



HAVAITSEVAN TÄHTITIETEEN PK I

ASTROMETRIA

Syksy 2024

Thomas Hackman



12. ASTROMETRIA

Luennon aiheet:

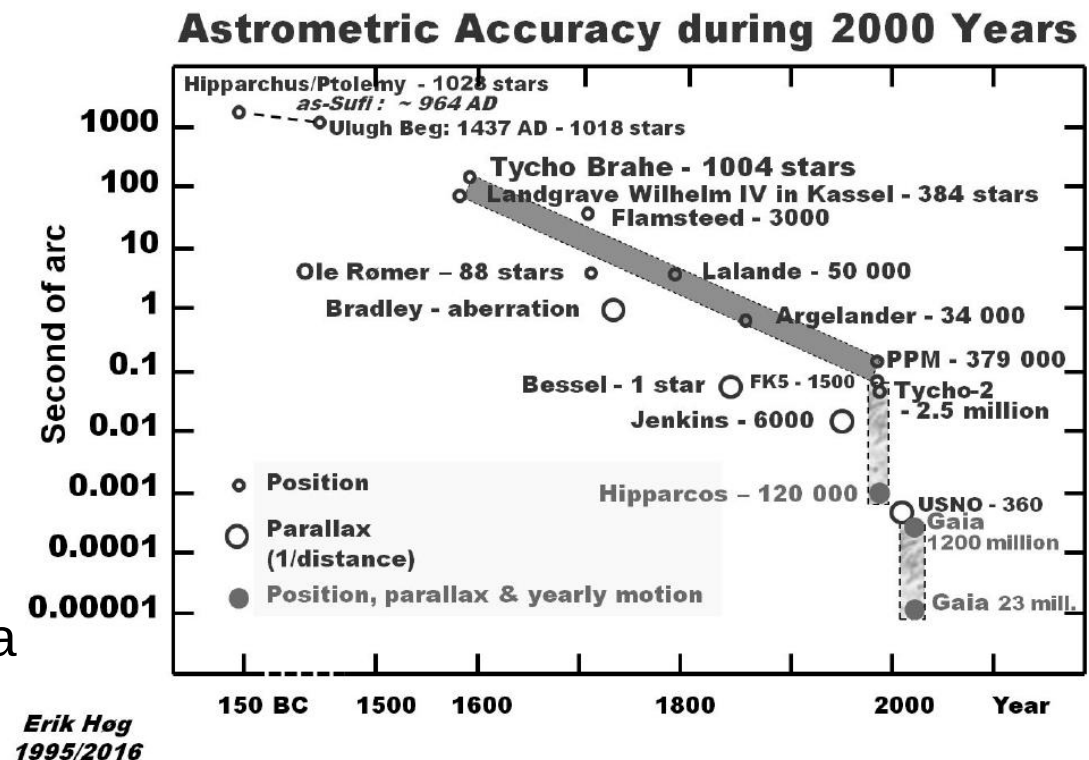
- Astrometria menetelmänä
- Meridiaanikone
- Suhteellinen astrometria
- Virheet ja tarkkuus
- Astrometriasatelliitit





12.1 ASTROMETRIAN HISTORIAALLINEN MERKITYS

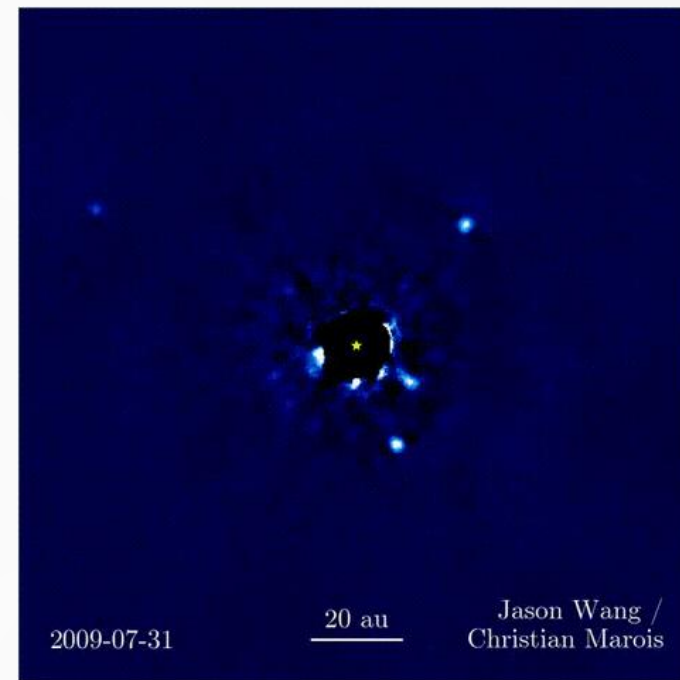
- Taivaan kohteiden sijaintien, nopeuksien ja etäisyyksien määrittäminen
- Vanhinta tähtitiedettä
 - Tähtikartat, navigointi
 - Ajan määrittäminen
- Nykyaikana havainnot hyvin automatisoituja
 - Laajat kartoitukset => etsitään liikkuvia kohteita, eli asteroideja ja komeettoja
 - Satelliitit: Hipparcos ja GAIA





