Armazonesia, tulevan E-ELT -teleskoopin sijoituspaikkaa.

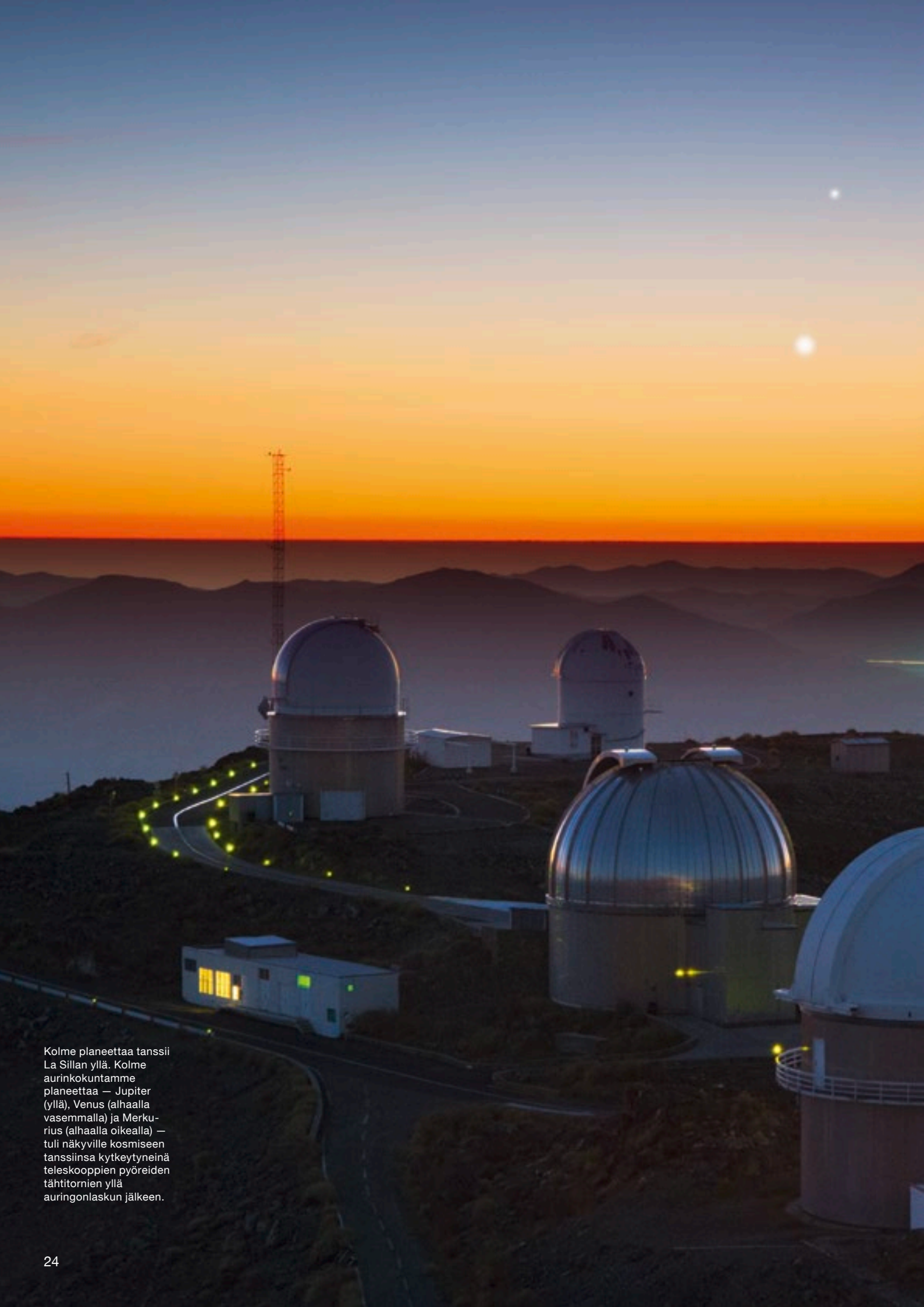


Useat E-ELT -teleskoopin jättimäisen pääpeilin koepalat ovat par'aikaa testattavana lähellä ESON päämajaa Garchingissa, Saksassa.



Taitelijan näkemys tulevasta E-ELT -teleskoopista.





Kolme planeettaa tanssii La Sillan yllä. Kolme aurinkokuntamme planeettaa — Jupiter (yllä), Venus (alhaalla vasemmalla) ja Merkuurius (alhaalla oikealla) — tuli näkyville kosmiseen tanssiinsa kytkeytyneinä teleskooppien pyöreiden tähtitornien yllä auringonlaskun jälkeen.

