

# AURINKOKUNNAN KOHTEIDEN SIRONTAHAVAINNOT

PAP-316: Valonsironta pienhiukkasista II (2018)

Grigori Fedorets

10.12.2018

# SISÄLLYSLUETTELO

- Johdanto
  - Astrometria
  - Fotometria
  - Spektrometria
  - Polarimetria
  - Okkultaatiohavainnot
  - Tutkahavainnot
  - Työkaluja
  - Demo
-

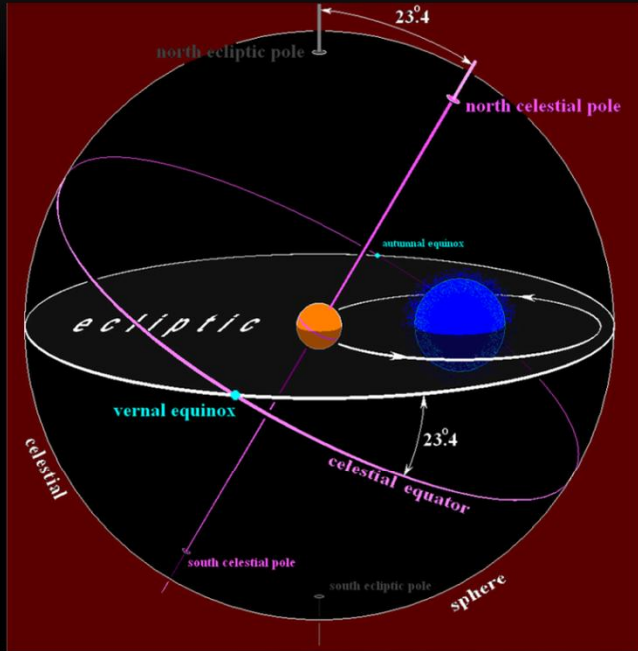
# JOHDANTO

- Liikkuvia kohteita
  - Sironnutta valoa
  
  - Peruskäsitteiden kertausta:
    - Ekliptika
    - Magnitudi
    - Signaali/kohina -suhde
    - Albedo
-