12.2 ASTROMETRIAN KÄYTTÖ

- Aurinkokunnan dynamiikka
- Eksoplaneettojen etsintä
- Tähtien dynamiikka
- Paikallisten galaksien dynamiikka
- Kosmisen mitta-asteikon määrittäminen:
 - Parallaksit => etäisyydet
 - => absoluuttiset magnitudit
 - => astrofysiikkaaliset mallit
 - => standardikynttilät



HR8799 (Jason Wang, et al)



12.3 MERIDIAANIKONE

- Kääntyy vain vaakasuoran itä-länsiakselin ympäri
- Teleskoopilla mitataan tähden kulminaation aika eli hetki, jolloin tähti ohittaa meridiaanin
- Menetelmä kutsutaan *absoluuttiseksi astrometriaksi*
- Joitakin meridiaanikoneita on yhä käytössä, lähinnä suhteellisen astrometrian tueksi

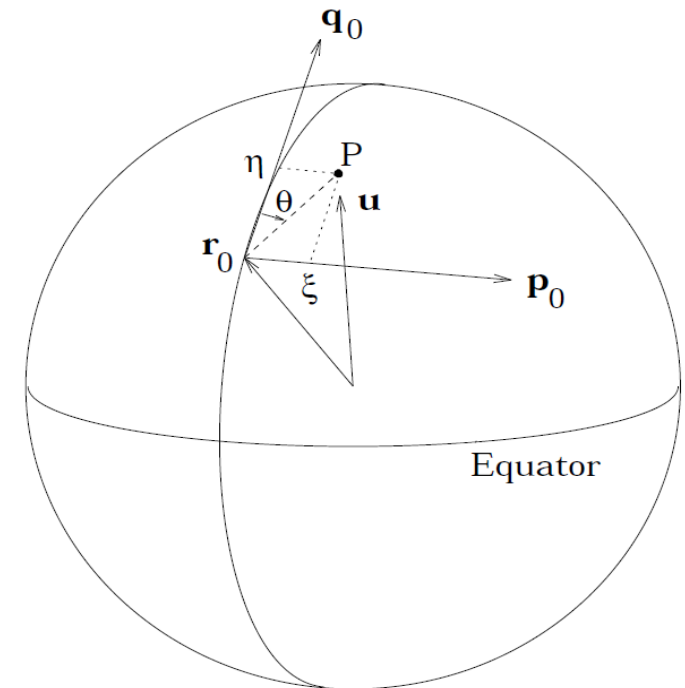


Carlsberg Meridian Telescope (La Palma), poistui käytöstä 2013



12.4 SUHTEELLINEN ASTROMETRIA

- Astrometrisiä havaintoja varten on kiinnitettävä koordinaatisto, jonka suhteen mittaukset tehdään
- Tämä tehdään kuvassa olevien vertailukohteiden avulla (CCD-havainnot)
- Vertailukohteiden mukaan muodostetaan kuvaus kuvakoordinaateista absoluuttiseen koordinaatistoon joko suoraan tai ns. *normaalikoordinaattien* avulla
- Kuvauksen määrittäminen on epälineaarinen optimointitehtävä joka vaatii numeerisia menetelmiä ja iterointia



