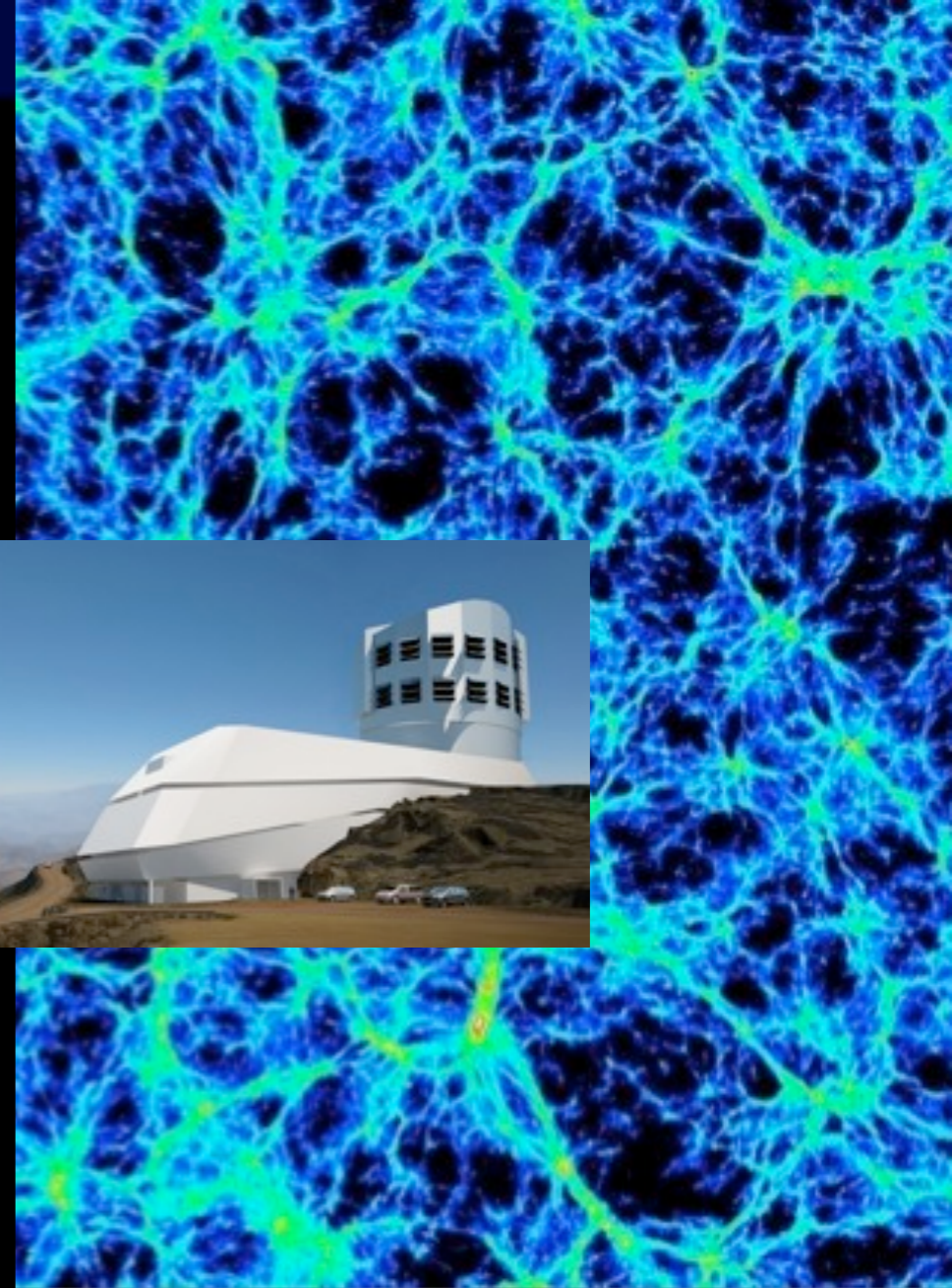
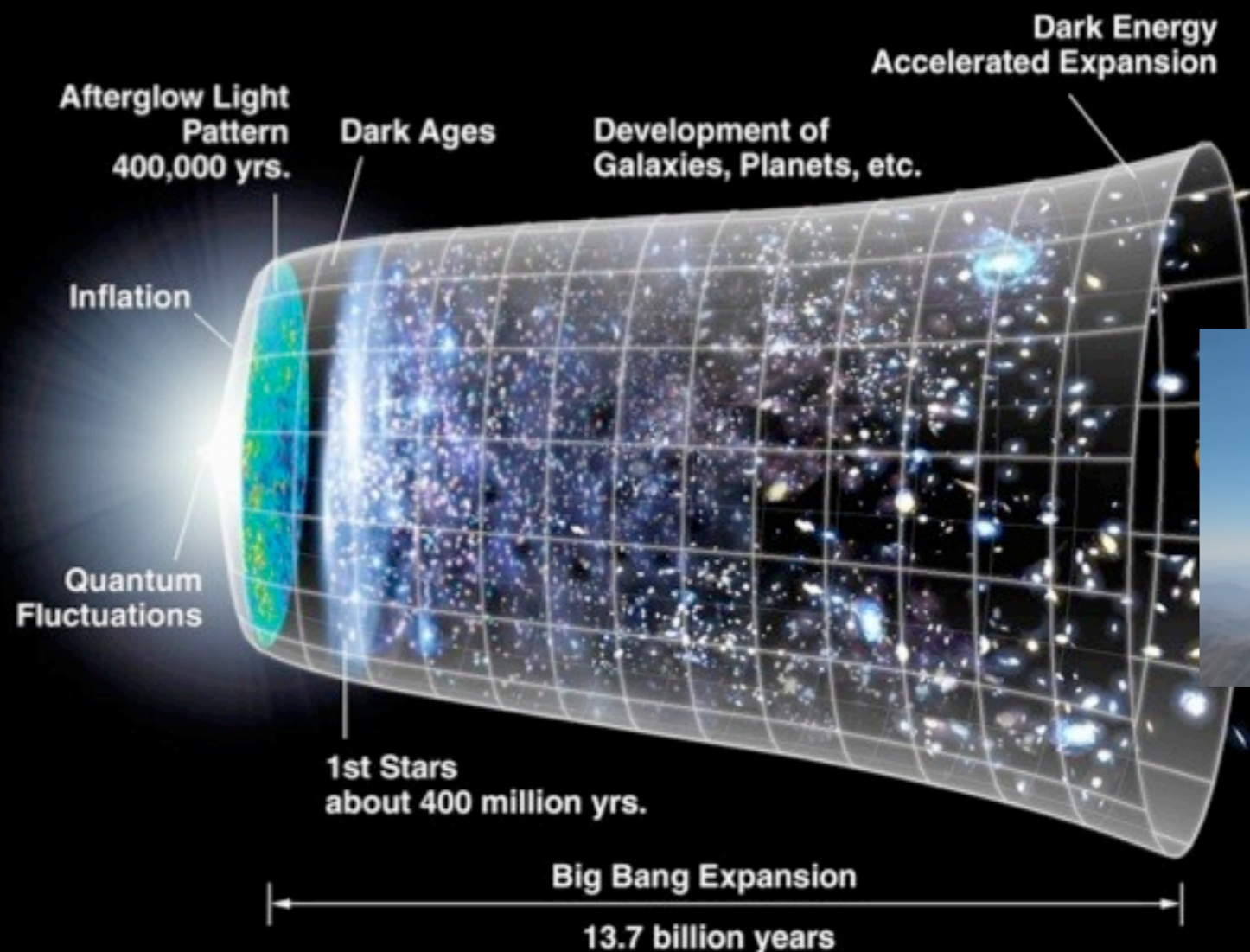


Λ CDM: The 6-parameter Theory of the Universe



Moderno poimanje širenja Svemira

“Zašto i kako potrošiti milijardu dolara na teleskop?”

Željko Ivezić

University of Washington, Sveučilište u Zagrebu

Smotra učeničkog stvaralaštva, Zagreb 20. XI 2010

Teme Predavanja

- **Uvod u kozmologiju:**
mjerjenje širenja Svemira
- **Moderne kozmološke
zagonetke:**
tamna tvar i tamna energija
- **Large Synoptic Survey
Telescope (LSST):** film Svemira