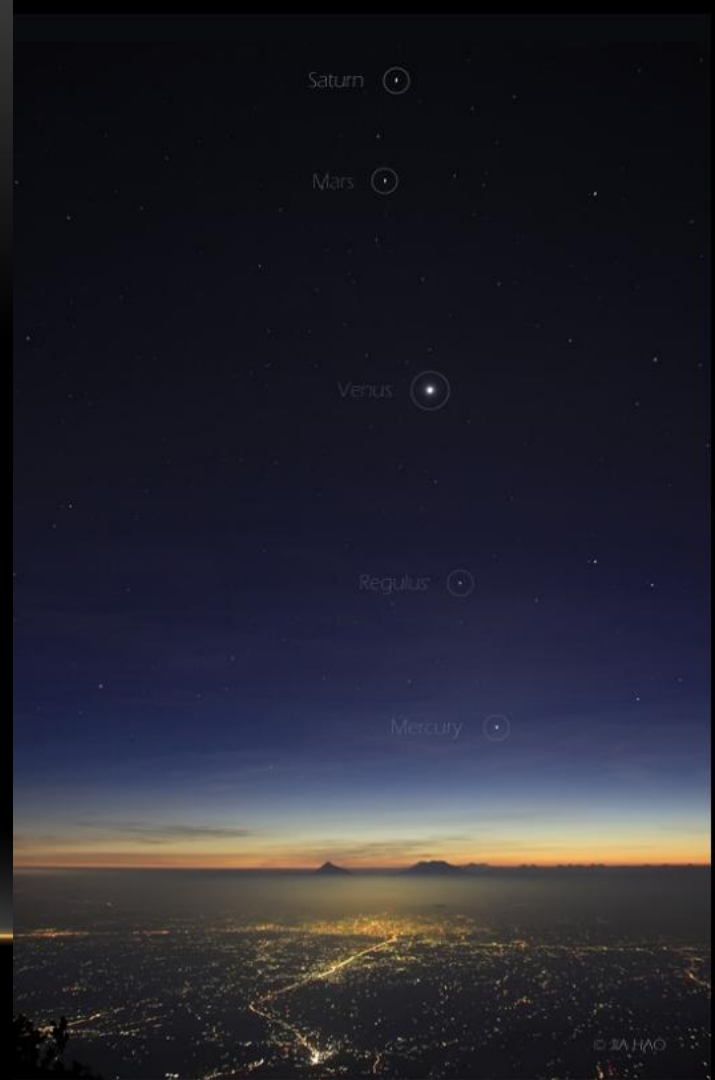
# LIKKUVAT KOHTEET



# EKLIPTIKA



Wikipedia



# MAGNITUDI

- $m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10}\left(\frac{f_1}{f_2}\right)$
- Myös taustataivas ja kuu määrittävät ylärajan (täysi kuu kirkastaa taivaan jopa 4 mag)
- Näennäinen (V) ja absoluuttinen (H)
- NOT/ALFOSCille V=18 spektroskopialle ja V=21 fotometrialle todetut sopivat arvot

# SIGNAALI / KOHINA -SUHDE

- Huomioon on otettava seuraavia seikkoja:
  - Valotuksen pituus vs. havainnon laatu (suhteessa valotusajan neliöjuureen)
  - Mikä on vaadittava tarkkuus?
  - Täytyy varoa kuvan saturointia



# ALBEDO

## Geometrinen albedo

- Asteroidin kirkkauden suhde samansäteiseen valaistuun Lambertin levyyn vaihekulmalla 0
- On välillä 0 – ääretön
- Käytännössä Aurinkokunnan kohteissa korkein on Enceladuksella (1.4)
- Oletusarvo asteroideille 0.1
- Yleisempi

## Bondin albedo

- Myös palloalbedo
- Asteroidin heijastaman valon määrän suhde sisääntulevaan säteilyyn
- On välillä 0-1
- Enceladukselle 0.8



# MITÄ DATAA ASTEROIDEISTA ON?

- Astrometria:
- Fotometria:
- Spektrometria:
- Polarimetria:
- Tutkahavainnot:

# MITÄ ASTEROIDEISTA HALUTAAN TIETÄÄ?

- Radat
  - Törmäysseuranta
- Koostumus = n. tiheys = n. aineen rakenne
  - Huokoisuus
  - Massa
  - Tilavuus