Normaalikoordinaatit
Kuva: CDS



12.5 TÄHDEN OMINAISLIIKKE JA TANGENTIAALINOPEUS

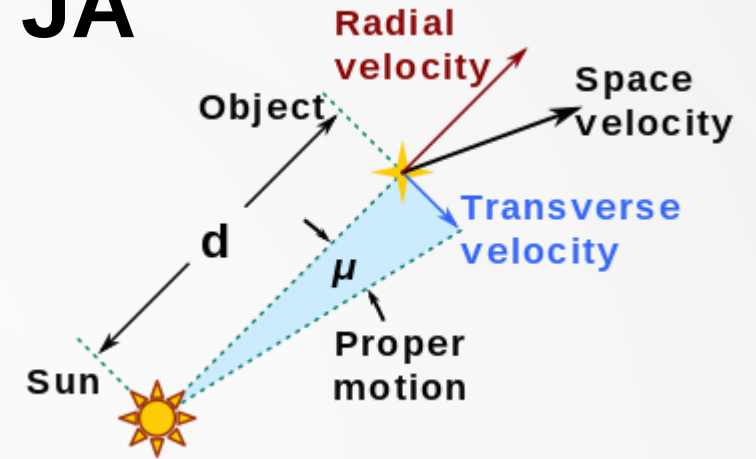
- Ominaisliike:

$$\mu = \sqrt{\mu_{\alpha}^2 \cos^2 \delta + \mu_{\delta}^2}.$$

Rektaskension ja deklinaation muutosnopeudet

- Tangentiaalinopeus:

$$v_t = \mu d$$



Barnardin tähti (Steve Quirk)



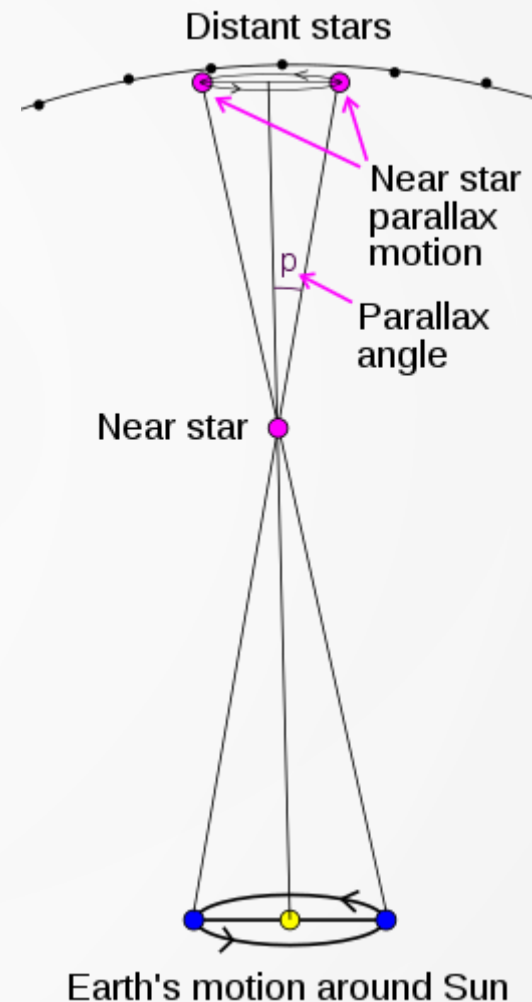
12.6 TÄHDEN PARALLAKSI

- Tähden paikka ajan funktiona:

$$\alpha = \alpha_0 + \mu_\alpha t + \pi F_\alpha(t)$$

$$\delta = \delta_0 + \mu_\delta t + \pi F_\delta(t)$$

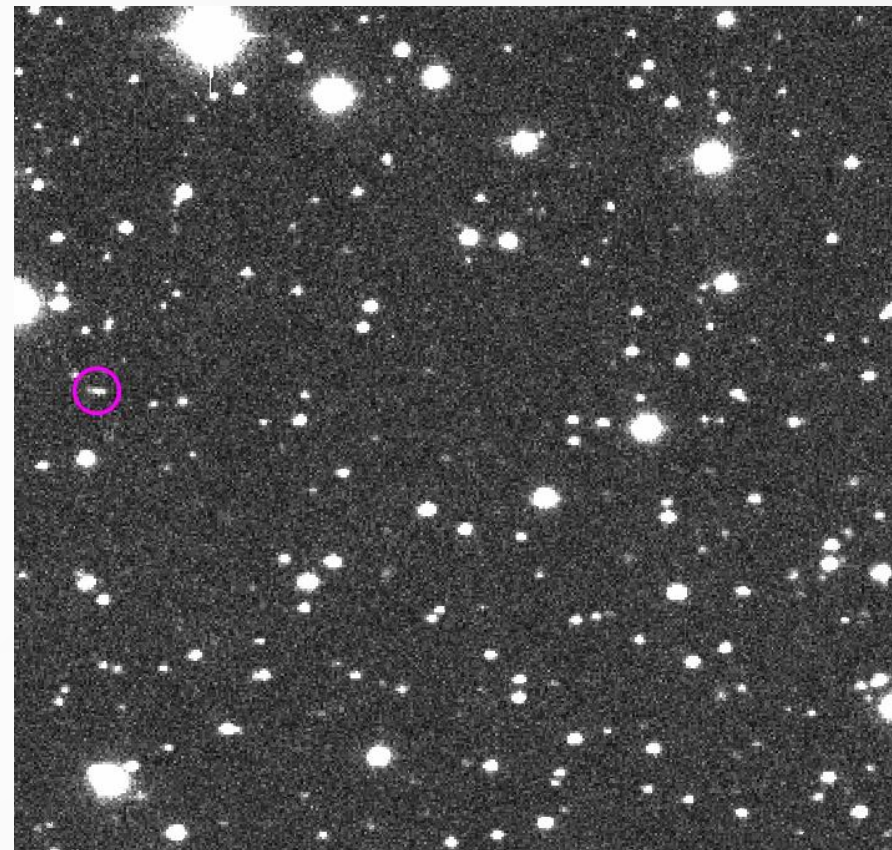
- μ_α ja μ_δ ovat ominaisliikkeen komponentit, π parallaksi, F_α ja F_δ rektaskension ja deklinaation parallaksitekijät
- Mitataan paikka eri ajanhetkinä
- Ratkaistaan pienimmän neliösumman menetelmällä
=> saadaan ominaisliike ja parallaksi
- Parallaksi => etäisyys