La Silla

La Sillan observatorio, 600 kilometriä pohjoiseen Santiago de Chilestä ja 2400 metrin korkeudella merenpinnasta, on toiminut ESON tukikohtana 1960-luvulta lähtien. Täällä ESO käyttää yhä kahta maailman parhaista neljän metrin kokoluokan teleskoopeista, säilyttäen La Sillan aseman yhtenä maailman tieteellisesti tuotteliaimmista observatorioista.

3.58-metrin NTT-teleskooppi (New Technology Telescope) oli uranuurtaja teleskooppien rakenteiden ja suunnittelun saralla. Se oli maailman ensimmäinen teleskooppi, jossa on tietokoneohjattu pääpeili (aktiivista optiikkaa) – ESON kehittämää

teknologiaa, joka sitten otettiin käyttöön VLT-teleskoopissa ja nykyään useimmissa maailman suurimmista teleskoopeista.

Toisaalla La Sillalla ESON 3.6-metrin teleskooppi on ollut toiminnassa vuodesta 1977. Merkittävien parannusten jälkeen se on edelleen tieteen eturintamassa neljän metrin teleskooppien luokassa eteläisellä pallonpuoliskolla. Se on maailman johtavan eksoplaneettojen metsästäjän, HARPSin sijoituspaikka. HARPS on vertaistaan vailla oleva spektrografi.

La Sillan infrastruktuuria käytetään myös monissa ESON jäsenmaiden

kohdistetuissa projekteissa, kuten sveitsiläisessä 1.2-metrin Leonhard Euler -teleskoopissa, REM (Rapid Eye Mount) ja TAROT (Télescope à Action Rapide pour les Objets Transitoires – lyhytaikaisten kohteiden nopean toiminnan teleskooppi) -gammapurkausjäljittäjissä sekä yleiskäyttöisemmissä teleskoopeissa, kuten MPG/ESO 2.2-metrin ja tanskalaisten 1.54-metrin teleskoopit. MPG/ESO 2.2-metrin teleskoopin 67 miljoonan pikselin Wide Field Imager -havaintolaite on ottanut yötaivaan kohteista monta vaikuttavaa kuvaa, joista jotkin ovat itse ansaitusti päätyneet tähtitieteellisen tutkimuksen symboleiksi.



Ideasta tutkimusjulkaisuiksi: aineiston kulku

ESOn teleskooppien käyttö muodostaa saumattoman prosessin, joka alkaa tähtitieteilijöiden jättäessä kuvauksensa ehdotetuista havainto-ohjelmista, joiden tarkoitus on tavoitella tarkkaan määrättyä tieteellistä päämäärää. Tähtitieteilijäyhteisön asiantuntijat vertaisarvioivat ehdotukset. Hyväksytyt ohjelmat muunnetaan yksityiskohtaisiksi kuvauksiksi siitä millaisia havaintoja ohjelman toteuttamiseksi tehdään.

Seuraavaksi havainnot tehdään teleskooppeilla ja kerätty aineisto toimitetaan välittömästi vastaaville tutkimusryhmille. Tieteellisiä havaintoja ja niihin liittyvää kalibraatioaineistoa käyttävät myös ESON tiedemiehet heidän tarkkaillaan yksityiskohtaisesti aineiston laatua ja havaintolaitteiden käyttäytymistä tavoitteenaan taata, että niiden suorituskyky on aina määritellyissä rajoissa. Tämä koko prosessi on riippuvainen informaation jatkuvasta kulusta Chilen observatorioiden ja Garchingissa, Saksassa sijaitsevan ESON päämajan välillä.

Kaikki kerätty tieteellinen ja kalibraatioaineisto tallennetaan ESON tiedeaineiston arkistoon. Arkisto käsittää täydellisen luettelon kaikista havainnoista, jotka on tehty Paranalin toimintojen alkamisesta lähtien VLT-teleskoopilla, sen interferometrillä sekä kartoitusteleskooppeilla VISTA ja VST. Se käsittää myös La Sillan teleskooppien ja Chajnantorissa sijaitsevan APEX-alimillimetriradioteleskoopin tekemät havainnot. Arkistoon tallennetut havainnot tulevat yleensä julkisiksi vuosi havaintojenteon jälkeen, minkä ansiosta muut tutkijat voivat käyttää niitä.

Perinteinen tapa tehdä havaintoja on myöntää ohjelmalle tietyt päivät, jona tähtitieteilijöiden tulee matkustaa teleskoopille tekemään havainnot itse, observatorion asiantuntijahenkilökunnan avustuksella. Vierailijamoodina tunnettu tapa antaa tähtitieteilijöiden mukauttaa havaintostrategiansa tuloksiin, sitä mukaa kuin niitä saadaan, sekä vallitseviin sääolosuhteisiin. Ei kuitenkaan ole mitään tapaa taata, että vaadittavat havainto-

olosuhteet täyttyvät myönnettyinä päivinä.