# YLEINEN KALIBRAATIO

- Bias-kuvat

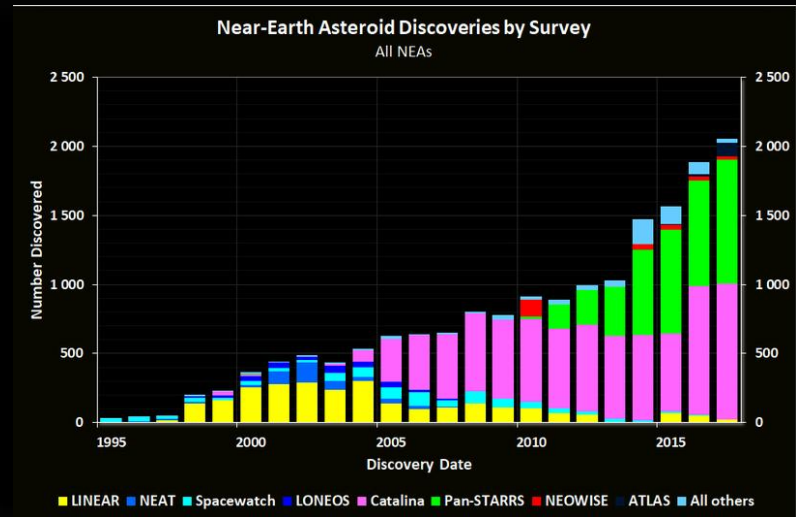


- Flat-field -kuvat

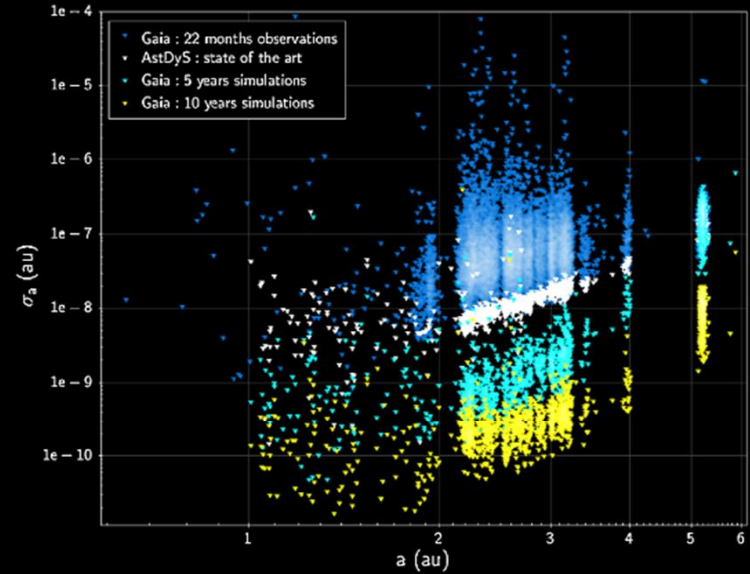
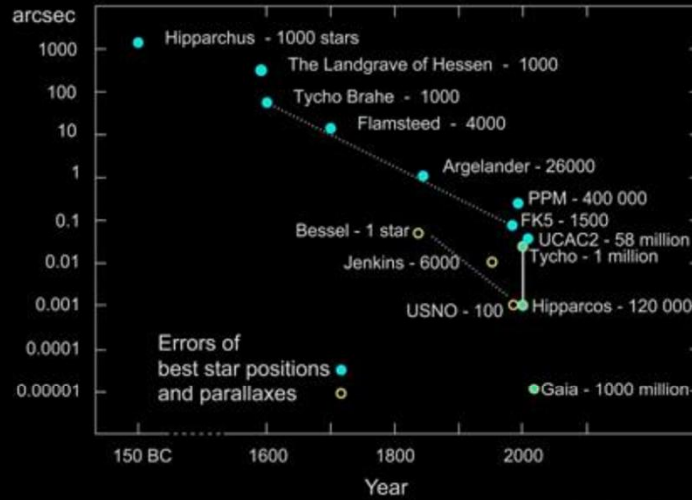


# ASTROMETRIA

- Paikanmittausta => radanlaskentaa
- Minor Planet Center
- Nykyisin pitkälti automatisoitua
  - Catalina Sky Survey
  - Pan-STARRS
  - Tulossa Large Synoptic Survey Telescope
- Gaia DR2 –tarkkuutta



# ASTROMETRIC TACKLE



Spoto et al. (2018)

# FOTOMETRIA

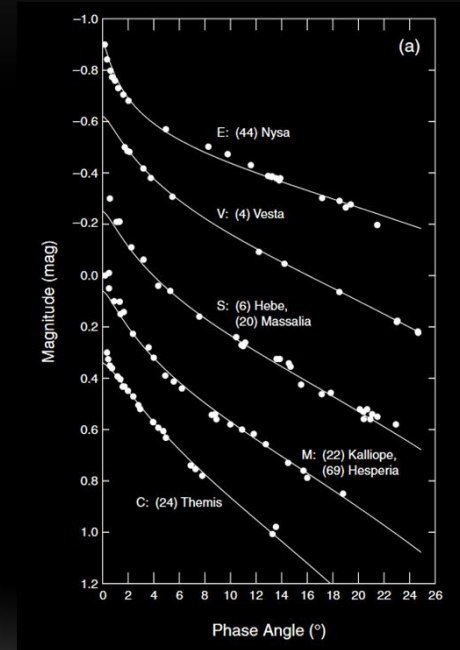
- UBVR<sub>I</sub>- tai griz-suodattimilla; tavallaan tosi matala resoluution spektri
- Aurinkokorjaus
- Fotometrinen yö: ei pilviä, ekstinktio on lineaarinen ilmassan funktio
- Havainnot: päävyöhykkeen kohteille ei välttämättä tarvitse differentiaaliseurantaa
- Nopeille kohteille samalla ilmassalla oleva standarditähti
- Redusointi: helpointa samassa kuvakentässä olevasta tähdestä (differentiaalifotometria), mutta toisinaan joutuu ottamaan erilliset standardikuvat (vertailufotometria)

