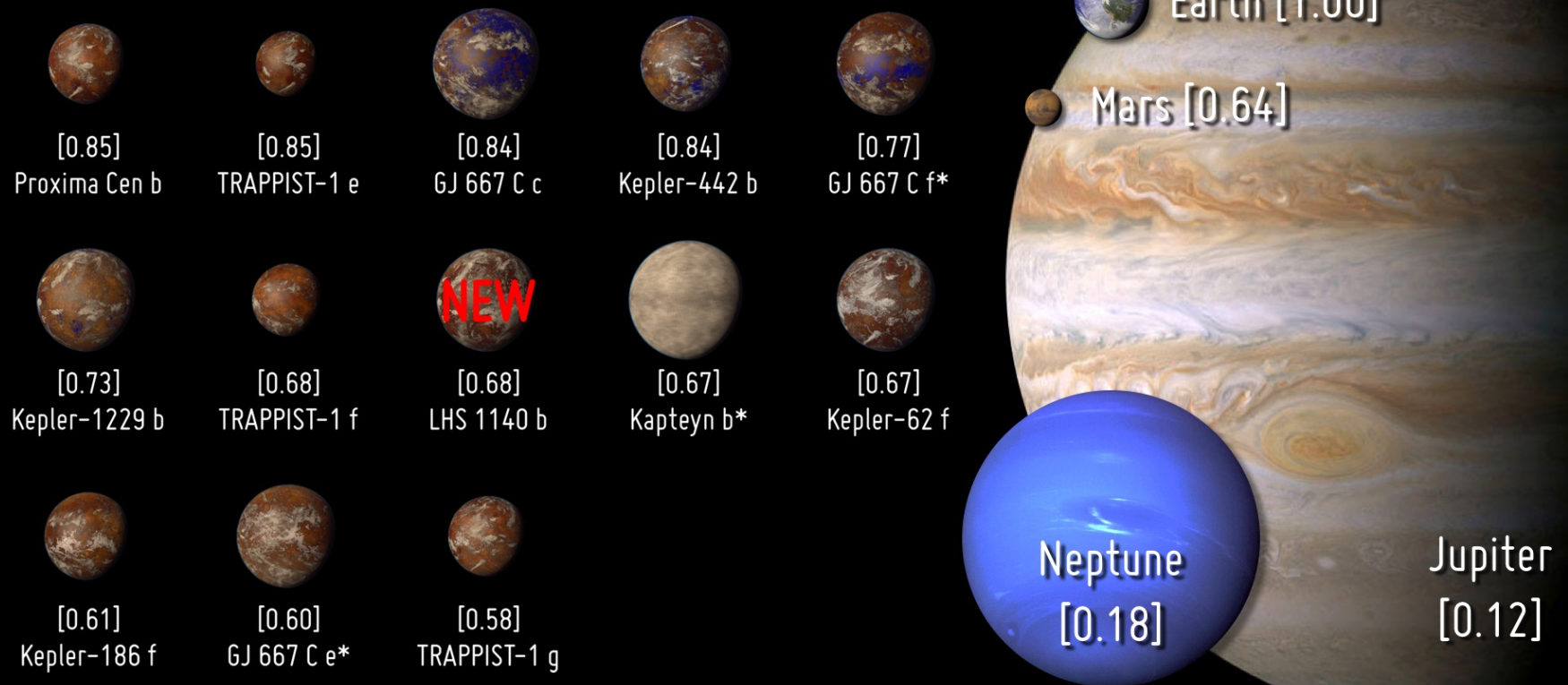


Sökandet efter intelligent liv i rymden

Föreläsning 3: Exoplaneter & beboeliga zoner

Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by the Earth Similarity Index (ESI)