Run 745 Col 4 Field 498

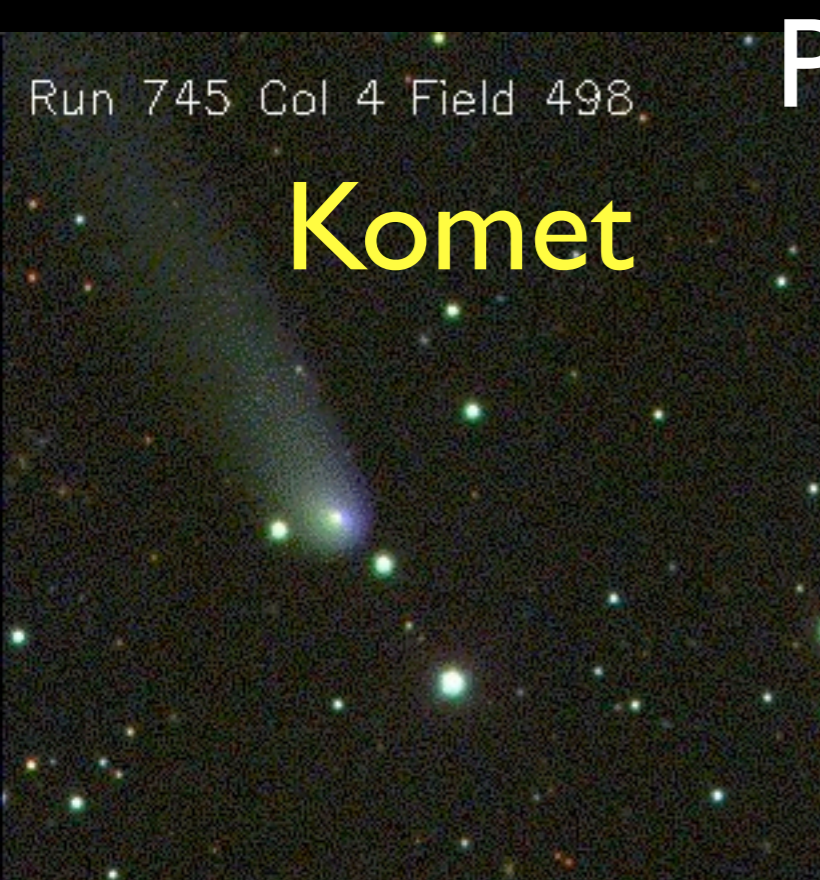
Primjeri SDSS slika



Run 745 Col 4 Field 498

Primjeri SDSS slika

Komet



Patuljasta galaksija



Spiralna galaksija



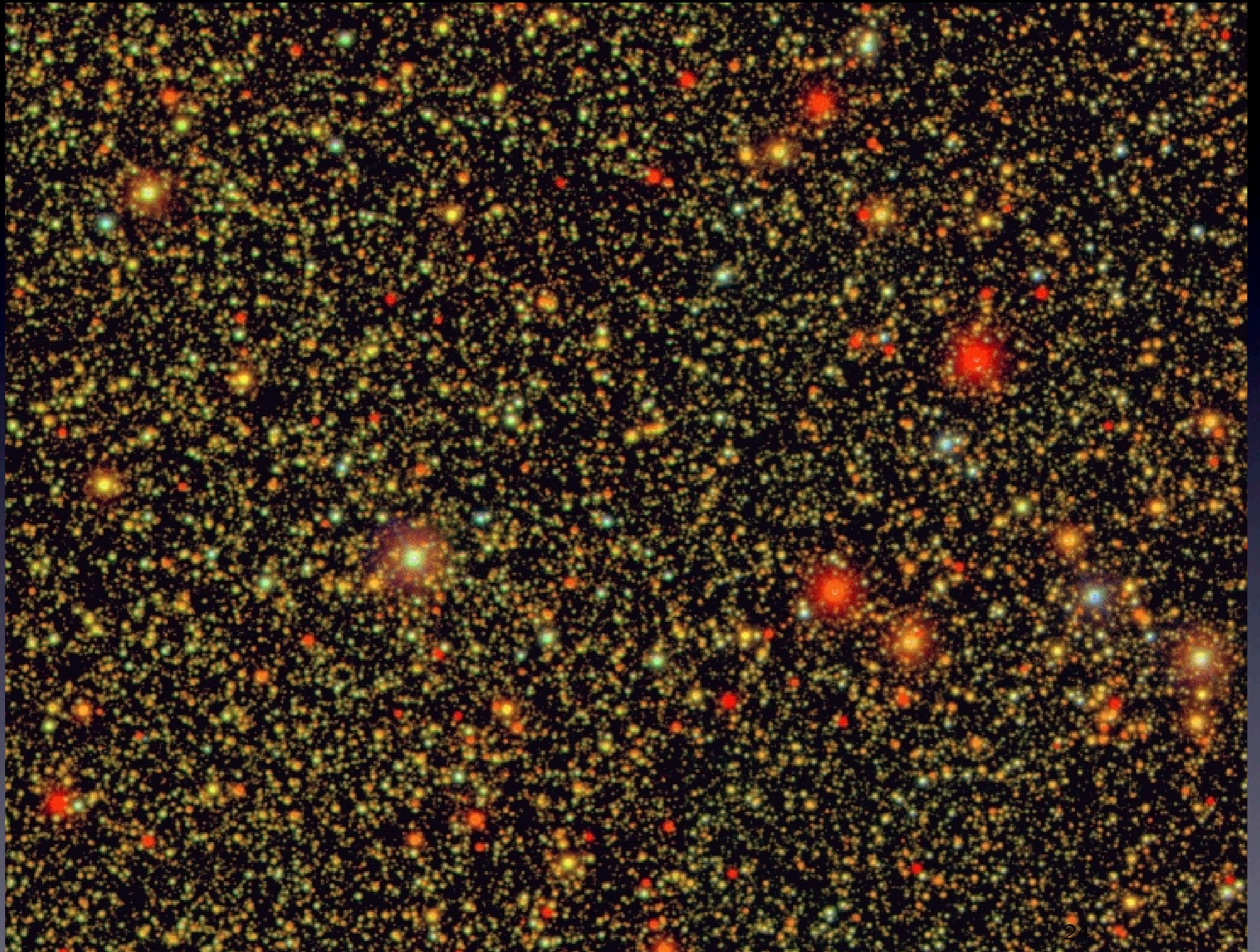
Maglica



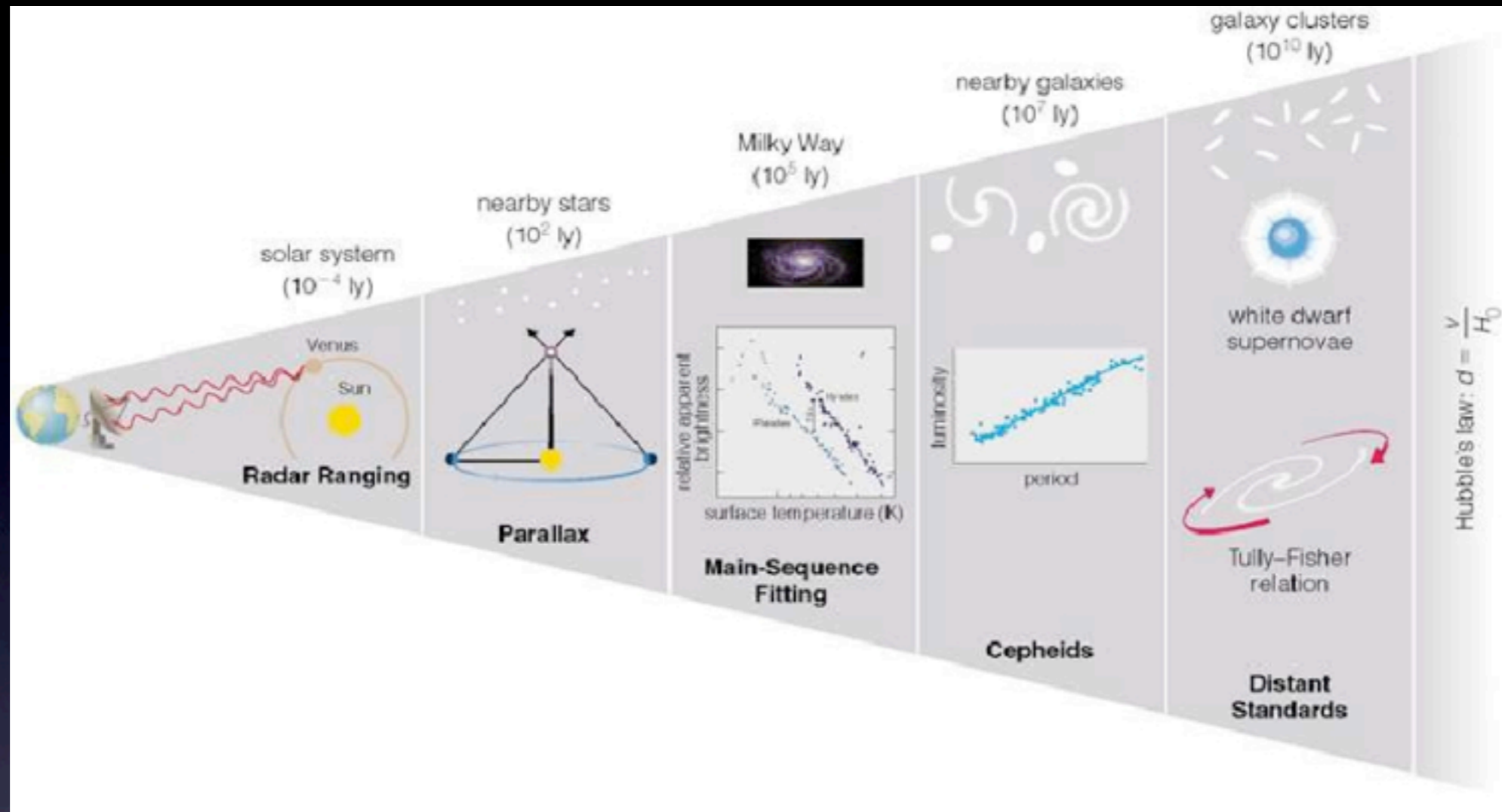
Spiralne galaksije



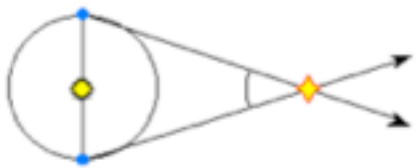
SDSS pogled kroz ravninu Mlječnog Puta



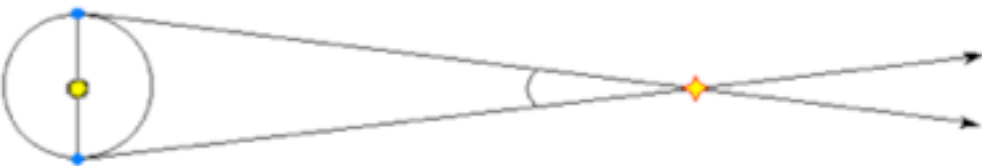
Kako mjeriti udaljenosti u astronomiji?



Closer stars have *larger* parallaxes:



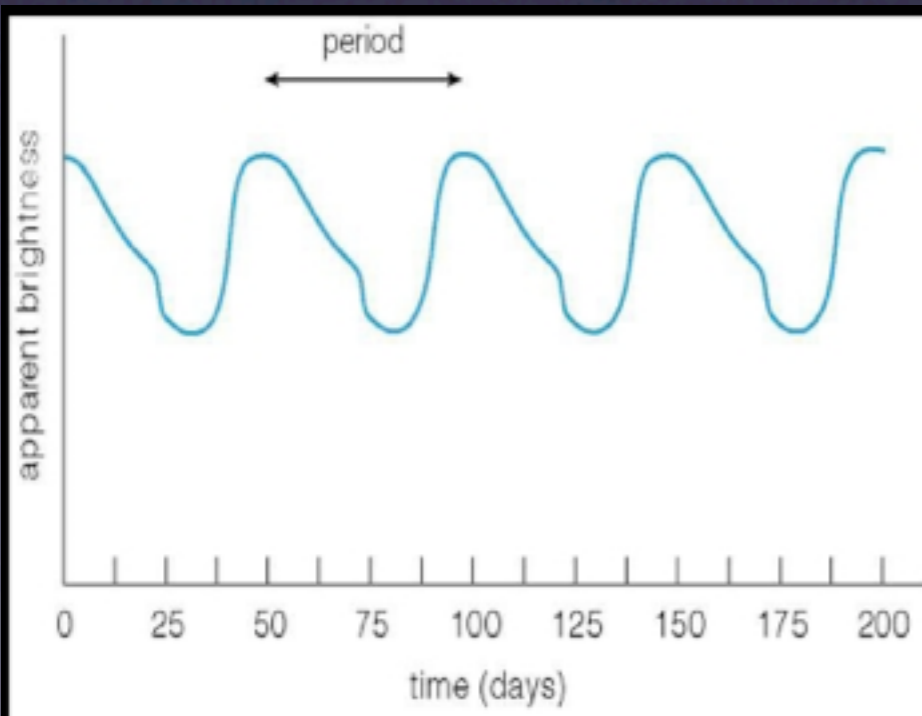
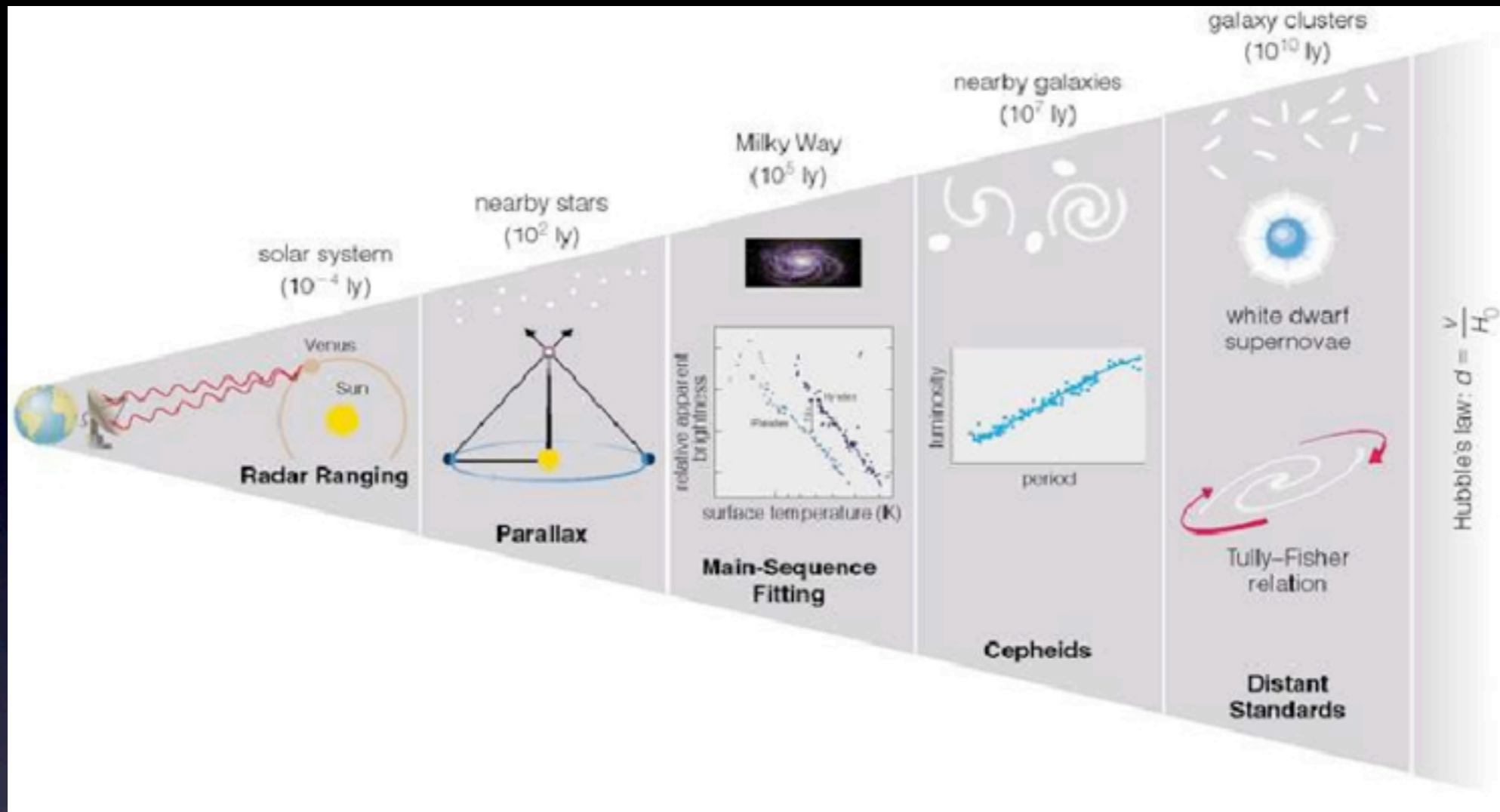
Distant stars have *smaller* parallaxes:



Jedna direktna metoda: trigonometrijska

Mjere se mali pomaci zvijezda na nebu (pomoću puno daljih zvijezda) iz čega se može direktno odrediti udaljenost

Kako mjeriti udaljenosti u astronomiji?

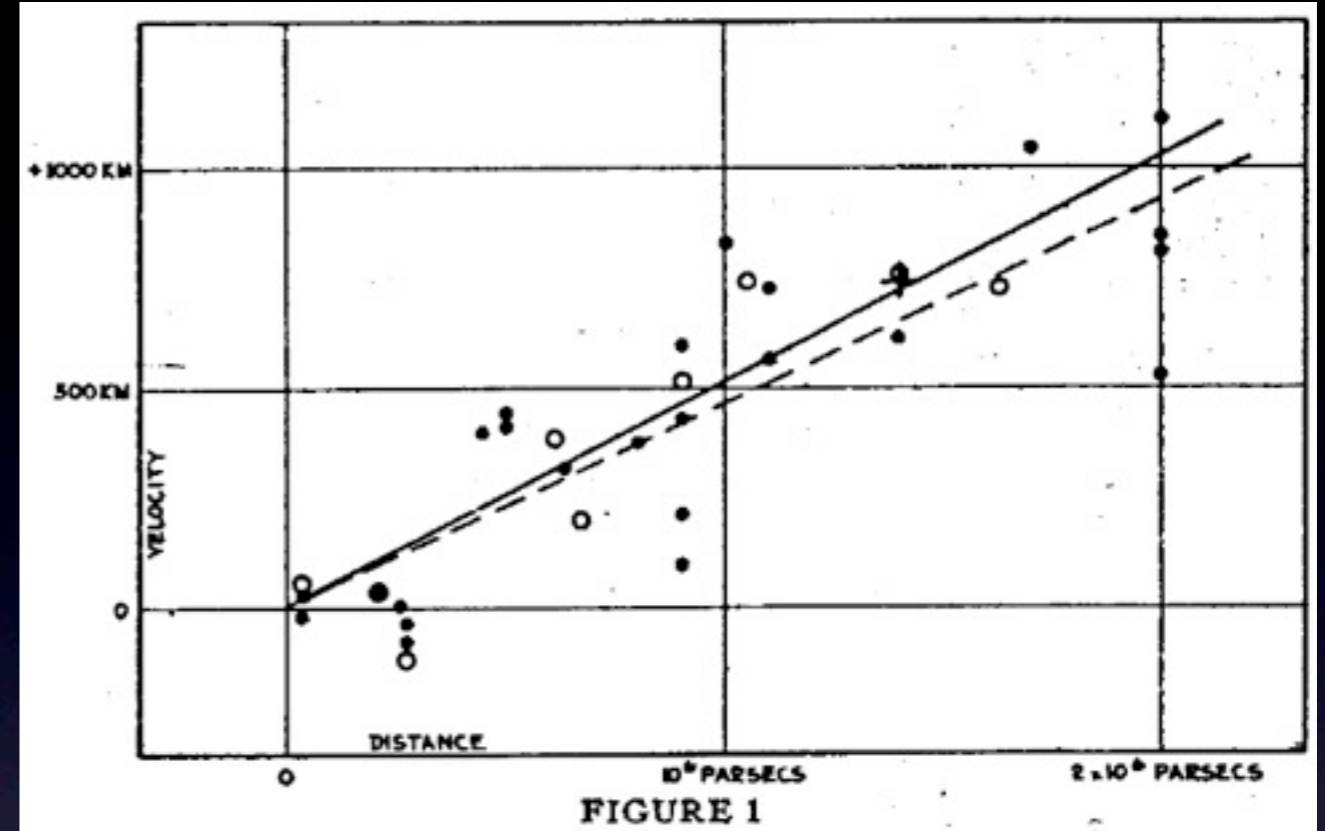


- Jedna direktna metoda: trigonometrijska
- Puno drugih metoda koje se nadopunjuju
- **Cefeide:** lako se prepoznaju i lako im je odrediti stvarni sjaj iz krivulje sjaja