12.7 AURINKOKUNNAN KAPPALEEN RATA

- Mikäli rata on kartioleikkaus, riittää teoriassa 3 havainnon mittaaminen.
- Käytännössä virheiden minimointi vaatii monta mittausta pitkällä aikavälillä
- Asteroidien etsintä nykyään automatisoitu
- Rataparametrien määrittäminen:
 - Gaussin menetelmä.
 - Tilastolliset menetelmät: MCMC.



Asteroidi 2014 AA (NASA/JPL-Caltech/CSS-Univ. of Arizona)



TEHTÄVÄ

- Mikä olisi optimaalinen vertailukohde astrometriassa?



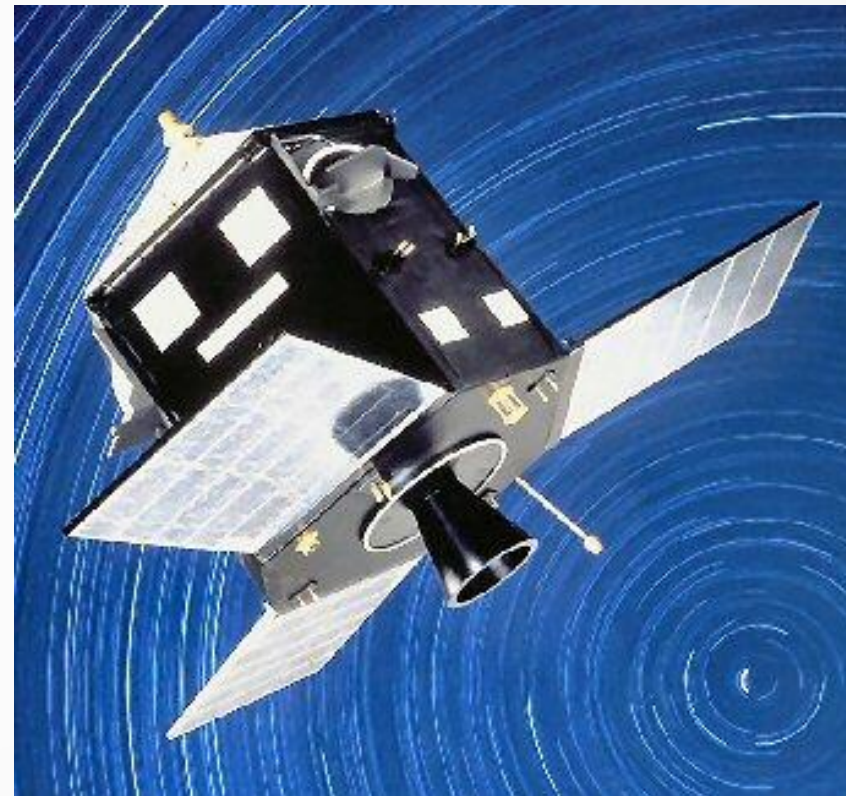
12.8 VIRHELÄHTEITÄ

- Havaintoajan tarkkuus
- Kuvakentän koordinaattiakselien poikkeama absoluuttisesta koordinaatistosta
- Teleskoopin suuntauksen virheet
- Kuvakentän vääristymät:
 - Optiikka
 - Teleskoopin vääntymistä
- Kuvataso ei täysin ole kohtisuorassa optisen akselin suhteen
- Ominaisliike ja parallaksi vaikuttavat vertailutähtien paikkoihin → virhettä voidaan pienentää käyttämällä useita vertailutähtiä ja/tai hyvin kaukaisia kohteita



