

Lazeris žvelgia į dangų (aukštos skyros astrofizikiniai prietaisai)

M1 studentas

Domas Paipulas

Pranešimo planas

- Aukštos skyros koncepcija
- Technologijos
 - Aktyvioji optika
 - Adaptacinė optika
- Ateities perspektyvos

Aukšta skyra – tai...

- Erdvinė (kampinė) skyra
 - Sužinoti objekto morfologiją ir struktūrą
 - Pamatyti “nematomas” objekto dalis
- Spektrinė skyra
 - Gauti kuo detalesnį objekto spektrą
 - Išskirti atskiras spektrines linijas
- Laikinė skyra
 - Stebėti greitai kintančius procesus

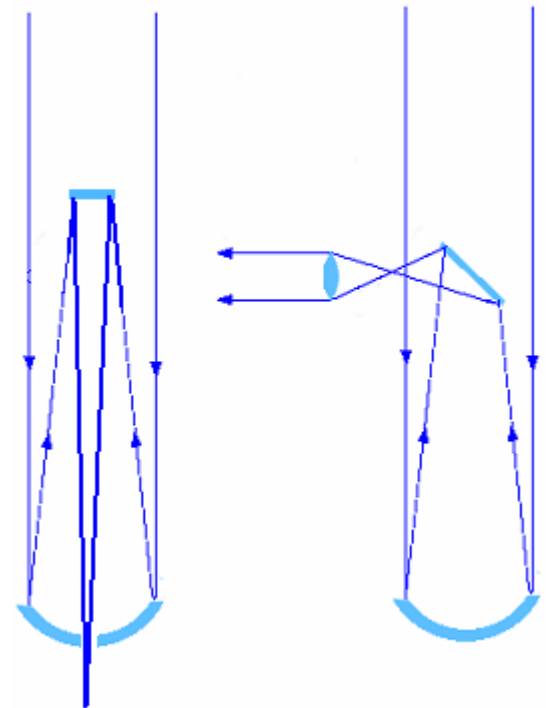
Teleskopo veikimas

- Skiriamoji geba (teorinė):

$$\Delta \leq \frac{12''}{D[cm]}$$

- Dėl atmosferos:

$$\Delta > 1''$$



Didelei erdvinei skyrai pasiekti reikia...

- Didelio diametro ir tiksliai pagaminto veidrodžio
 - Sunku pagaminti
 - Didelė masė – judant veidrodžiui didelės deformacijos dėl įtempimų
- Neiškraipyto ateinančios bangos fronto
 - Atmosfera iškraipo ateinančią spinduliuotė iš kosmoso

Paprasta išeitis

- Kosminis teleskopas
 - Jokių defermacijų
 - Jokių bangos frontų iškraipimų
- Bet...



Paprasta išėitis

- Išėėlimo problema
 - Labai brangu
 - Vibracijos pakėėlimo metu
 - Surinkimas orbitoje?
 - Specialus projektavimas
- Sudėtingas aptarnavimas

Ne išėėitis

Belieka...

- Statyti teleskopus ant žemės ir galvoti ką su jais daryti.

Ir kas sugalvota

- Aktyvi optika

- Pagrindinių veidrodžių koregavimas siekiant panaikinti iškylančias aberacijas ir sumažinti veidrodžių masę

- Adaptacinė optika

- Sklindančios bangos fronto koregavimas

Aktyviosios optikos apžvalga

Pagrindinė veidrodžio problema:

Masė

(D – 1m storis 10 cm)

(D – 6m storis 60 cm)

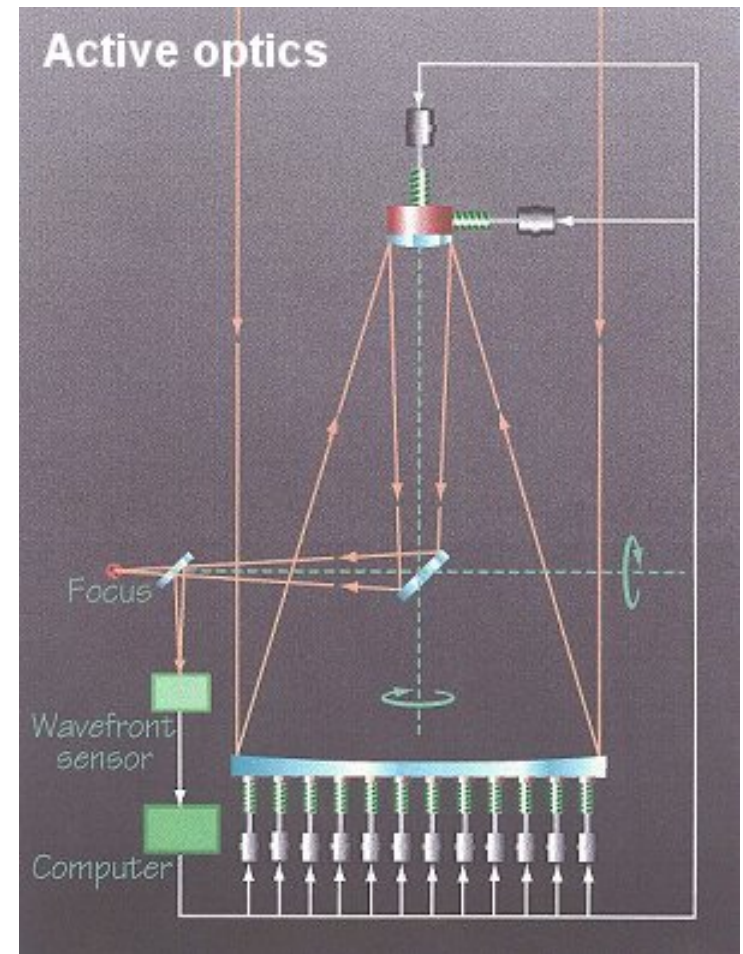
Iš to seka:

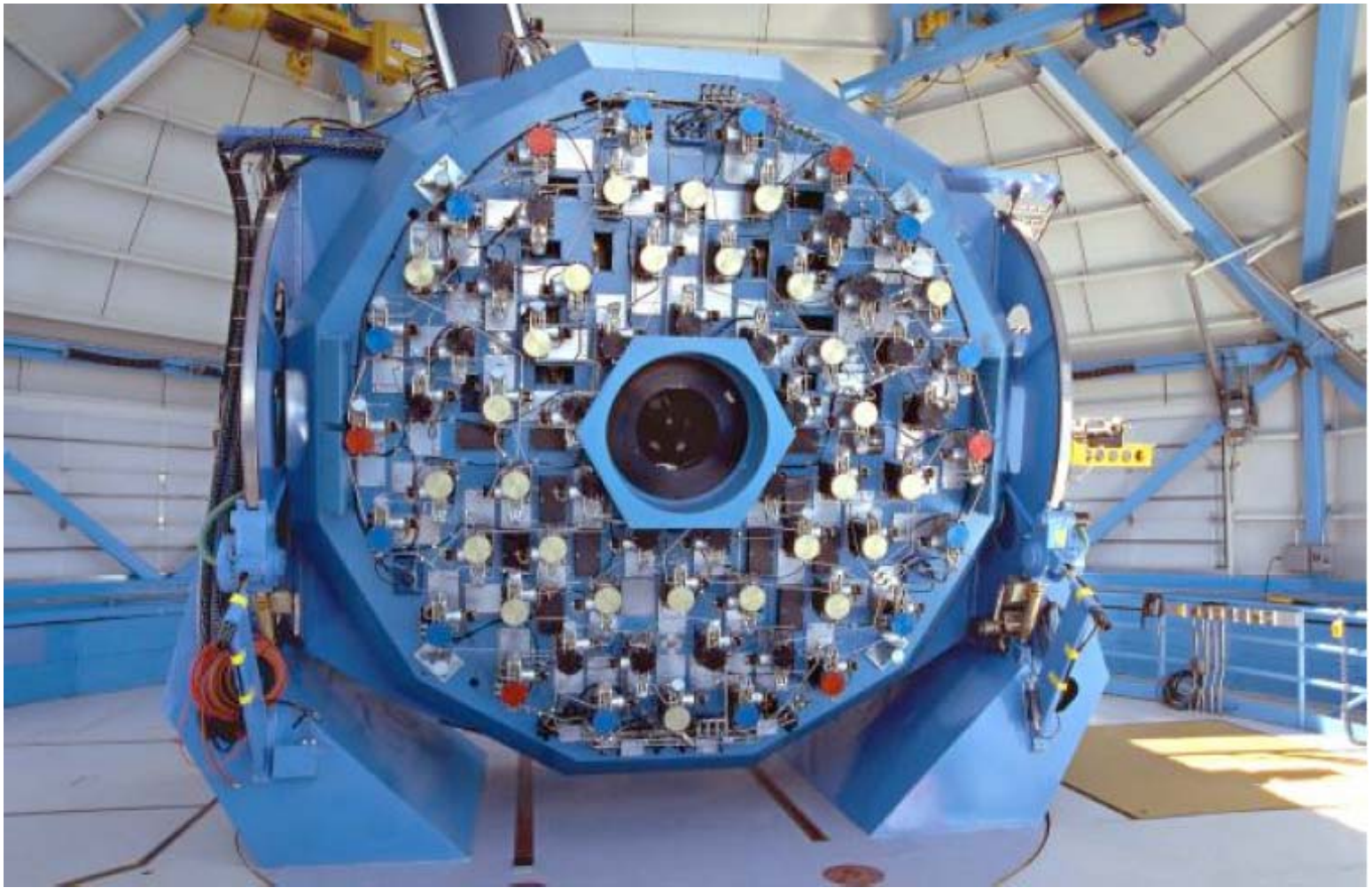
- Deformacijos
- Šiluminis laidumas



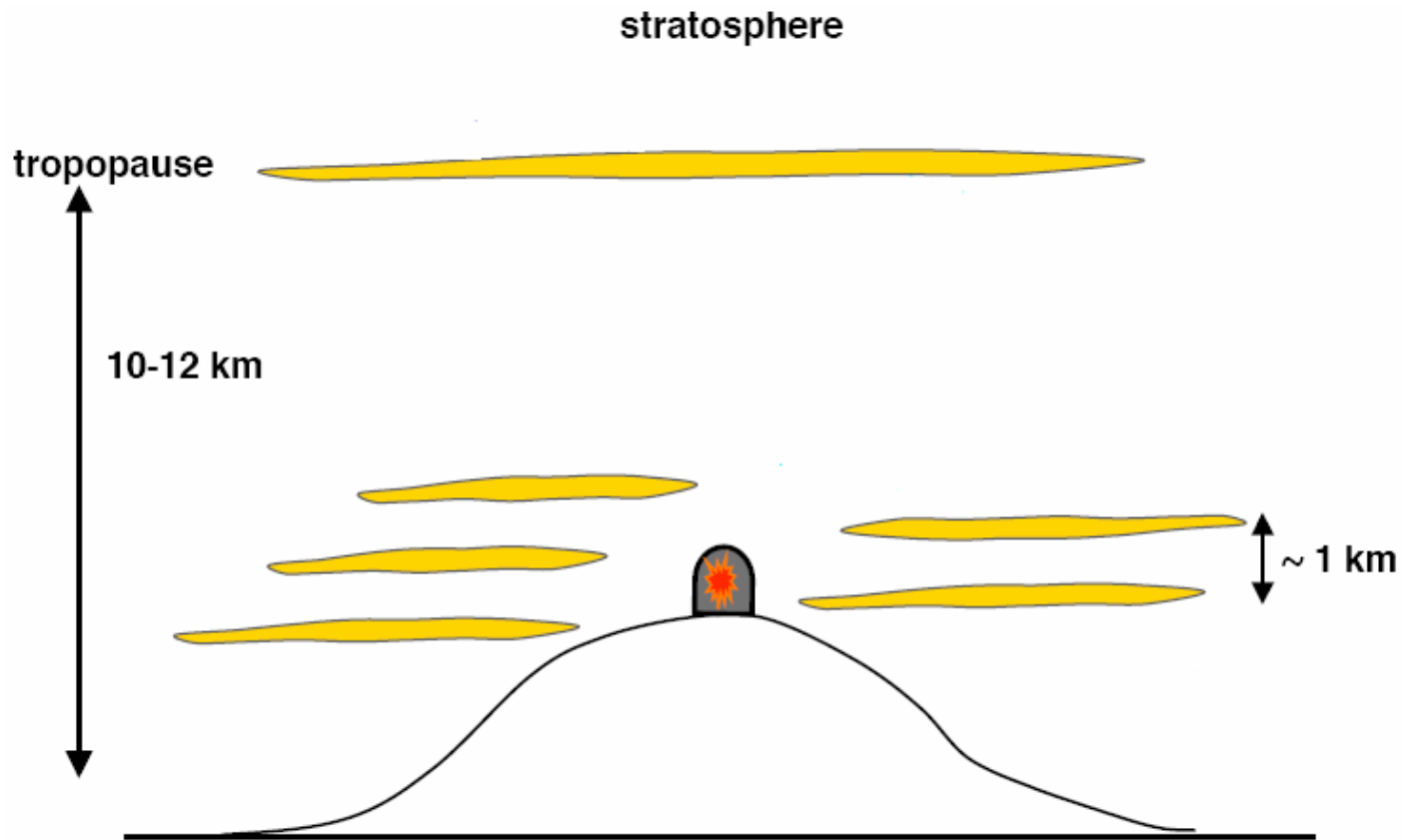
Aktyvioji optika

- Pradžia 1980 m.
- Plonas veidrodis (arba koryta struktūra) dedamas ant aktyvių atramų kurios jį iškreipia
- Pašalinamos aberacijos



