



# Universum nu

## 5. Exoplaneter och astrobiologi

Universum nu, 16.2 2024, TH



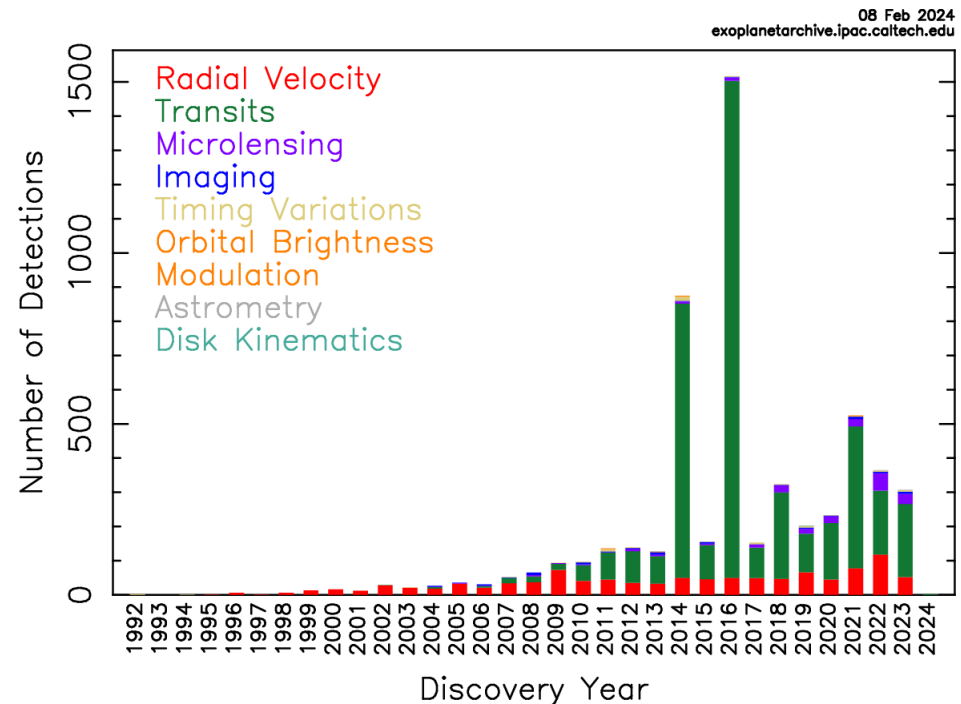
# 6.1 Exoplaneter

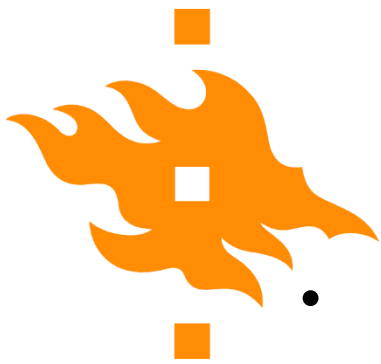
- Ca 5500 planeter i ca 4000 planetsystem upptäckta före februari 2024.
- Svårt att **direkt** observera p.g.a. mycket svag ljusstyrka => indirekta metoder:

- **Radialhastighet**
- **Transitmetoden**
- **Timing**
- **Gravitationslins**
- **Astrometri**

Exoplanetupptäckter med olika metoder (8.2 2024, NASA Exoplanet Archive).

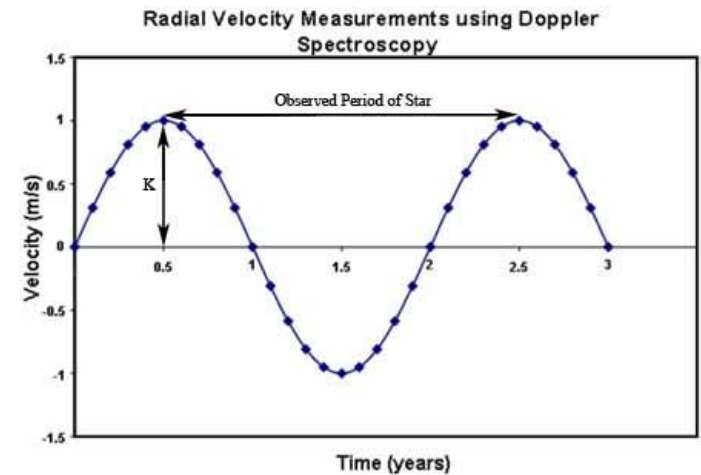
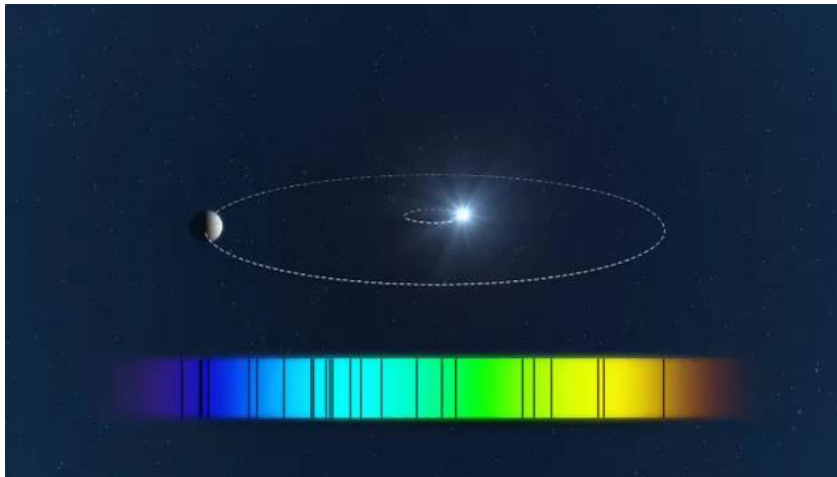
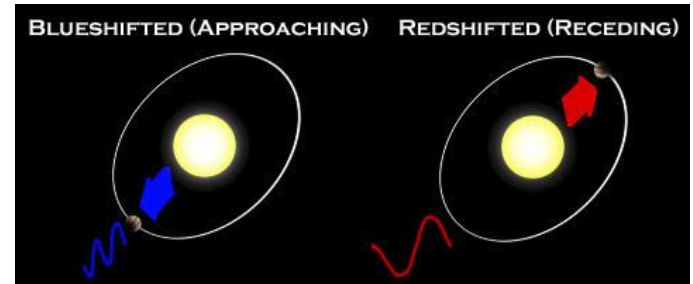
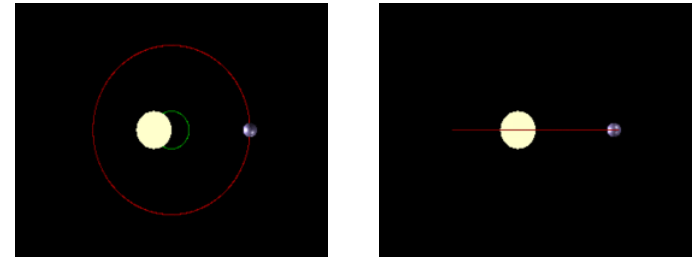
Detections Per Year





