

A large, bright orange-yellow star with a smaller black circle to its left, set against a dark starry background.

EKSOPLANEETAT

Ursa 2015
Petri Kehusmaa
<http://www.kehusmaa-astro.com>

Sisältö

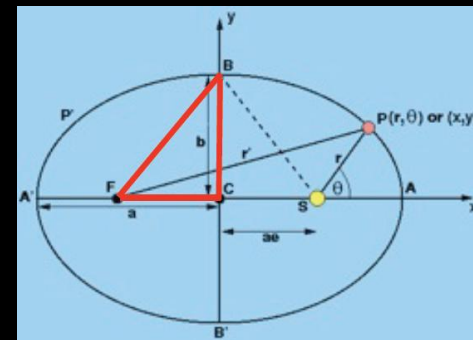
- Historiaa
- Taustaa eksoplaneetoista
- Eksojen havaintomenetelmät
- Tuloksia
- KELT-ryhmän esittely
- Eksoplaneettojen metsästys

Tähtiharrastus-CV

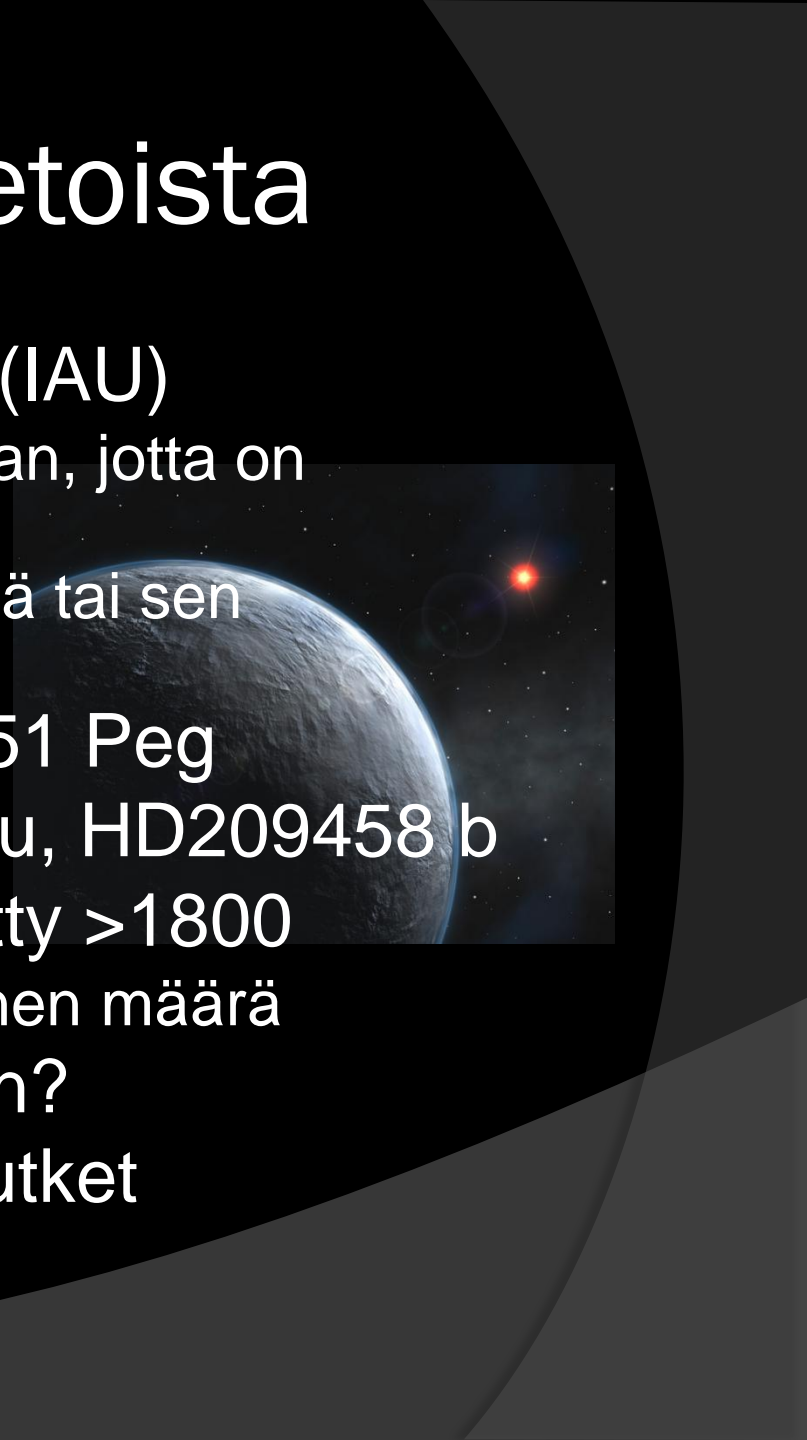
- Tähtiharrastusta vuodesta 1977
- Lahden Ursa
- Ensimmäinen kaukoputki v2000
- Oma observatorio v2007-2013
- Ensimmäinen supernovalöytö v2008
- Ursan Stella Arcti v2009
- YLEn 'Tutkittu juttu' sekä 'Puoli seitsemän'
- SON-eksoplaneettaryhmä v2011->
- KELT-eksoplaneettaryhmä v2013->
- Mukana useissa tiedejulkaisuissa
- Observatoriot käytössä Chilessä ja USA:ssa

Historiaa

- ⊙ Kopernikus (1473-1543)
 - Aurinkokeskeinen aurinkokuntamalli
- ⊙ Brahe (1546-1601)
 - Hybridimalli
 - Mars-havaintoja yli 16 vuotta
- ⊙ Kepler (1571-1630)
 - 1.,2. ja 3. laki
 - Planeettojen radat
- ⊙ Newton (1642-1727)
 - Painovoima



Taustaa eksoplaneetoista

- ⊙ Eksoplaneetan määritelmä (IAU)
 - Oma tarpeeksi suuren massan, jotta on muodoltaan 'pyöreä'
 - Enintään 13M_J ja kiertää tähteä tai sen jäännöstä
 - ⊙ v1995 ensimmäinen löytö, 51 Peg
 - ⊙ V1999 ensimmäinen ylikulku, HD209458 b
 - ⊙ Nykyään (14.2.2015) löydetty >1800
 - Kandidaatteja n. kolminkertainen määrä
 - ⊙ Miksi näitä etsitään/tutkitaan?
 - ⊙ Tulevat satelliitit sekä jättiputket
- 
- A composite image showing a large, dark, cratered planet (resembling the Moon) in the foreground on the right. In the background, a bright red star is visible against a dark, starry sky.

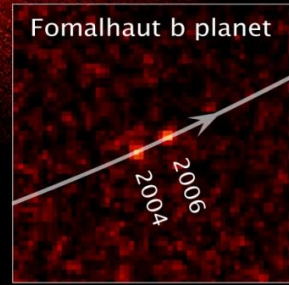
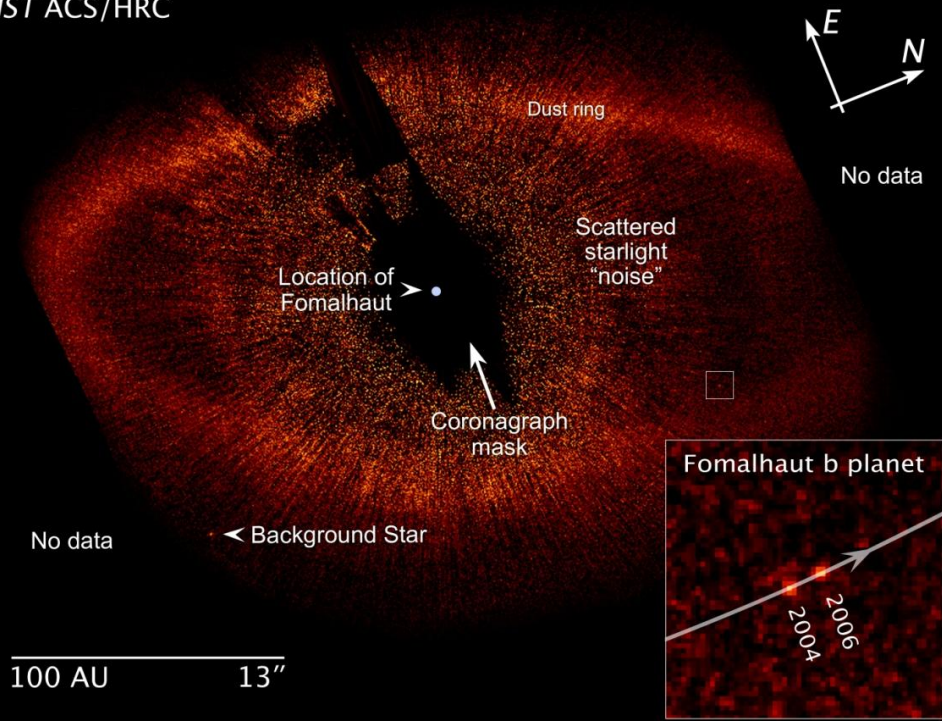
Havaintomenetelmät

- ◎ Suoraan kuvaaminen (direct imaging)
- ◎ Astrometria (astrometry)
- ◎ Mikrolinssi (microlensing)
- ◎ **Tähden nopeus (radial velocity)**
- ◎ **Ylikulun havaitseminen (transit)**

Suoraan kuvaaminen

- Vaatii suuren kaukoputken ja koronagrafin

Fomalhaut
HST ACS/HRC

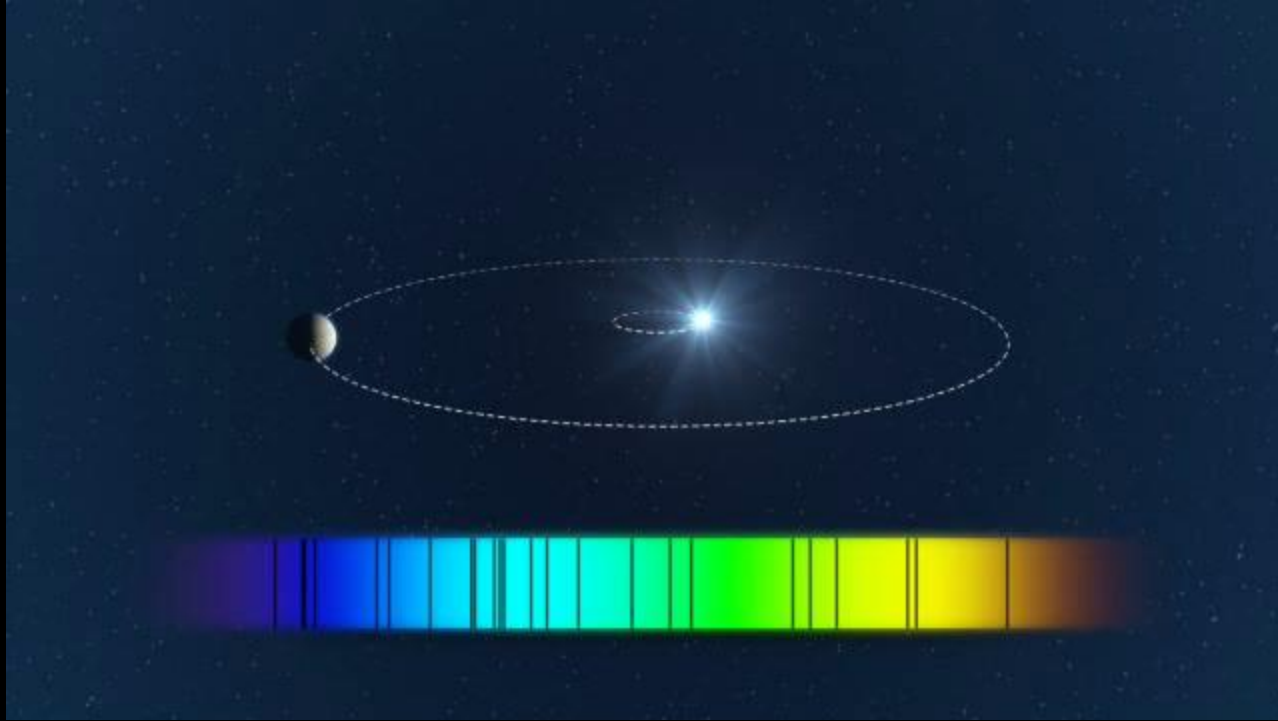


Astrometria

- Perustuu tähden liikkeeseen massakeskipisteen (barycenter) ympärillä (Doppler-ilmiö)
- ESan Gaia-satelliitti -> mittatarkkuus 10 microarcsec