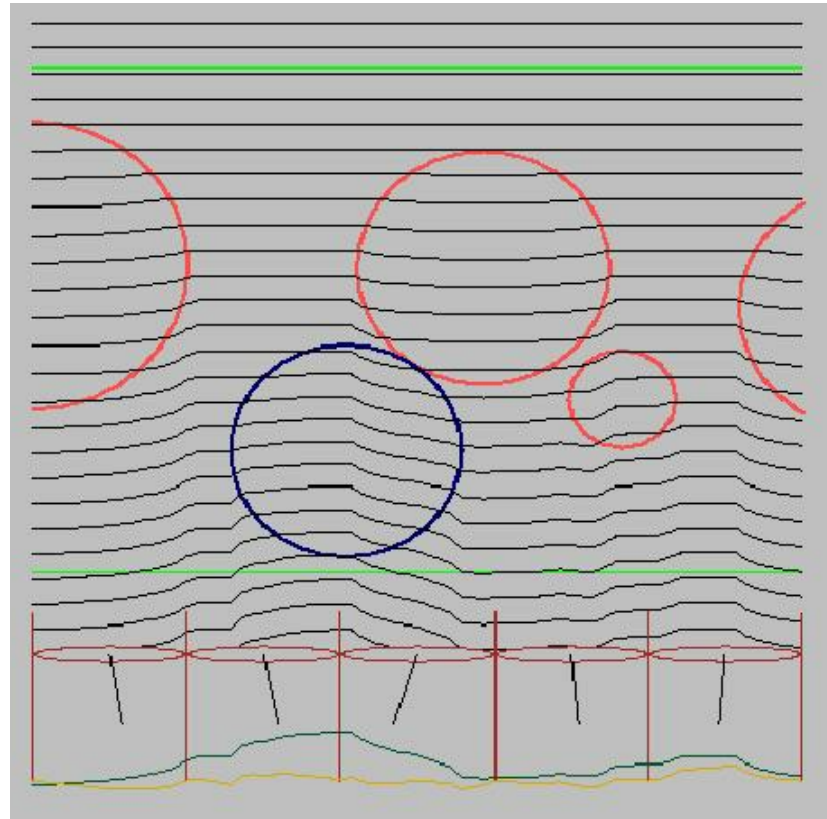


Turbolencija atmosferoje



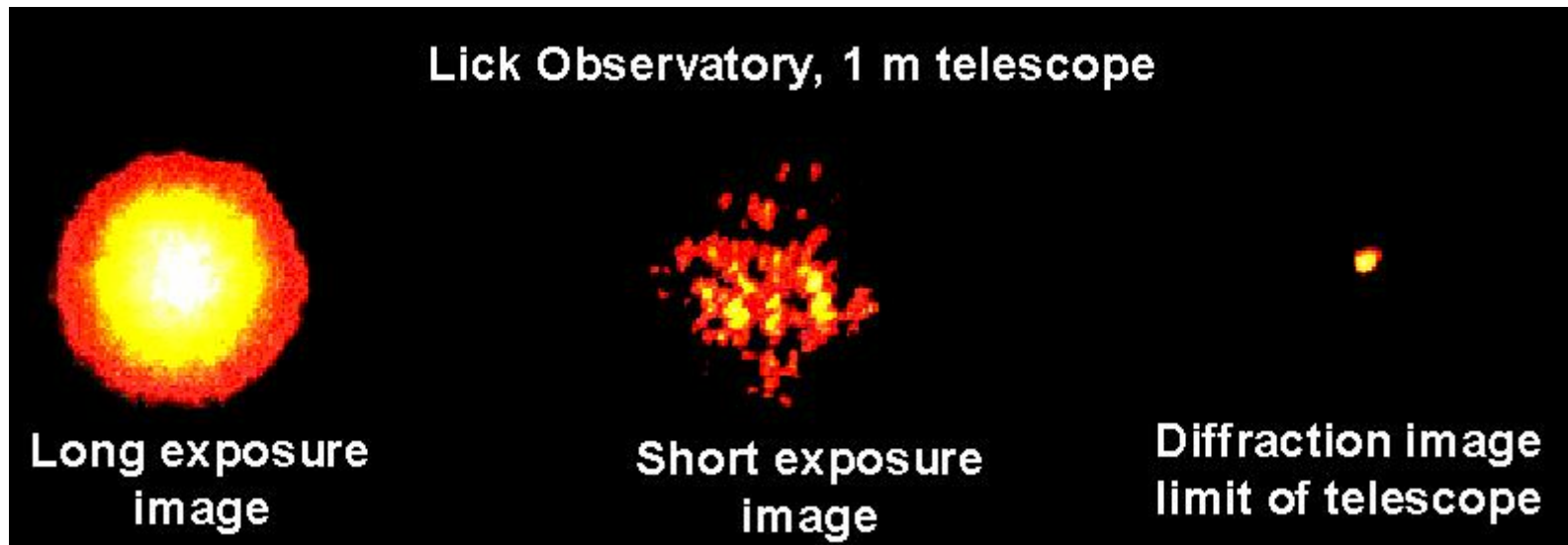
Turbolencija atmosferoje

- Kintant T kinta n
- Tiesus bangos frontas yra iškraipomas



Turbolencija atmosferoje

- Arktūras

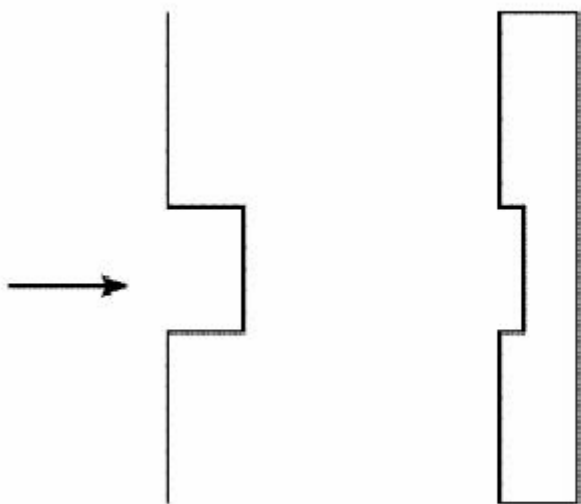


Adaptacinės optikos koncepcija

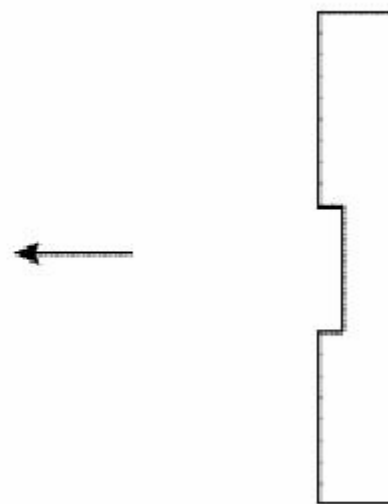
- Žvaigždės yra labai toli, todėl jų bangos frontai turi būti plokšti
- Pamatuoti iškraipytų bangų frontus
- Įvesti neigiamas aberacijas
- Atstatyti plokščią žvaigždės bangos frontą, o taip pat atstatyti ir visų objektų esančių šalia žvaigždės tikruosius vaizdus