# FOTOMETRIA: VAIHEFUNKTIOT

- Oppositioeffekti – koherentti takaisinsironta
- Lumme-Bowellin laki:

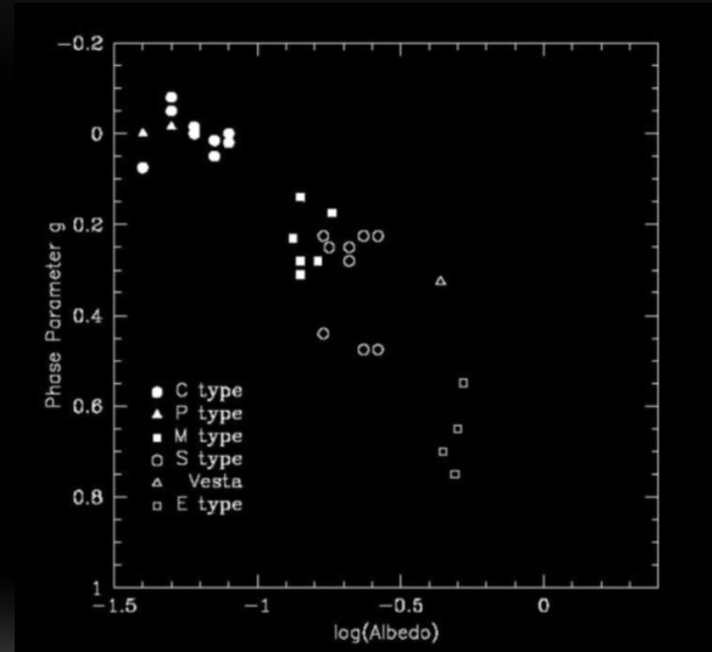
$$H(\alpha) = H - 2.5 \log[(1 - G)\Phi_1(\alpha) + G\Phi_2(\alpha)]$$

- Pätee huonosti erittäin tummille ja erittäin kirkkaille asteroideille
- => uusi HG1G2 -järjestelmä ottaa tämän huomioon



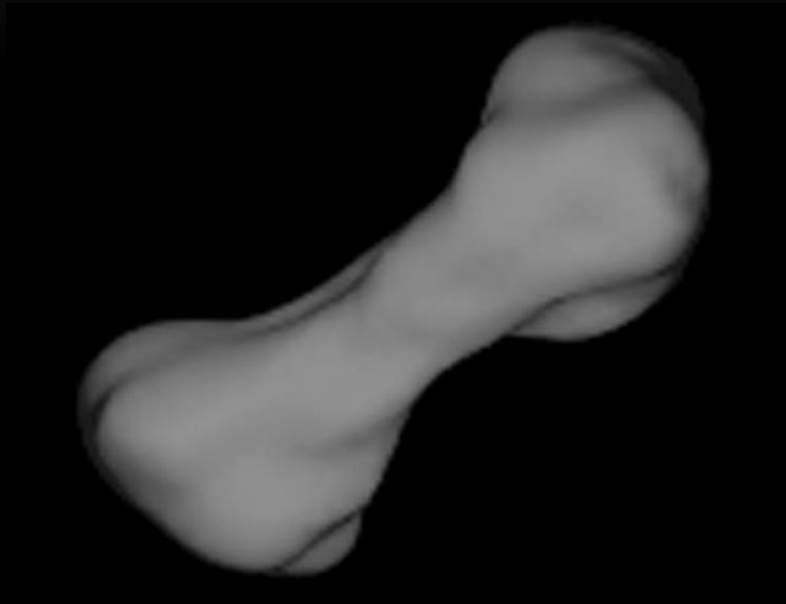
# FOTOMETRIA: VAIHEFUNKTIOT

- G-parametria ei ole mitattu laajasti monelle kohteelle; oletus  $G=0.15$
- G-parametri korreloi geometrisen albedon kanssa
- Myös ennakoi spektriluokkaa