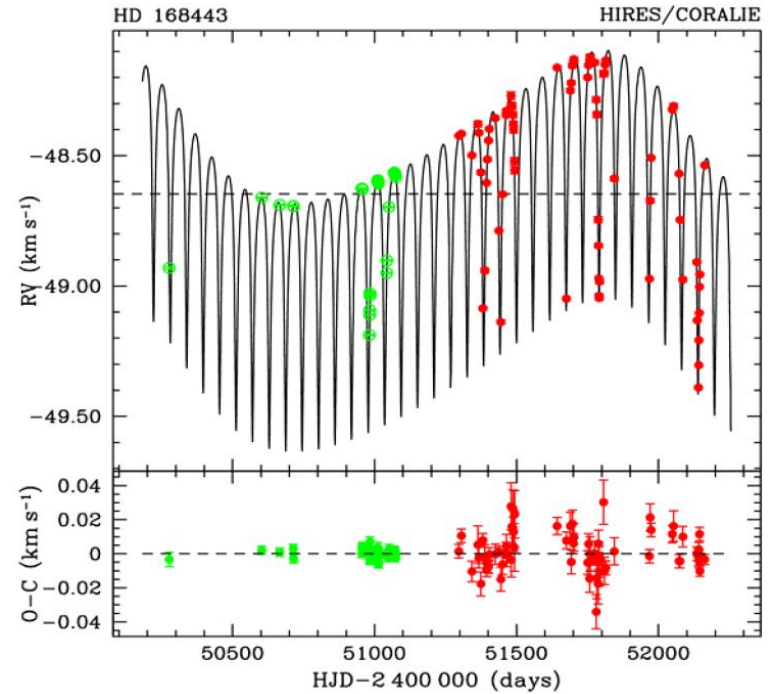
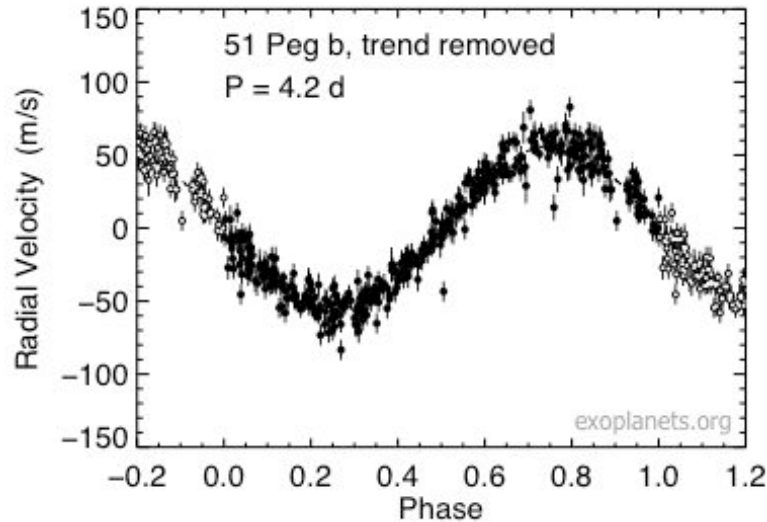
## 6.2 Radialhastighetsmetoden

- Stjärnan och planeten rör sig kring systemets mass-medelpunkt => periodisk Doppler-förskjutning.





# Uppgift



Jämför radialhastighetskurvorna för stjärn-planetsystemen 51 Peg (vänster) och HD 168443 (höger).

Vad kan man dra för slutsatser? Hur skiljer de sig?