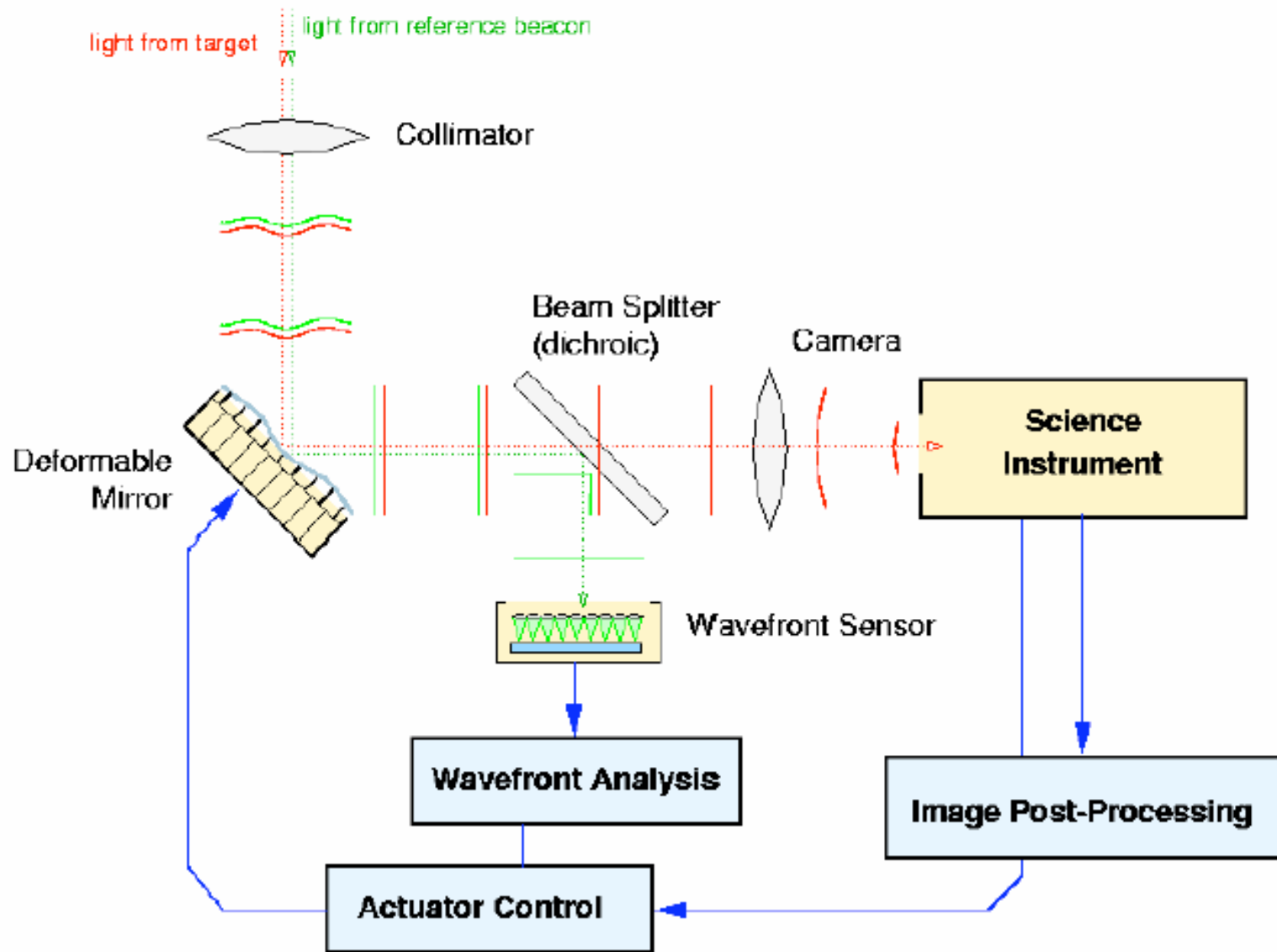
Adaptacinės optikos koncepcija

Prieš



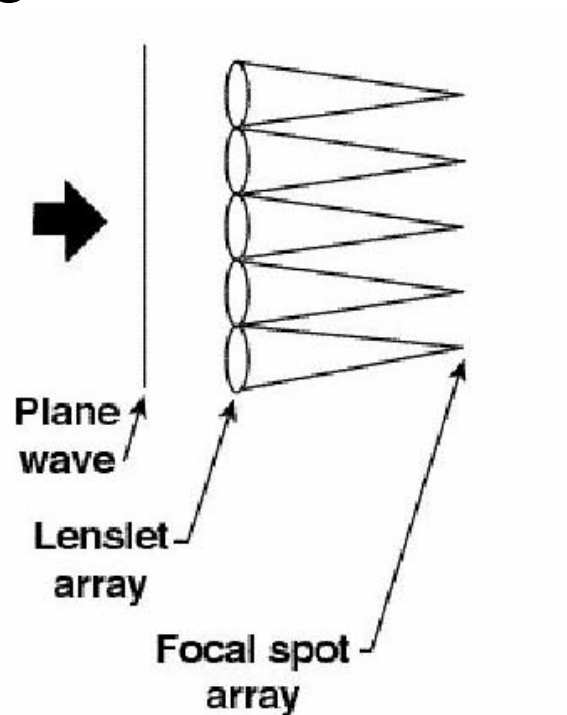
Po



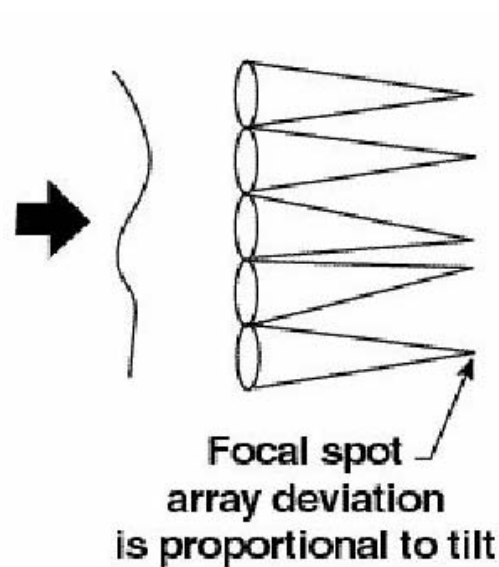


Adaptacinės optikos koncepcija

- Bangos fronto matavimas – Hartmano detektorius



Free space propagation



**Turbulence induced
aberrated wavefront**

Neigiamos aberacijos įvedimas

Deformable mirror from the Keck system

Rear View

349 Actuators
on 7 mm spacing

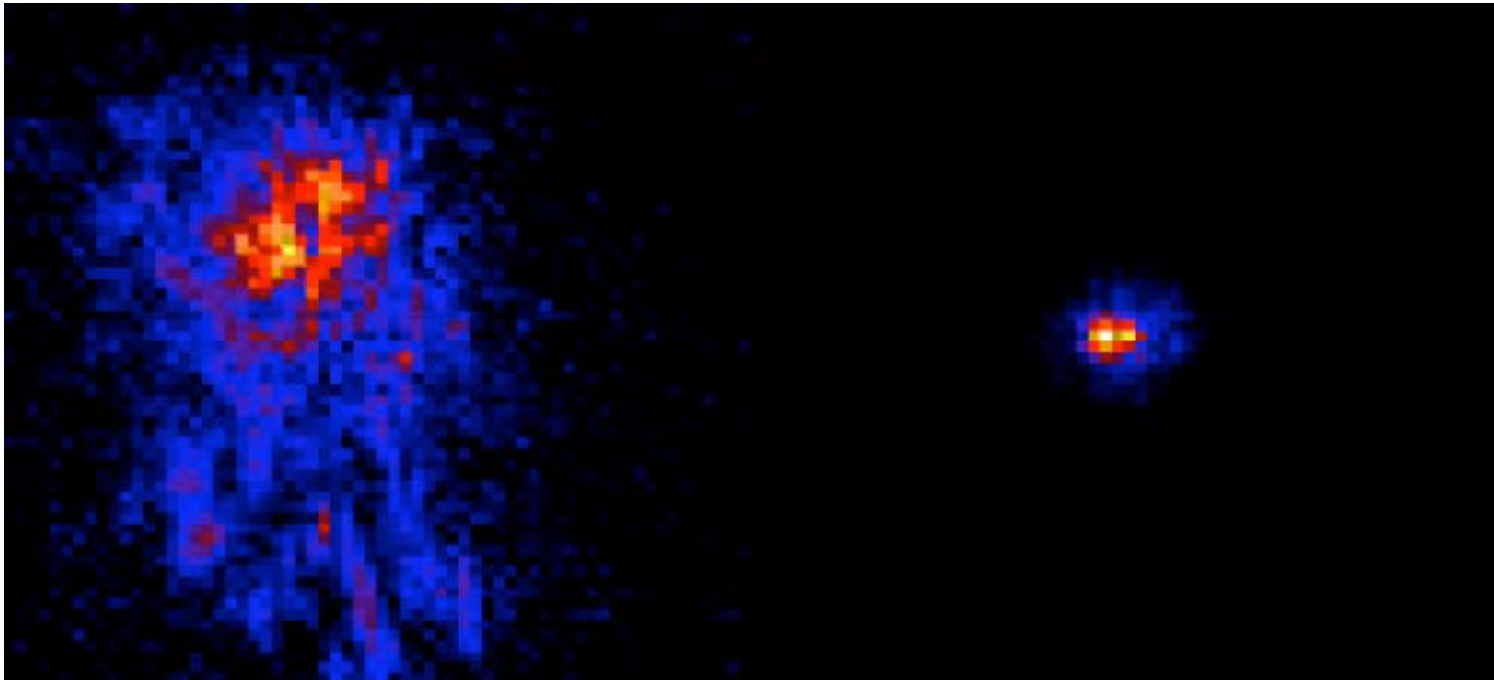


Front View

146 mm diameter
clear aperture



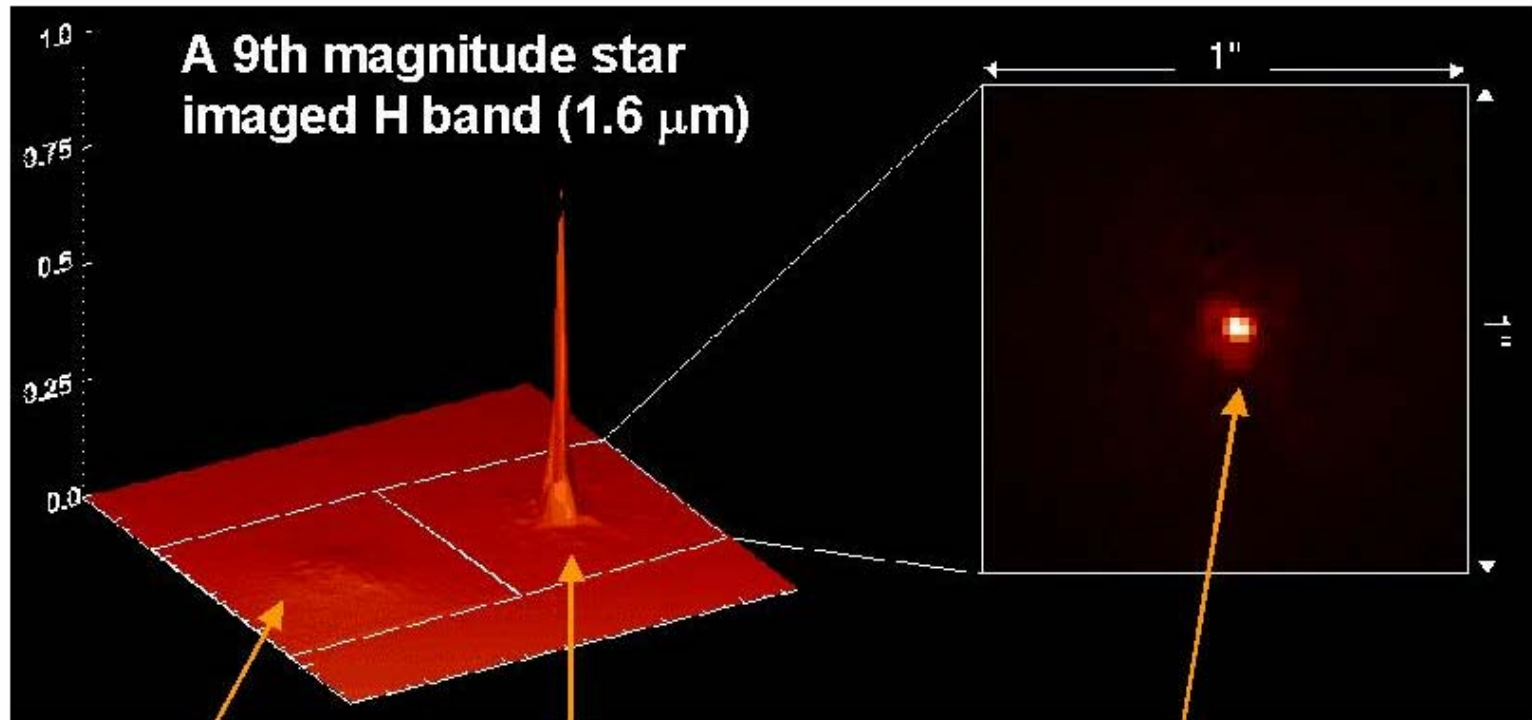
Adaptaciné optika



Without AO

With AO

Adaptaciné optika



Without AO
FWHM 0.34 arc sec
Strehl = 0.6%

With AO

FWHM 0.04 arc sec
Strehl = 34%

Adaptacinės optikos koncepcija

- Atstatę plokščią žvaigždės bangos frontą, atstatome ir aplink tą žvaigždę esančių objektų tikruosius bangų frontus
- Žvaigždė yra tik gidas
- Ką daryti kai šalia tiriamo objekto nėra pakankamai ryškios žvaigždės?
- Atsakymas: susikurti savo žvaigždę !!!

Susikurti savo žvaigždę



Dirbtinės žvaigždės (LGS) kūrimas

- Galimi du variantai
 - Relėjaus sklaida
 - Molekulių ir aerozolių sklaida ir sugertis
 - Emisija apie 15 km atstumu
 - Regimieji ir UV lazeriai
 - Na žadinimas
 - Mezosferoje apie 90 km atstumu
 - Reikalingas 589,2nm lazeris



Lazeriai naudojami Relėjaus sklaidai

- Relėjaus sklaidą proporcinga:

$$\frac{1}{\lambda^4} \rightarrow \text{geriausiai sklaidomi trumpi spinduliai}$$

- Daug komercinių lazerių
 - YAG:Nd – antra (trečia) harmonikos
 - Eksimeriniai lazeriai
 - Dujiniai lazeriai

Lazeriai naudojami Relėjaus sklaidai

Pirmieji bandymai:

- 75 W Cu garų lazeris
- 510,6nm; 578,2nm
- 5 kHz, 50 ns impulsai
- 10 km atstumu matomas

- AO
 - 350 aktyvatorių veidrodis
 - Hartmano detektorius
- Pasiekimai
 - 9 x pagerintas vaizdas

Starfire Optical Range (SOR), Albuquerque, NM



Closed loop LGS/AO correction demonstrated in 1983, declassified and published in 1991.