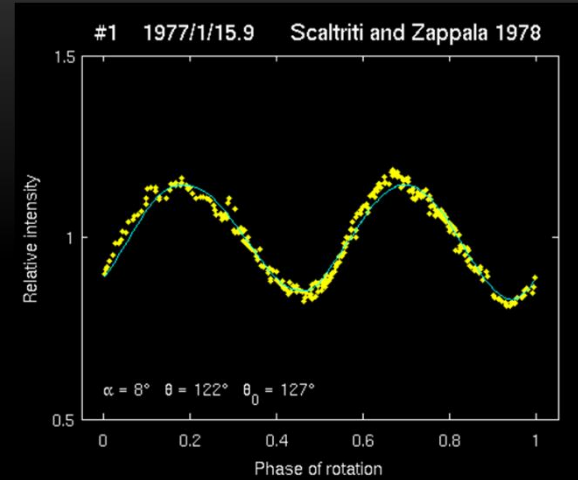




# FOTOMETRIA: MUOTOMALLIT



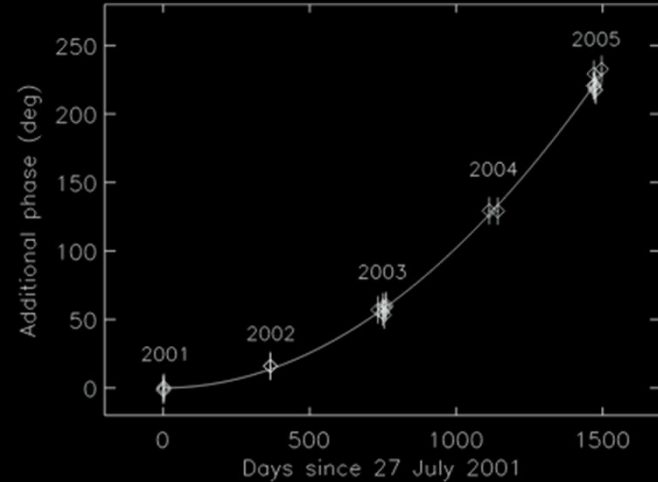
Ostro et al. (2000)



Ďurech & Kaasalainen (2003)

# FOTOMETRIA: YORP-ILMIÖ

- (YORP = Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack)
- Epäsäännöllisen muotoinen asteroidi heijastaa fotoneja eri suuntaan kuin aurinko (terminen kitka)
- Asteroidin pyörimisnopeus muuttuu
- Heikko, mutta jatkuva voima
- Voimakkaampi pienille, aurinkoa lähelle tuleville asteroideille



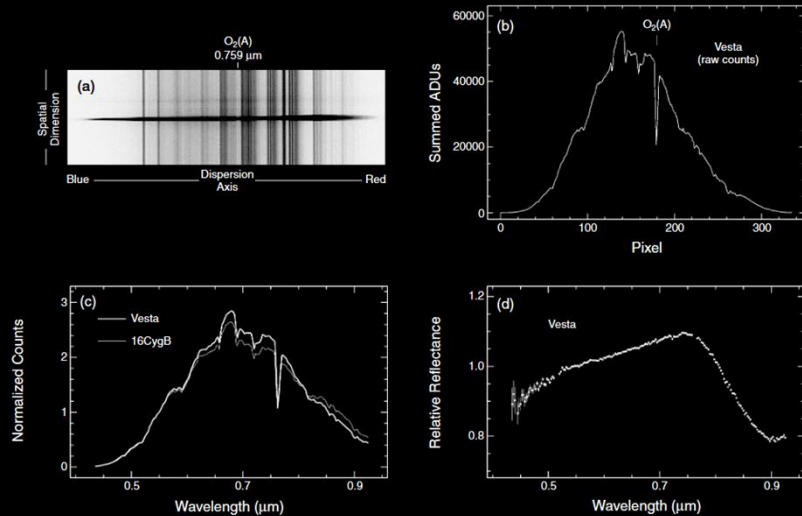
Taylor et al. (2007)