Tähten nopeus (radial velocity)



Tähtien nopeus (radial velocity)



● Perustuu Doppler-ilmiöön

- Aallonpituus kasvaa, kun kohde loittonee
- Aallonpituus pienenee, kun kohde lähenee

● Tarvitaan tarkka spektrografi

- Mitataan tähden spektriä
- Esim. ESO:n HARPS mittaustarkkuus on n. 1 m/s (3,6m teleskoopissa)
- Spektrin absorptioviivat siirtyvät nanometrejä siniseen (lähenee) tai punaiseen (loittonee)

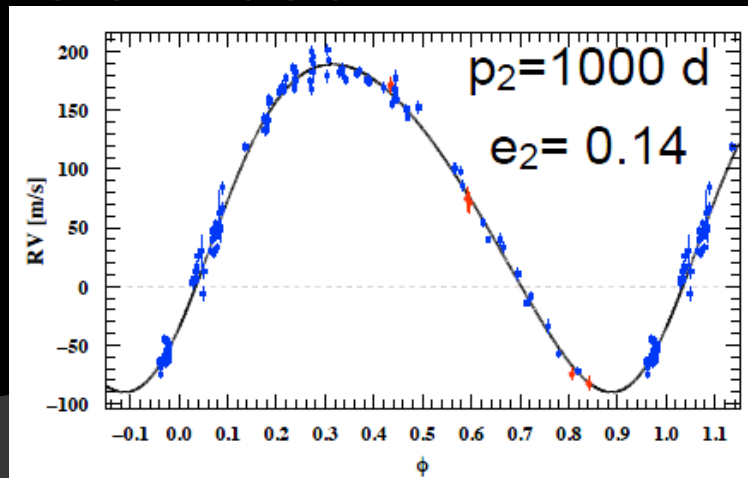
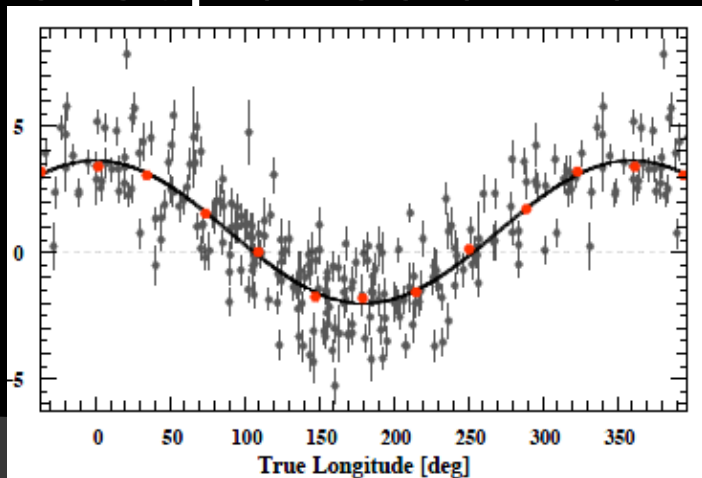
Tähden nopeus (radial velocity)

- Mahdollista löytää lyhytperiodiset ja massiiviset planeetat

Jupiter	@ 1 AU	: 28.4 m s ⁻¹
Jupiter	@ 5 AU	: 12.7 m s ⁻¹
Neptune	@ 0.1 AU	: 4.8 m s ⁻¹
Neptune	@ 1 AU	: 1.5 m s ⁻¹
Super-Earth (5 M _⊕)	@ 0.1 AU	: 1.4 m s ⁻¹
Super-Earth (5 M _⊕)	@ 1 AU	: 0.45 m s ⁻¹
Earth	@ 1 AU	: 0.09 m s ⁻¹

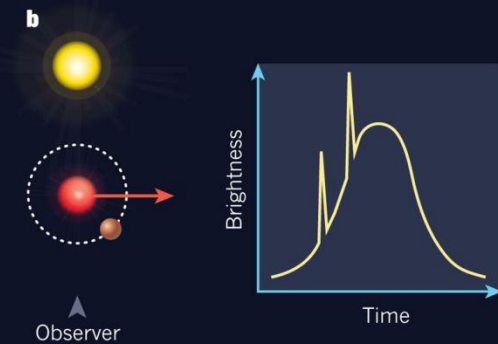
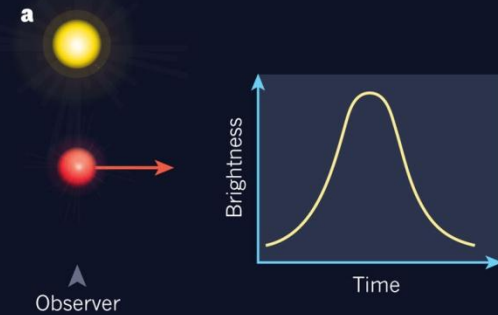
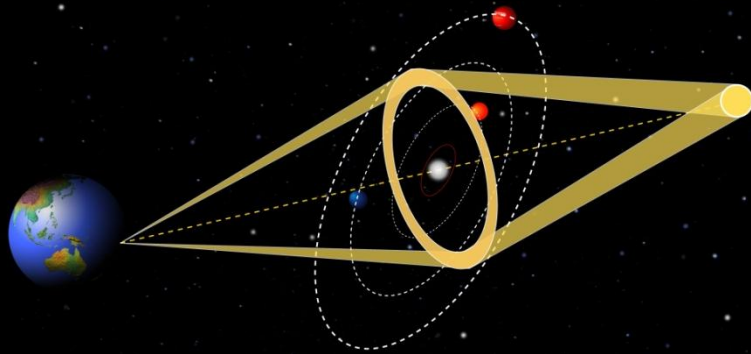
Tähden nopeus (radial velocity)

- ☉ Tähtien etäisyys ei ole ongelma kunhan vain saadaan tarpeeksi fotoneja
- ☉ Havainnoista voidaan laskea planeetan minimimassa (Keplerin 3. laki)!
- ☉ Menetelmää käytetään aina uuden eksoplaneetan varmistamiseen



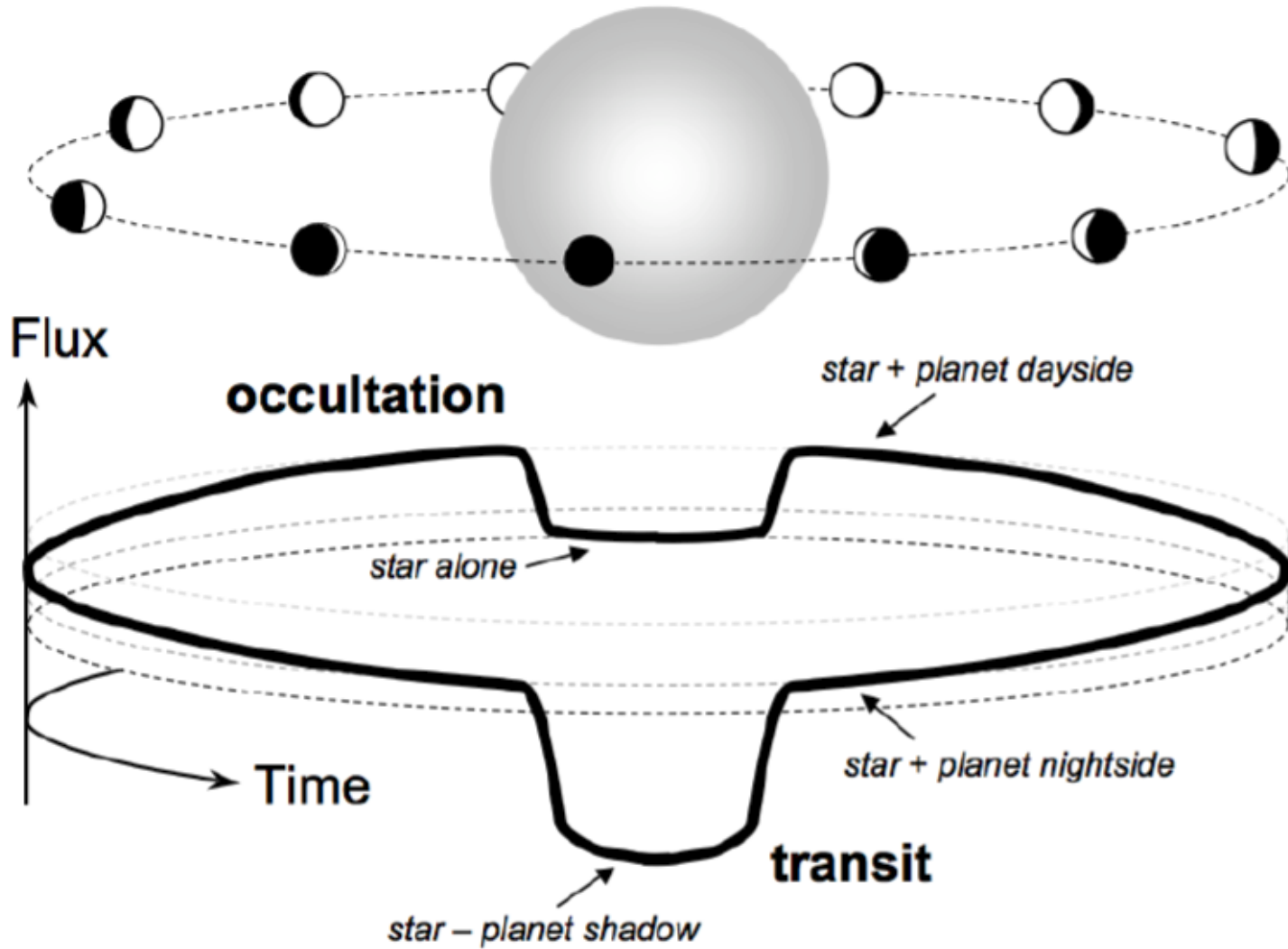
Mikrolinssi (microlensing)

- OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) vuodesta 1992->



Ylikulku-video

Ylikulku (transit)



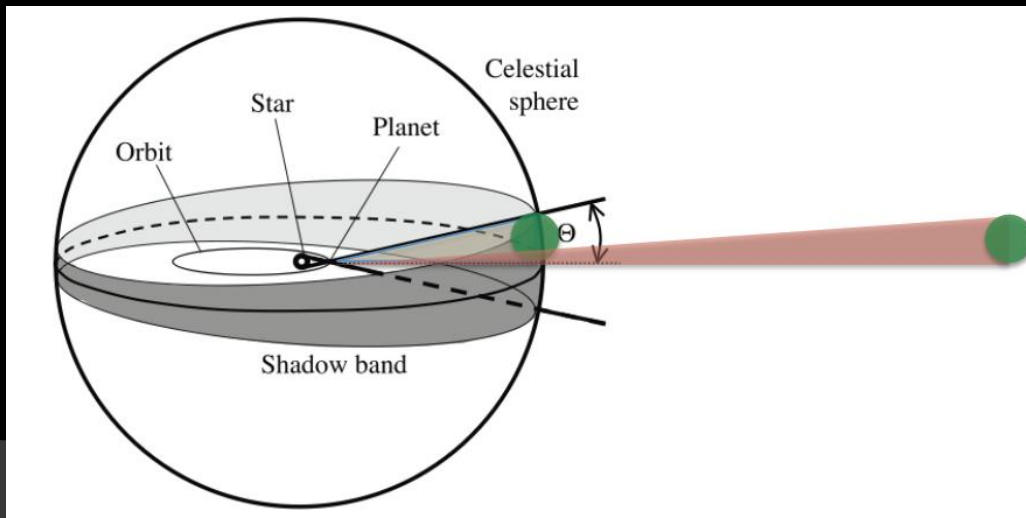
Ylikulku

- Eniten löydettyjä eksoja tällä menetelmällä
- Kepler-teleskooppi
- WASP, KELT jne.
- 'Hot Jupiters' yleisimpiä -> 'kummajaiset'
- Todennäköisyys havaita:
 - Maankaltainen planeetta 1AU -> 0,5% (1:2000)
 - Hot Jupiter 1/20AU -> 10% (1:10)
- Harrastajan mahdollisuus

$$p_{\text{tra}} = \left(\frac{R_{\star} \pm R_p}{a} \right) \left(\frac{1 + e \sin \omega}{1 - e^2} \right),$$
$$p_{\text{occ}} = \left(\frac{R_{\star} \pm R_p}{a} \right) \left(\frac{1 - e \sin \omega}{1 - e^2} \right),$$