Stare kozmološke zagonetke



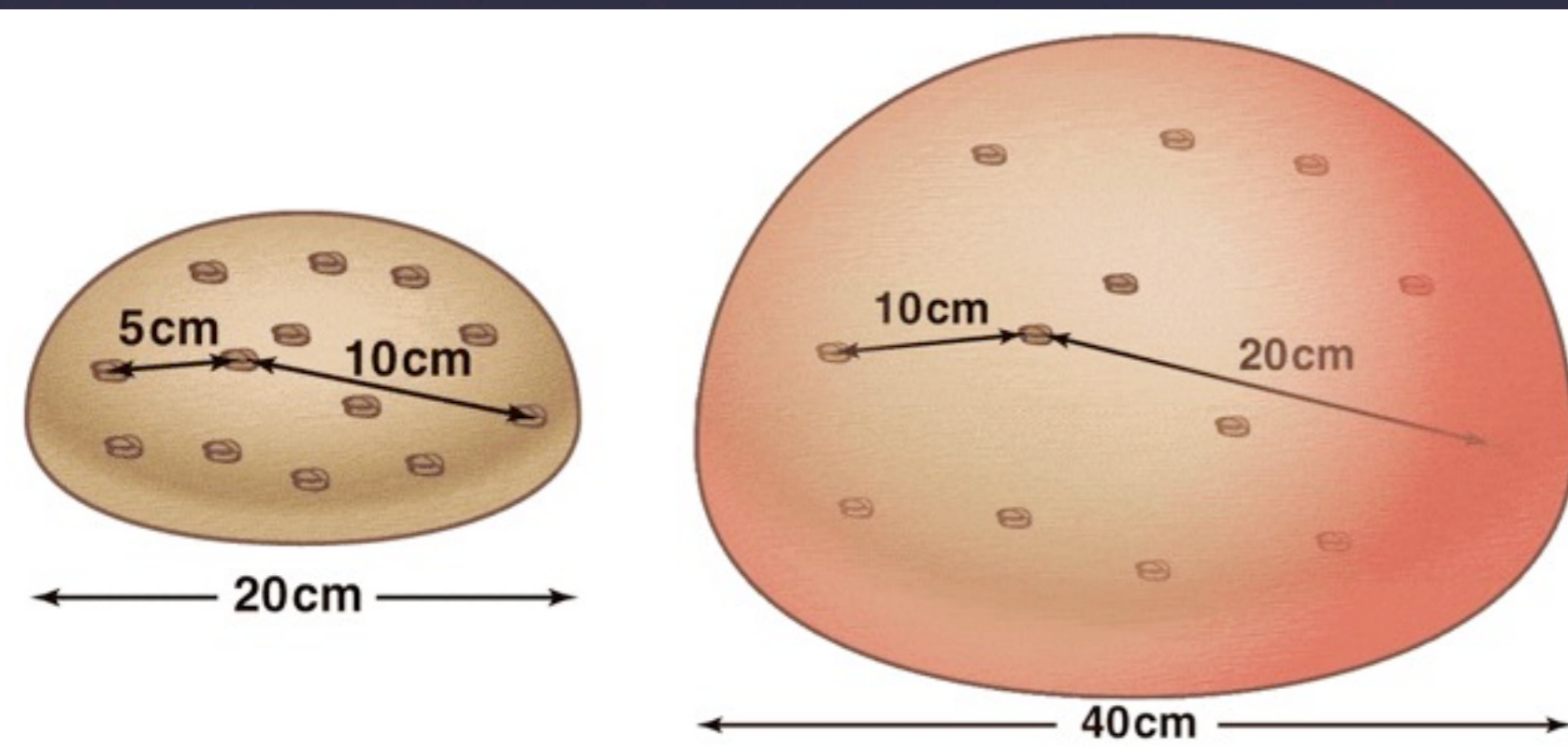
brzina udaljavanja



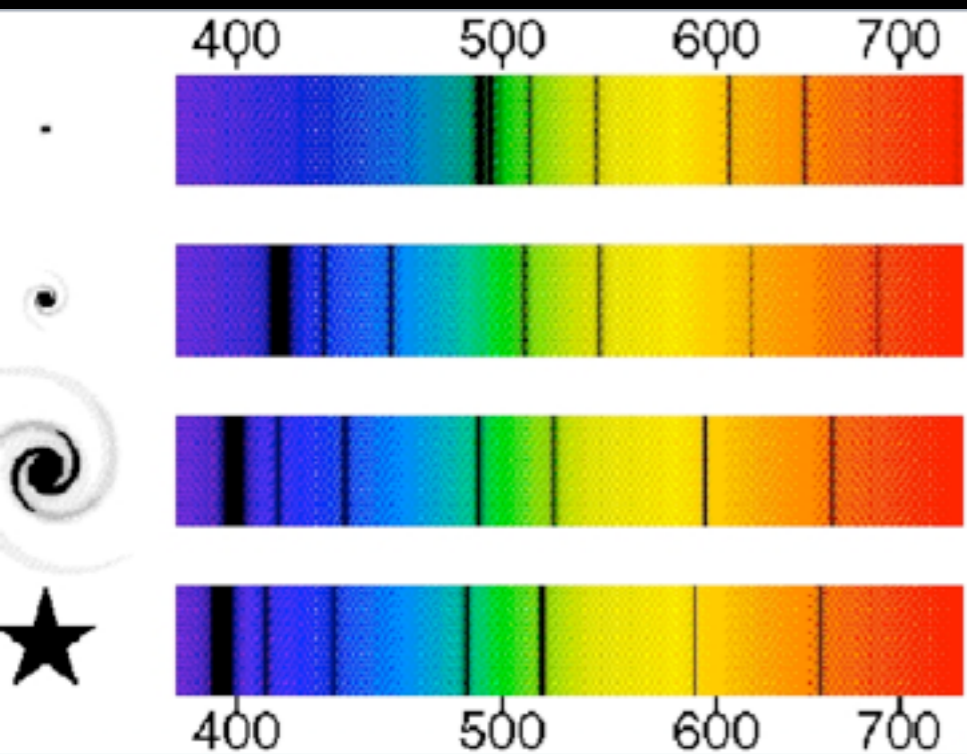
Edwin Hubble (1929): Svemir se širi!

udaljenost

**Svemir se širi;
mislilo se kako to
širenje mora
usporavati zbog
djelovanja
gravitacije, ali...**



Kako mjeriti širenje Svemira?

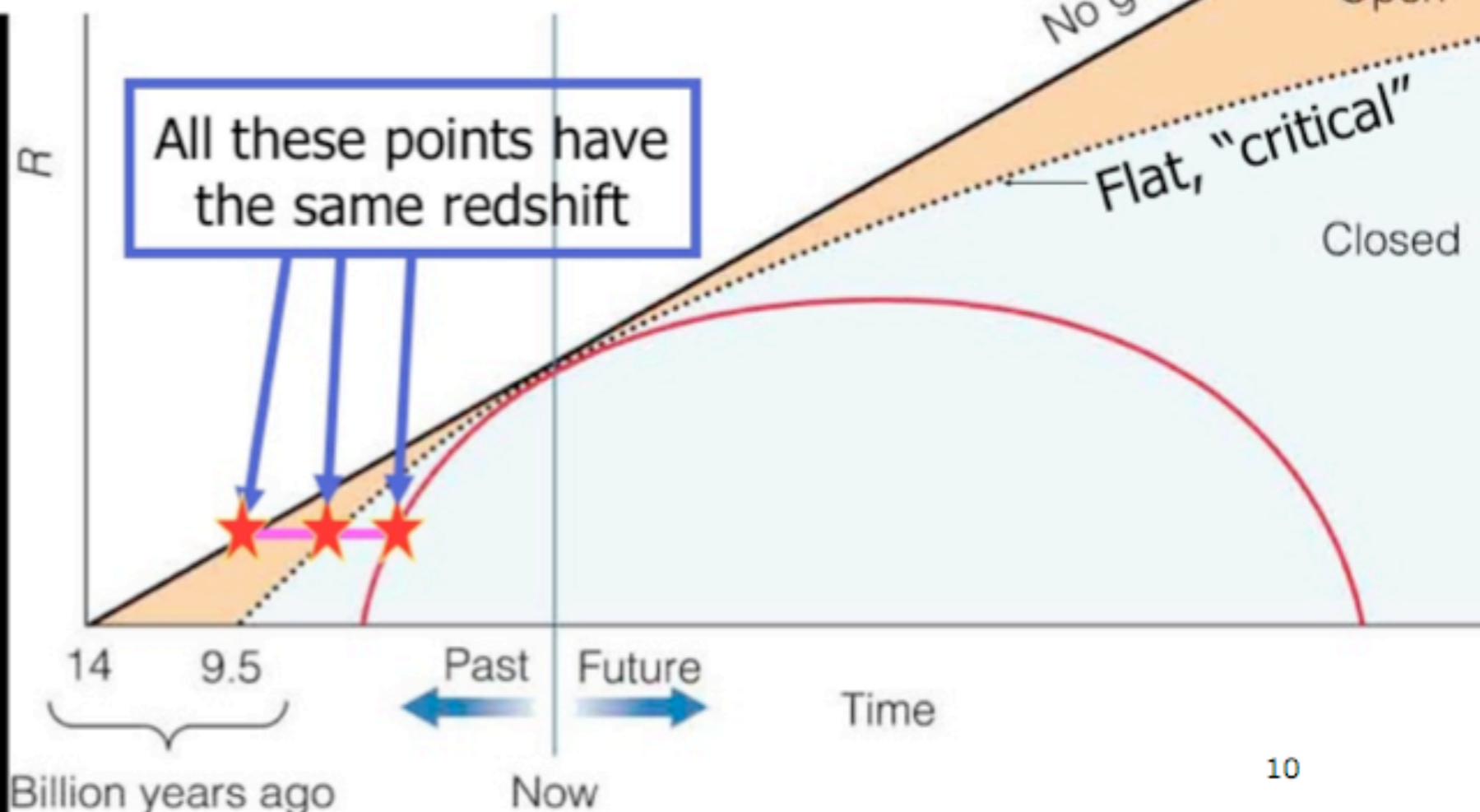


- Svjetlost se ne širi beskonačno brzo: kada se promatraju daleki astronomski objekti, gleda se u (daleku) prošlost (do ~13 milijardi godina!)
- Idealno, htjeli bi mjeriti veličinu Svemira kao funkciju vremena. Pomoću toga mjerenja mogli bi odgonetnuti koliko je tamne tvari i tamne energije u Svemiru, kao i detaljno termodinamičko ponašanje tamne energije

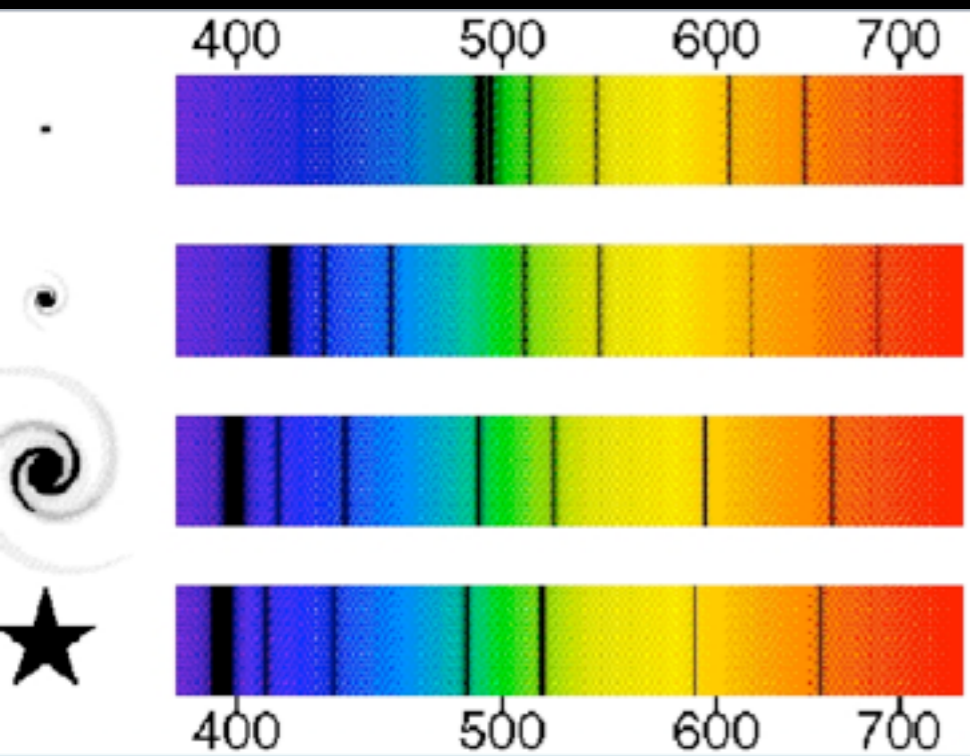
Dopplerov efekt:

što se objekt brže udaljava od nas to je veći pomak spektralnih linija prema nižim frekvencijama

Separation Between Galaxies →



Kako mjeriti širenje Svemira?

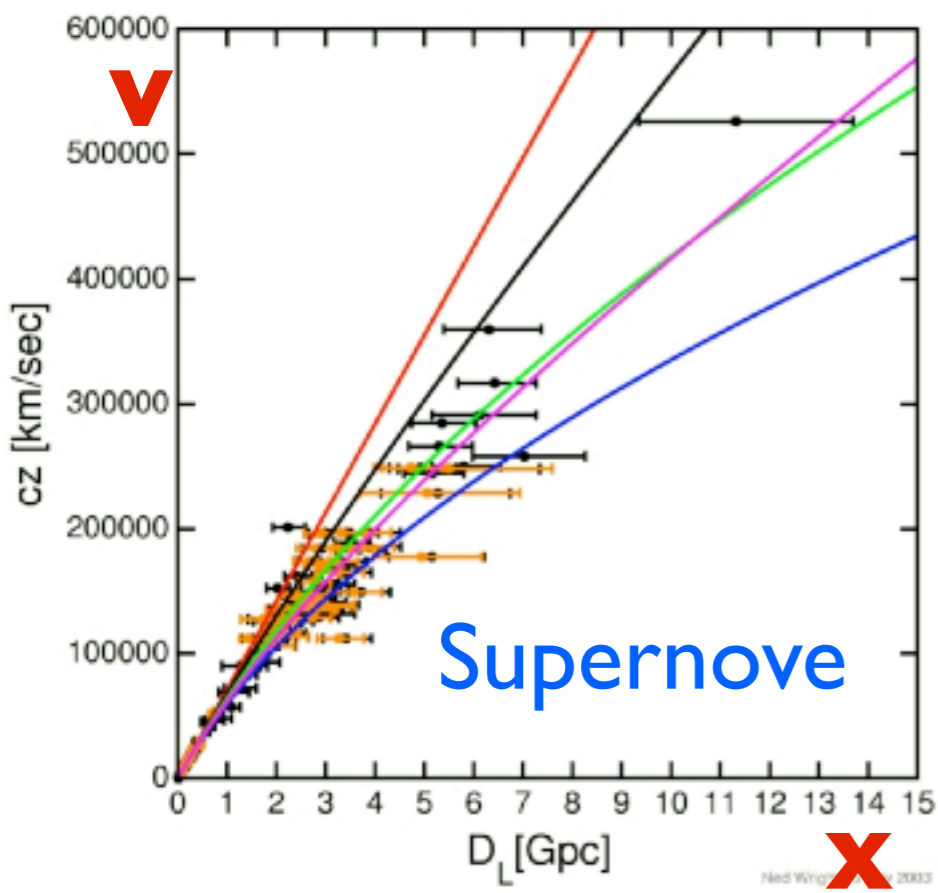
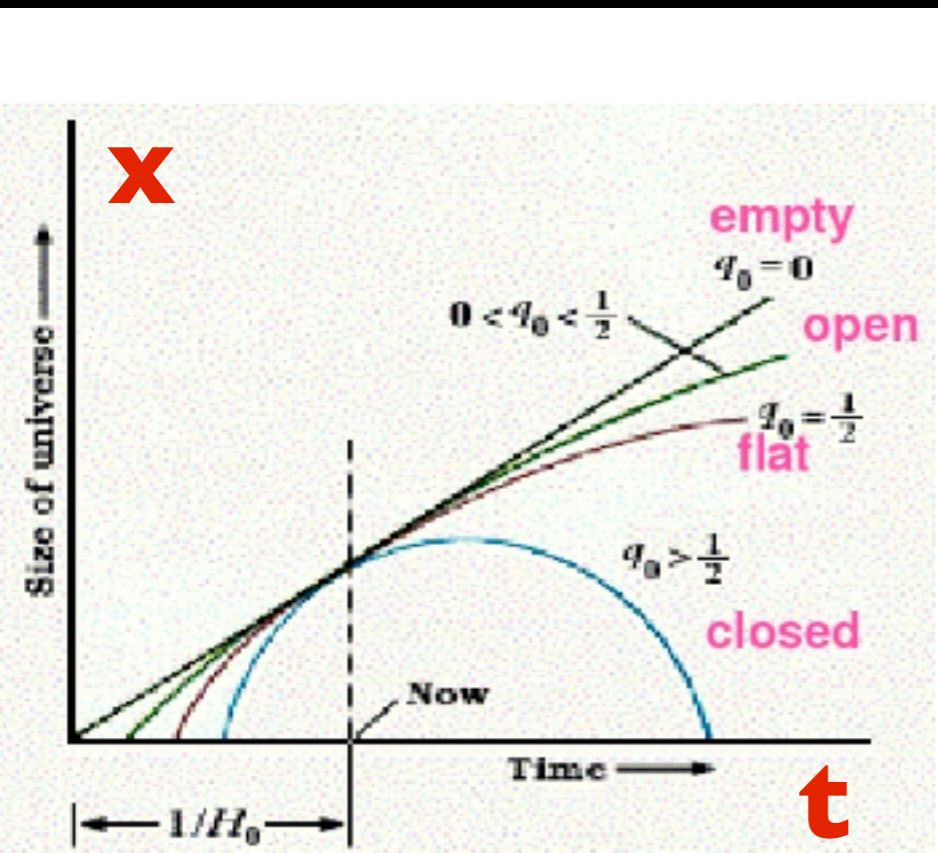


Dopplerov efekt:

što se objekt
brže udaljava od
nas to je veći
pomak
spektralnih linija
prema nižim
frekvencijama

- Svjetlost se ne širi beskonačno brzo: kada se promatraju daleki astronomski objekti, gleda se u (daleku) prošlost (do ~13 milijardi godina!)
- Idealno, htjeli bi mjeriti veličinu Svemira kao funkciju vremena. Pomoću toga mjerenja mogli bi odgonetnuti koliko je tamne tvari i tamne energije u Svemiru, kao i detaljno termodinamičko ponašanje tamne energije
- Veličinu Svemira u trenutku kada je neki izvor emitirao svjetlost je jednostavno odrediti iz spektralnog crvenog pomaka; problem je kako odrediti starost Svemira u tome trenutku

Kako mjeriti širenje Svemira?