12.9 ASTROMETRIASATELLIITTI HIPPARCOS 1989-1993

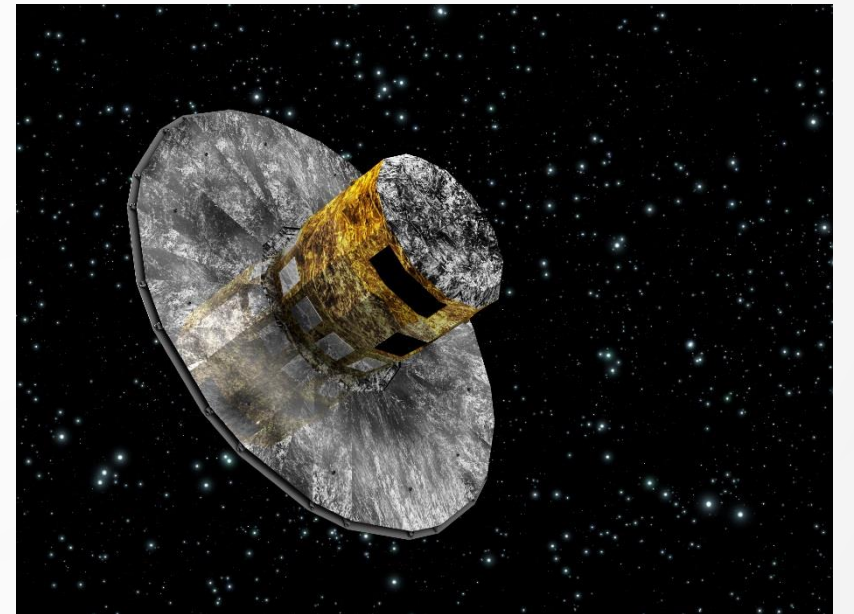
- *Hipparcos* -katalogi
120000 tähteä 1 mas
tarkkuudella → etäisyys
mitattu ~ 1600 pc
etäisyydelle
- *Tycho* -katalogi 2,5 milj.
tähteä ~30 mas
tarkkuudella → parallaksi
vain lähimmille kohteille