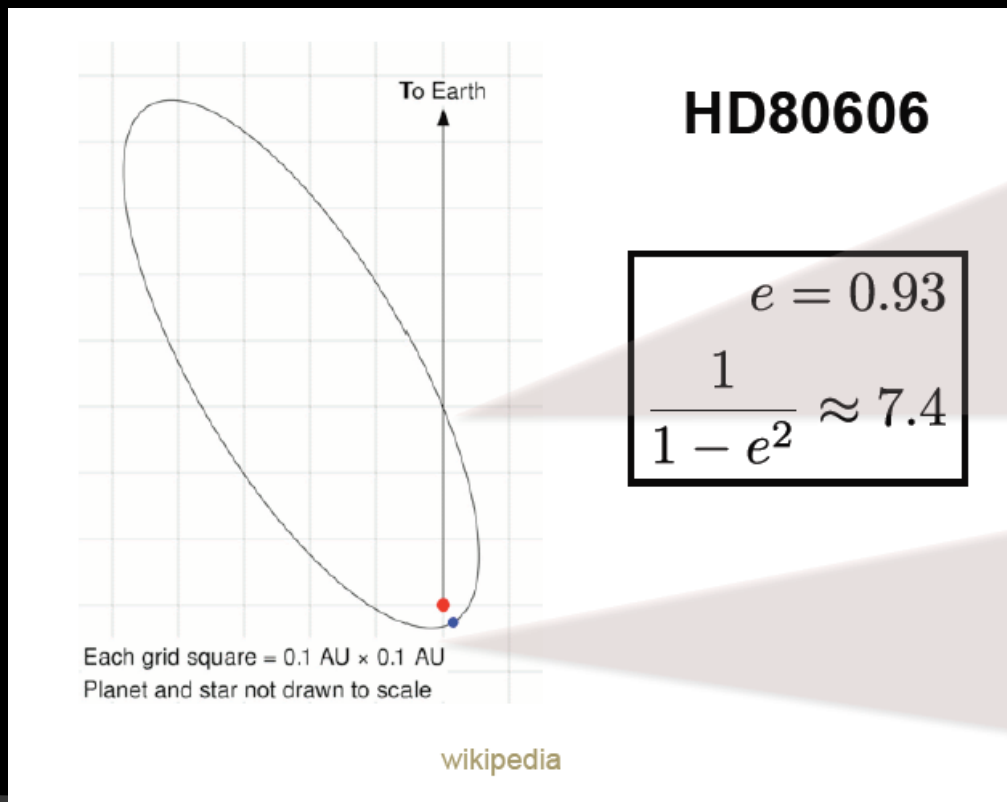
Ylikulku

- Planeetan etäisyys tähdestä vaikuttaa suuresti havaitsemistodennäköisyyteen -
> 'lähellä' tähteä kiertävä suuri planeetta 20 x todennäköisempi havaita
 - Periodi lyhyempi
 - Kulkee todennäköisemmin tähden editse



Ylikulku

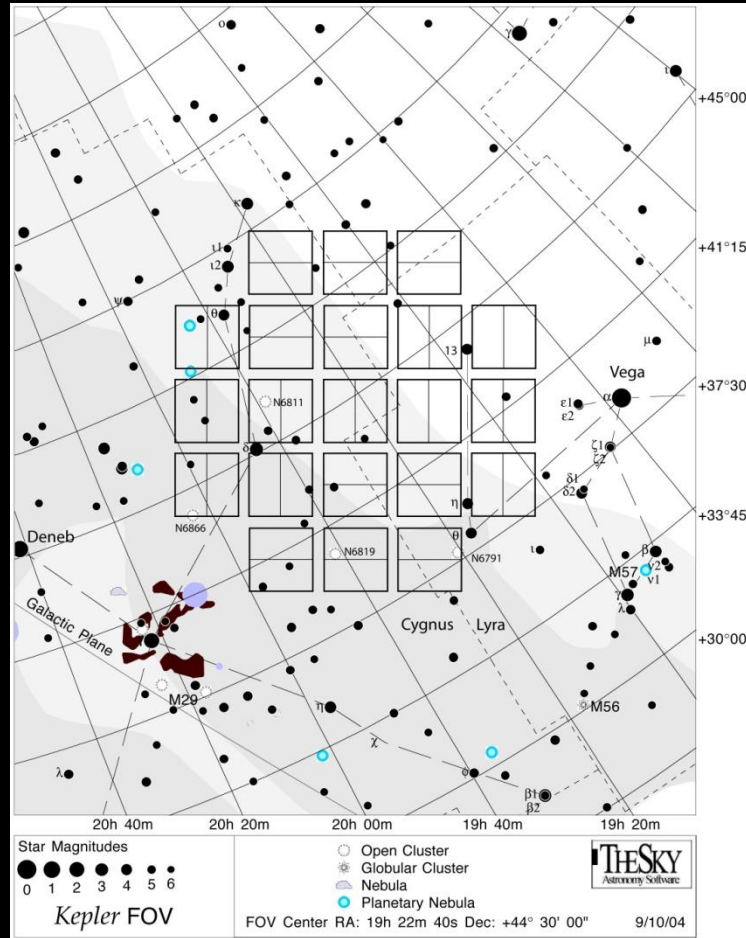
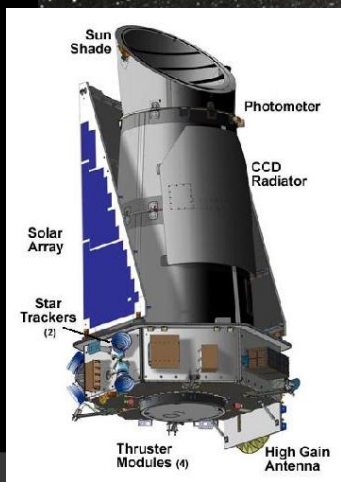
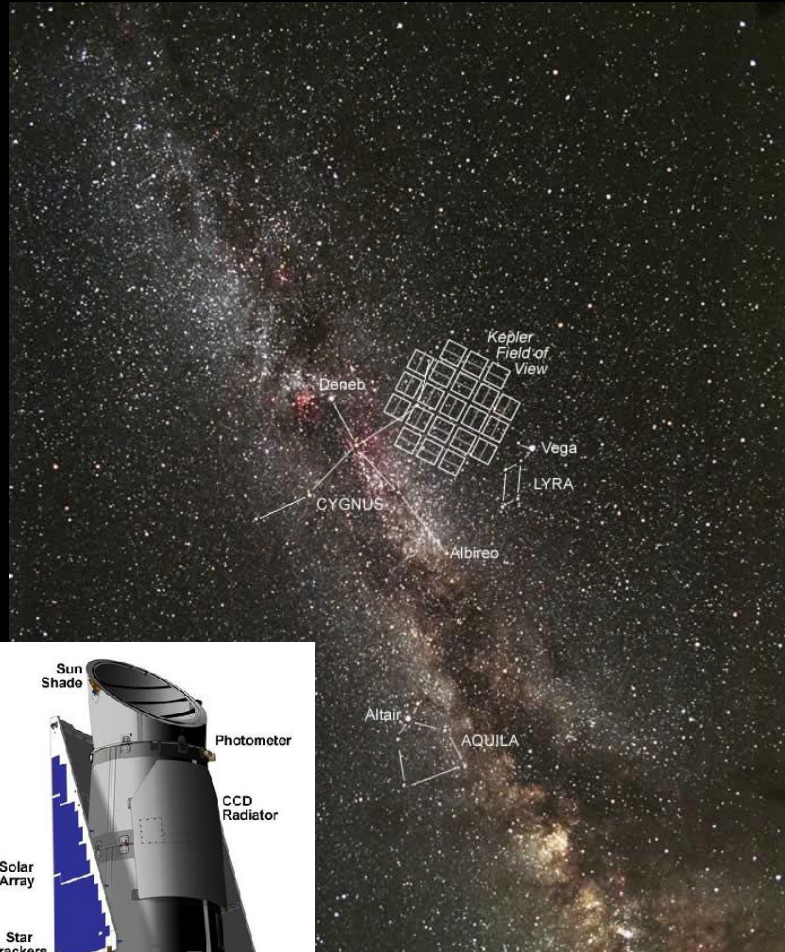
- Radan suuri eksentrisyys parantaa todennäköisyyttä havaita ylikulku



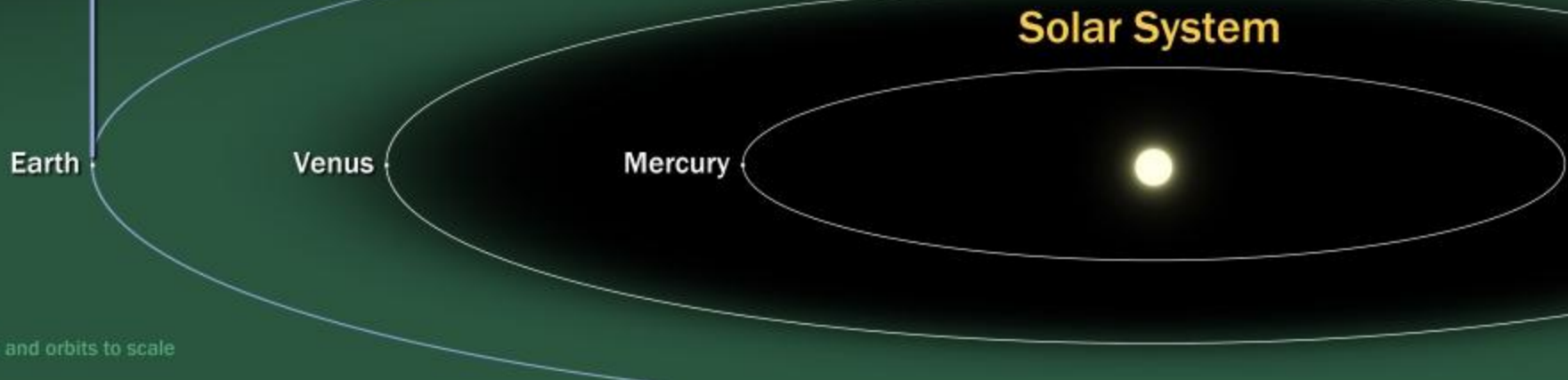
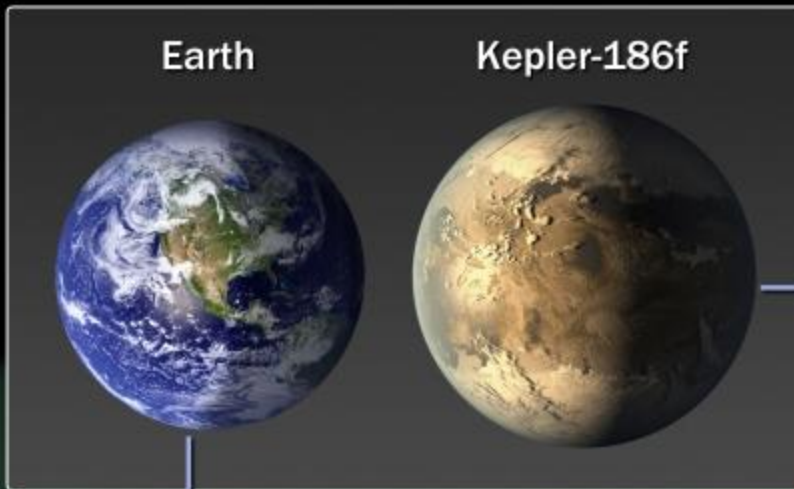
Kepler-teleskooppi