- Svjetlost se ne širi beskonačno brzo: kada se promatraju daleki astronomski objekti, gleda se u (daleku) prošlost (do ~13 milijardi godina!)
- Idealno, htjeli bi mjeriti veličinu Svemira kao funkciju vremena. Pomoću toga mjerenja mogli bi odgonetnuti koliko je tamne tvari i tamne energije u Svemiru, kao i detaljno termodinamičko ponašanje tamne energije
- Veličinu Svemira u trenutku kada je neki izvor emitirao svjetlost je jednostavno odrediti iz spektralnog crvenog pomaka; problem je kako odrediti starost Svemira u tome trenutku
- Umjesto mjerenja vremena, mjeri se udaljenost do izvora (npr. supernove: “standardne svijeće”), a onda se koriste kozmološki modeli za interpretaciju mjerenja

Kozmološki modeli: primjenom fizikalnih zakona, računa se veličina, temperatura, gustoća, raspodjela tvari i slično, kao funkcija kozmičkog vremena

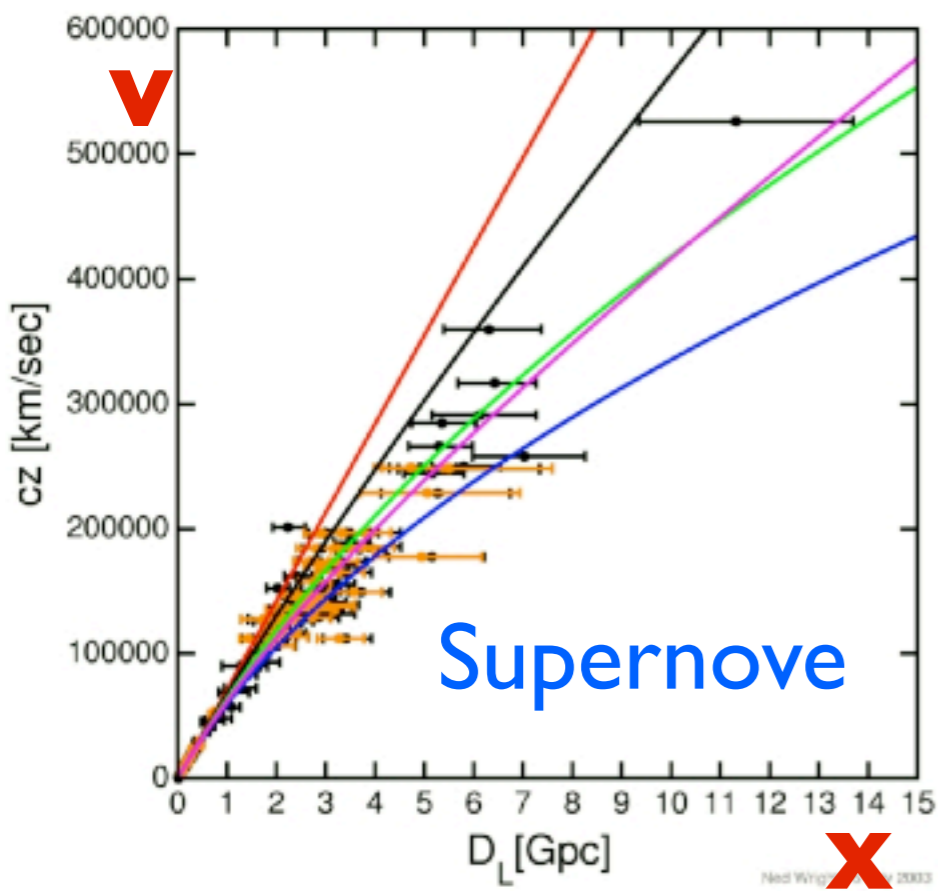
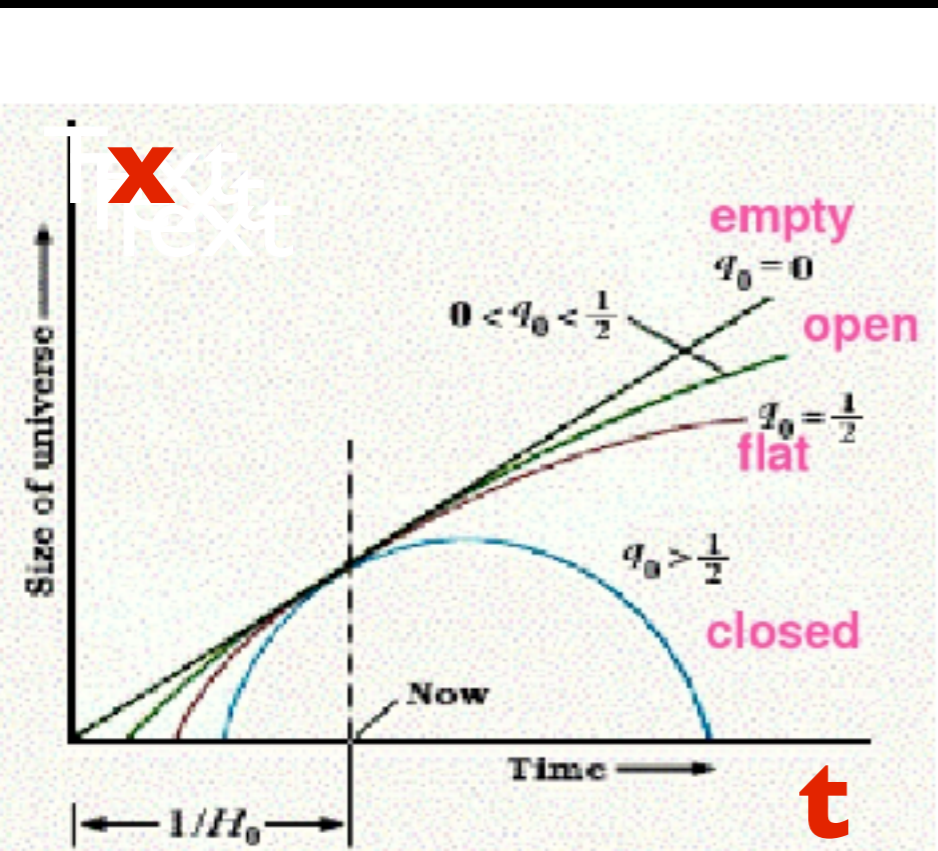
Kako mjeriti širenje Svemira?

- Umjesto mjerenja vremena, mjeri se udaljenost do izvora (npr. supernove: “standardne svijeće”), a onda se koriste kozmološki modeli za interpretaciju mjerenja

Primjer bilo kojeg gibanja:

Položaj $x(t)$; brzina $v(t)$; htjeli bi znati $x(t)$, no vrijeme, t , ne možemo mjeriti nego samo x i v .

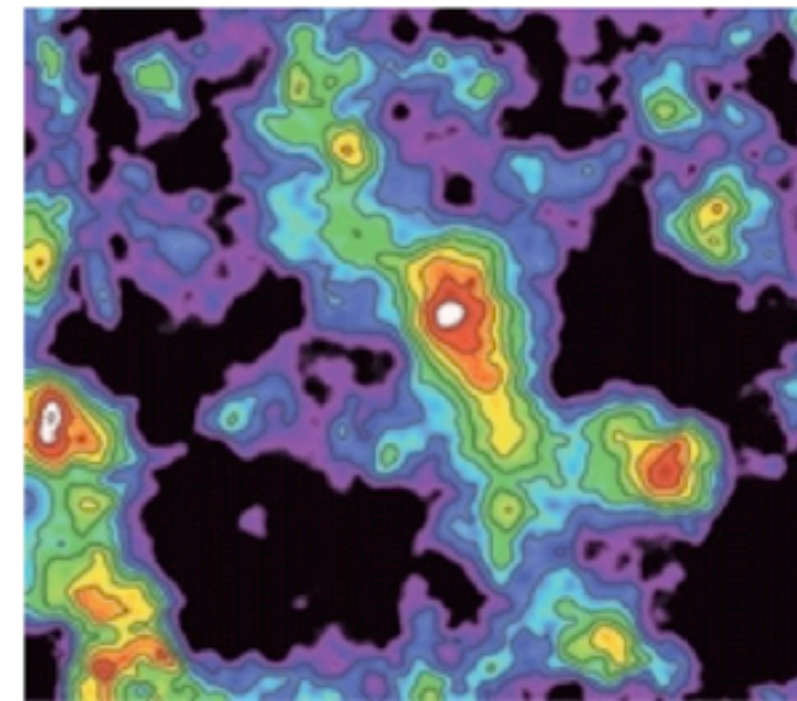
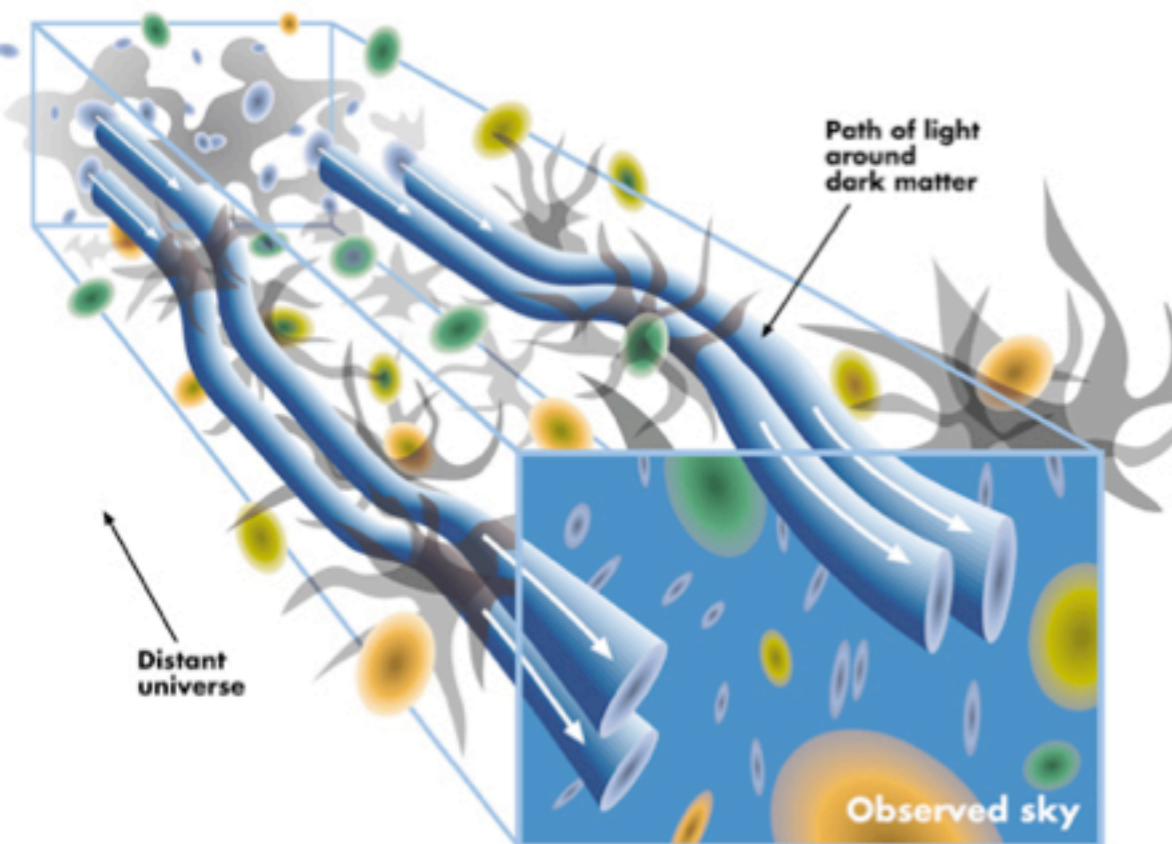
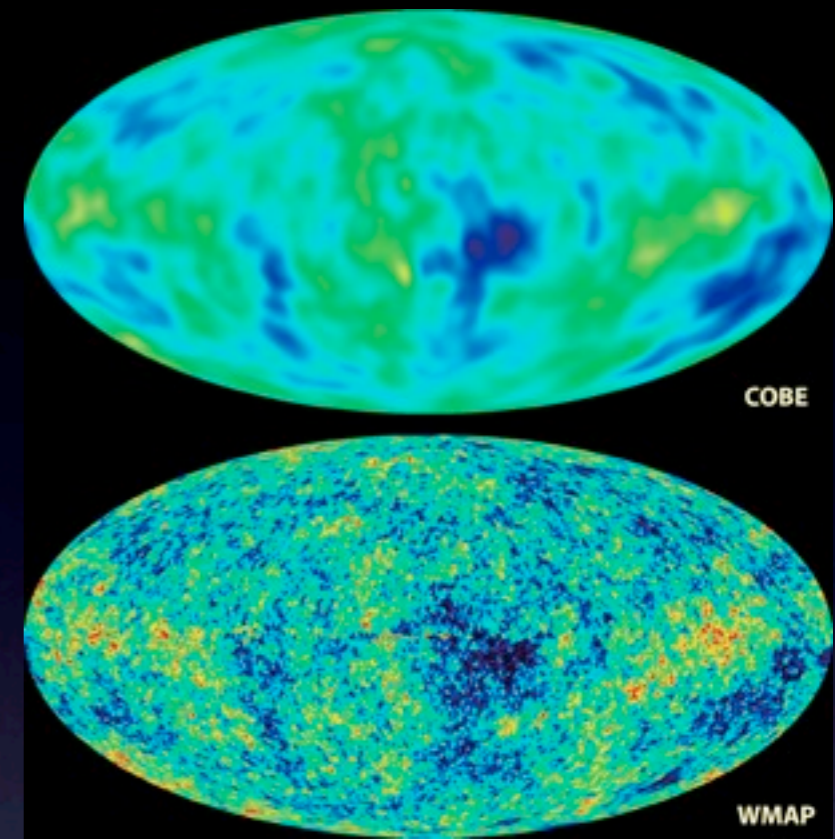
Medjutim, ako imamo model kojim povežemo x i v (npr. $v=dx/dt$, tj. brzina je promjena položaja u vremenu), onda se može izvesti $x(t)$.



Kako mjeriti širenje Svemira?