Upplägg

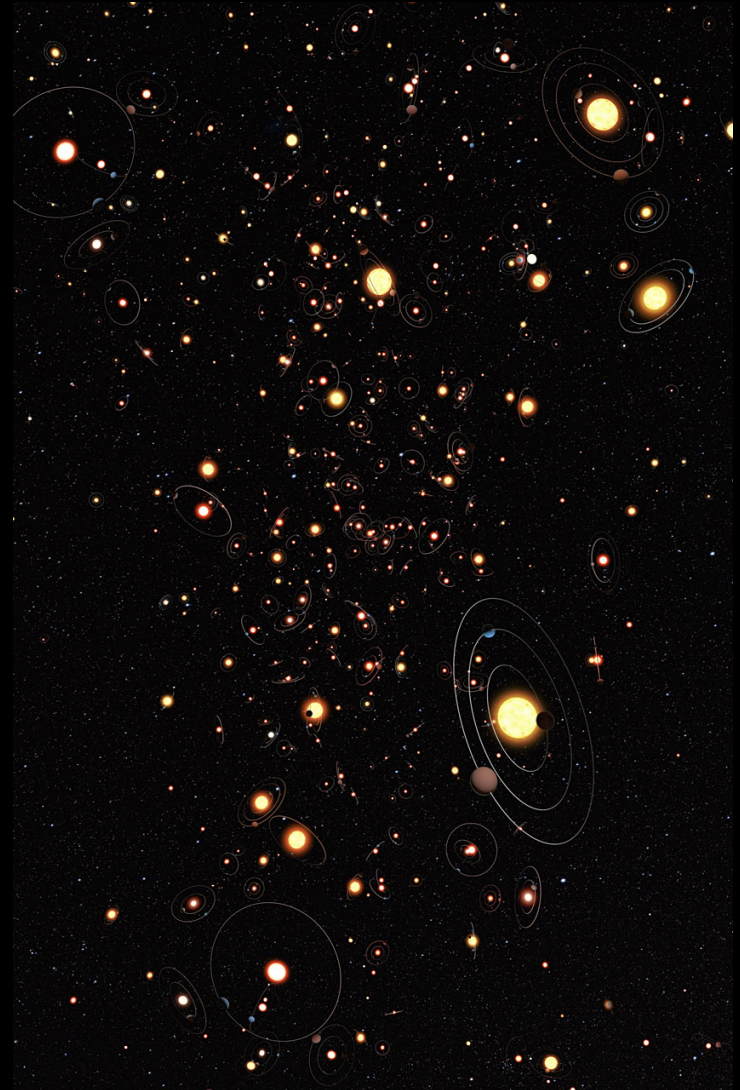
- Exoplaneter
- Beboeliga zoner
- Faror för vår typ av liv



Davies: Kapitel 1 & 2 + Kapitel 3 översiktligt

Exoplaneter

- Exoplanet: Planet utanför vårt eget solsystem, vanligtvis i omloppsbanor kring någon annan stjärna
- Den första exoplaneten upptäcktes 1988/1992 (kontroversiellt)
- Hittills (sept 2017) har ca 3500 troliga exoplaneter upptäckts



Detektionsmetoder

- Direkt metod:
 - Planetdetektion genom blockering av moderstjärnans ljus
- Några indirekta metoder:
 - Astrometriska metoden
 - Dopplermetoden
 - Fotometriska metoden (eng. transit method)
 - Mikrolinseffekter

Direkt observation

Problematiskt, eftersom ljuset från en stjärna är ohyggligt mycket starkare än ljuset från dess planeter
→ Måste blockera ljuset från stjärnan för att se dem