Lazeriai naudojami Na žadinimui

- Reikia žadinti Na D₂ liniją – 589,2 nm
 - Naudojami:
 - Dažų lazeriai
 - Suminė dviejų kieto kūno lazerio spindulių generacija
 - Antros harmonikos generacijas + Ramano poslinkis

Pradžia apie 1990m.

Dažų lazeriai

■ Nuolatinės veiklos

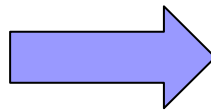
- Privalumas: išvengiamas D_2 linijos įsisotinimas
- Komercinių lazerių modifikacijos
- Veikia: Subaru, VLT, La Palma ir kt.

■ Impulsiniai

- Privalumas: galingesni
 - Veikia: Keck, Lick
- Efektyvumas: dažų lazeriai yra gana efektyvus, bet jų kaupinimo lazeriai nėra tokie efektyvūs

Dažų lazeriai - pavyzdžiai

- Nuolatinės veiklos:
 - Yerkes observatorija:
 - Pritaikytas komercinis modelis
 - Maža galia (4-6 W)
 - Celar Alto observatorija
 - 25 W Ar+ kaupinimo lazeris
 - 4W vienamodis lazeris



Dažų lazeriai - pavyzdžiai

■ Impulsiniai lazeriai

□ Lick obs.

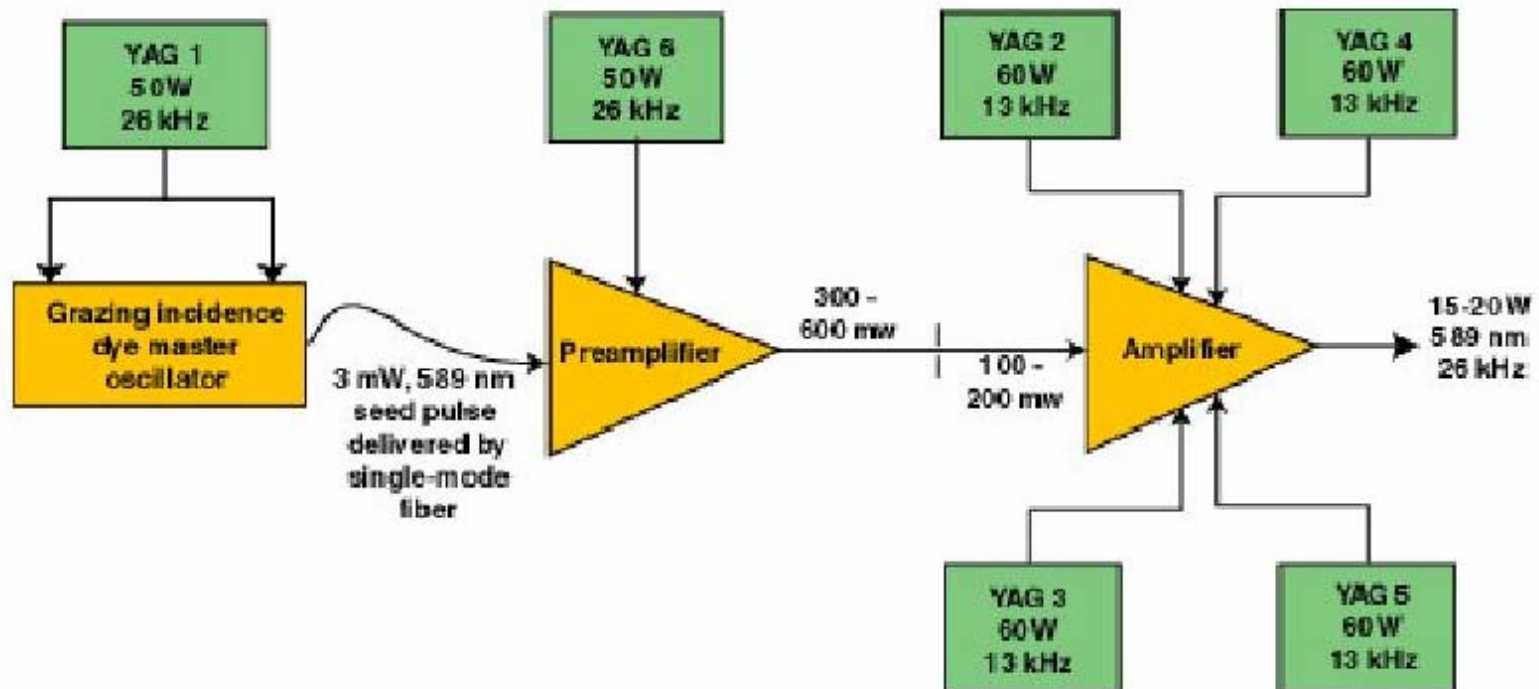
- 13kHz, ilgas impulsas, galia 16 W, sudėtinga schema, brangus išlaikymas (energija ir aušinimas)

□ Keck

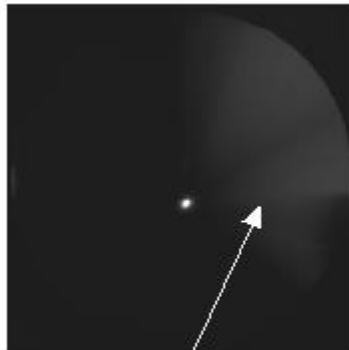
- 26kHz, ilgas impulsas, galia 18 W, sudėtinga schema, brangus išlaikymas (energija ir aušinimas)



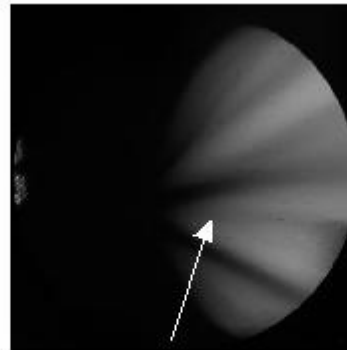
Dažų lazeriai – pavyzdžiai(Keck)



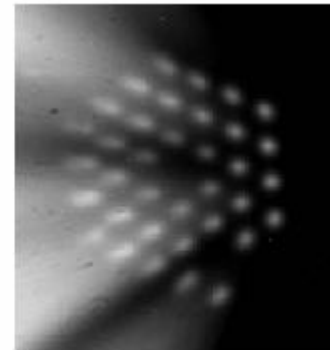
Dažų lazeriai – pavyzdžiai(Keck)



Na + Rayleigh



Rayleigh only



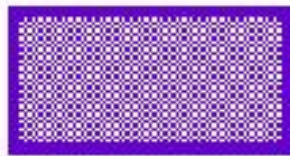
Keck WFS spot
elongation

9,4 ryškio Na “žvaigždė”

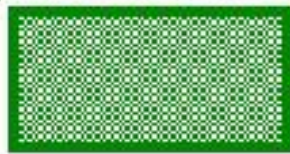
Kieto kūno lazeriai

Diode-Pumped Sum Frequency Laser

1.06 μm Nd:YAG Laser



1.32 μm Nd:YAG Laser



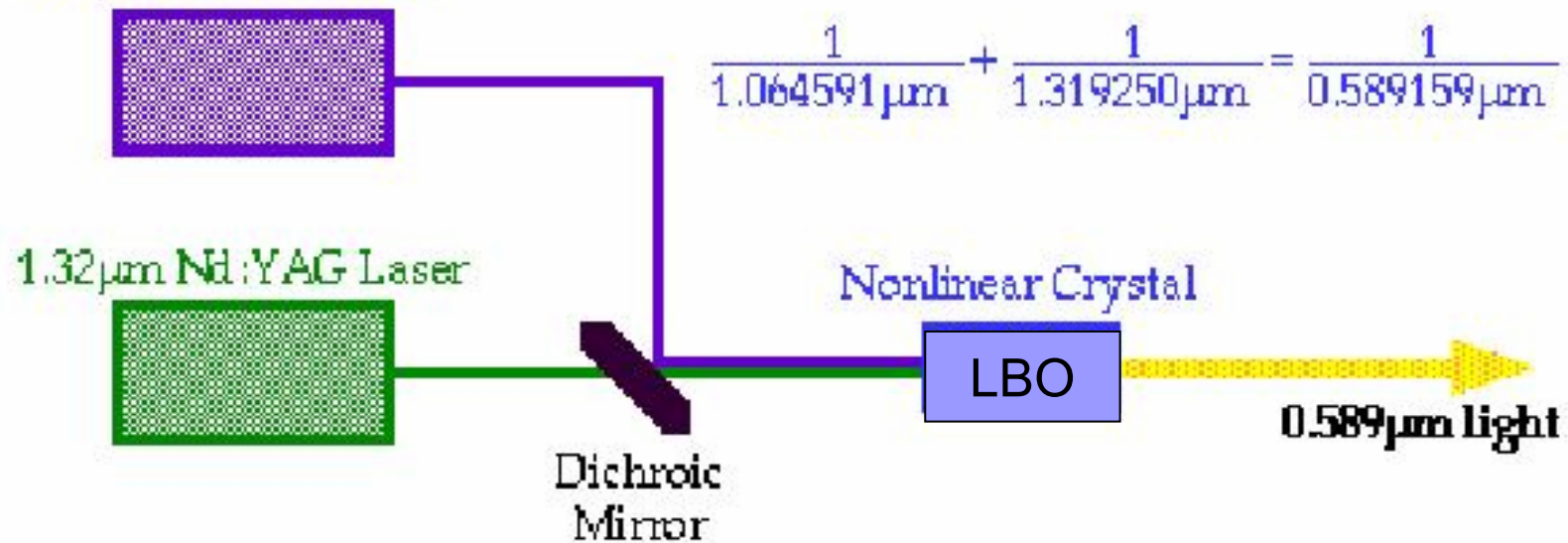
Dichroic Mirror

$$\frac{1}{1.064591\mu\text{m}} + \frac{1}{1.319250\mu\text{m}} = \frac{1}{0.589159\mu\text{m}}$$