Indirektne metode: slabe gravitacijske leće, statistička svojstva raspodjele galaksija, kozmičko mikrovalno pozadinsko zračenje

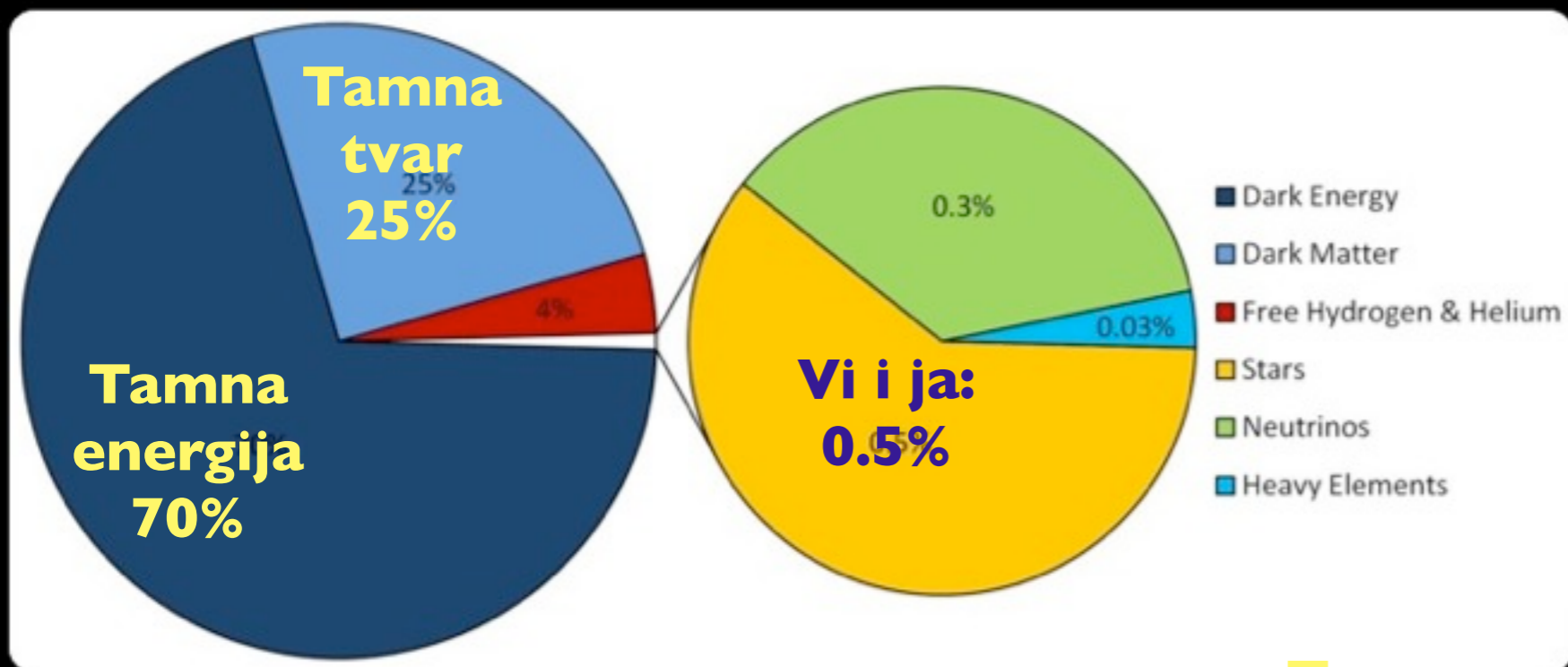
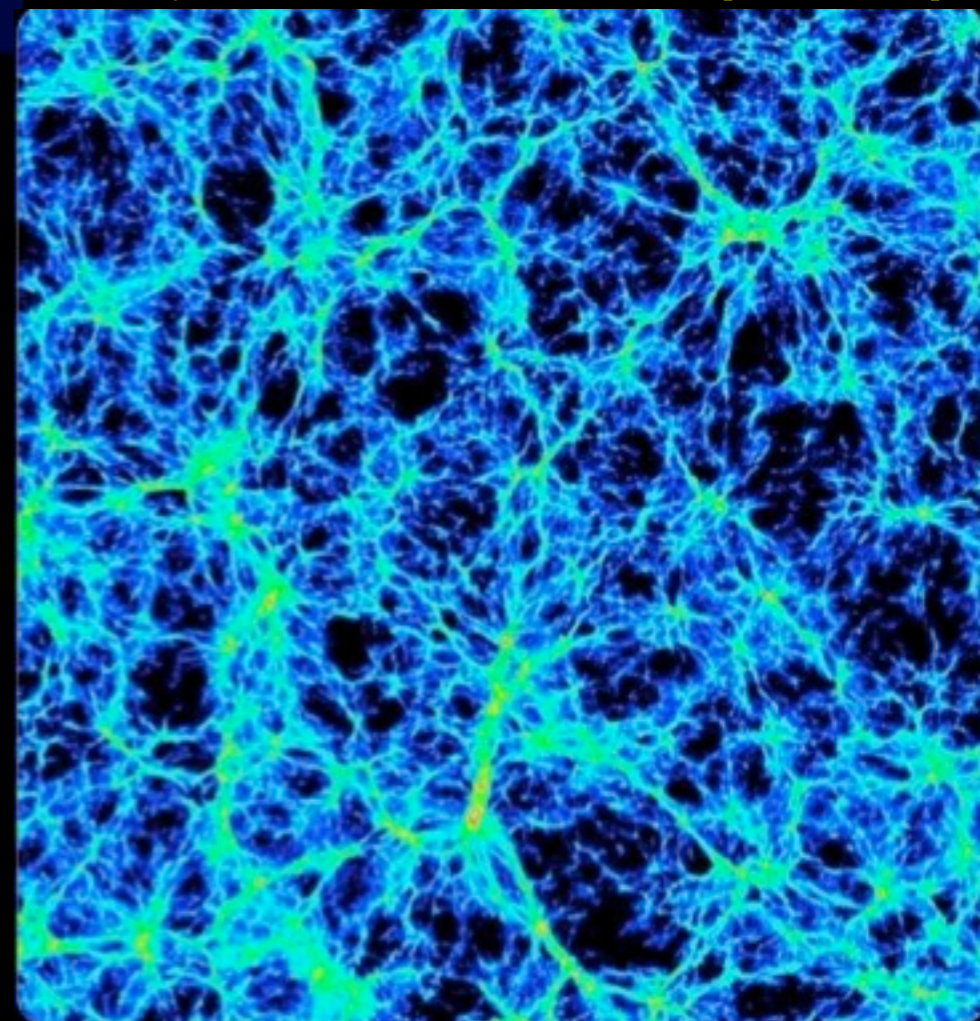
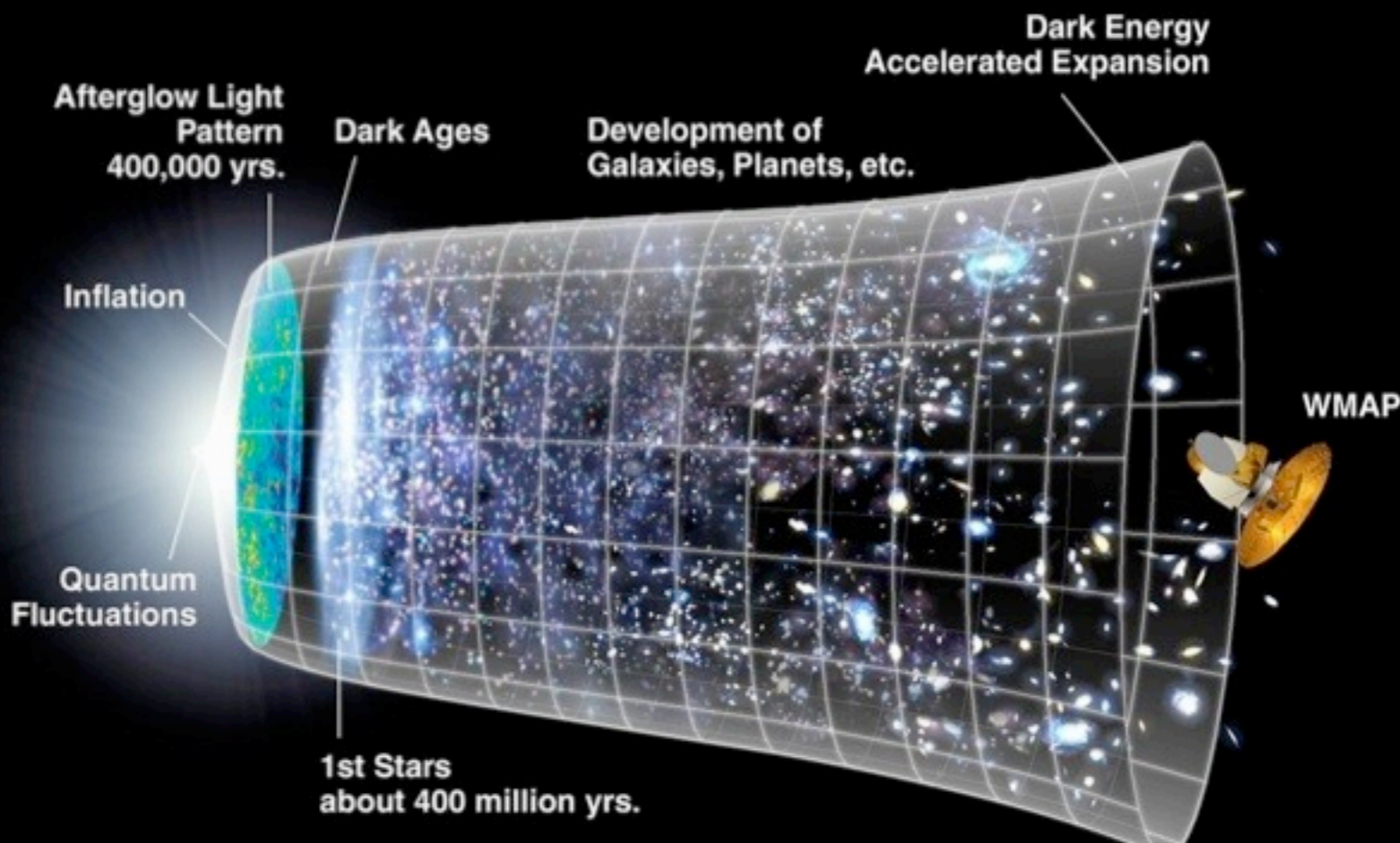
Komplementarne metode: eksperimentalno zahtjevne, ali potencijalno vrlo točne ($\sim 1\%$)



Nove kozmološke zagonetke

Raspodjela tamne tvari (model):

Λ CDM: The 6-parameter Theory of the Universe



Moderni model širenja Svemira objašnjava sva promatranja, ali mora postulirati tamnu tvar i tamnu energiju (no moguće je da opis gravitacije nije točan)

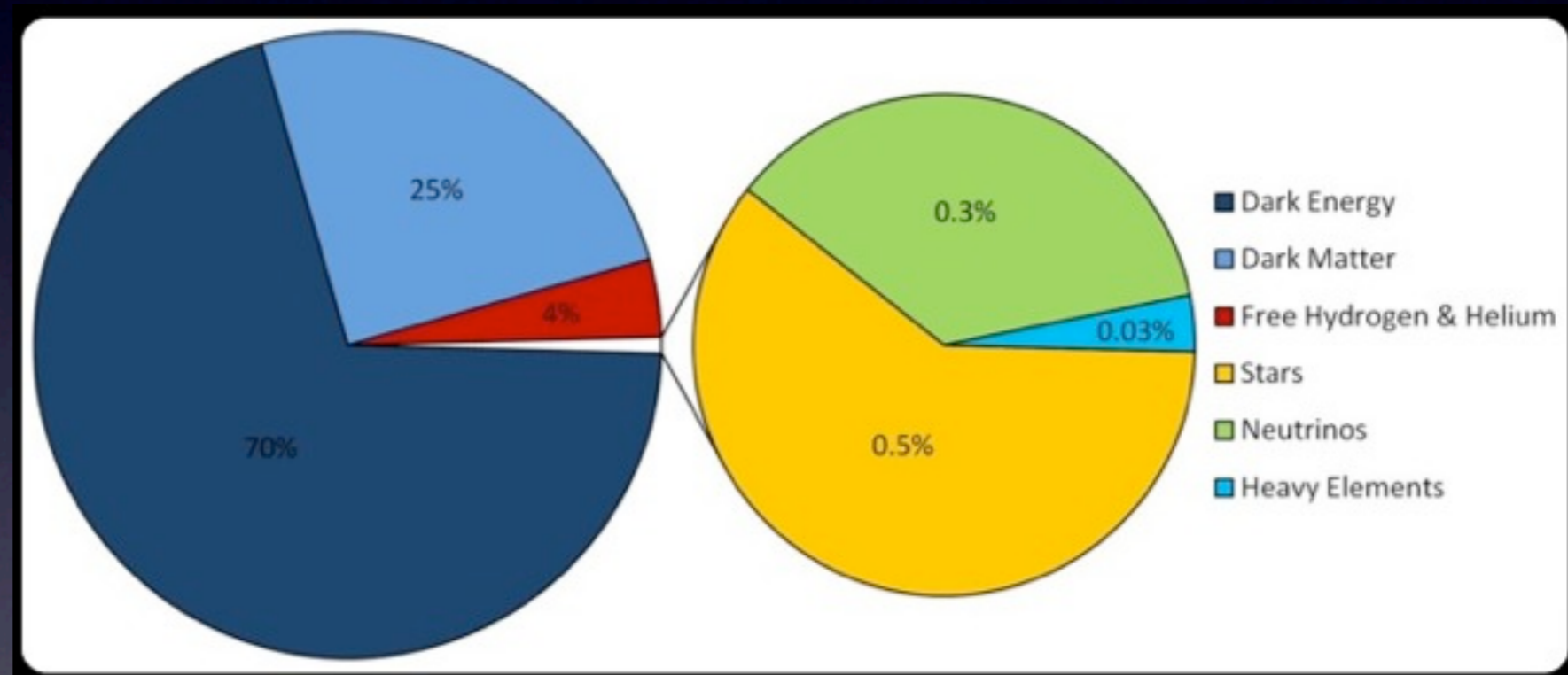
Nove kozmološke zagonetke

1) Moderni model širenja Svemira objašnjava sva promatranja, ali mora postulirati tamnu tvar i tamnu energiju; za tamnu energiju nema još teorijskog fizikalnog objašnjenja

2) Moguće je da opis gravitacije nije točan: ako je tako, nema potrebe za misterioznim fluidom nazvanim tamna energija

Kako naprijed???

Postojeća mjerenja nisu dovoljno točna za razlikovati gornje mogućnosti 1) i 2)



Bolja mjerenja: pomoću novih tehnologija, izmjeriti svojstva tamne materije i tamne energije 10-100 puta točnije, tj. dovoljno točno da se razlike u manifestaciji mogućnosti 1) and 2) mogu vidjeti!

Moderna kozmološka mjerenja

- Supernove (SNe): lako im je odrediti udaljenost
- Gravitacijske leće: raspodjela tvari (obične i tamne)
- Prostorna raspodjela galaksija (statistika)
- Kozmičko pozadinsko zračenje (Planck satelit)

Za precizna mjerenja širenja Svemira i stvaranja strukture potrebni su uzorci od nekoliko milijardi galaksija, te stalna promatranja da bi se otkrile SNe.