- 1013 löydettyä eksoplaneettaa
- 4175 kandidaattia
- 2165 pimennysmuuttujaa
- The Kepler is basically a Schmidt telescope design with a 0.95-meter aperture and a 105 square degree field-of-view (FOV). NASA

Kepler-teleskooppi



Kepler-teleskooppi



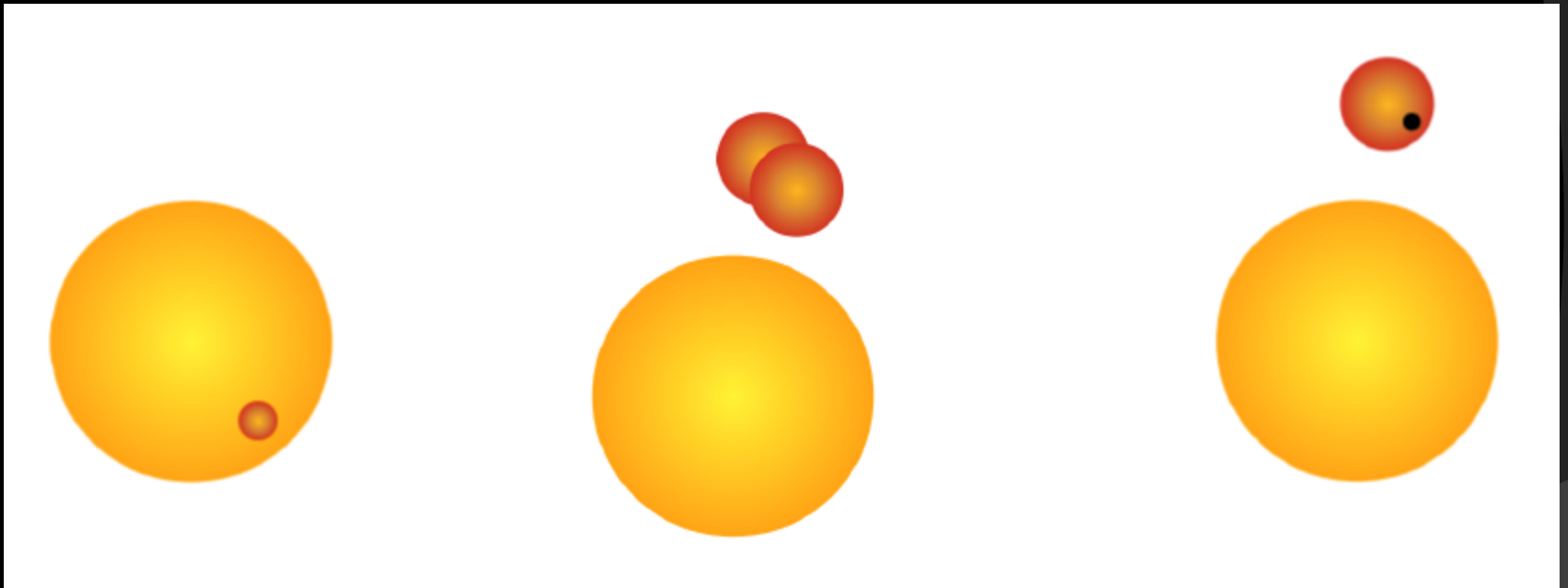
Ylikulku (pimennysmuuttuja)



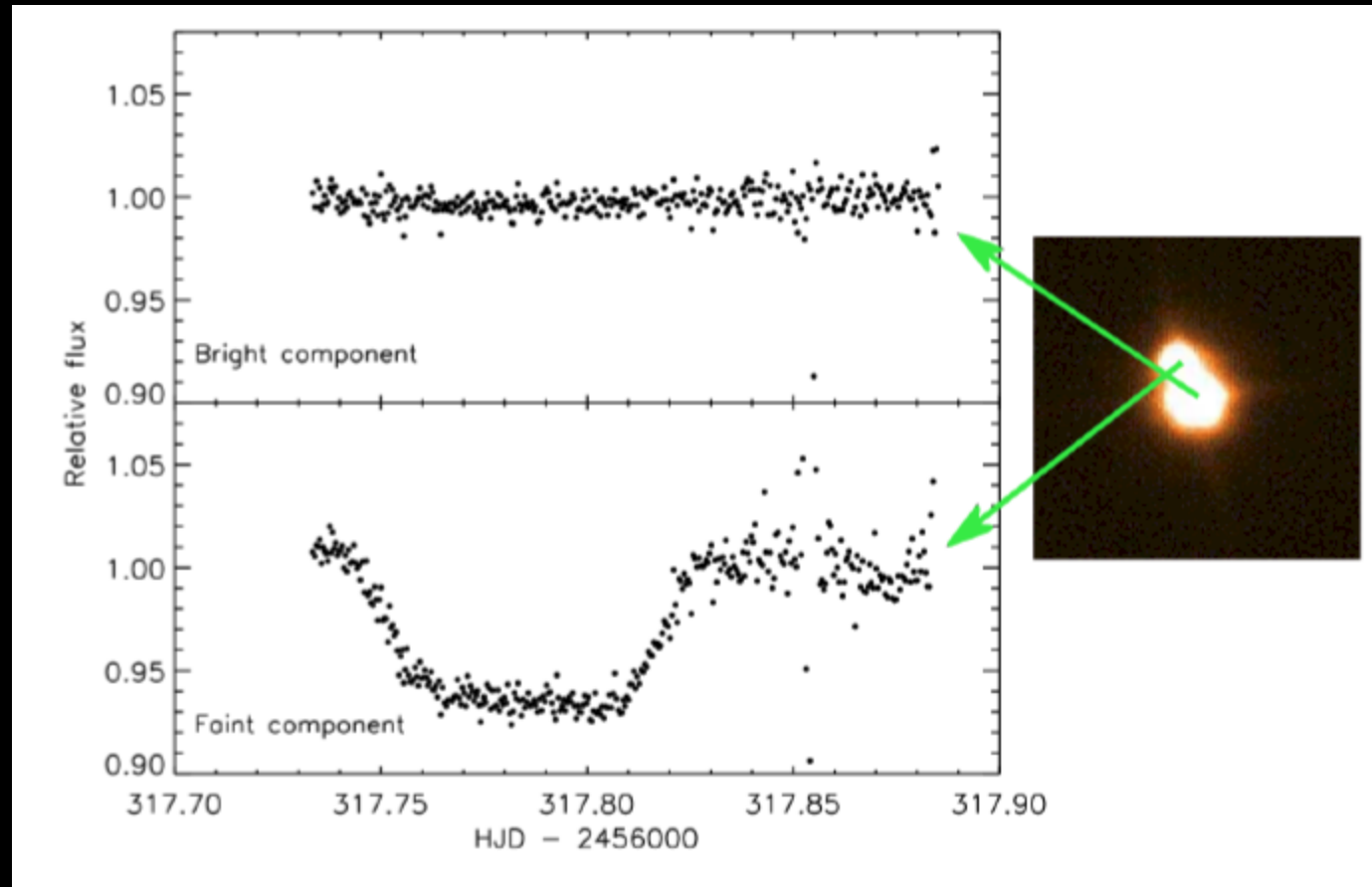
www.eso.org

Ylikulku

- ⦿ Väärä positiivinen havainto

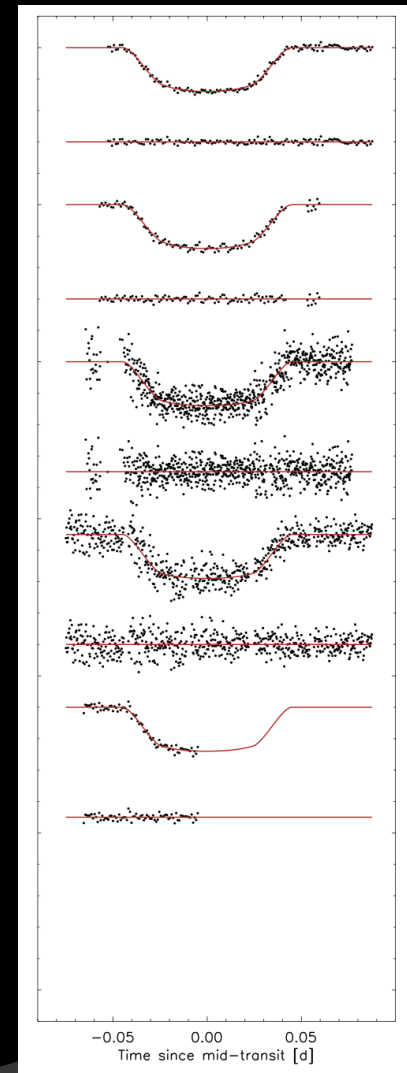
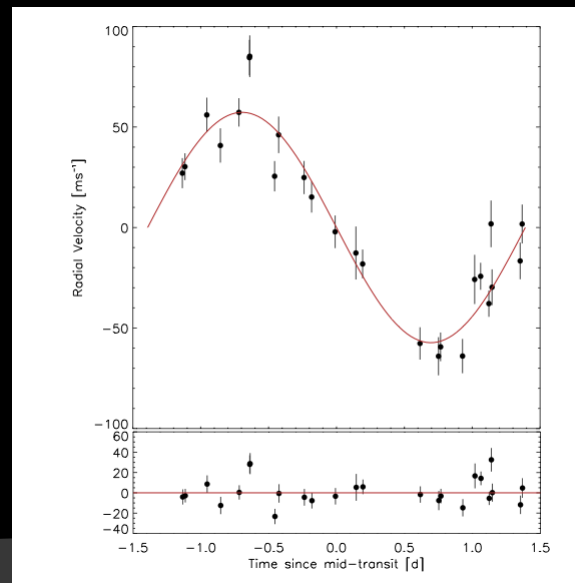
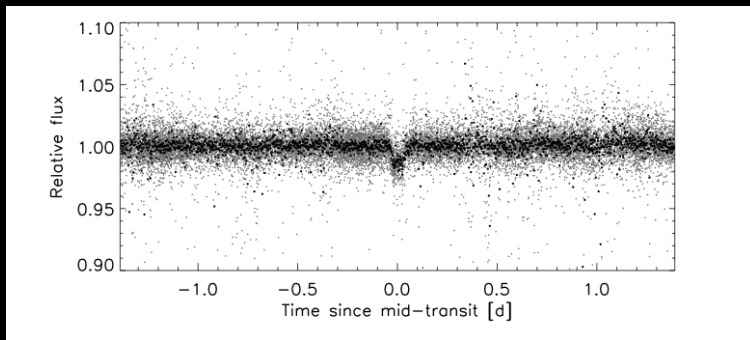