Nonlinear Crystal

LBO

0.589 μm light



Kieto kūno lazeriai

Privalumai:

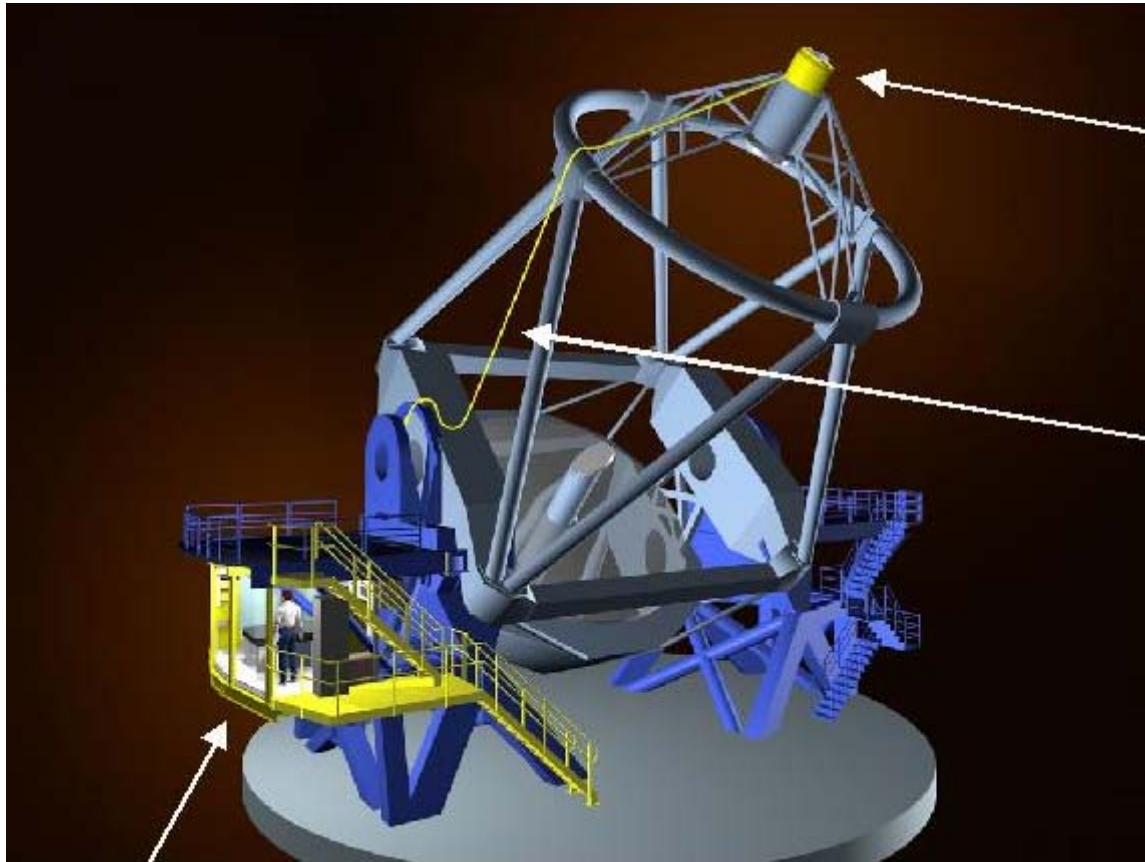
- Geros spektrinės charakteristikos
- Optinis kaupinimas
- Impulso trukmė mažesnė nei Na sužadinto lygmens gyvavimo trukmė
- Galimybė naudoti didelėmis galiomis

Naudojimas

■ Sistemos:

- Lazerinė sistema
 - Kaupinimo lazeris, stiprintuvai ...
 - Bangos ilgio moduliavimo sistemos...
 - Saugumo sistemos
- Spindulio išvedimo sistemos
 - Šviesolaidžiai
 - Spindulio paleidimo sistemos (spindulys išplėčiamas bent iki 30cm skersmens)
- Spindulio registravimo sistemos
 - Detektoriai
- AO sistema
- Apsaugos nuo lėktuvų, palydovų, NSO, sistema

Spindulio išvedimas



On-axis launch telescope is located behind secondary

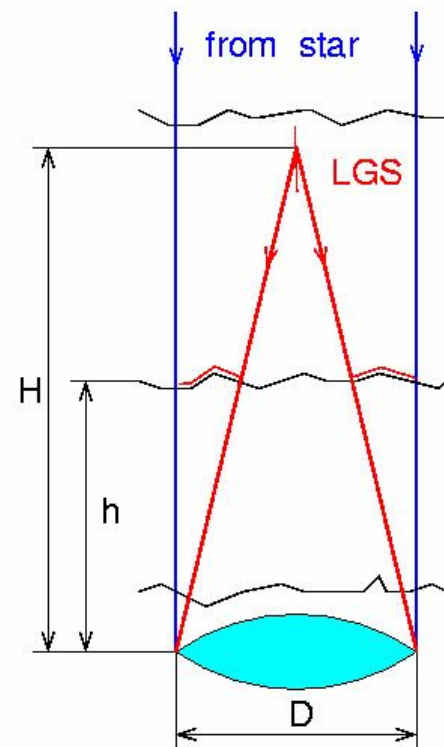
Beam propagates to launch via photonic crystal fiber

Apsaugos

- Nelaimingų atsitikimų:
 - Vengti lazerių galingesnių kaip 50W
 - Negalima nukreipti spindulio mažiau kaip 20° kampu virš horizonto
- Susidūrimai su lėktuvais, kosminiais aparatais
 - IR detektoriai, radarai fiksuojantys praskrendančių lėktuvų padėtis
 - 2 dienas prieš naudojant lazerį reikia informuoti NASA, ESA ir gaut leidimą šauti
- Nelaimingų atsitikimų su tokiais lazeriais kol kas išvengta

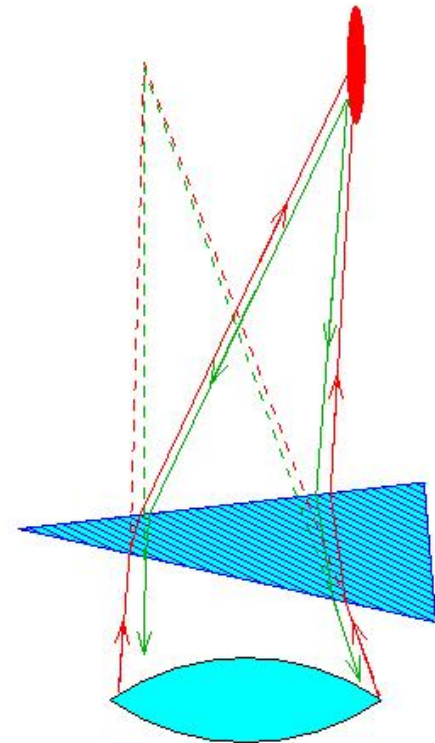
LGS trūkumai

- Ne visas bangos frontas ateišantis iš žvaigždės yra koreguojamas



LGS trūkumai

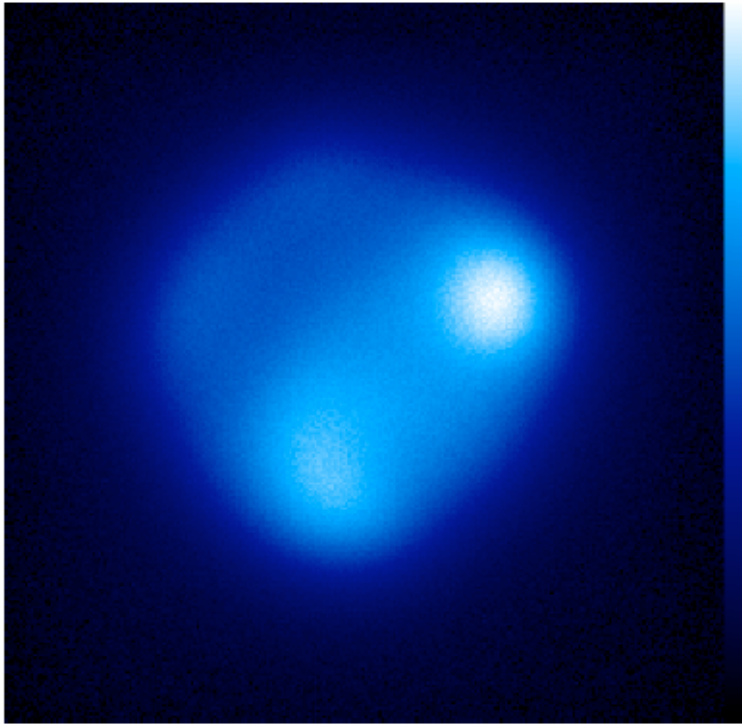
- Tip – tilt problema – lazeris praeina pro atmosfera 2 kartus, o žvaigždė tik 1.
- Sprendimas: naudoti polichromatinis lazerius.