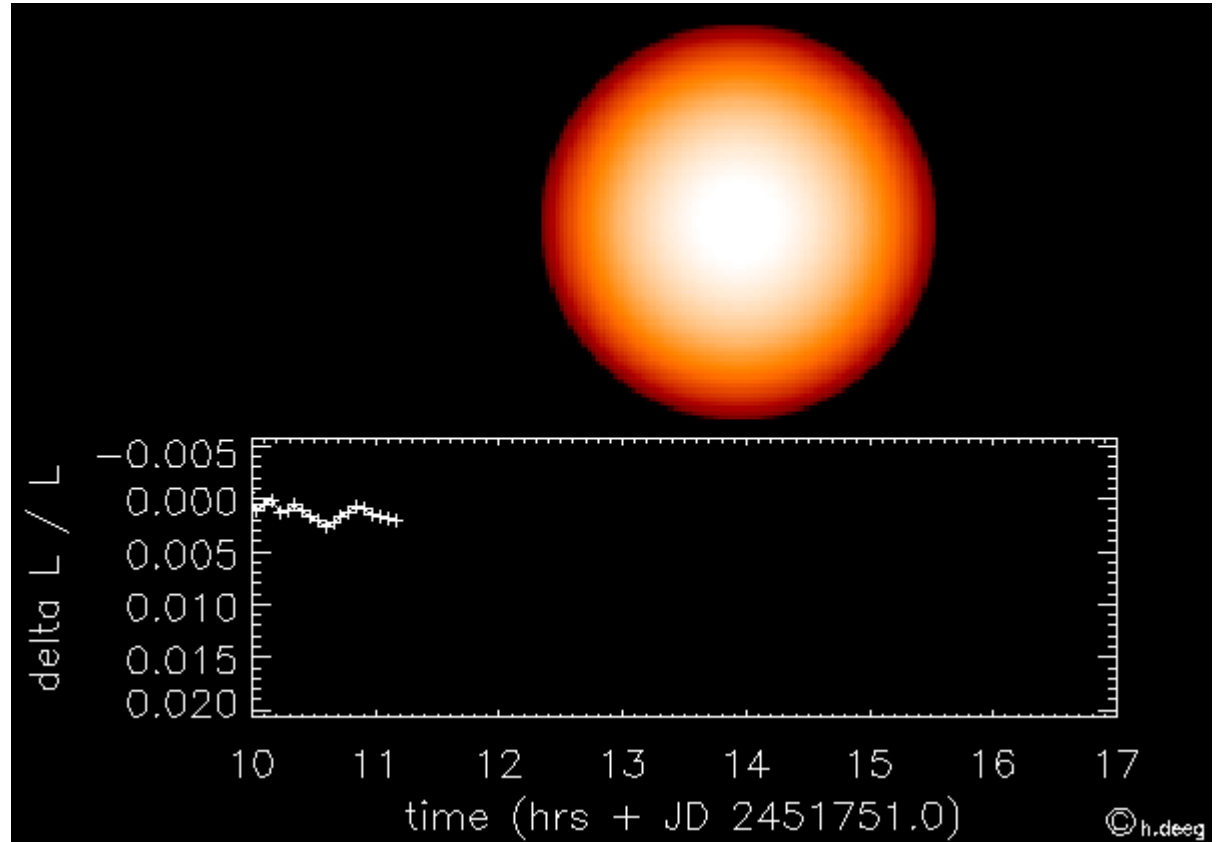
## 6.2.1 Radialhastighetsmetoden: För- och nackdelar

- Fördelar:
  - Ger komponenternas massor och (projicerade) banelement.
- Nackdelar:
  - Bara för massiva planeter.
  - Bara banor med perioder som motsvarar observationstiden.
  - Kräver stor resolution och precision.
  - Störs av stjärnors magnetiska aktivitet.
  - => går t.ex. inte att upptäcka jordliknande planeter.



## 6.3 Transitmetoden

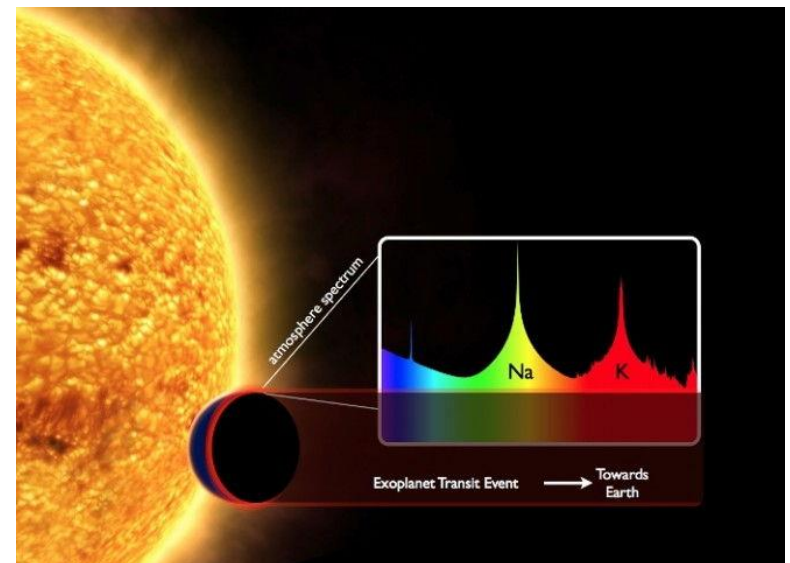
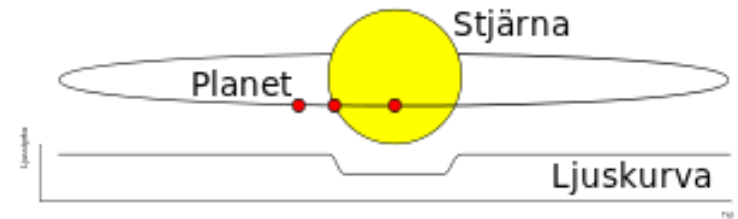
- HD 209458:  
Observerad  
ljuskurva &  
animation av  
förmörkelse (IAA,  
Deeg & Garrido)