12.10 ASTROMETRIA-SATELLIITTI GAIA

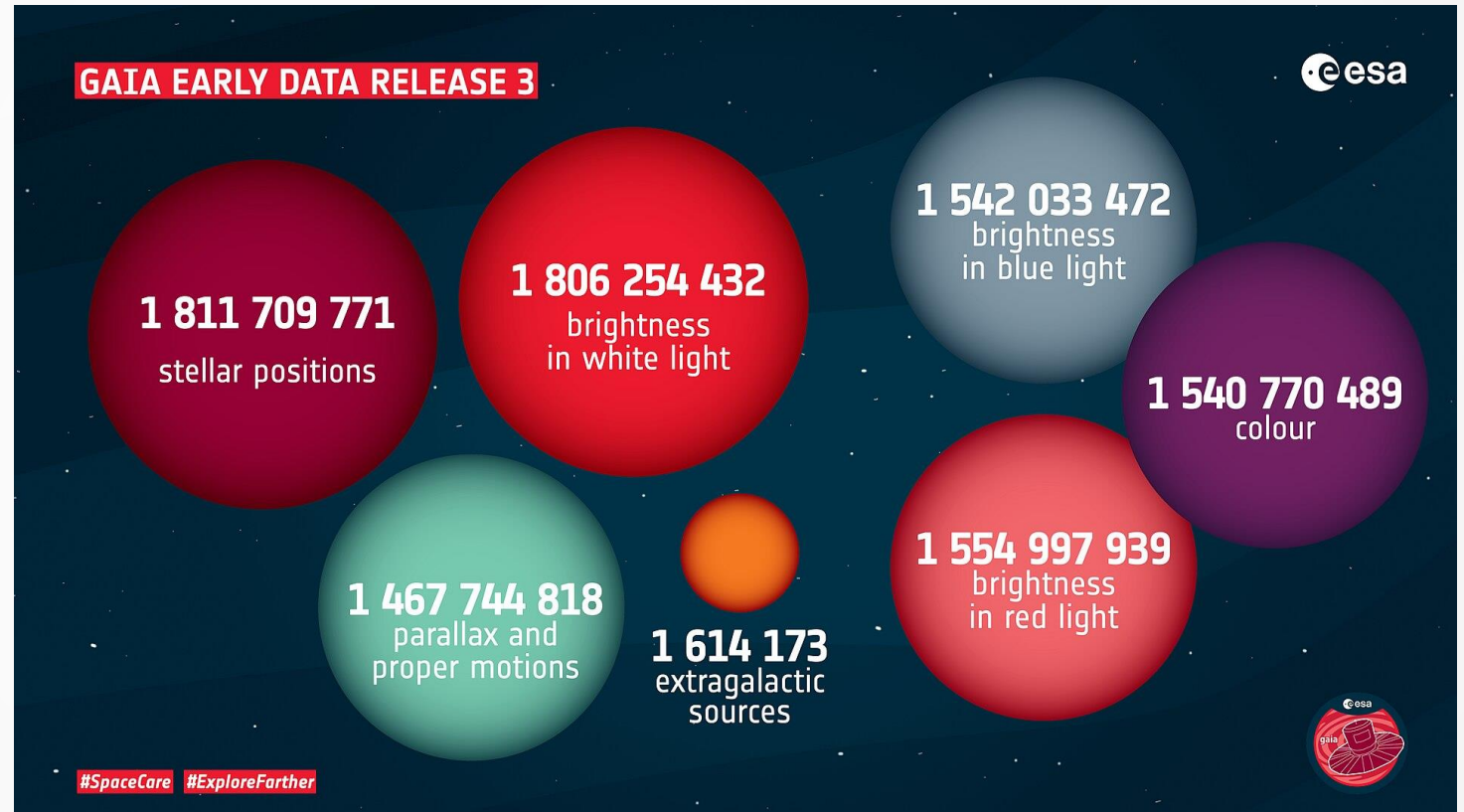
- Laukaisu 19.12.2013, havainnot 2014 – 2025 Lagrangen pisteestä L2
- Sijainnit 1.5 miljardille tähdelle magnitudivälillä $3 < G < 21$
- Tarkkuus $\sim 20 \mu\text{as}$ $G=15$ magnitudissa ja $\sim 200 \mu\text{as}$ $G=20$ magnitudissa:
 - etäisyysarviot 5 – 50 kpc päähän
- Lisäksi myös fotometriaa ja spektroskopiaa:
 - spektriluokka, radiaalinopeus, absoluuttinen magnitudi
- Uusia asteroideja ja eksoplaneettoja
- Lähigalaksien tarkemmat ominaisliikkeet





12.11 GAIA:N DATA

- Datan tarkkuus paranee jokaisen DR:n jälkeen
- Ekstragalaktiset kohteet =>
*International
Celestial
Reference System
(ICRS)*