ESO on kehittänyt vaihtohtoisen palveluhavaintojärjestelmän, jossa havaintoja ehdottaneiden tähtitieteilijöiden täysin yksilöimät havainnot sijoitetaan joustavasti teleskooppien ohjelmaan ja suoritetaan vain soveltuviissa olosuhteissa. Jokaisen ennalta määritellyn havainnon yhteydessä määritetään siten hyväksyttävät olosuhteet, joissa se voidaan tehdä, jotta sen tieteelliset tavoitteet saadaan toteutettua.

Vaikka tämänkaltainen joustava aikataulutus ei sallikaan tähtitieteilijän päättää havaintostrategiaa reaaliaikaisesti, siitä on monia etuja ja nämä ovat tehneet palveluhavainnoista suosituimman vaihtoehdon 70 prosentille VLT:n käyttäjistä.



ESOn teleskooppeilla havaitun aineiston arkistoinnista ja jakelusta vastaava havaintoaineistokeskus ESON päämajassa Garching bei Münchenissä, Saksassa.

Kumppanuudet

Yhteistyön edistäminen tähtitieteessä on ESON toimenkuvan ytimessä ja organisaatio on myötävaikuttanut ratkaisevasti tähtitieteen ja astrofysiikan Eurooppalaisen tutkimusalueen muodostamiseen.

Joka vuosi tuhannet tähtitieteilijät jäsenvaltioista ja kauempaakin tekevät tutkimusta käyttäen ESON observatorioilla kerättyä havaintoaineistoa. Tähtitieteilijät muodostavat usein kansainvälisiä tutkimusryhmiä, joiden jäsenet ovat useasta eri maasta ja heidän tuloksiaan julkaistaan useissa sadoissa tieteellisissä julkaisuissa joka vuosi.

ESOlla on laaja ohjelma nuorille tähtitieteilijöille, joilla on filosofian tohtorin tutkinto, sekä opiskelijoille. Siten ESO edistää eurooppalaisten tieteilijöiden liikkuvuutta. Jäsenvaltioiden ja muiden maiden vanhemmat tutkijat työskentelevät ajoittain vierailevina tutkijoina ESON toimipisteissä. Sen lisäksi ESO ylläpitää aktiivista kansainvälisten konferenssien ohjelmaa, jonka aiheet ovat tähtitieteellisen tutkimuksen ja teknologian eturintamassa, sekä tarjoaa logistista tukea kansainväliselle julkaisusarjalle *Astronomy & Astrophysics*.

Tarjotakseen käyttäjilleen yhä parempia tähtitieteellisiä teleskooppeja ja havaintolaitteita ESO tekee läheistä yhteistyötä useiden Euroopan korkean teknologian teollisuuslaitosten kanssa. Eurooppalainen teollisuus myötävaikuttaa ratkaisevasti ESON projektien toteutumiseen. Ilman kaikkien jäsenmaiden ja Chilen kaupallisten kumppanien aktiivista ja innokasta osallistumista tällaiset projektit eivät olisi mahdollisia.

Teknologisen kehityksen saralla ESO ylläpitää läheisiä yhteyksiä useisiin tutkimusryhmiin jäsenvaltioiden ja muiden maiden yliopistollisissa laitoksissa. Siten jäsenvaltioiden tähtitieteilijät ovat vahvasti mukana ESON nykyisten teleskooppien tieteellisten havaintolaitteiden suunnittelussa ja toteutuksessa sekä muiden, olemassaolevien tai suunniteltujen teleskooppien suunnitteluhankkeissa. Havaintolaitteiden kehitystyö tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia kansallisille tutkimuksen huippuyksiköille, mikä houkuttelee monia nuoria tiedemiehiä ja insinöörejä.



ESOn jäsenvaltioiden liput VLT-teleskoopin alustalla.



Euroopan komissio ja EIROforum lupaavat laajentaa yhteistyötään.



Ryhmävalokuva konferenssista "Science from Next Generation Imaging Spectroscopic Surveys" (tiedettä seuraavan sukupolven spektroskooppisista kuvantamiskartoituksista).



Alvio Renzini ESO@50 -konferenssissa, juhlimassa viittäkymmentä vuotta Euroopan eteläistä observatoriota.



www.eso.org

ESOn päämaja
Karl-Schwarzschild-Str. 2, 85748 Garching bei München, Saksa
Puhelin: +49 89 32006 0 | Fax: +49 89 3202362 | Sähköposti: information@eso.org