# INFRAPUNAFOTOMETRIA

- Yksinkertainen malli: asteroidien voidaan olettaa olevan termisessä tasapainossa: absorptio=emissio
- HG-järjestelmän  $G$  on riippuvainen albedosta
- => Yhdistämällä optisen alueen ja termisen infrapuna-alueen havainnot, saadaan erotettua asteroidin kirkkaudesta albedo ja läpimitta
- NEOWISE-satelliitti

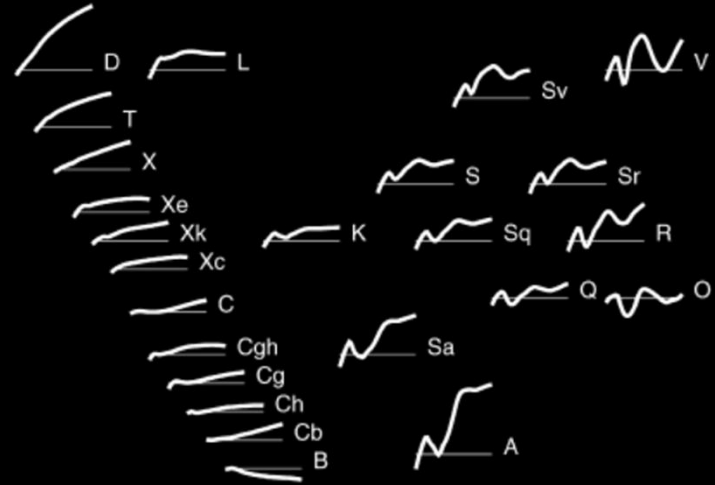
# SPEKTROMETRIA

- Miltä spektrit näyttää? Raaka vs. kalibroitu (norm 5500 Å:n kohdalla)
- Auringonkaltainen tähti kalibroitina
- S/N määritettävä punaisen pään mukaan



# SPEKTROMETRIA

- Bus-DeMeo –taksonomia
  - C-luokka (primitiiviset hiiliyhdisteet)
  - S-luokka (silikaatit)
  - X-luokka (metallit ja muut)
- Avaruusrapautuminen -> punertuminen

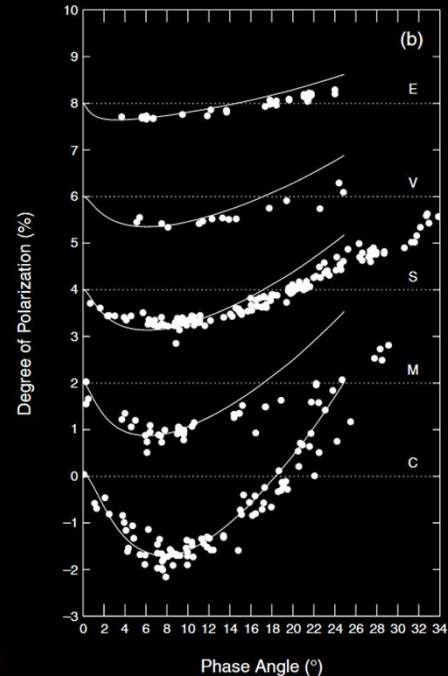


# POLARIMETRIA

- Se, että valo on polarisoitunutta, tarkoittaa, että se on heijastunut jostain – kuten asteroidien tapauksessa
- Polarisaatioerot ovat pieniä – korkea S/N –suhde tarpeen
- Positiivinen polarisaatio – sirontatasoon nähden kohtisuorat aallot dominoivat
- Negatiivinen polarisaatio -- sirontatasoon nähden samansuuntaiset aallot dominoivat