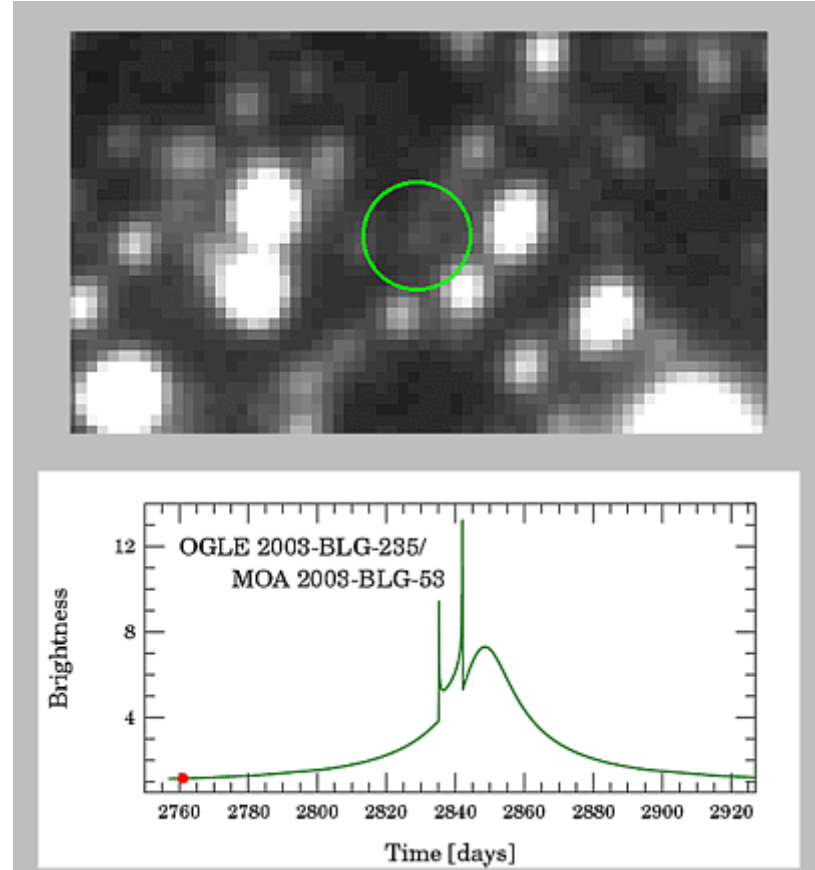
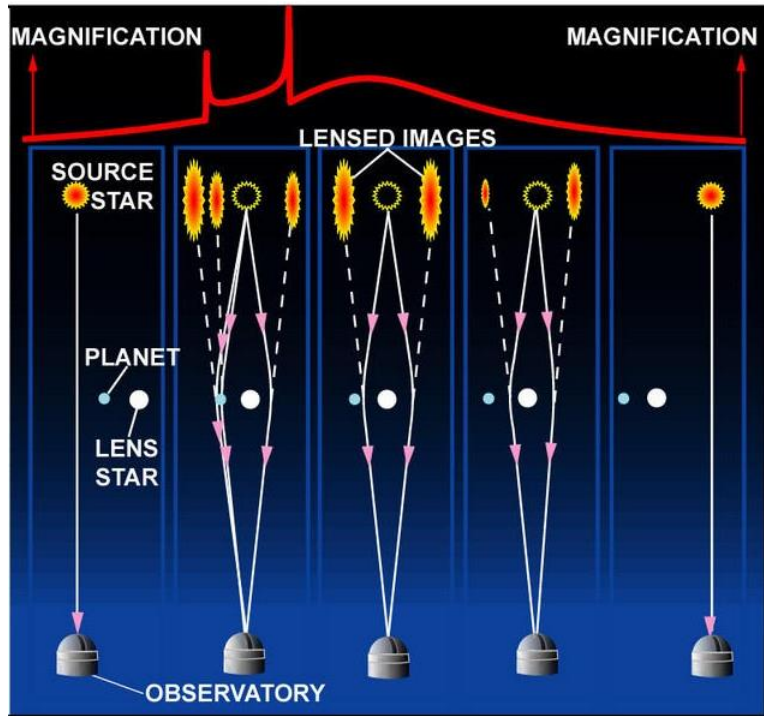
## 6.3.1 Transitmetoden: För- och nackdelar

- **Fördelar:**
  - Kan automatiskt tillämpas på stor mängd objekt, ex. Kepler-satelliten.
  - Även mindre planeter kan upptäckas.
  - Möjlighet att se effekt av planetens atmosfär.
  - Möjligt att observera timing-varianter => multipla system med mindre planeter.
- **Nackdelar:**
  - Planetens bana måste vara i ungefär samma plan som vi ser.
  - Kräver flera upprepade förmörkelser.
  - Stjärnans egna variationer stör observationerna.





# 6.4 Gravitationslins: Mikrolins



Stjärna med planet (OGLE, <http://ogle.astrouw.edu.pl>).

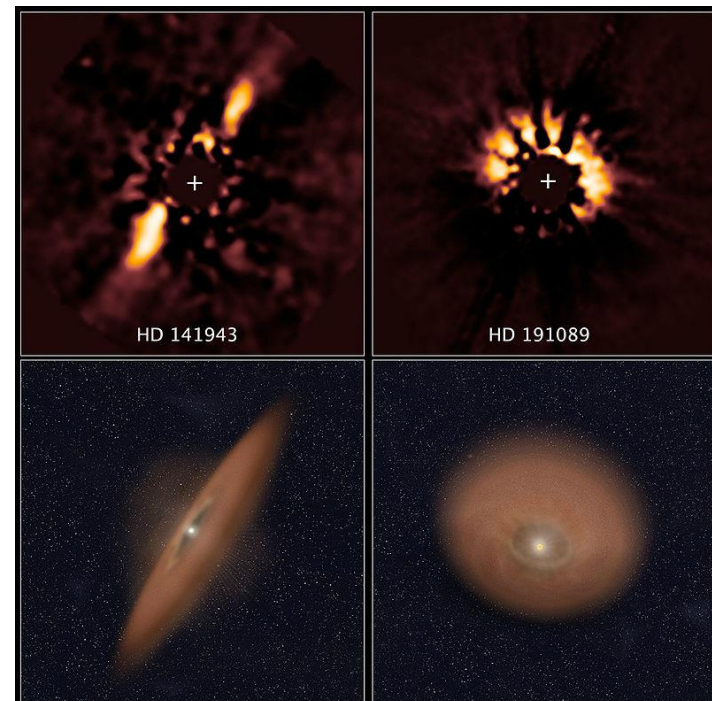
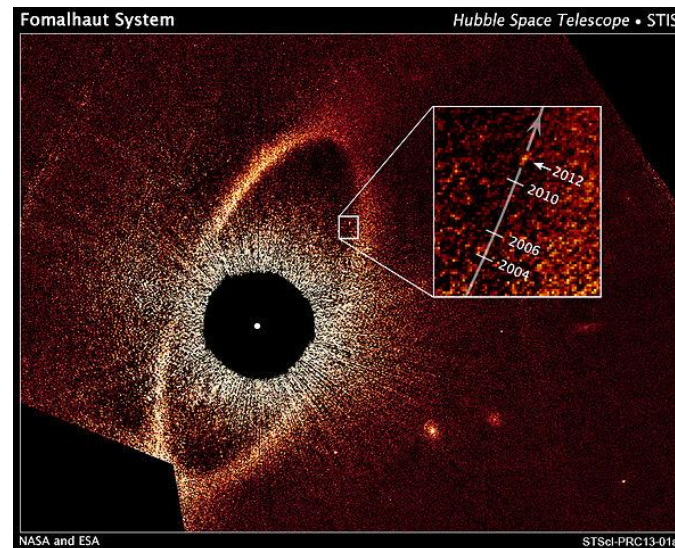