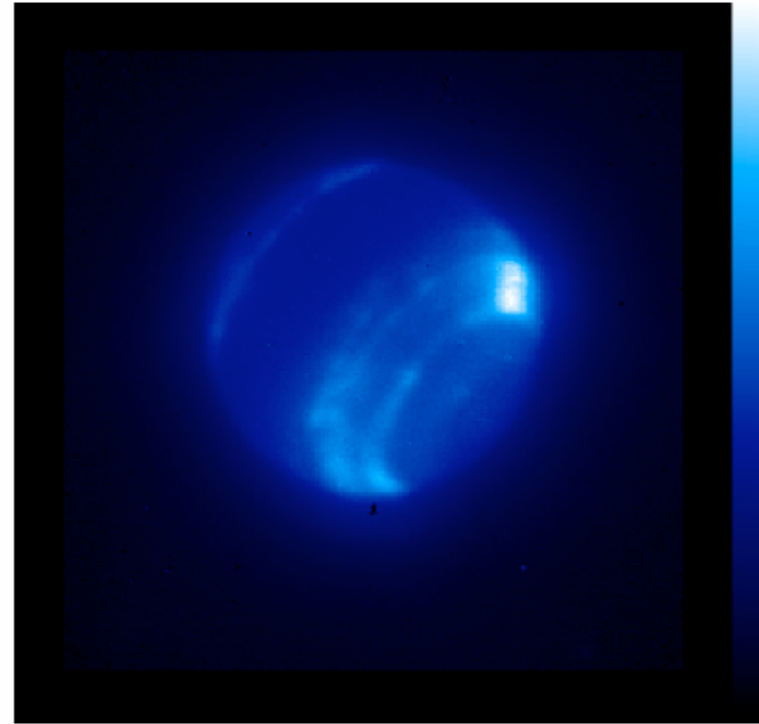
Lazerinės žvaigždės

- Dar visiškai nauja sritis
- Daug naujų mokslinių projektų gaminant galingus lazerius tinkamus naudoti LGS