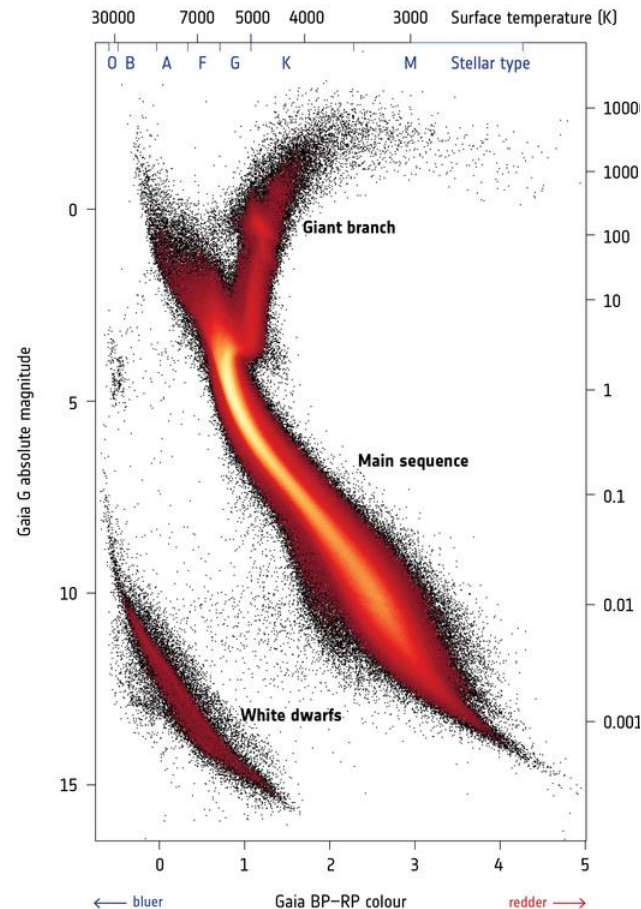




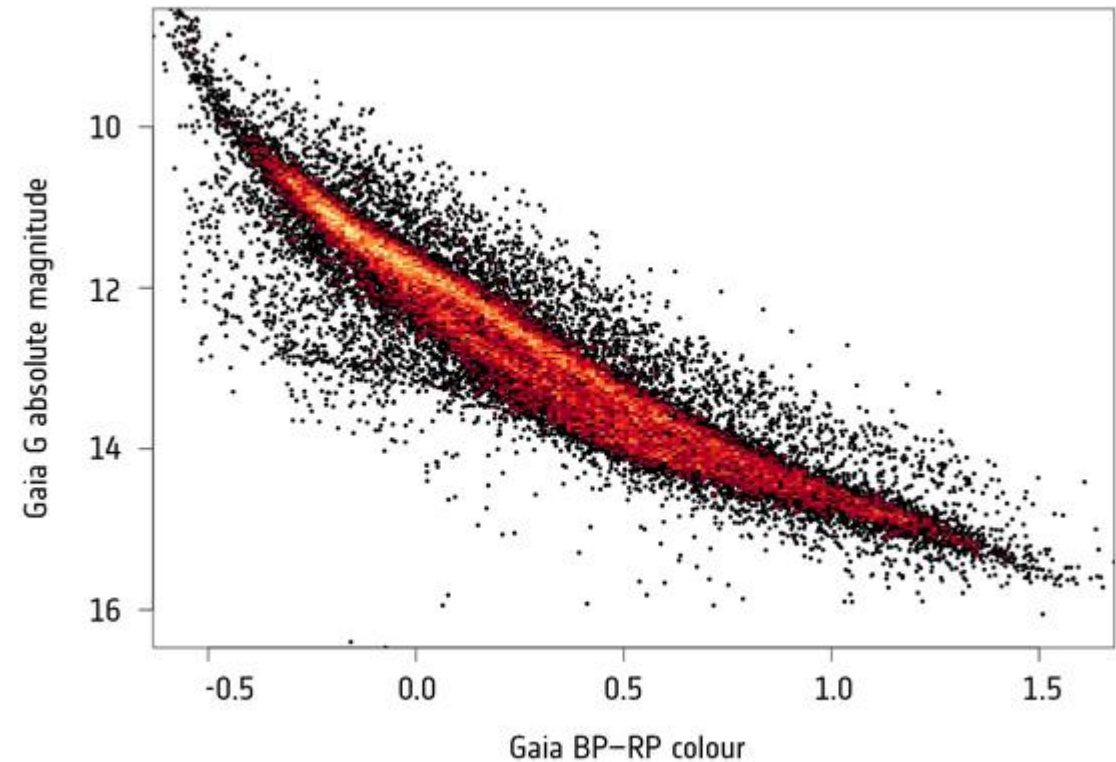
12.12 GAIA:N TULOKSIA: VALKEAT KÄÄPIÖT

ESA/Gaia/DPAC,
CC BY-SA 3.0 IGO

→ GAIA'S HERTZSPRUNG-RUSSELL DIAGRAM



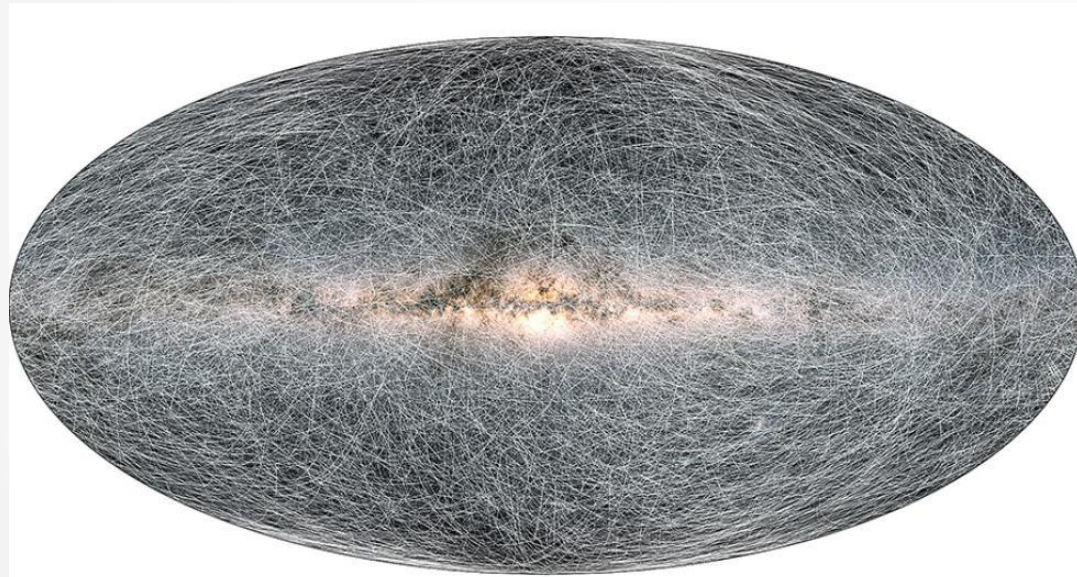
Koko HR-diagramma ja valkeiden
kääpiöiden haara