## 6.5 Fragmentskivor

- Första direkta observationer av planetsystem kring andra stjärnor:
  - Infraröd-observationer med satelliter.
- Ringar av stoft och fragment, finns främst kring unga stjärnor:
  - Planetsystemet som formas.
- Över 900 kända.

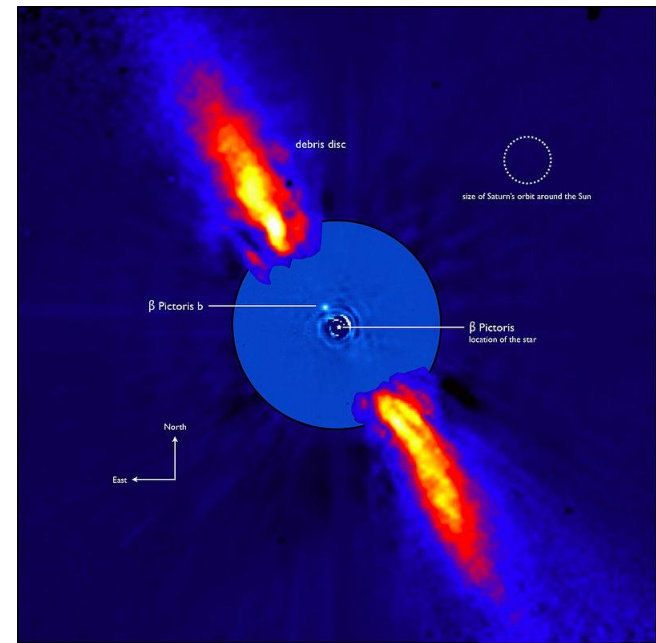
Fragmentskivor upptäckta med HST  
(NASA/ESA, R. Soummer, A. Feild).



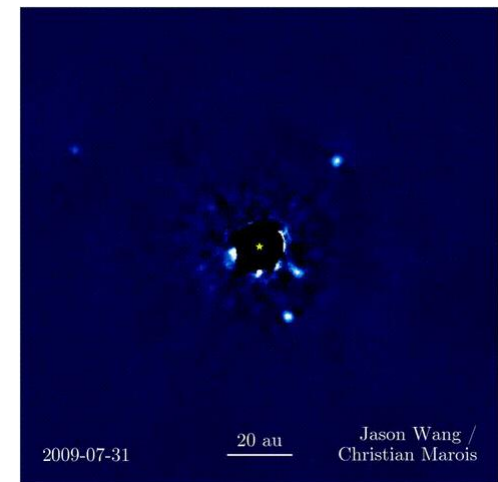


## 6.6 Direkt upptäckt

- Stjärnans ljus dominerar => kräver speciell bildbehandling eller utrustning:
  - Koronograf
  - Infraröd-teleskop
- Lättast att upptäcka stor planet på bana långt från stjärnan.
- Hittills ca 30 direkt upptäckta exoplaneter.



$\beta$  Pictoris (ESO/A.-M. Lagrange et al.)

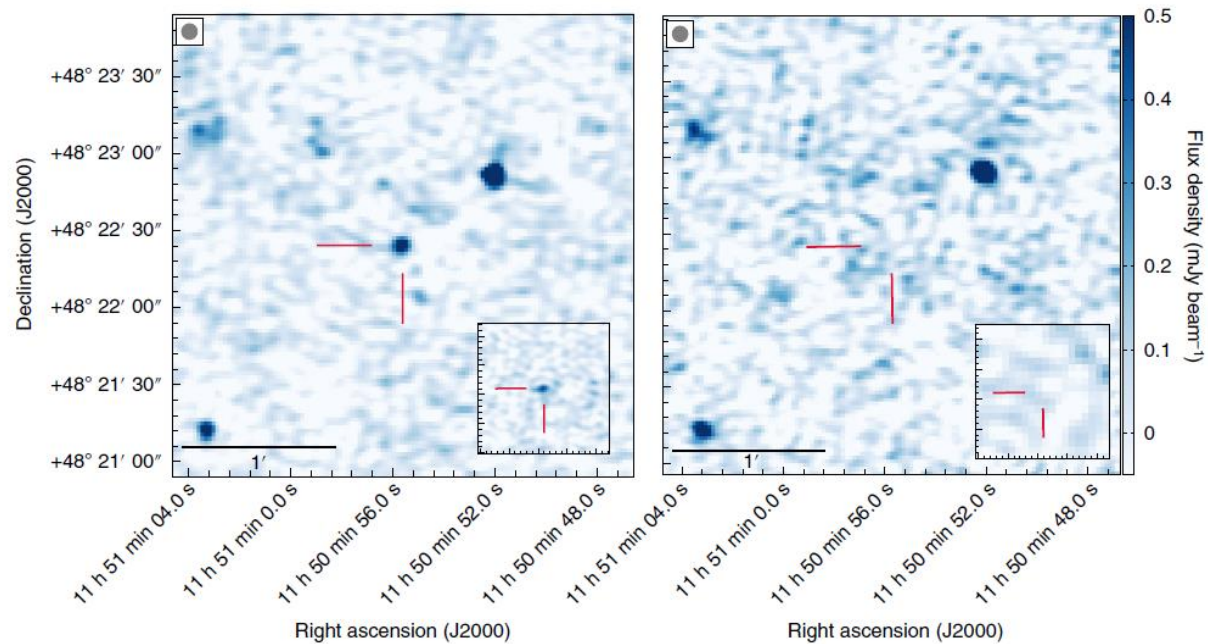


HR8799 (Jason Wang, et al)