Slična su promatranja potrebna za otkrivanje opasnih asteroida, te za mnogo drugih grana astrofizike (npr. proučavanje Mliječnog Puta, kvazara, itd):

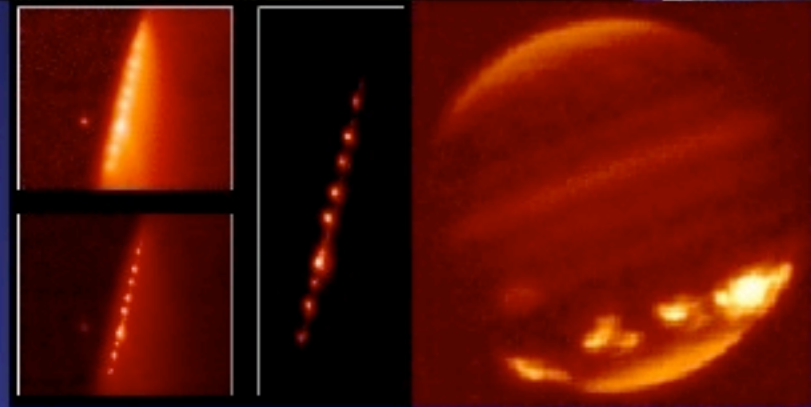
Motivacija za Large Synoptic Survey Telescope (LSST)

Potruga za opasnim asteroidima



Vjerojatnost udara asteroida u Zemlju nije zanemariva

NASA ima mandat od Kongresa SAD za pronalaženje 90% asteroida većih od 140m do 2020



Shoemaker-Levy 9 (1994)



Tunguska (1908)

Krater Barringer u Arizoni: udarac 40m objekta prije 50,000 god.



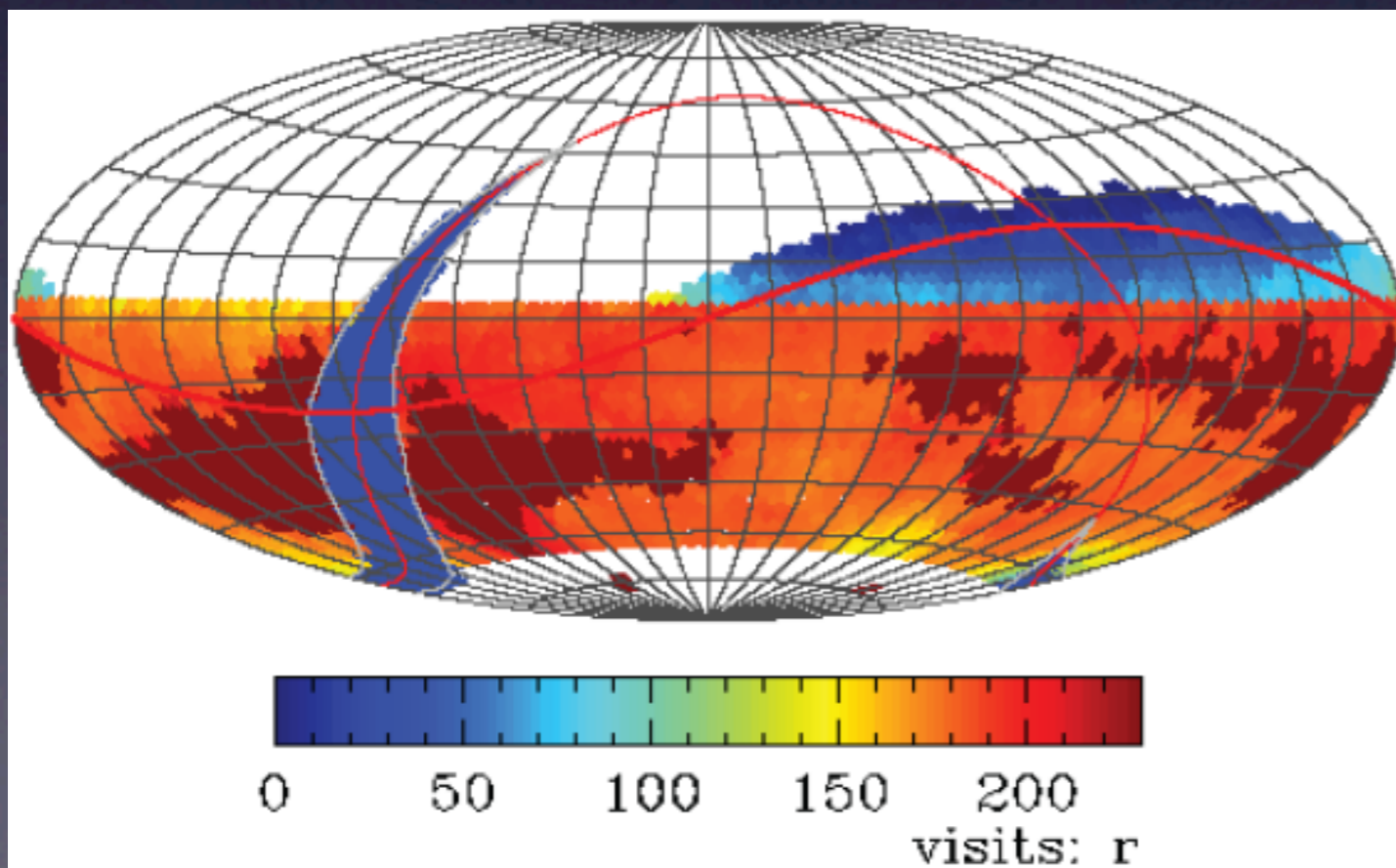
Piramide su fotomontaža!

Osnovni koncepti za LSST

- Zrcalo velikog promjera (barem 6m) da bi se moglo koristiti kratke ekspozicije (30 s)
- Agilan teleskop (5 sekundi između eksp.)
- Veliko vidno polje da bi se moglo “pokriti” cijelo nebo sa malim brojem slika ($\sim 1,000$)
- Male optičke deformacije
- Kamera sa 3000 Mpix (zbog rezolucije)
- Sofisticirani software za obradu podataka (20,000 GB/dan, oko 20 milijardi objekata)

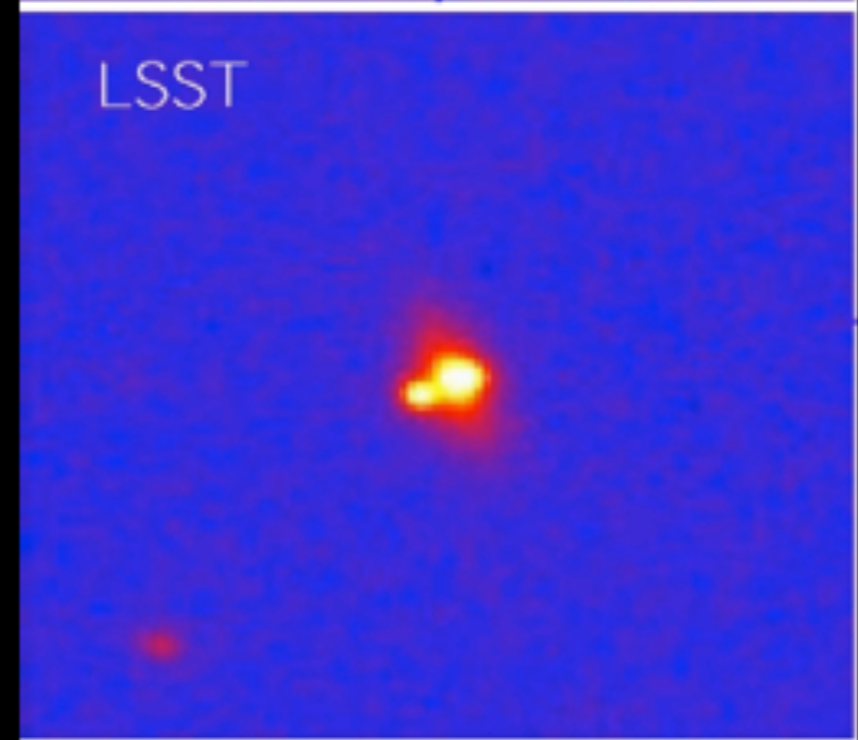
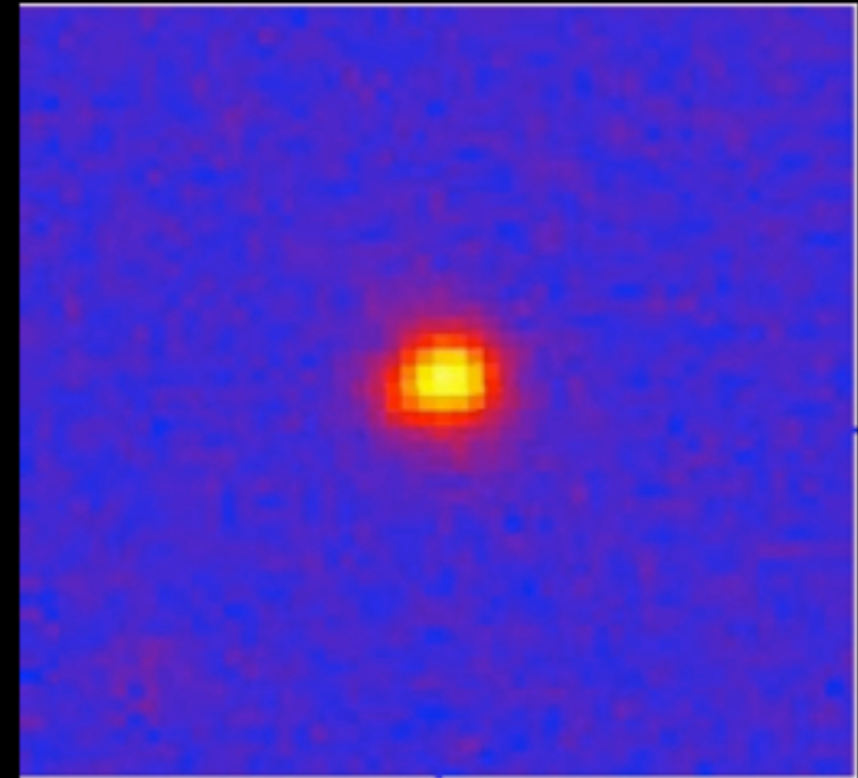
Osnovna ideja LSSTa: uniformni pregled neba

- 90% vremena će biti utrošeno na uniformni pregled neba: svake tri noći cijeli dostupni dio neba će biti snimljen dva puta
- nakon 10 godina, pola cijelog neba će biti mjereno oko 1000 puta (u 6 filtera)
- biti će oko 500 milijuna slika od 16 Mpix, sa mjerenjima za 20 milijardi objekata: preko 100,000,000 GB podataka (>100 PB)



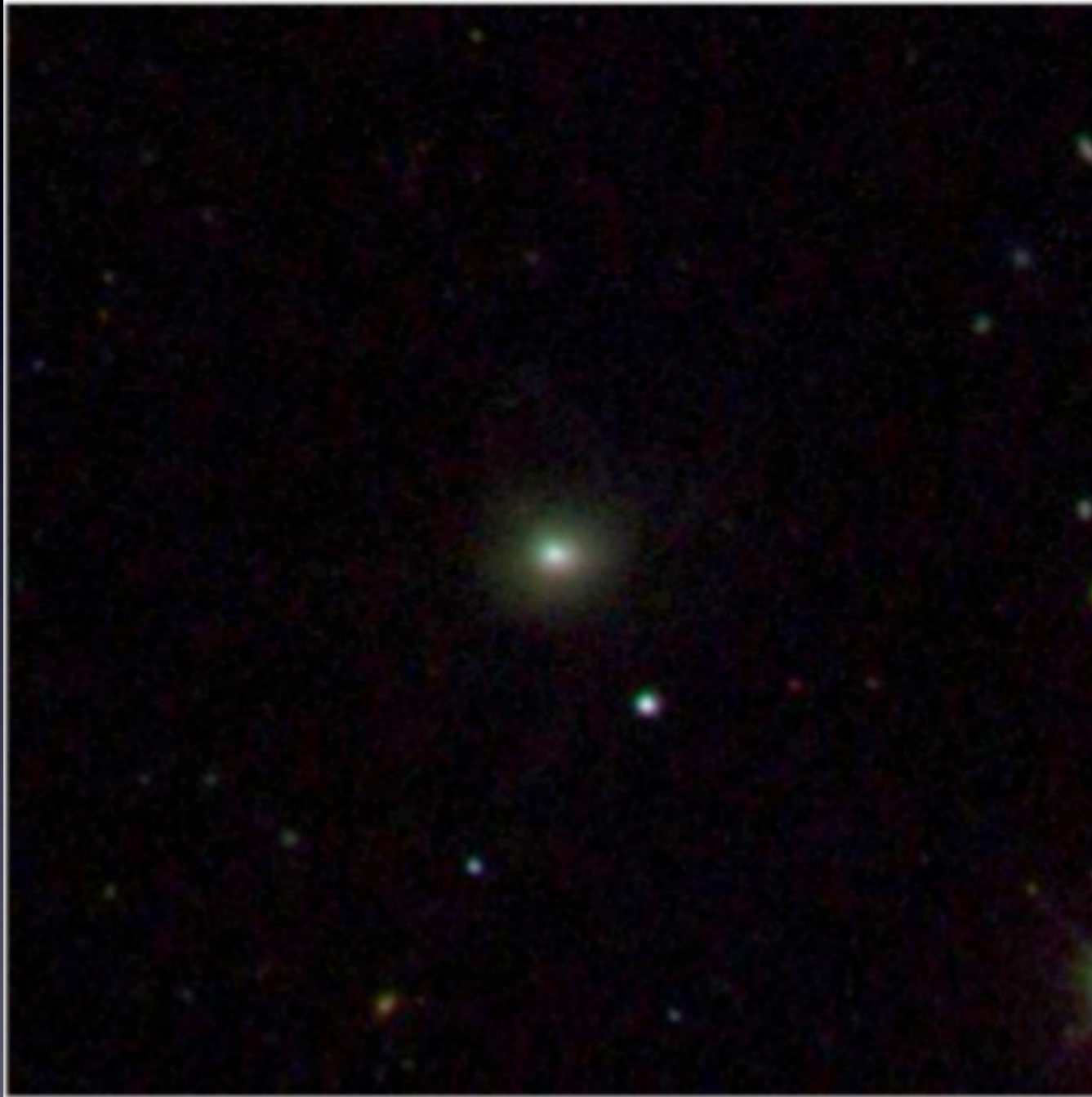
Simulacija 10 godina rada LSSTa: broj promatranja u jednom od filtera (r)

Usporedba SDSS-LSST



Usporedba SDSS-LSST

SDSS



MUSYC



LSST Observatorij

LSST sistem:

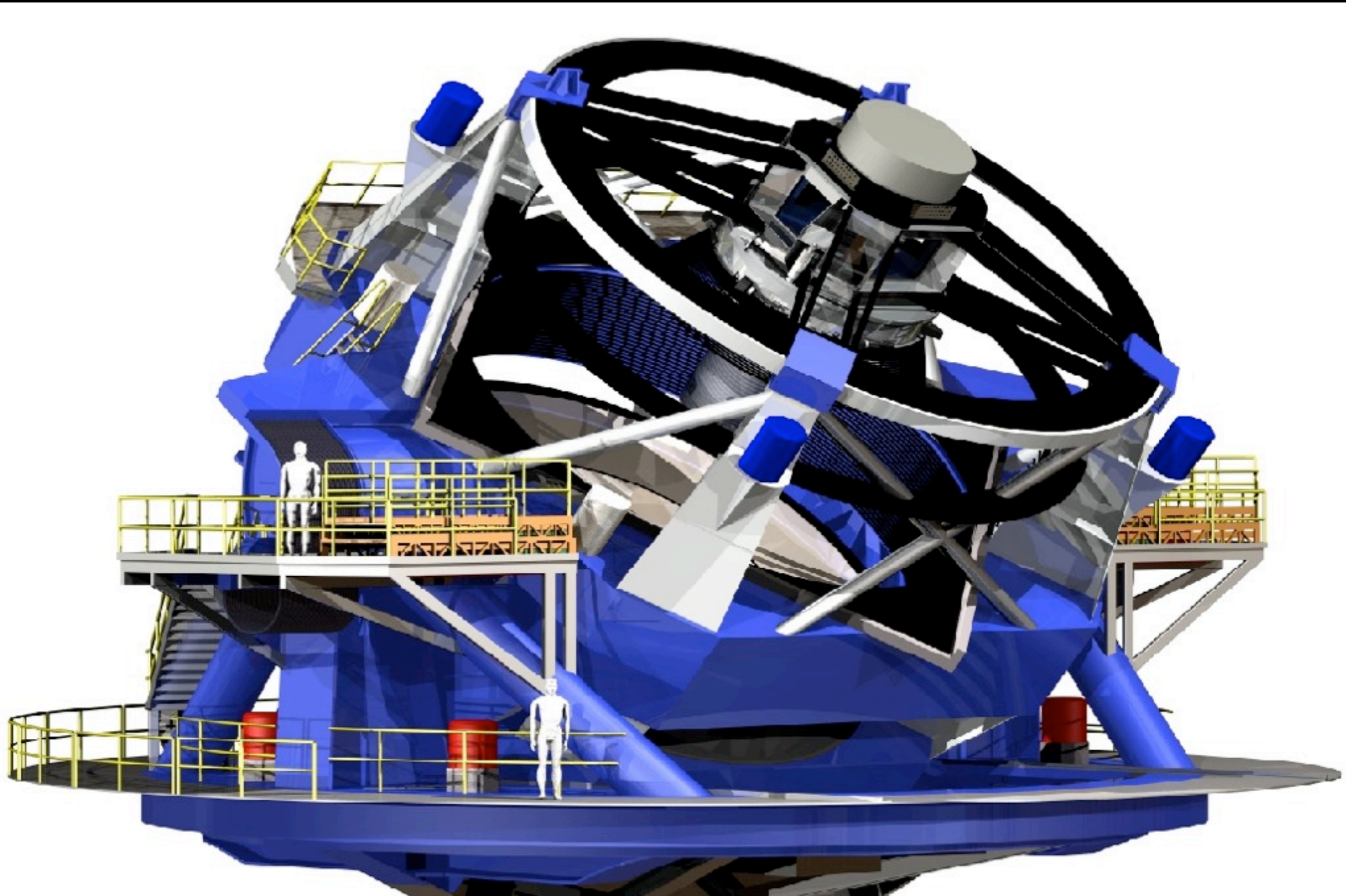
Teleskop

Kamera

Software



LSST Teleskop



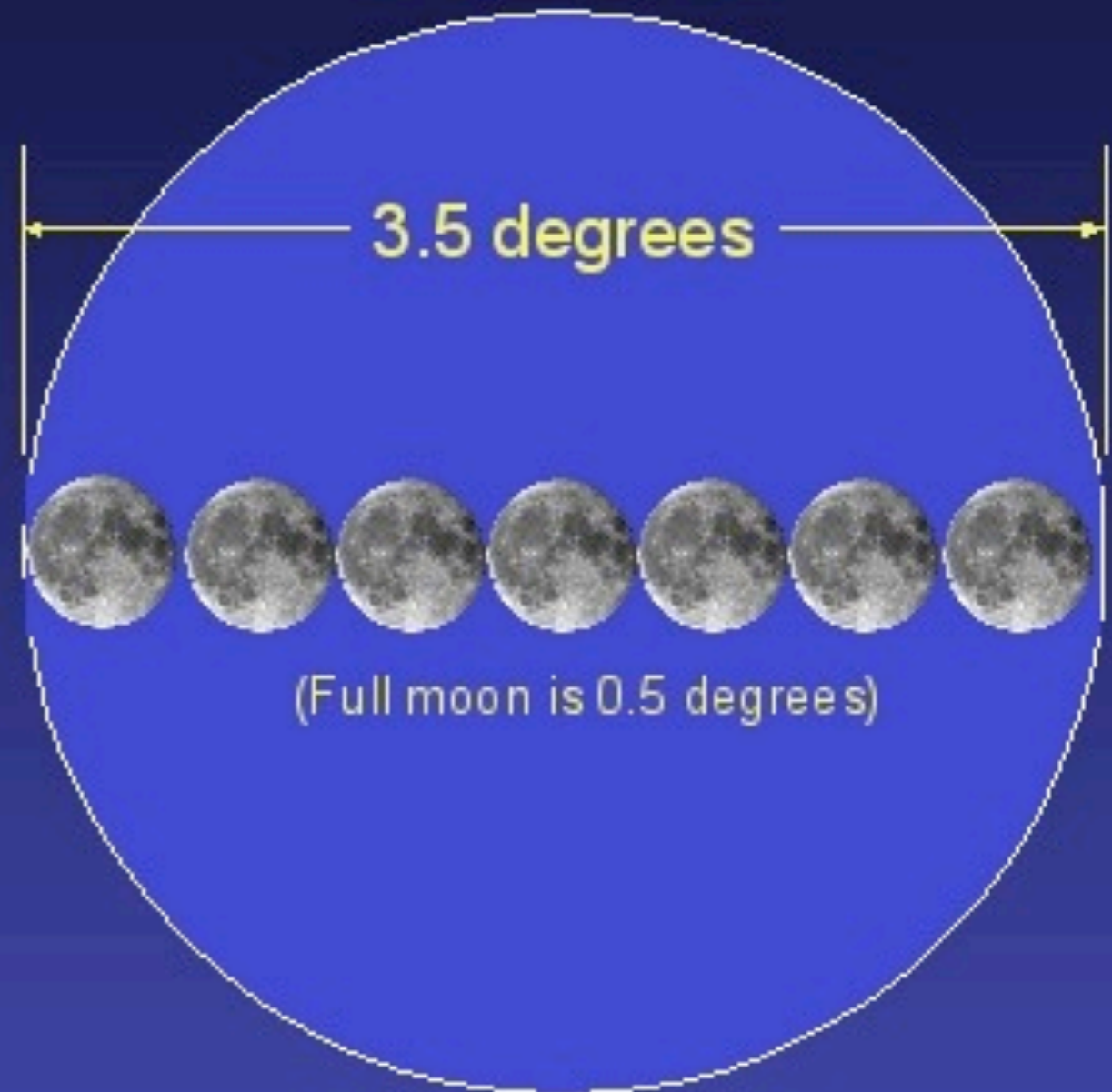
Usporedba vidnog polja Gemini-LSST

Primary Mirror Diameter

Field of View



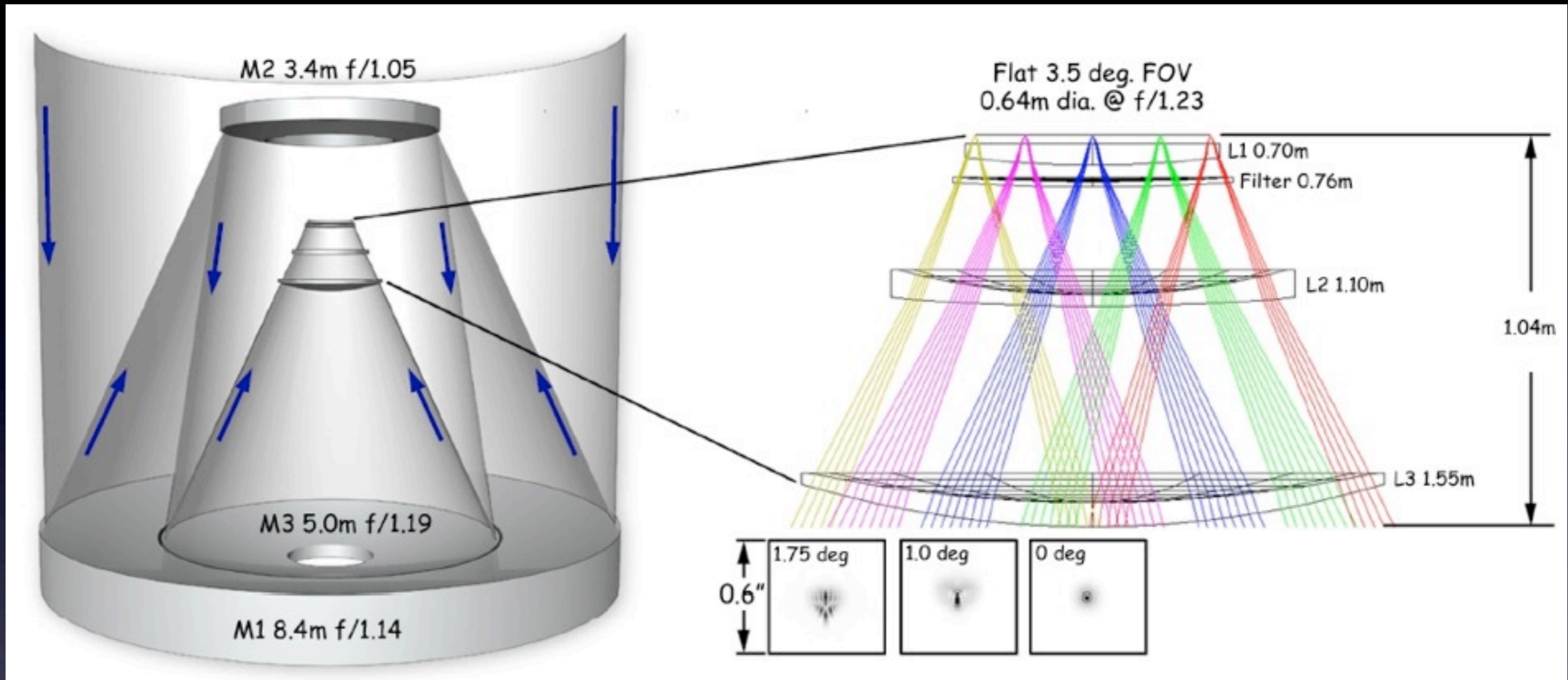
Gemini South Telescope



LSST



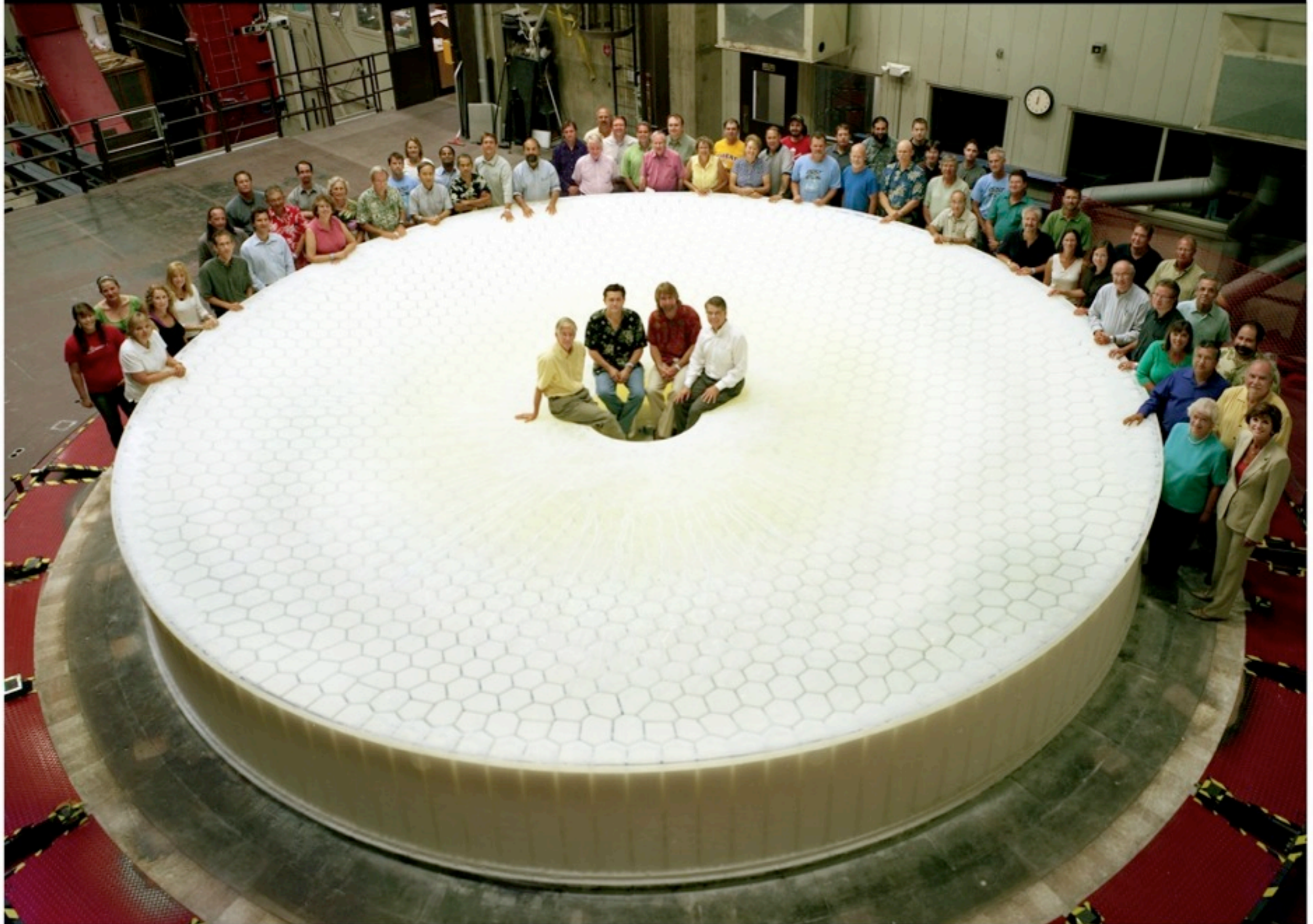
Optički dizajn za LSST teleskop



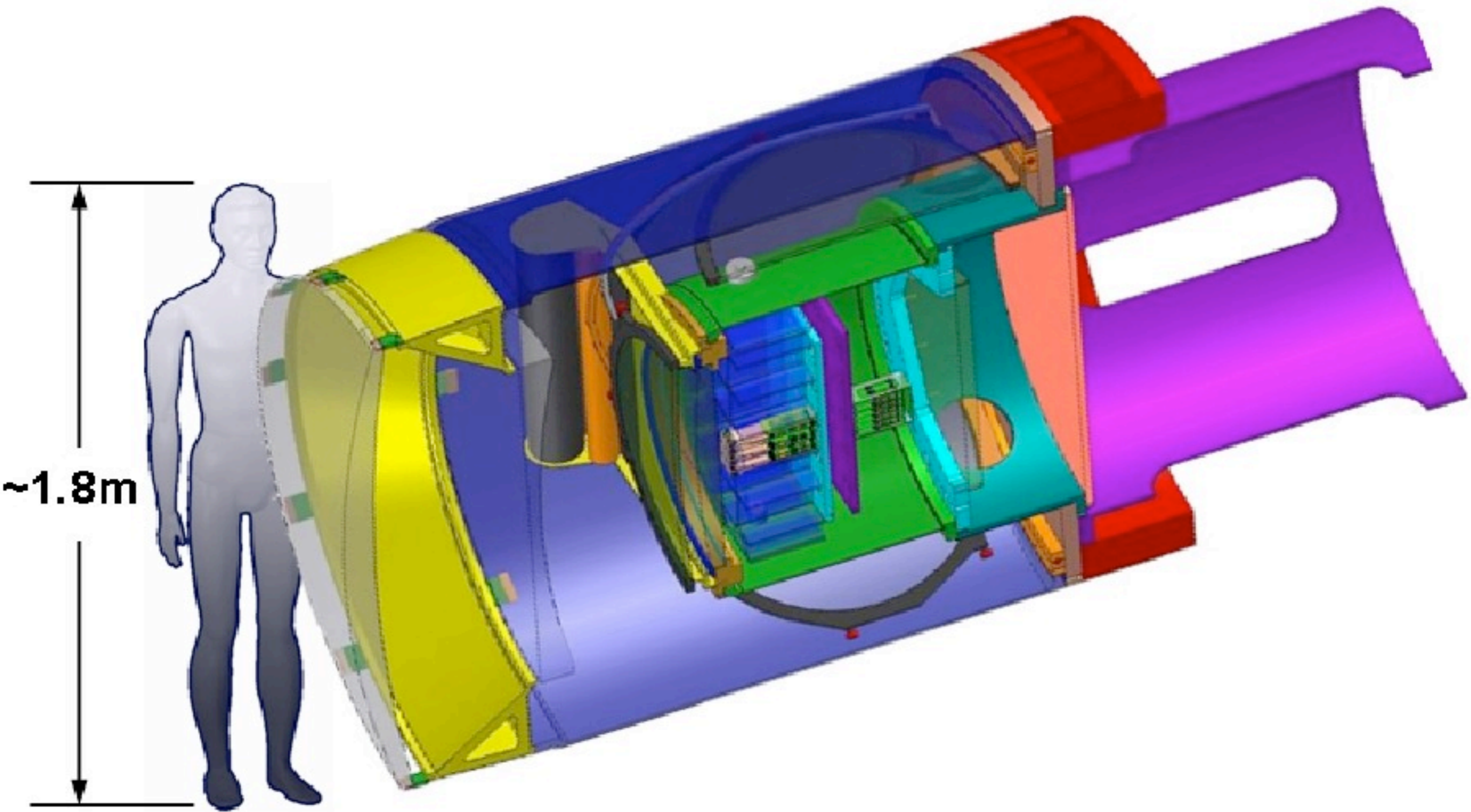
“Klasični” teleskopi: dva zrcala (ograničeno vidno polje)
LSST: tri zrcala koja daju veliko vidno polje sa malim deformacijama slike (Paul-Baker sistem)