Ylikulku

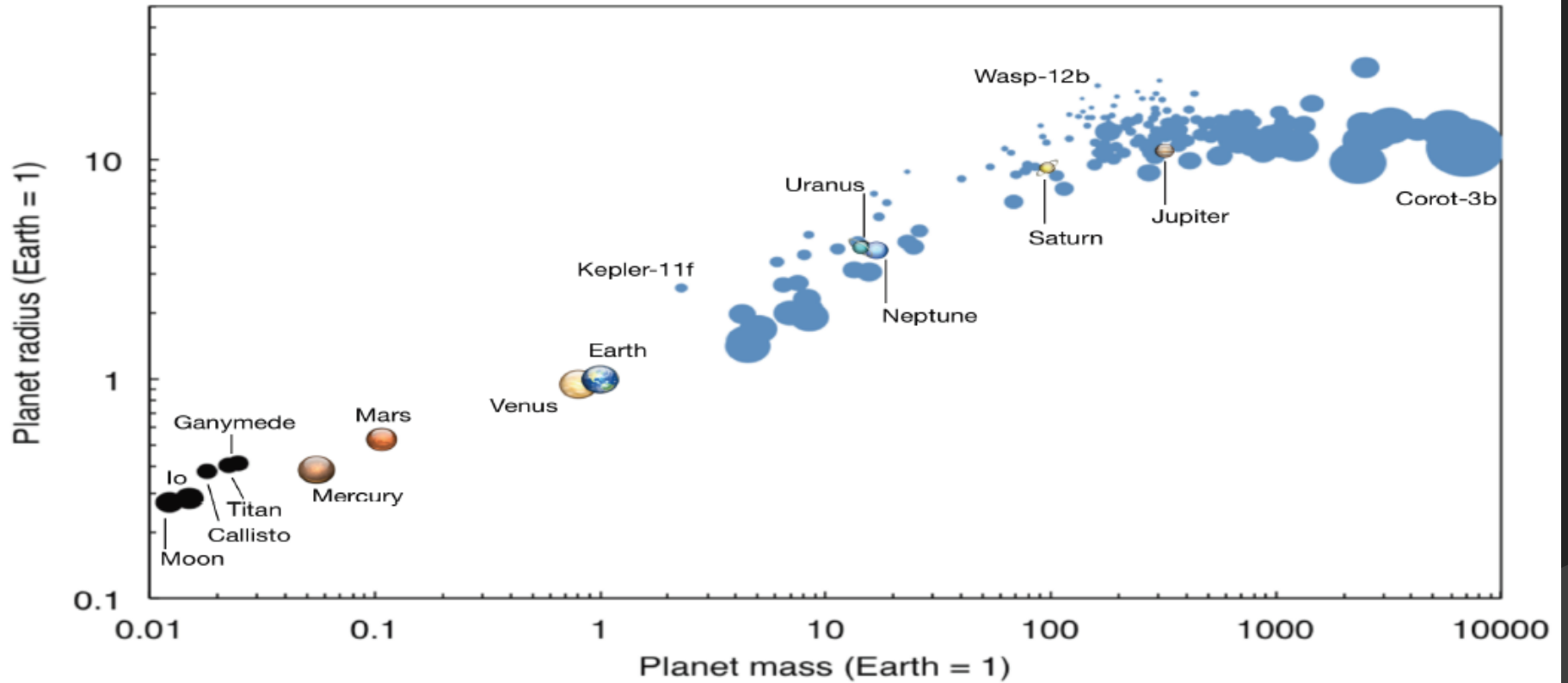


Ylikulku

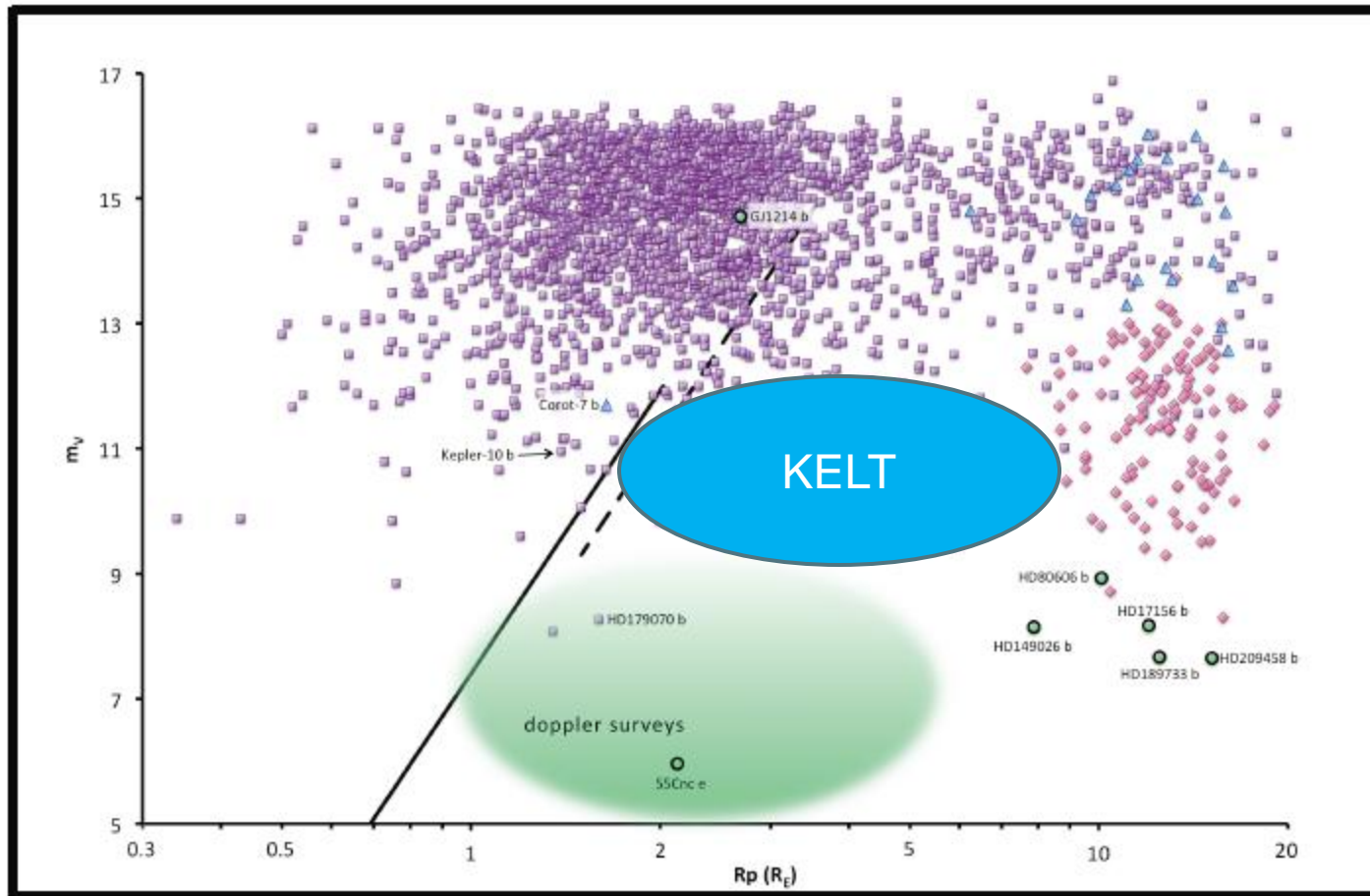
☉ Havainnon varmistaminen



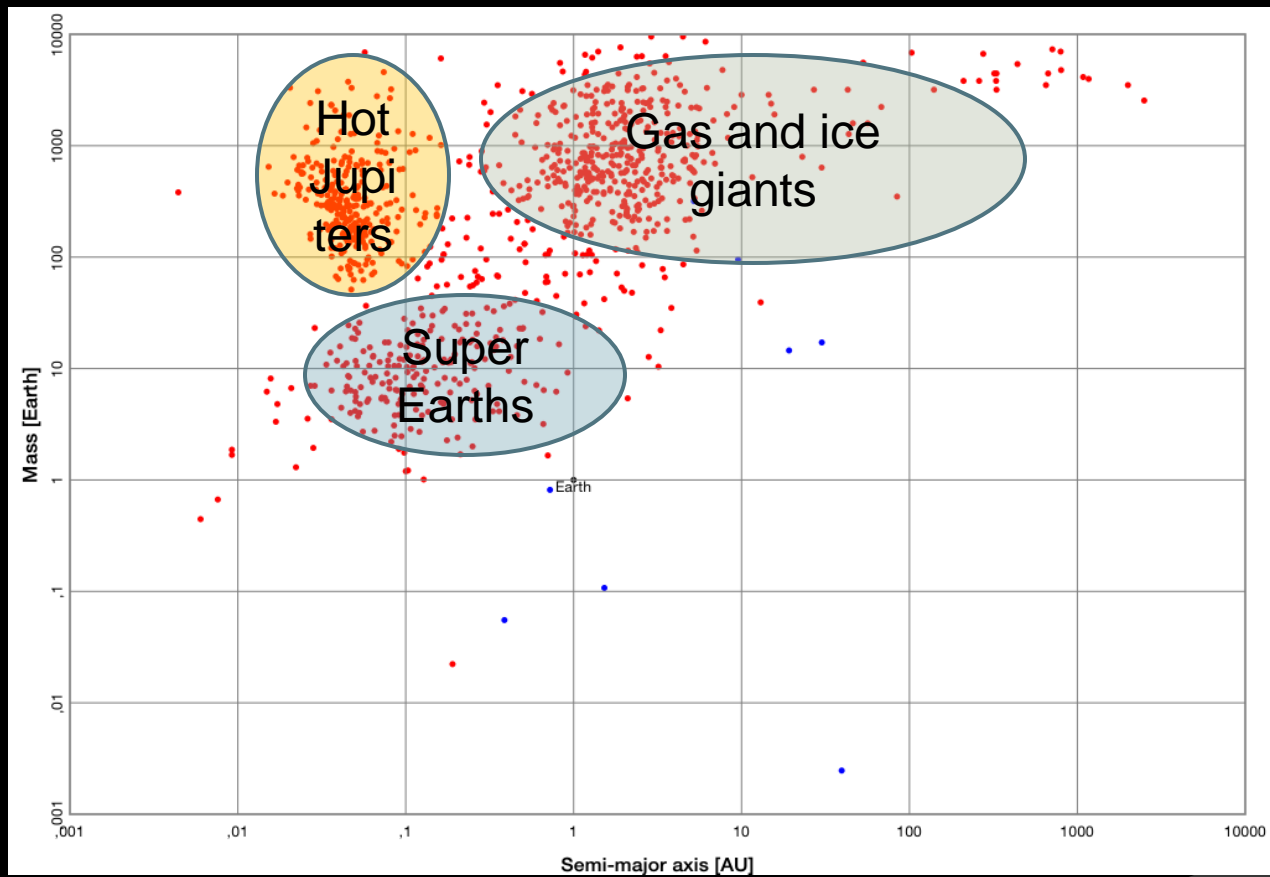
Tuloksia



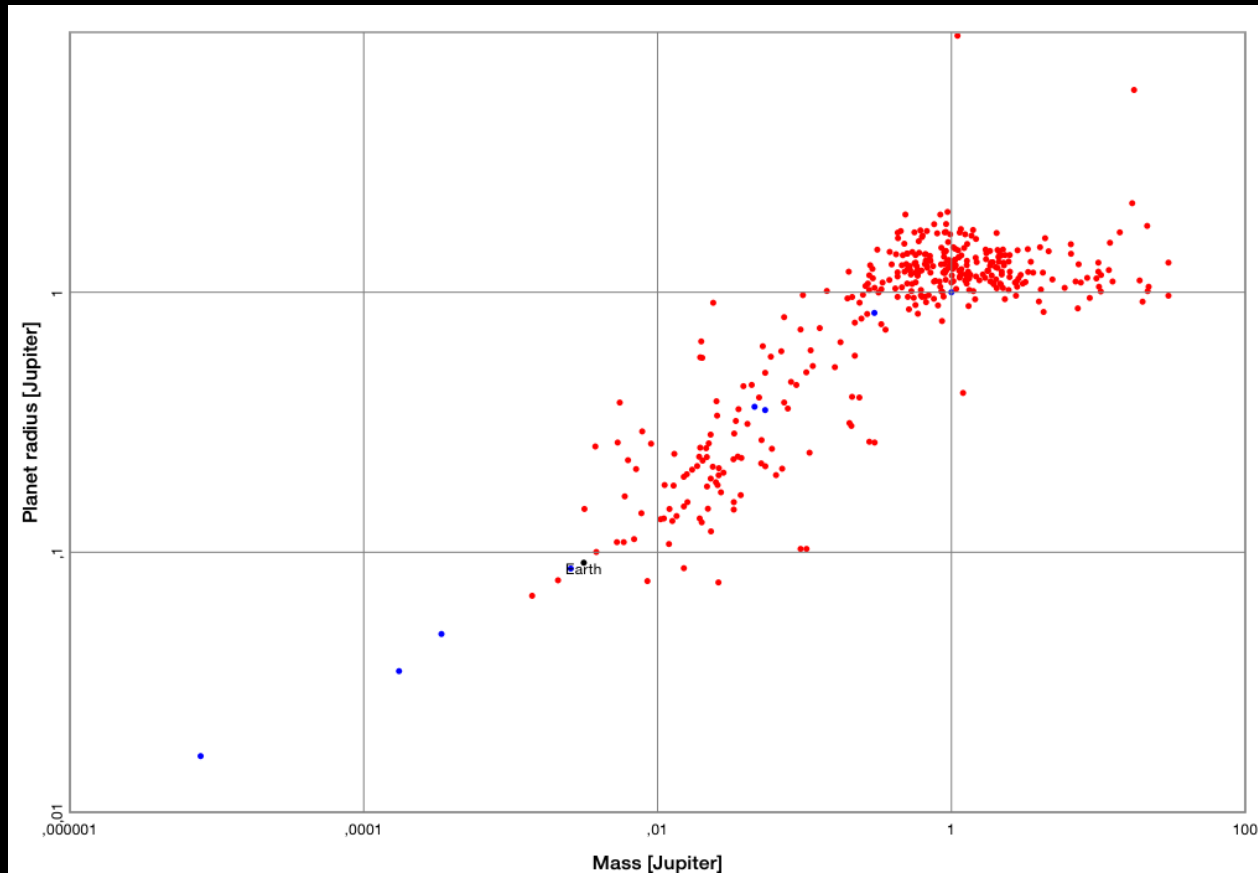
Tuloksia



Tuloksia

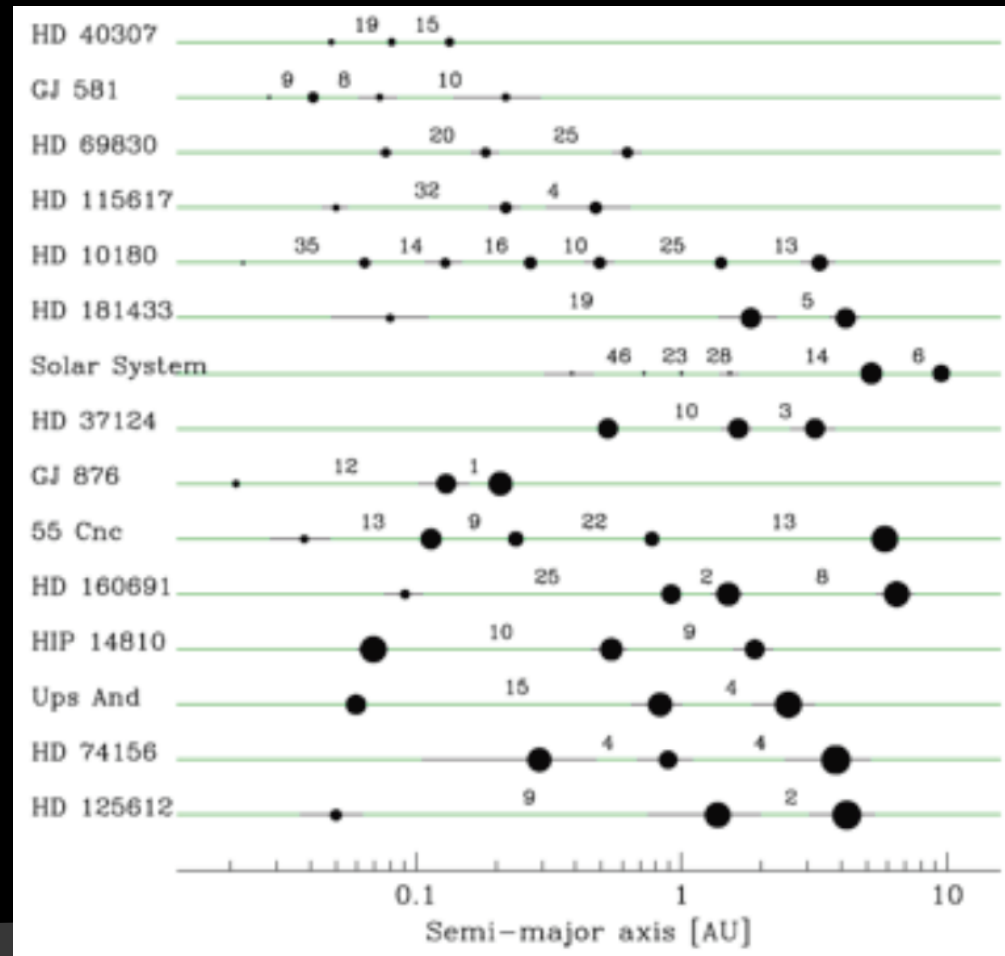


Tuloksia



Tuloksia

- Usean planeetan järjestelmät vaikeita mallintaa



Tuloksia (omat KELT-havainnot)

Find KELT Candidate Transits


This form calculates observability of our 315 current KELT transit candidates.

Observatory:

Choose an observatory, or choose "manual coordinate entry" at end of list:

Use UTC / Use observatory's local time.

Date window:

Base date for transit list (mm-dd-yyyy or 'today'): 

From that date, show transits for the next days.
(Also include transits from the previous days.)

Constraints:

Only show transits with an elevation (in degrees) of at least:

at ingress:
at egress: Combine constraints with AND OR.