## 6.6.1 Norrsken från exoplanet?

Vedentham et al.,  
2020, Nat. Astr.:  
<https://doi.org/10.1038/s41550-020-1011-9>

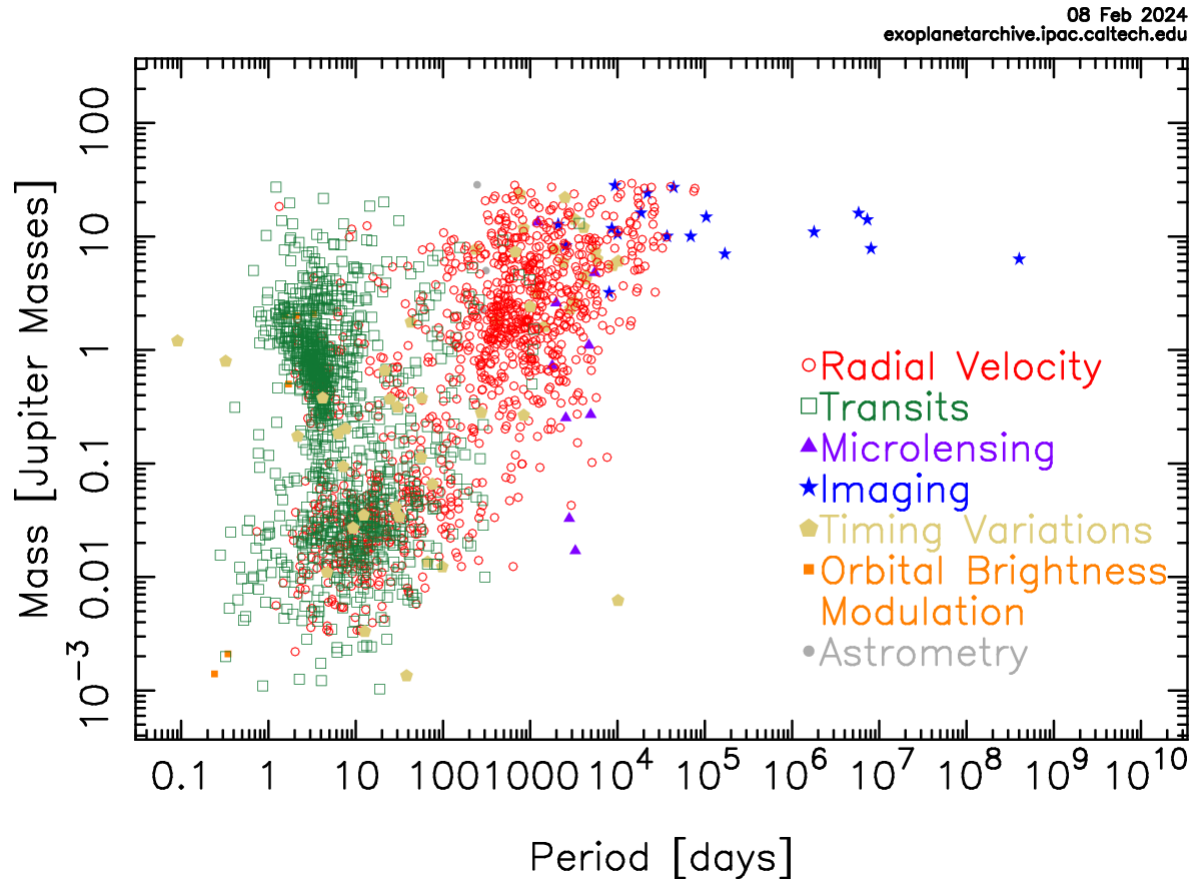


**Fig. 1 | Total intensity deconvolved images of the region around GJ 1151 for two different epochs.** Left panel: 16 June 2014. Right: 28 May 2014. The cross-hairs point to the location of GJ 1151 (see Extended Fig. 1 for astrometric details). The inset in both panels displays the Stokes V (circular polarization) image for the respective epoch. The time-frequency-averaged Stokes I and V flux densities are 0.89(8) mJy and 0.57(4) mJy, respectively. The grey circle in top-left corner indicates the width of the point spread function.



# 6.7 Exoplaneters egenskaper

Mass – Period Distribution



- Stor del av upptäckta planeterna är jätteplaneter vars bana är nära stjärnan.
- Yttemperaturen  $> 1000\text{ K}$   $\rightarrow$  het Jupiter.



## 6.8 Astrobiologi

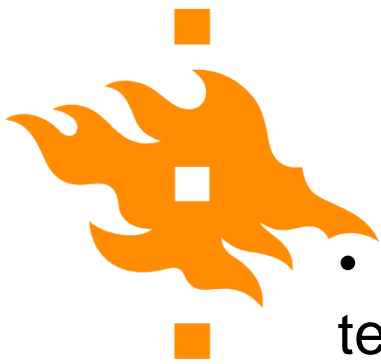
- Astrobiologi är en tvärvetenskap som studerar liv i universum och kombinerar:
  - Astronomi, biovetenskaper, geologi, geofysik m.m.
- Definition på liv:
  - En levande varelse är ”*ordnad komplexitet, som kan ta emot, producera, hantera och vidarebefodra information och dessutom tillverka en nära identisk kopia av sig själv*” (Esko Valtaoja 2002).
- Hittills har man *inte* hittat bevis för att det finns liv utanför jorden.