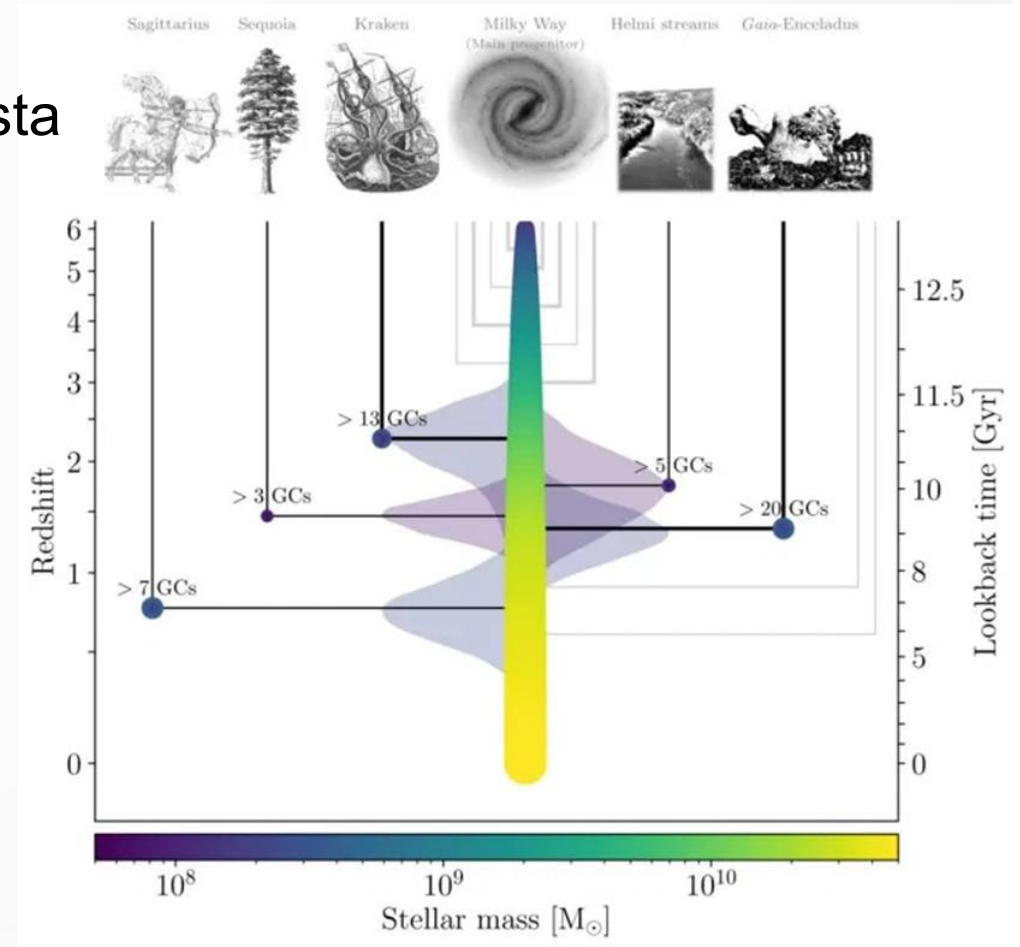


12.13 GAIAN TULOKSIA: GALAKTINEN ARKEOLOGIA

- Tähtien liikkeistä, i'istä ja metallipitoisuuksista
=> malli Linnunradan historialle



Gaian datoista lasketut 40000 tähden radat
400000 vuodelle



Kruijssen et al., 2020, MNRAS