Unspecified elevation constraints default to 0. Constraints are evaluated *at night*, i.e. to be shown as observable an event has to meet that elevation constraint during nighttime hours.

Ignore all elevation and day/night constraints; show all transits. Useful for space-based observing (but can generate *lots* of output if no target constraints specified).

Only show transits with a priority of at least .

Only show transits with a depth of at least millimag.

Only show targets with names matching this string:
(Not case sensitive; can be a Perl regular expression.)

Tuloksia (omat KELT-havainnot)

Upcoming events for the next 5 days from today; start/end given in timezone UTC.

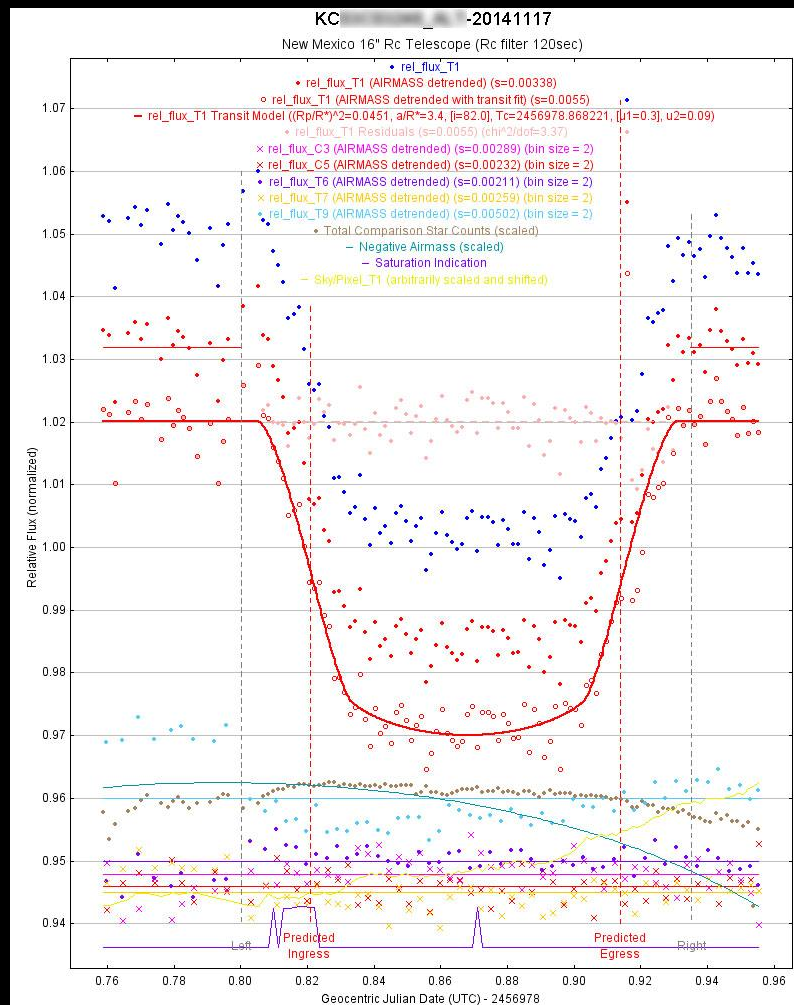
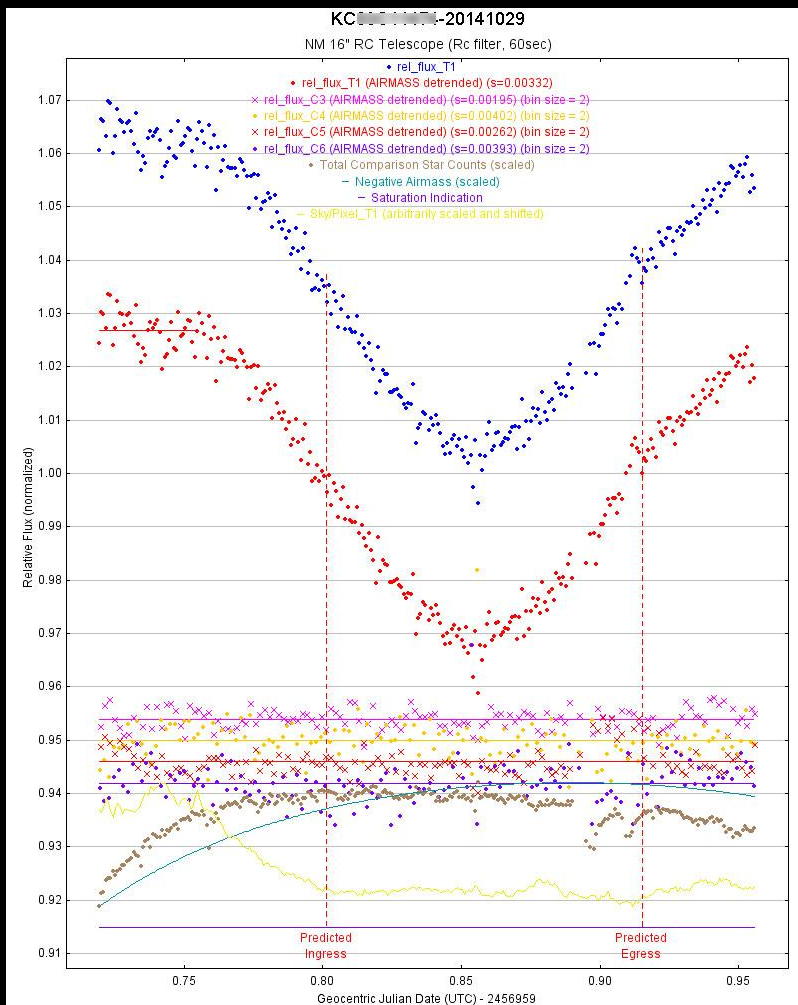
Night starts/ends at nautical twilight.

Results shown for San Pedro de Atacama, Chile latitude = -22.952722, longitude = -68.180194.