## 6.8.1 Kännetecken för liv

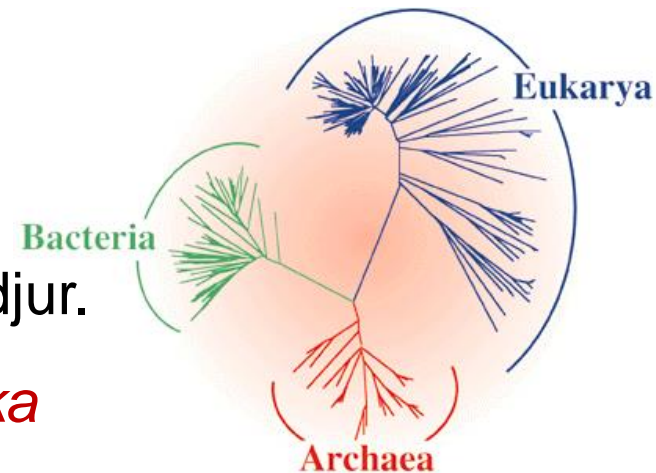
- Ämnesomsättning
- Tillväxt
- Reproduktion
- Anpassning
- Evolution
- Självständighet
- Död





## 6.8.2 Jordens liv: Utveckling

- 3,7 miljarder år sedan: första tecknen på liv.
- 2 miljarder år sedan: första flercelliga organismer.
- 1,6 miljarder år sedan: första urdjur.
- 540 miljoner år sedan: *Kambriska explosionen*.
- Allt liv har samma ursprung (*DNA, RNA*).
- Liv överallt på jorden, även i extrema förhållanden (*extremofiler*).
- *Massextinktioner*: under 500 miljoner år har 5 gånger största delen av alla arter utrotats.





## 6.8.3 Jordens liv: Förutsättningar

Förutsättningar för jordens utvecklade liv:

- lämplig mängd olika grundämnen
- lämplig och jämn temperatur under lång tid
- lämplig atmosfär
- lämplig planetskorpa
- tillräckligt med vatten
- inte för mycket farlig strålning
- inte för mycket komet- och asteroidträffar samt andra katastrofer
- evolution

Varför jorden är "optimal":

- Solen rätt typ av stjärna (lämplig ålder, temperatur, "metallhalt")
- Inga närliggande objekt med stor gamma- eller röntgenstrålning
- Jätteplaneten Jupiter "skyddar" jorden från komet- och asteroidträffar
- Jorden på rätt avstånd från solen
- Jorden har en stabil nästan cirkelformad bana
- Jordens rotationstid är lämplig
- Jordens rotationsaxel är lämplig
- Jordens magnetfält skyddar mot partikelstrålning
- Jordens atmosfär skyddar mot röntgen- och gammastrålning
- Jorden har lämplig kärna, mantel och skorpa
- Evolutionen har befrämjats av lämplig mängd katastrofer



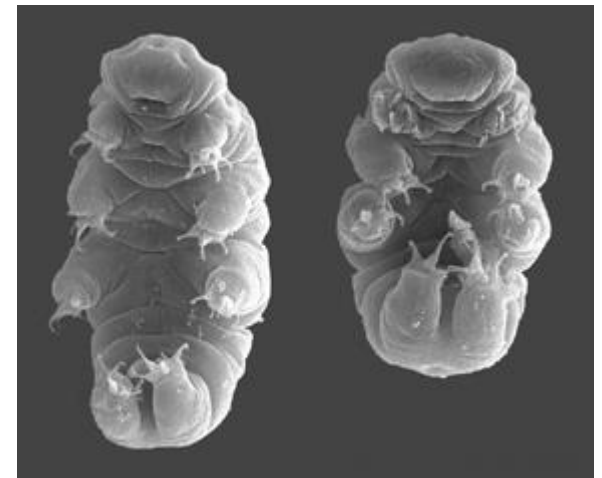


## 6.8.4 Extremofiler

- Kall/het miljö: *Kryofil, termofil*
- Sur/basisk miljö: *Acidofil, alkalifil*
- I stenar: *Endoliter*
- Extrem torka: *Xerofil*
- Hög radioaktivitet: Ex. *Deinococcus Radiodurans*
- Giftiga miljöer etc.
- Extremofiler vanligen bakterier el. Arkéer.
- *Trögkrypare* överlever extrema förhållanden (men räknas inte som extremofil).



Mono Lake – sjö med stora halter arsenik.

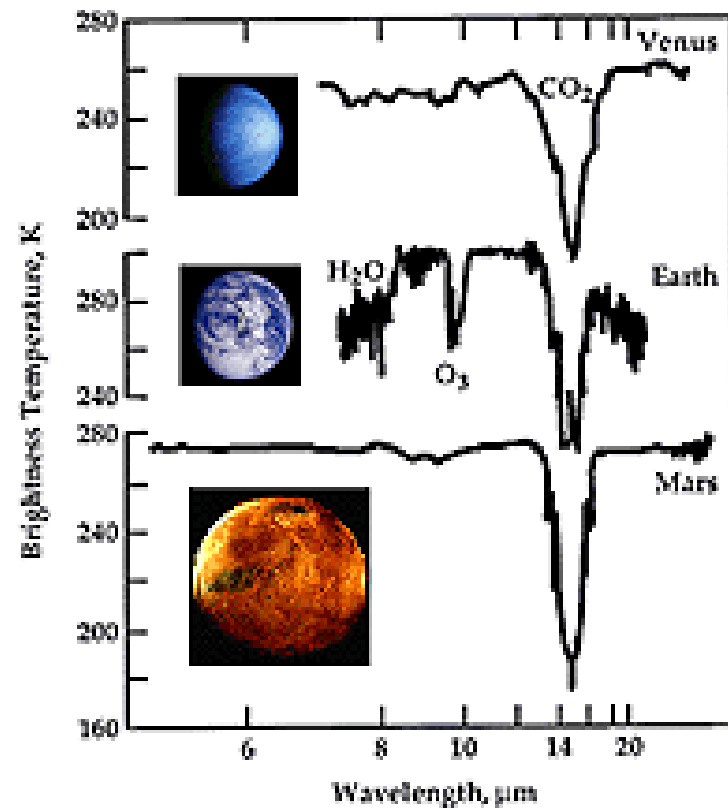


Trögkrypare (W. Gabriel / Goldstein lab).