# POLARIMETRIA

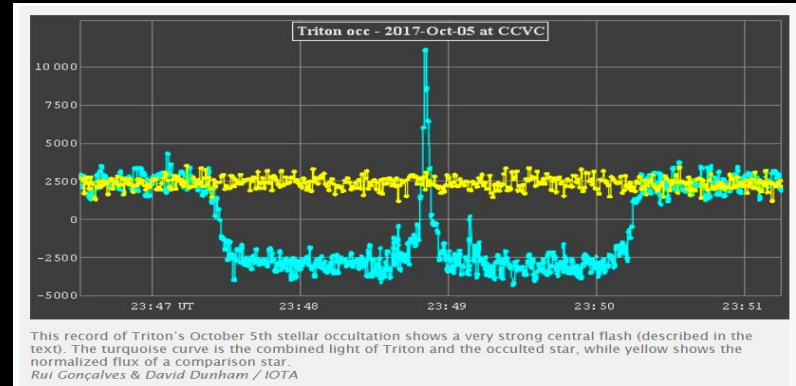
- Asteroideilla pienillä vaihekulmilla negatiivinen polarisaatio – koherentti takaisinsironta
- Nollataso ja minimi korreloivat spektriluokan kanssa
- Helpompi erottaa luokkia korkeimmilla vaihekulmilla



Muinonen et al. (2002)

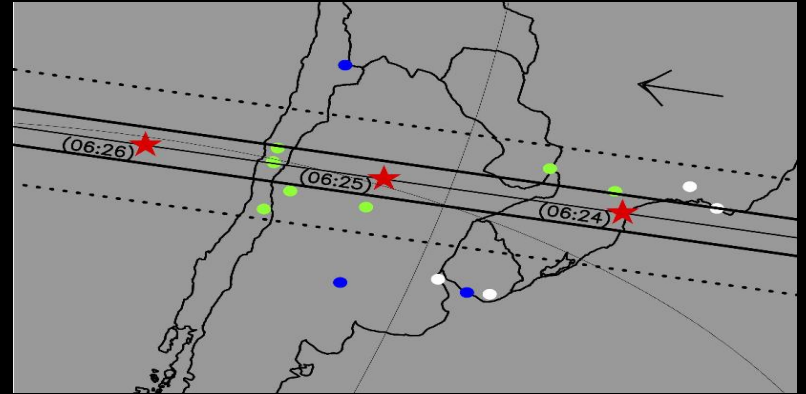
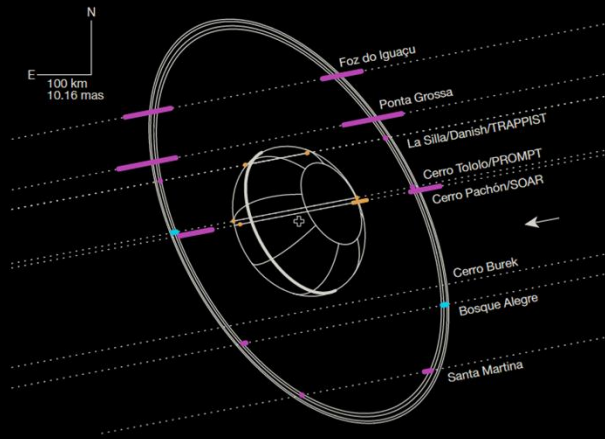
# OKKULTAATIOHAVAINNOT

- Tähtenpeitto asteroidin avulla
- Asteroidi on himmeämpi kuin tähti: soveltuu myös pienille teleskoopeille
- Keskivälähdys: linssi ilmakehällisille kohteille (tässä esim. Neptunuksen kuu Triton)
- Erittäin tarkkaa astrometriaa
- Voi tehdä myös radiokohteille