Adaptaciné optika



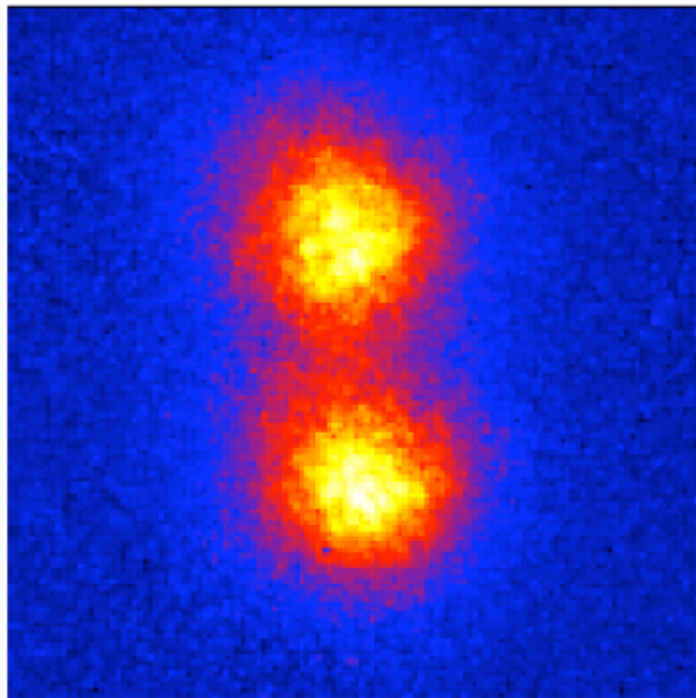
Without adaptive optics



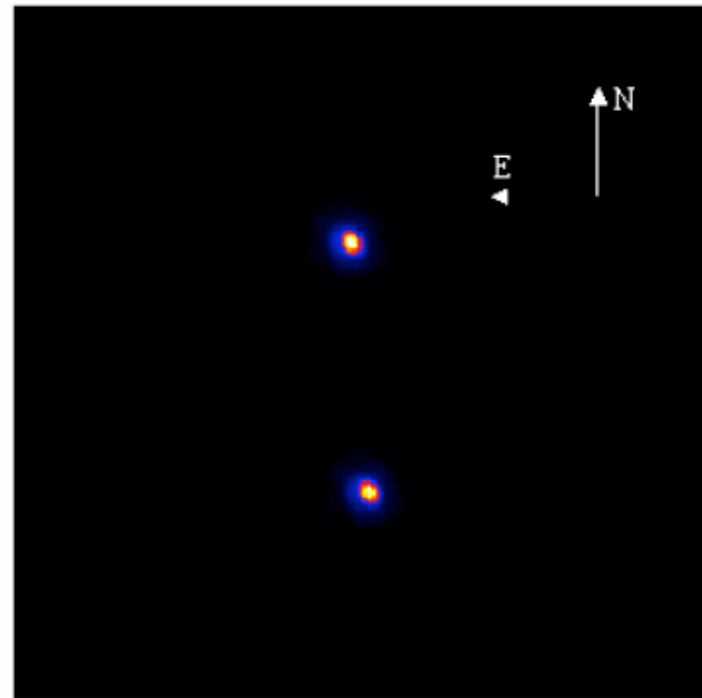
With adaptive optics

Neptune - Keck J band image, 0.4" seeing, 0.017" pixels

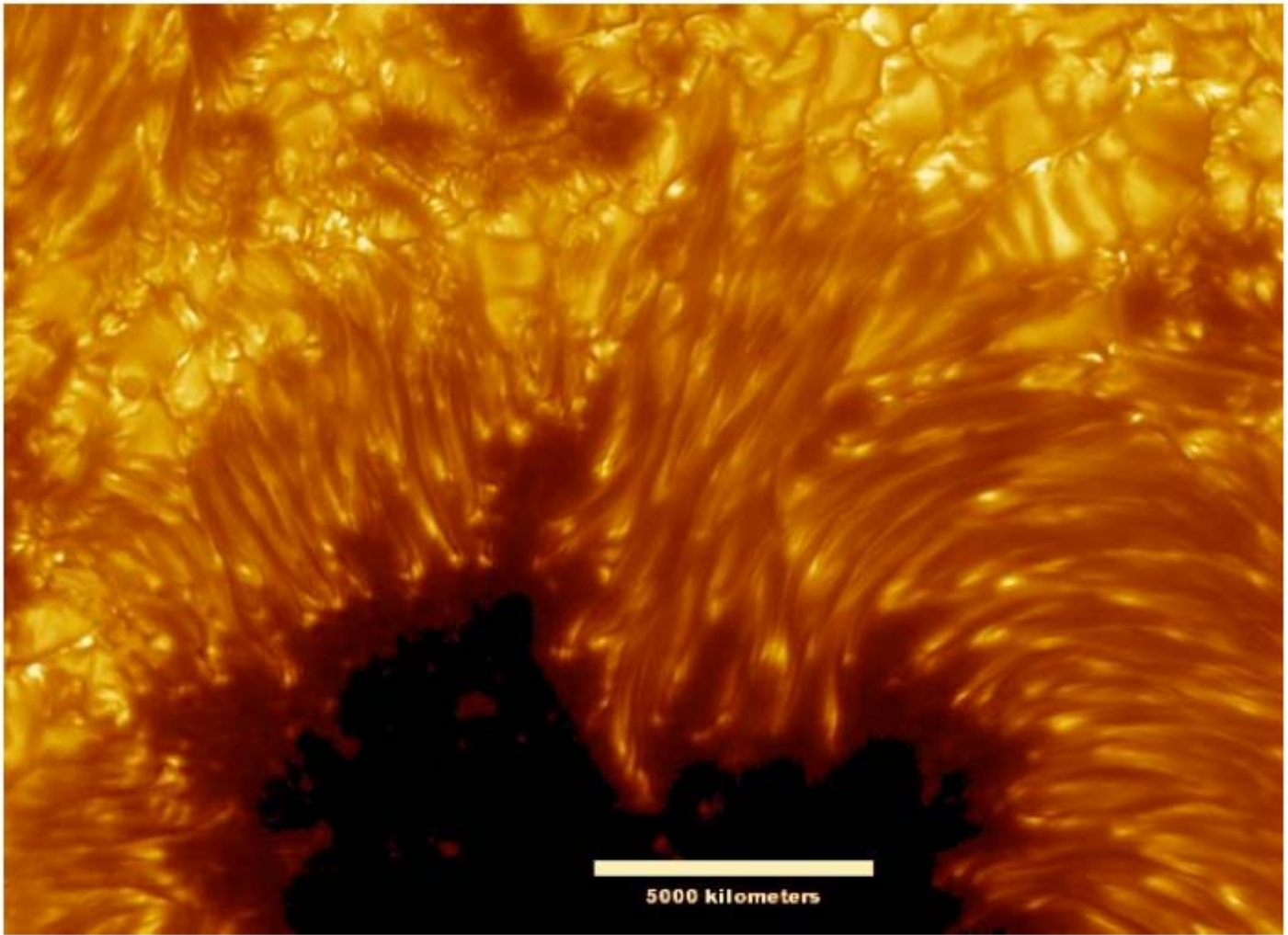
Adaptaciné optika



No Adaptive Optics

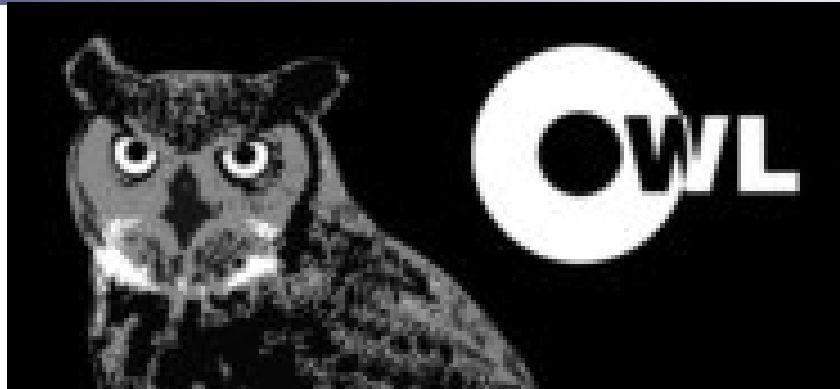


With Adaptive Optics

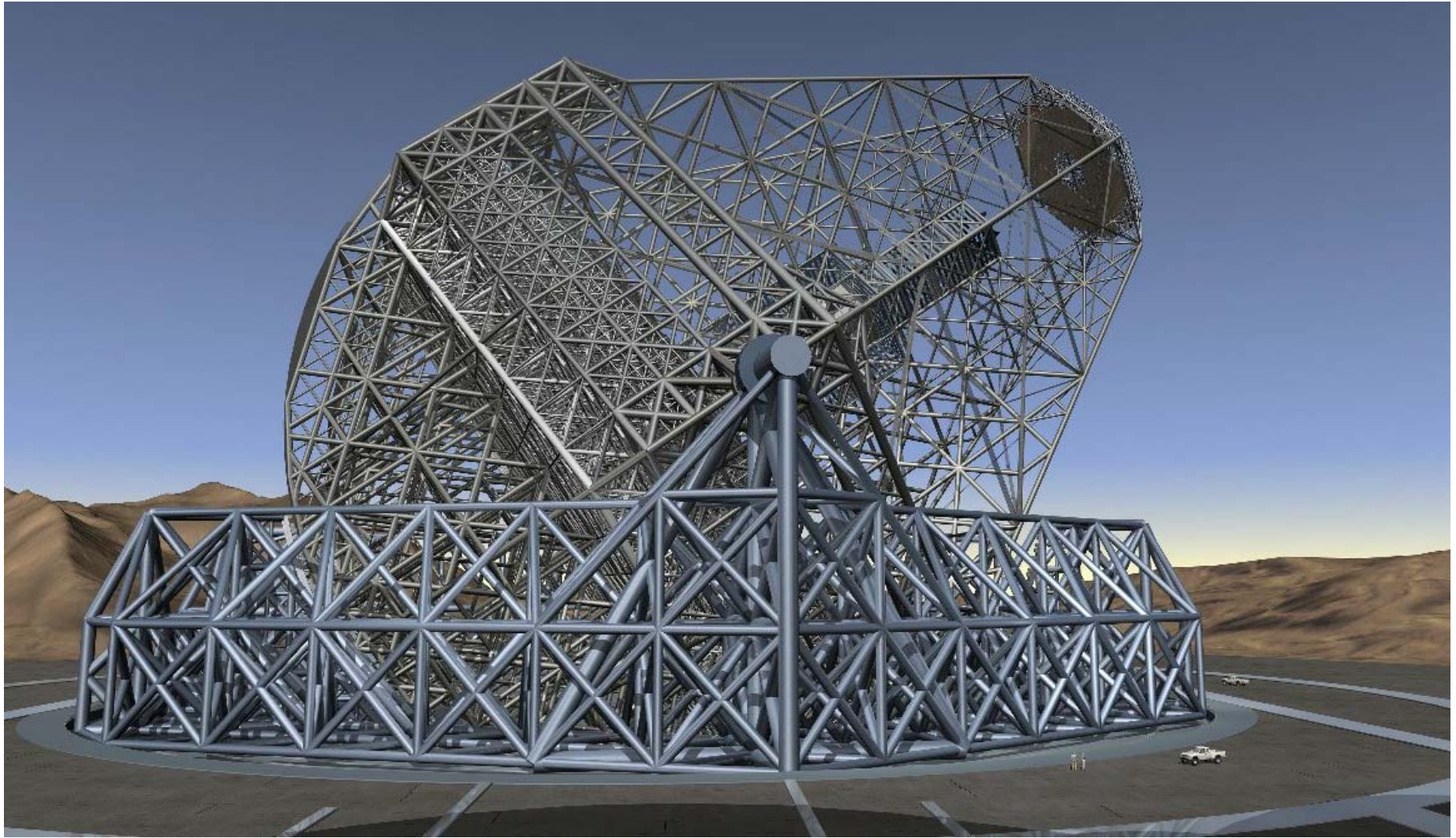


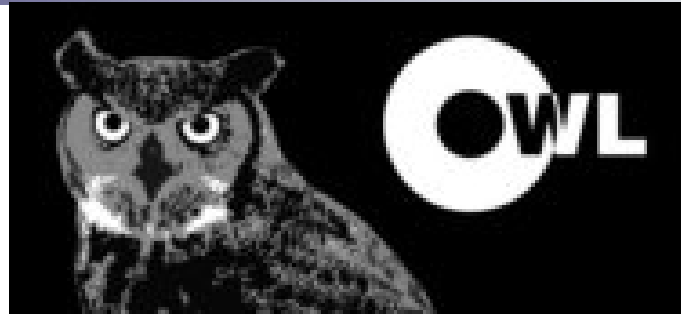
Ateitis

- Galimybės statyti didelius teleskopus
 - Euro 50
 - OWL



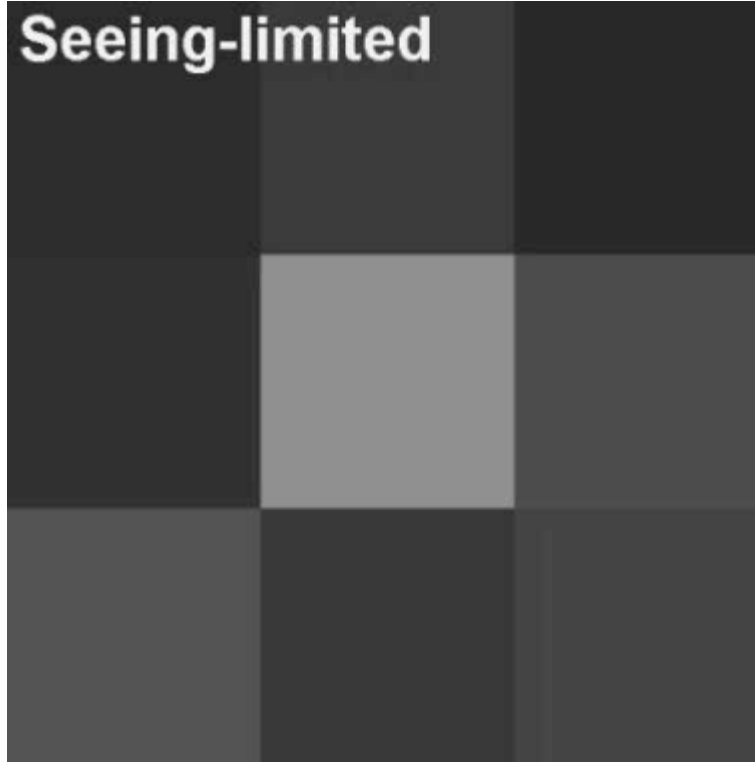
- Overwhelmingly Large Telescope
- ESO projektas
- 1200 milijonų eurų
- 100 m skersmens
- 3042 segmentiniai veidrodžiai





- Galės pamatyti 38 ryškio žvaigždes
- 5 000 000 000 000 kartų geriau negu akimi žiūrėti

Seeing-limited





Ačiū už dėmesį