## 6.9 Jordliknande planeter

- Beboeliga zonen (*Habitable zone*, HZ) = yttemperaturen på planeter tillåter flytande vatten.
  - Avståndet beror på hur ljusstark stjärnan är.
  - I solsystemet ca 0,7 – 2,0 AU.
- Uppskattning med Keplersatelliten för Vintergatan (11/2013):
  - 40 miljarder jordliknande planeter inom HZ kring livsdugliga stjärnor.
  - 11 miljarder kring solliknande.
- Närmaste eventuellt *Proxima Centauri*?



Atmosfärens syre – ett tecken på jordens liv?



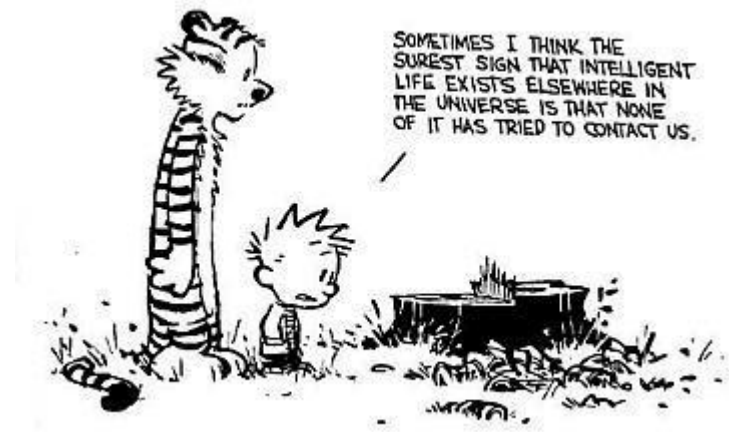
## 6.10 Liv utanför jorden

- Primitivt liv kan förekomma t.o.m. på andra platser i vårt solsystem:
  - Livet uppkom relativt kort efter jordens uppkomst.
  - Primitivt liv förekommer under extrema omständigheter (extremofiler).
  - Rätt komplicerade organiska molekyler förekommer i rymden.
  - Möjliga ställen t.ex. Mars, en del av Jupiters och Saturnus månar.



## 6.11 Utvecklat liv utanför jorden

- Två motsatta synsätt:
  1. Jordens liv beror på många osannolika sammanträffanden => utvecklat liv (av jordens typ) är sällsynt.
  2. Liv förekommer under extrema förhållanden och evolution är möjlig => universum kryllar av liv.
- Fermis paradox:
  - En tekniskt utvecklad civilisation kan sprida sig till stora områden i en galax:  
*Var är de?*

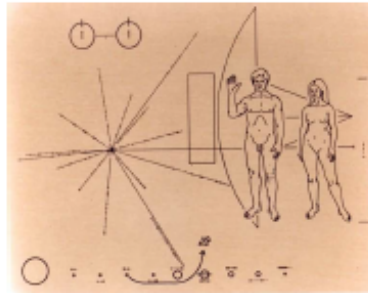


*Kalle & Hobbe: "Det säkraste beviset att det finns intelligenta varelser i universum är att ingen av dem har försökt kontakta oss."*

## 6.12 Letandet efter andra civilisationer

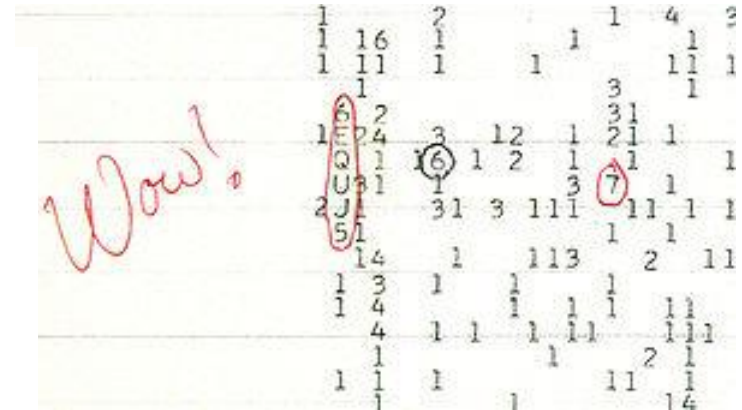
Sökandet av spår av "intelligent" liv i universum, ex. *SETI* (Search for Extraterrestrial Intelligence):

- Främst radiovågor undersöks för att hitta konstgjorda signaler
- Riktade signaler och visitkort har skickats, ex. plakett i *Pioneer*-sonden →
- Inga tecken på andra civilisationer



De stora avstånden i rymden samt ljusets begränsade hastighet gör kommunikation mellan olika världar närapå omöjlig.

Arecibo radioteleskopet



“Wow-signalen” (Ohio State University & NAAPO, 1977)





# Uppgift: Drakes ekvation

$$N = R_* f_p n_e f_l f_i f_c L$$

- Antalet tekniskt utvecklade civilisationer i Vintergatan kan uppskattas med *Drakes ekvation* (Frank Drake, 1961).
  - Diskutera värden för de olika parametrarna och uppskatta antalet högteknologiska civilisationer.
- $N$  = antalet tekniskt utvecklade civilisationer i Vintergatan vid en bestämd tidpunkt
  - $R_*$  = antalet stjärnor som föds per år  $\approx 10/\text{år}$
  - $f_p$  = andelen stjärnor med planet-system
  - $n_e$  = antalet livsdugliga planeter/system
  - $f_l$  = sannolikheten att liv uppkommer på en livsduglig planet
  - $f_i$  = sannolikheten att evolutionen leder till intelligent liv
  - $f_c$  = sannolikheten att intelligent liv leder till en civilisation,
  - $L$  = civilisationens medel-livslängd