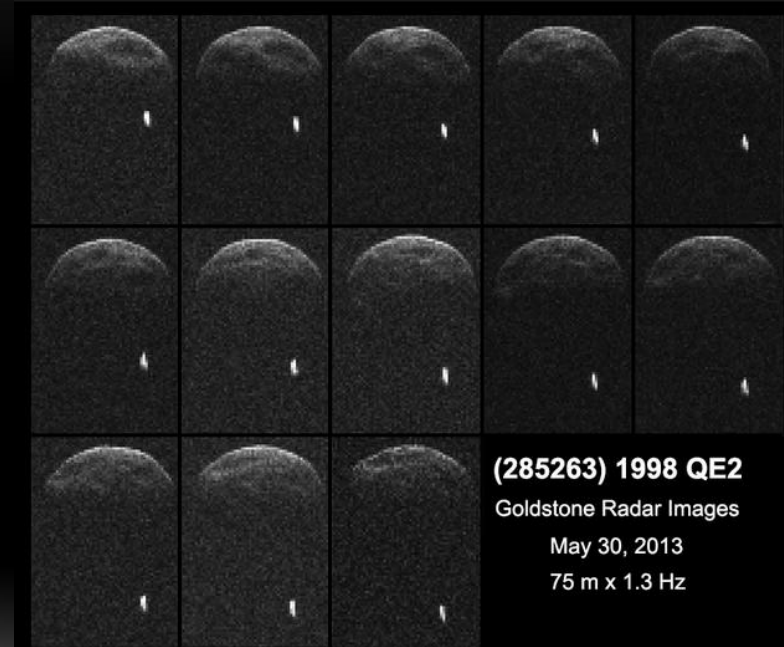
# OKKULTAATIOHAVAINNOT



Braga-Ribas et al.(2014)

# TUTKAHAVAINNOT

- Erittäin tarkkaa astrometriaa
- Pyörimisperiodi Doppler-ilmiön avulla
- Muotomallit ja binäärien todentaminen
  
- Signaali suhteessa  $r^4$ :een, eli vain läheisille kohteille
- Vain kaksi teleskooppia (Arecibo ja Goldstone; myös Jevpatoria ja FAST ehkä)
- Epäjärjestyttä aallonpituuskaalalla
- Pinnan kovuus ja tekstuuri desimetri-skaalalla



(NASA/JPL-Caltech/GSSR)

# MITÄ ASTEROIDIHAVAINNOISTA OPITAAN?

- Radat
  - astrometria, tutka, okkultaatiot
- Törmäysseuranta
- Koostumus = n. tiheys = n. aineen rakenne
  - spektrometria, polametria
- Huokoisuus
  - polarimetria, tutka, pyörimisperiodi
- Massa
  - astrometria, lähiohitukset
- Tilavuus
  - fotometria, muotomallit;
  - infrapuna -- läpimitta

# TILASTOLLINEN KÄSITTELY

- Edellä on mainittu havaintokeinoja yksittäisille kohteille
- Yhdistämällä dataa monesta asteroidista aletaan nähdä populaatioiden lainalaisuuksia, mm.
  - Kirkwoodin aukot
  - Asteroidiperheet
  - Pyörimisnopeuden yläraja
- Kytkeytyy aurinkokunnan kehityshistoriaan
- Asiasta enemmän "Aurinkokunnan pienkappaleet" -kurssilla

# TYÖKALUT

- Minor Planet Center
  - NASA JPL Horizons
  - Efemeridy Malyh Planet
  - astorb.dat ja Planetary Data System
  - OpenOrb
  - Lowellin observatorion työkaluja
  - NOTin työkaluja
-

# MITÄ TÄYTYY MIETTIÄ HAVAINTOJA VARTEN?

- Liikkeellä hyvissä ajoin
  - Mitä ja miksi halutaan havaita?
  - Minkäkokoinen teleskooppi?
  - Mikä instrumentti?
  - Tekniset rajoitteet
  - Varakohteet
-

# DEMO

- (3200) Phaethon lokakuun 2018 alussa

# KIRJALLISUUTTA

- Asteroids III (W. F. Bottke jr, A. Cellino, P. Paolicchi & R. P. Binzel, eds) 2002.
  - Spektrometria: Bus, Vilas, Barucci
  - Foto- ja polarimetria: Muinonen, Piironen, Shkuratov, Ovcharenko, Clark
  - Valokäyrät: Kaasalainen, Mottonen, Fulchignoni
- Asteroids IV (P. Michel, F. DeMeo & W. F. Bottke jr, eds) 2015.
  - YORP: Vokrouhlický, Bottke, Chesley, Scheeres, Statler