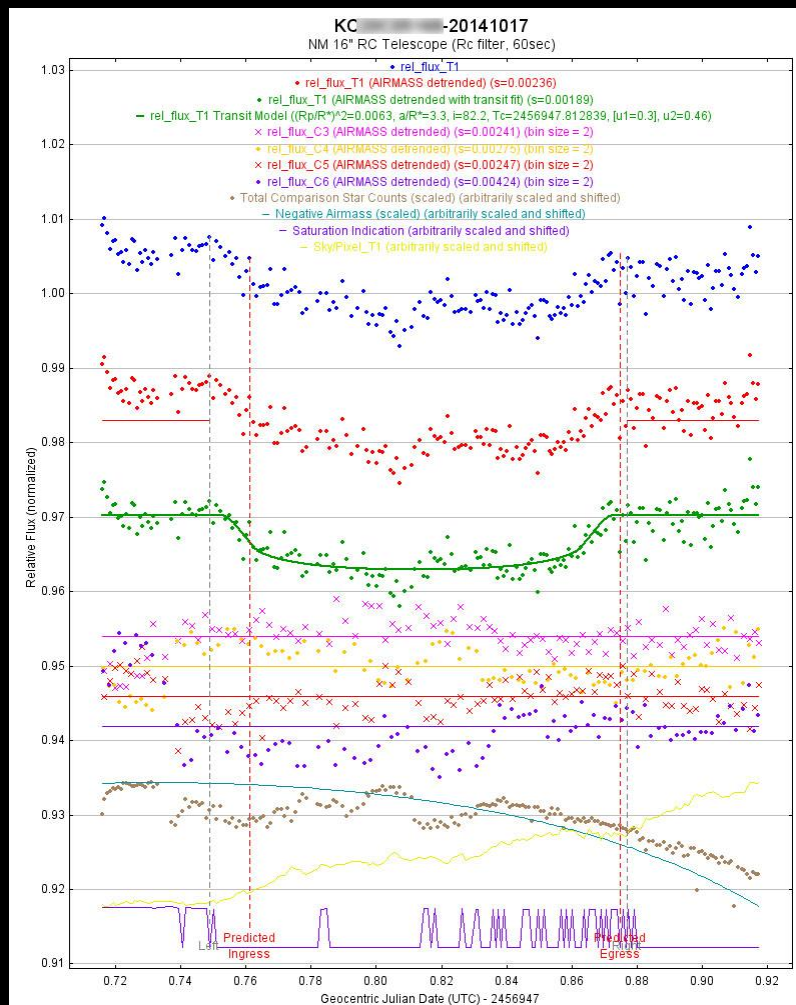
Colored text indicates a part of the transit that is during daylight or one at elevation less than 30 degrees.

Local evening date	Name	V mag	Start— Mid —End	Duration	BJDTDB start-mid-end	Elev. at start, mid, end	RA & Dec (J2000)	Period (days)	Depth (mmag)	Priority	Comments
	Finding charts: Annotated, SkyMap; Info: KELT page, Simbad, 2MASS; Airmass plot, ACP plan	11.97	19:14— 21:56 —00:38	5:25	7069.301 7069.414 7069.527	-3°, 18°, 44°		1.87	5.66	4	
	Finding charts: Annotated, SkyMap; Info: KELT page, Simbad, 2MASS; Airmass plot, ACP plan	10.66	22:03— 23:22 —00:41	2:38	7069.419 7069.474 7069.529	31°, 49°, 66°		1.13	9	50	Karen observed a partial egress on 2/8/15 in the i', confirming the event. Ivan observed this on 2/12/15 in the Rc band and saw a ~9 mmag v-shaped eclipse. Try to get a full observation on the next observation. At T= 6500K and a 9 mmag depth, this would be a 1.17Rj companion.
	Finding charts: Annotated, SkyMap; Info: KELT page, Simbad, 2MASS; Airmass plot, ACP plan	10.63	21:32— 23:46 —02:00	4:29	7069.397 7069.491 7069.584	19°, 43°, 65°		2.37	5.73	6	Possible blend to the east.
	Finding charts: Annotated, SkyMap; Info: KELT page, Simbad, 2MASS; Airmass plot, ACP plan	11.68	22:02— 00:00 —01:58	3:56	7069.418 7069.501 7069.583	46°, 55°, 52°		4.46	21.8	6	Try to resolve the nearby neighbor
	Finding charts: Annotated, SkyMap; Info: KELT page, Simbad, 2MASS; Airmass plot, ACP plan	10.28	23:19— 00:12 —01:05	1:46	7069.472 7069.508 7069.545	44°, 46°, 44°		1.33	10.1	0	Observed by Phil and Karen 11/14/13 in V, I, and i'. V-shaped but with a flat bottom. The V transit is ~10mmag, the I and i' are ~15 mmag. This is okay for a high impact parameter transit. Fast rotator, vsini=160km/s. Observed 12/02/13 by Roberto and 01/02/14 by BJ, who got seemingly consistent results but with high scatter. Preferably, we would like a good, complete, transit in a red band as another depth check. Valerio, R, 10/01/14 caught full transit consistent with ~15mmag depth and V shape., but it arrived ~25 minutes early. Petri, Rc, 10/03/14 caught full transit and saw a ~15mmag depth, but Tc came earlier than predicted and transit looks asymmetrical. Allyson, i, 10/03/14 saw a ~16mmag event that's also somewhat asymmetrical. Valerio, B, 10/09/14 saw a ~15mmag event that came ~15min early. Karen, 10/27/14, saw a 14mmag depth in g' and 16mmag in i', both V-shaped. Allyson, 10/24/14 saw ~10mmag in V and ~13mmag in i. Karen, 01/11/15 saw a 15mmag transit in i' and ~14mmag in g', with transit starting ~15min early. Ephemeris updated to match. This could be a high-b transit.

Tuloksia (omat KELT-havainnot)



Tuloksia (omat KELT-havainnot)

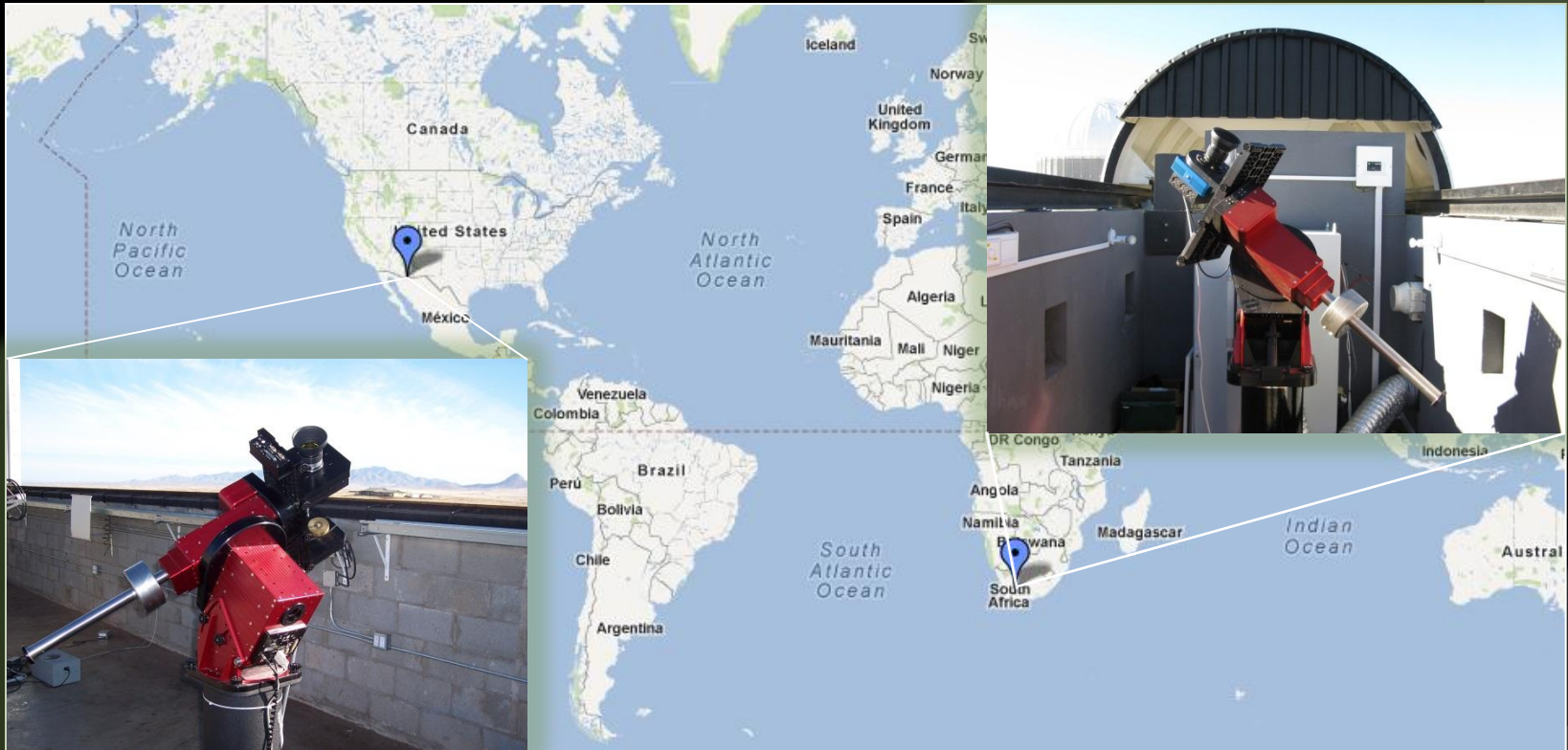


Tulevaisuuden näkymiä

- ◎ Havaintomenetelmien kehittäminen
- ◎ Havaintolaitteiden kehittäminen
- ◎ 'Outojen' järjestelmien ominaisuudet
 - Rataelementit
 - Sisäinen rakenne
 - Ilmakehä
- ◎ Teorioiden tarkentuminen
- ◎ Maan kaltaisen planeetan löytäminen