Large Synoptic Survey Telescope



LSST kamera



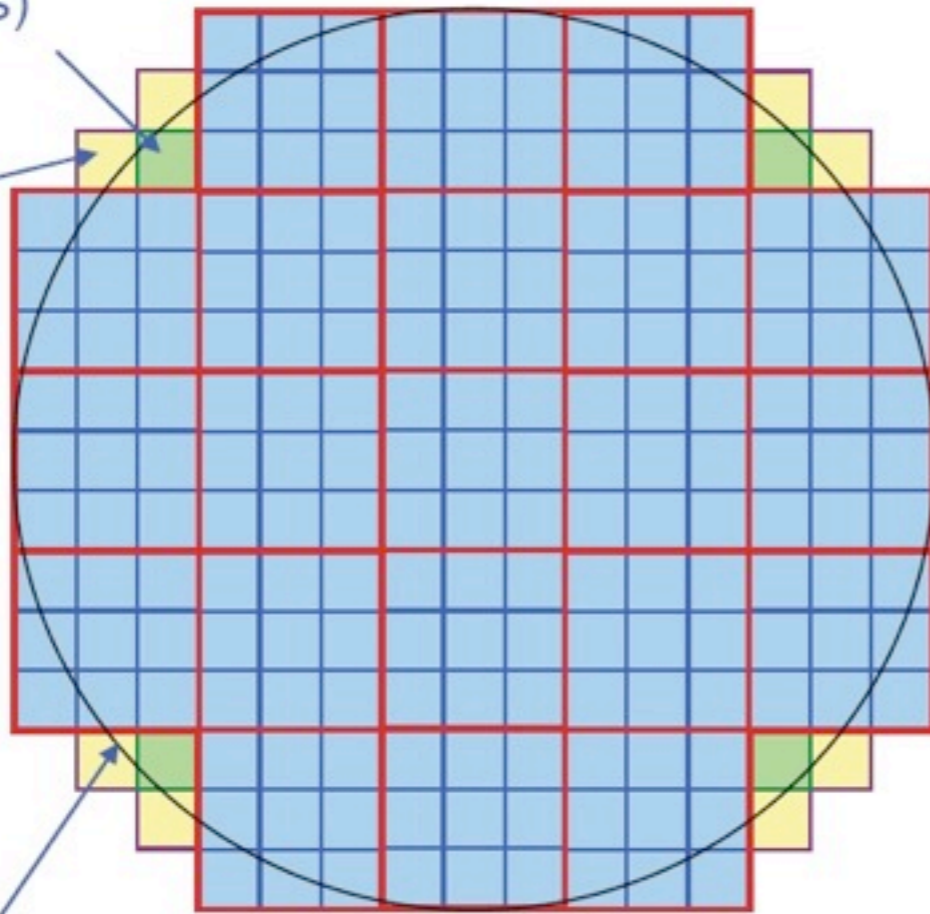
Najveća astronomska kamera: 2800 kg, 3200 Megapixela

LSST kamera

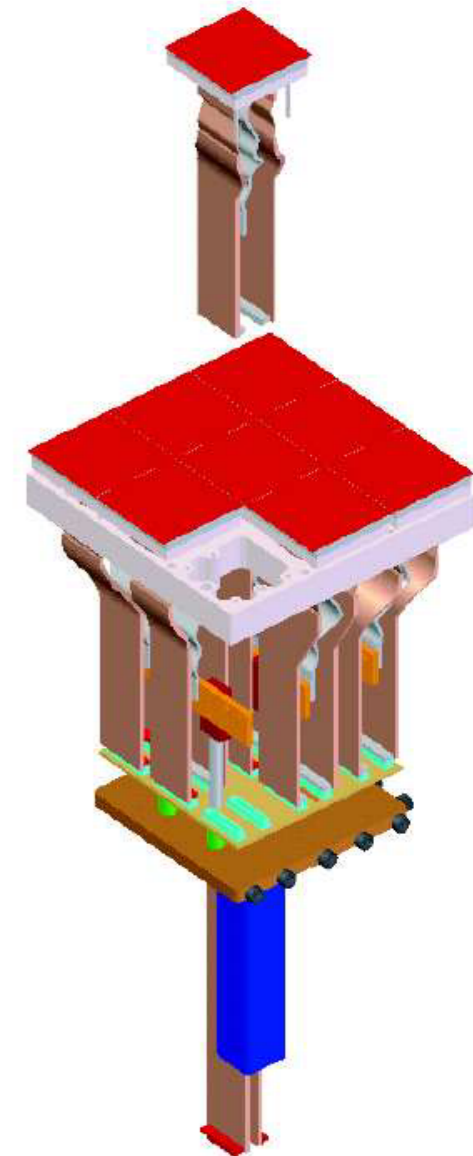
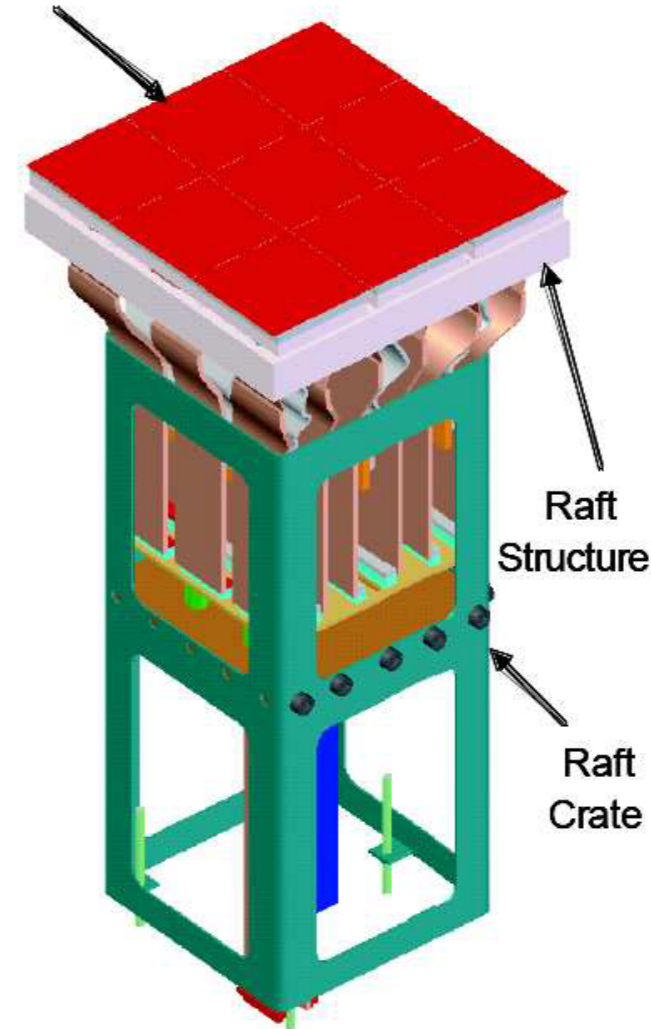
Wavefront Sensors
(4 locations)

Guide Sensors
(8 locations)

3.5 degree Field
of View (634 mm diameter)



Imaging Sensors



Modularni dizajn: 3200 Megapix = 189 x 16 Megapix CCD
9 CCDova imaju zajedničku elektroniku: raft = kamera
Raft sa problemima se može zamijeniti tokom dana

LSST Software

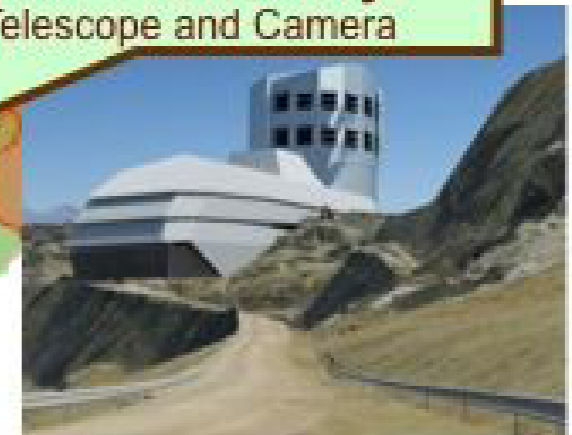
TBD Site
Science Centers
Data Quality Analysis

Archive Site
Archive Center
Nightly Reprocessing
Data Release Production
Long-term Storage (copy 2)
Data Access Center
Data Access and User
Services
120 – 330 TFLOPS
35 – 250 PB

Headquarters Site
Headquarters Facility
Observatory Management
Science Operations
Education and Public Outreach

Base Site
Base Facility
Data Access Center
Alert Production
Long-term storage (copy 1)
60 TFLOPS
35 – 250 PB

Summit Site
Summit Facility
Telescope and Camera



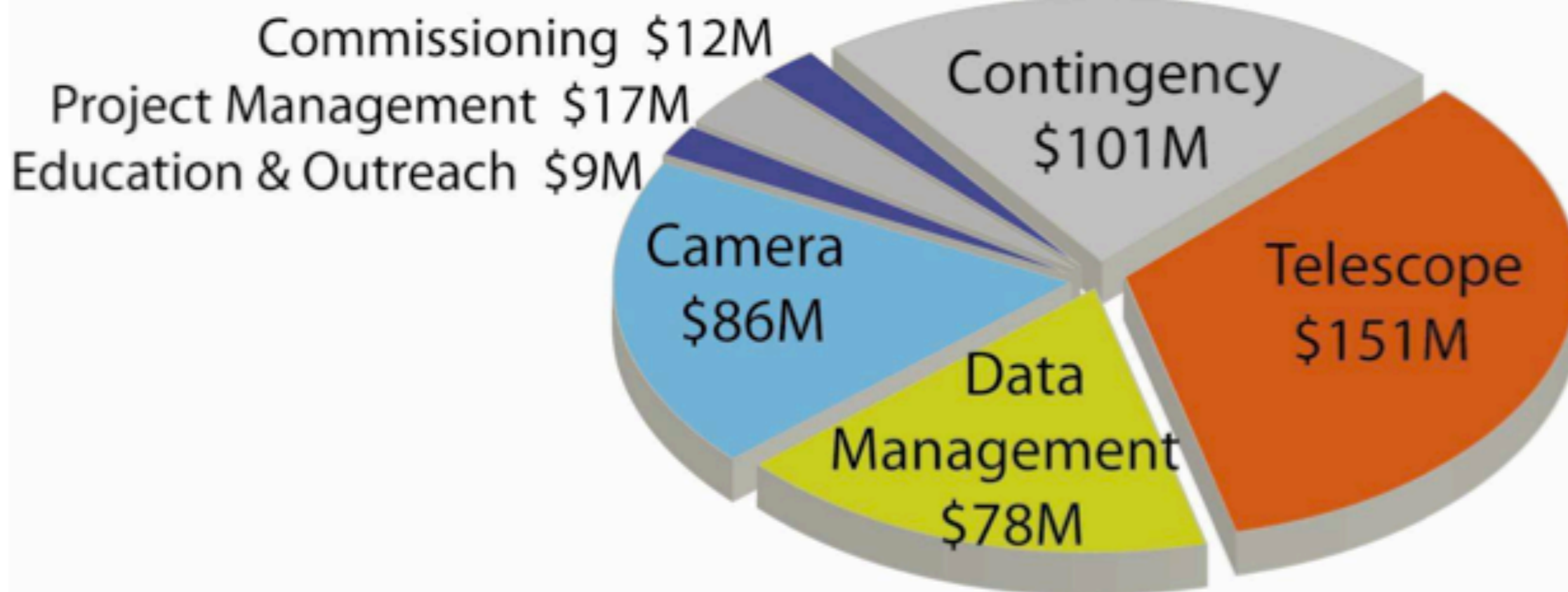
LSST Software

- Mora biti brz, točan i robustan (20 TB/dan)
- Vjerojatno najrizičniji dio sistema
- Oko 5-10 milijuna linija novoga koda
- Uglavnom C++/python
- Oko 100 M\$
- Kolaboracija astronoma, fizičara i profesionalnih programera
- Suradnja sa Hrvatskom

Kako potrošiti milijardu dolara?

Pola na konstrukciju, pola na 10 godina rada.

Total Project Cost: 455M 2009USD



LSST Construction Component Cost

Početak rada: oko 2018 (zeleno svjetlo: kolovoz 2010)

LSST All Hands Meeting at NCSA

LSST kolaboracijski sastanak 2009



LSST Ukratko

- SDSS je sakupio količinu podataka (20 TB) jednaku svim knjigama u Kongresnoj Knjižnici SAD - LSST će toliko sakupiti svaku noć. Ukupna količina LSST podataka (60,000 TB) biti će veća nego sve riječi do sada tiskane u cijelom svijetu. Trebalo bi oko 3 milijuna HDTV za prikazati LSSTovu mapu neba.
- SDSS je napravio prvu digitalnu mapu neba - LSST će napraviti prvi digitalni film neba. Trebalo bi 11 mjeseci za to “pogledati”.
- LSST će popisati i izmjeriti oko 20 milijardi zvijezda, galaksija i drugih objekata: prvi put će biti više astronomskih objekata nego živih ljudi na Zemlji. (Želite li svoju zvijezdu, galaksiju?)
- LSST podaci će biti dostupni i Vama!

Glavni ciljevi LSST:

- 1) tamna energija ili pogrešna gravitacija?
- 2) opasni asteroidi
- 3) promjenljivi Svemir

Više informacija na www.lsst.org



Sažetak Predavanja

- **Uvod u kozmologiju:** mjerenja pokazuju kako se Svemir širio, od Velikog Praska prije oko 13 milijardi godina, pa sve do danas.
- **Moderne kozmološke zagonetke:** moderni model ubrzanog širenja Svemira postulira dvije misteriozne komponente sa malo/nimalo teorijske motivacije: tamna tvar i tamna energija.
- **LSST:** film Svemira koji će nam pomoći odgonetnuti tu misteriju.