KELT

KELT: The Kilodegree Extremely Little Telescope



Robotic Survey for Transiting Exoplanets

KELT-North

Deployed 2005 to Winer Observatory, AZ

Operated by Lehigh, Ohio State and Vanderbilt

KELT-South

Deployed 2009 to Sutherland, South Africa

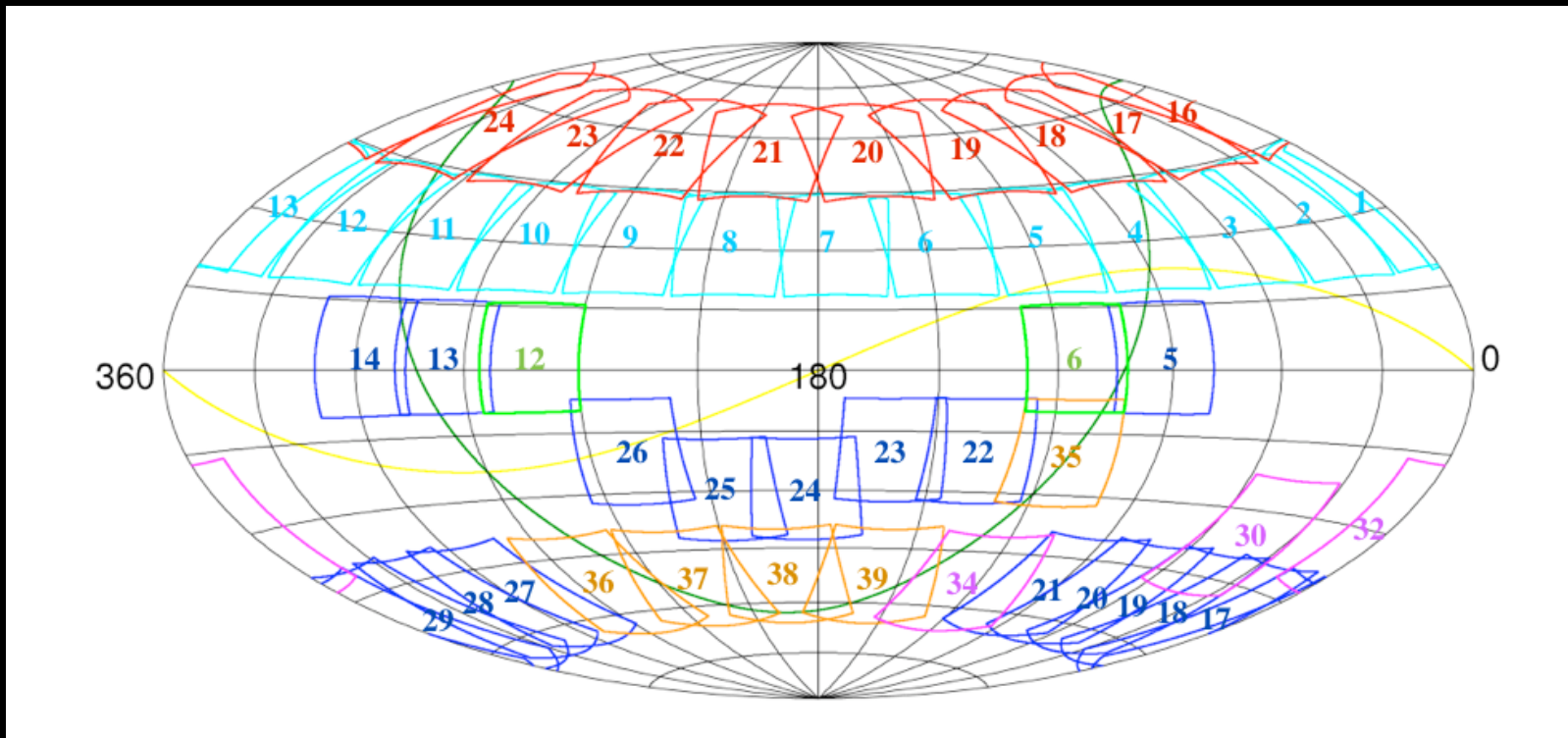
Operated by Lehigh, Vanderbilt, Fisk, and the University of Cape Town

KELT: The Kilodegree Extremely Little Telescope

- 2 Fully Robotic telescopes
- 4k x 4k CCD, 9 micron pixels
- 4.5 cm aperture
- 26 x 26 degree field of view
- \$60,000 per telescope



Fields Observed by KELT



Years
of data

2

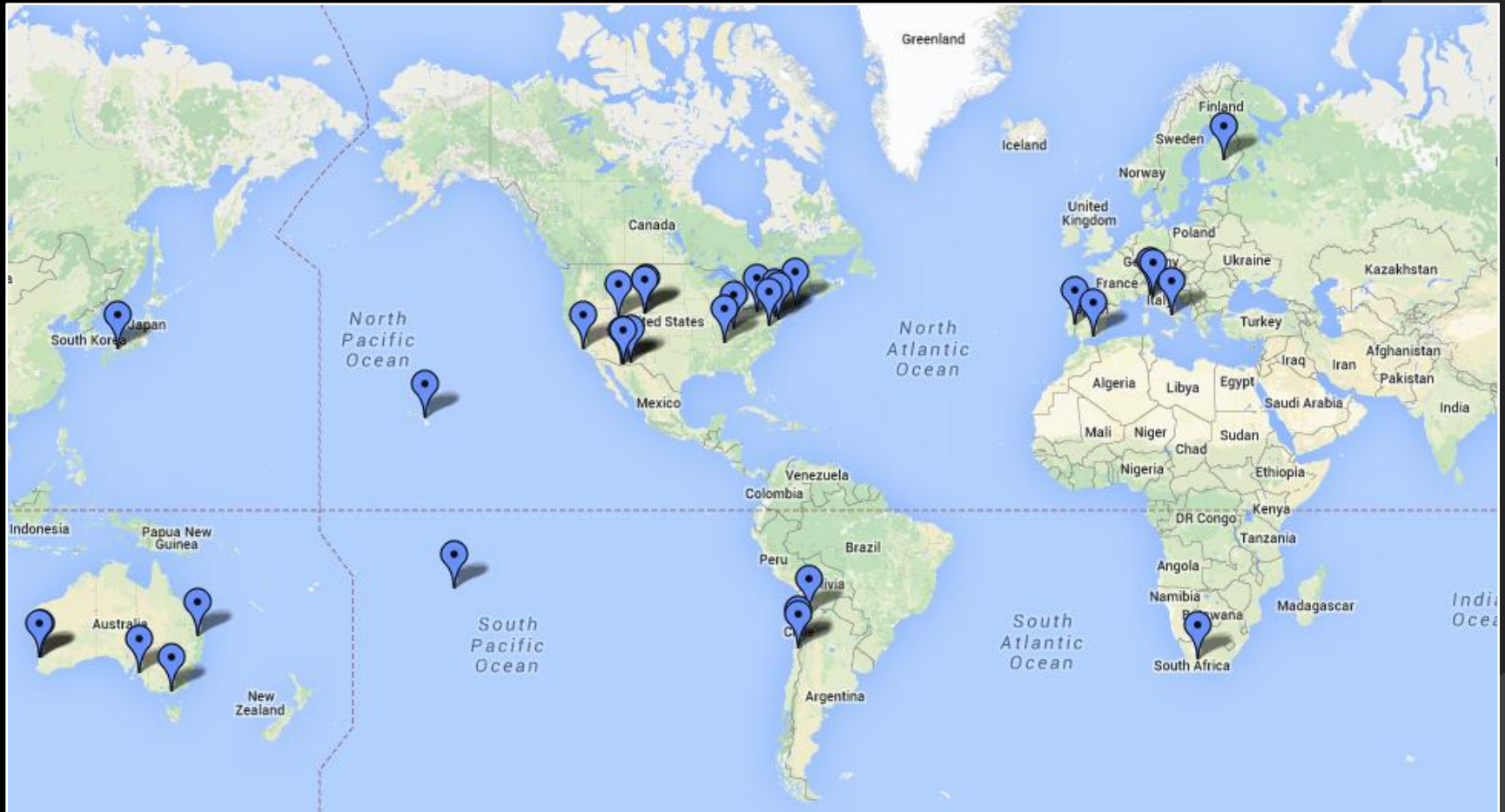
8

1-4

Blue line – Galactic plane
Green line – ecliptic

62% of the sky

KELT Follow-up Collaborators



Small Colleges
Amateur Astronomers

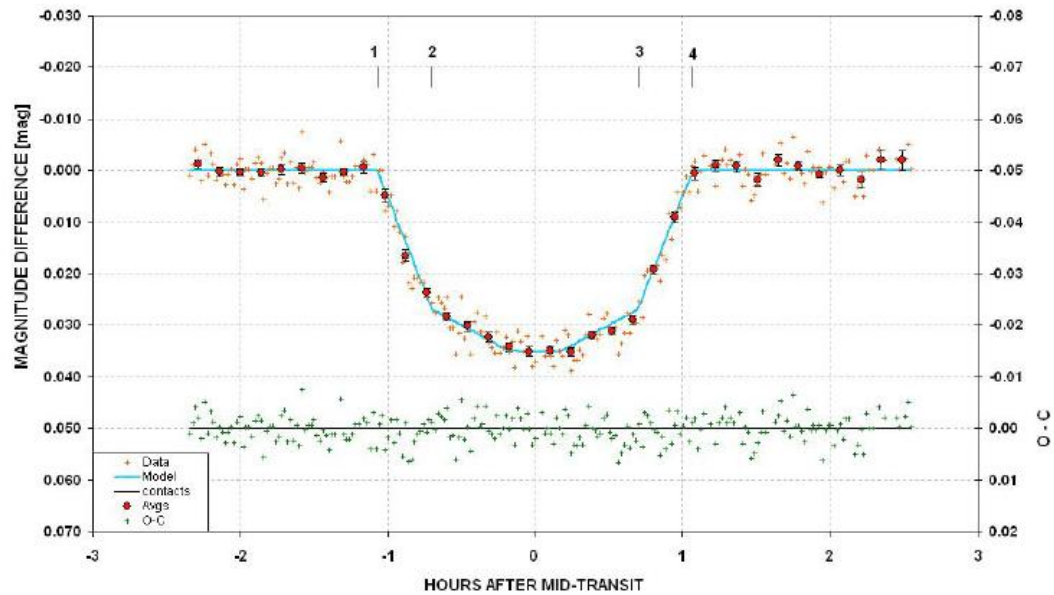
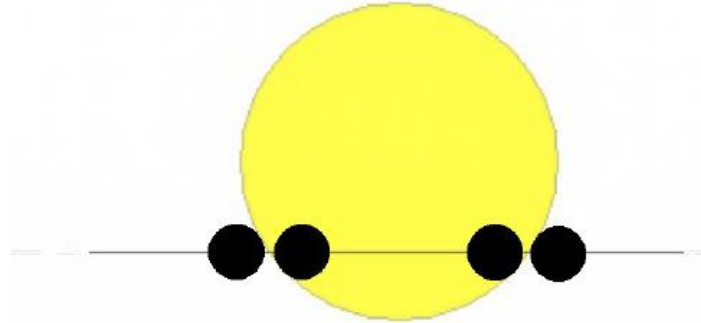
10-in to 32-in telescopes

Harrastajan mahdollisuudet

- Hyvät perustiedot –ja taidot
- Kuvien kalibrointi hallussa
- CCD-kamera ja >10” kaukoputki
- KOI
- Tresca
- Exoplanets.eu
- Planethunters.org

EXOPLANET OBSERVING FOR AMATEURS

Second Edition (plus)



Bruce L. Gary

Eksoplaneettojen metsästys

- ◎ http://brucegary.net/book_EOA/x.htm
- ◎ Tunne laitteesi
- ◎ Laadukas data
- ◎ Huolellinen analysointi
- ◎ Pysähdy, jos et ymmärrä mitä tapahtuu
- ◎ Havainto vs mittaus
- ◎ Suotimen valinta
- ◎ Kohteen valinta

Laitevaatimukset

- ⦿ 10” tai isompi tötterö
- ⦿ Jalusta ja seuranta
- ⦿ Off-axis guider
- ⦿ AO hyvä extra
- ⦿ Jalustan hyvä suuntaus
- ⦿ CCD-kamera (pitää tietää lineaarisuus)
 - 16-bittinen
- ⦿ Tarkennuksen kanssa ei niin väliä
- ⦿ Hyvä kollimointi parantaa SNR:ää

Vaatimukset kuvalle

- ⦿ Katso että saat tarpeeksi vertailutähtiä
- ⦿ Flat, dark ja bias –kalibroitu
- ⦿ Kohde ei saa olla saturoitunut tai kennon lineaarisuusalueen ulkopuolella
- ⦿ Vertailutähdet samaa kirkkausluokkaa
- ⦿ Kohteen SNR = 1 000
 - Muuttujissa SNR > 50

Kohteen valinta

- ◎ <http://var2.astro.cz/ETD/index.php>
- ◎ <http://var2.astro.cz/ETD/predictions.php>
- ◎ http://var2.astro.cz/tresca/transits.php?p_ozor=Petri+Kehusmaa+%2F+Caisey+Harlingten&submit=zobrazit...
- ◎ Mag < 14

Mitä voi löytyä

- ⦿ Materiakiekkko
- ⦿ Renkaat
- ⦿ Muita planeettoja
- ⦿ Troijalaiset
- ⦿ Transit timing variations (TTV)
- ⦿ Exokuut
- ⦿ Ylikulun pituus -> muita planeettoja
- ⦿ Pimennyksen syvyys eri suotimilla

Kuvista käppyräksi

- AstrolmageJ demo

M1 (16" RC New Mexico)



Cygnus (16" RC New Mexico)



NGC 6914 (NM)



IC 434



IC 434

KIITOS!