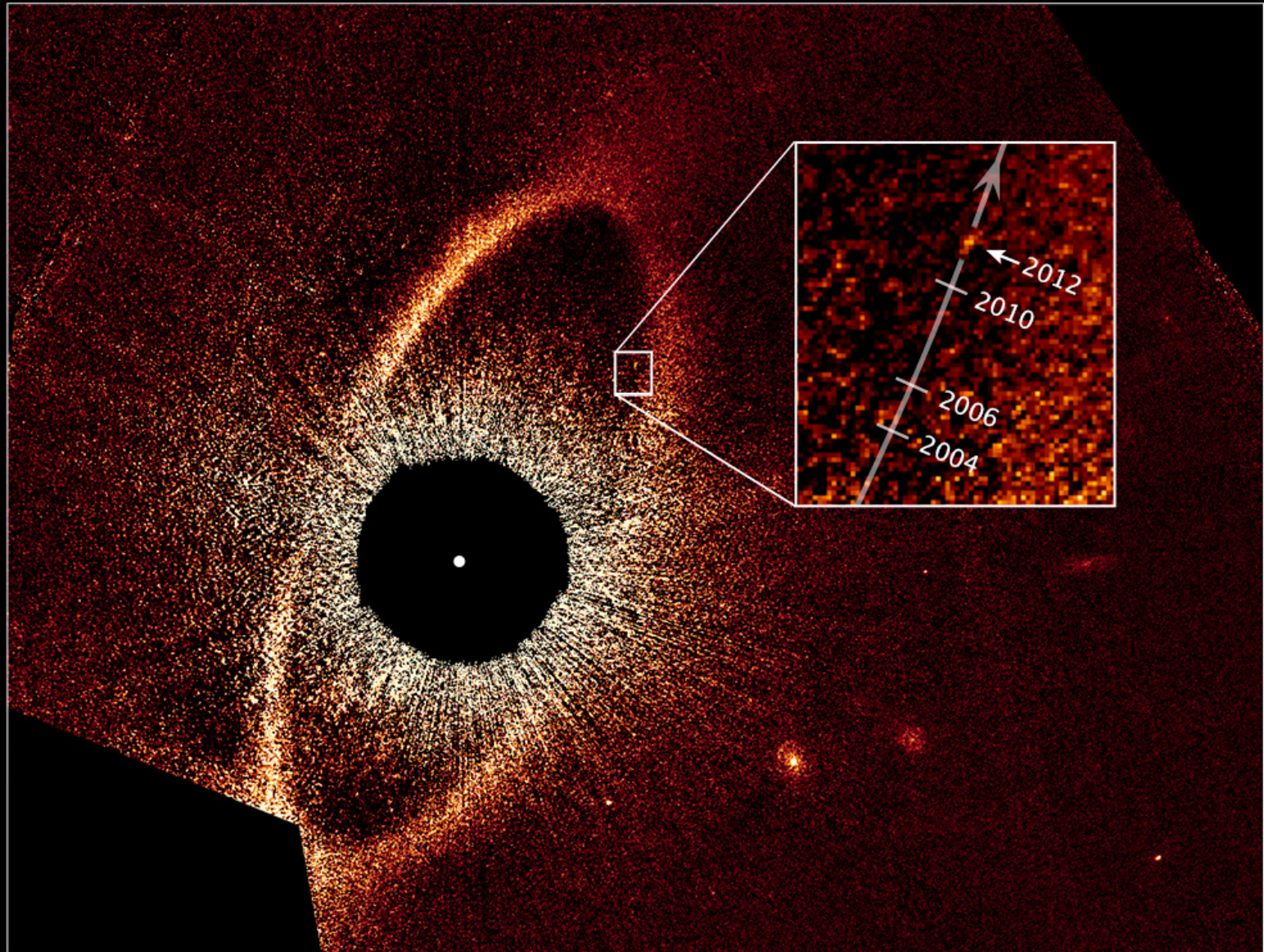
Kan i nuläget lyckas om:

- Planeten är stor
- Planeten ligger på stort avstånd från sin moderstjärna
- Planeten är ung och het (utsänder infraröd strålning)

Fomalhaut b

Fomalhaut System

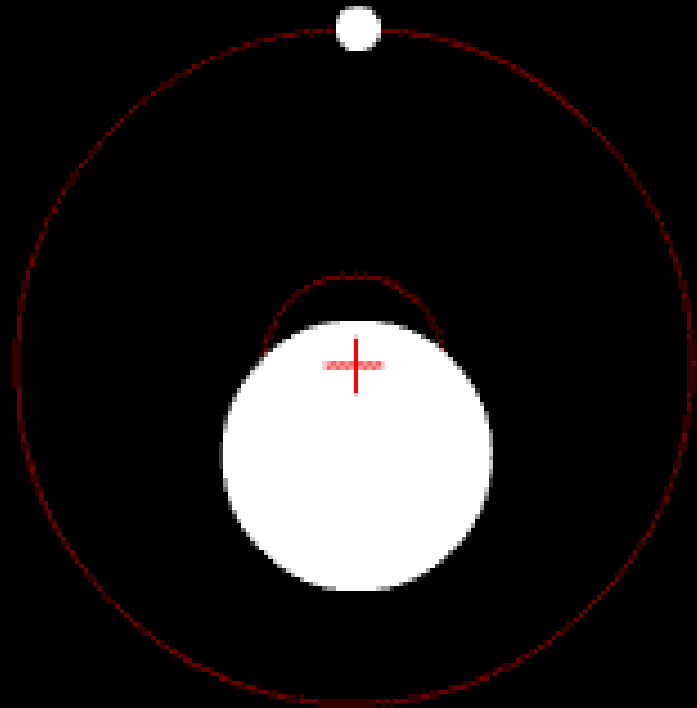
Hubble Space Telescope • STIS



Astrometriska metoden I

Astrometriska metoden:

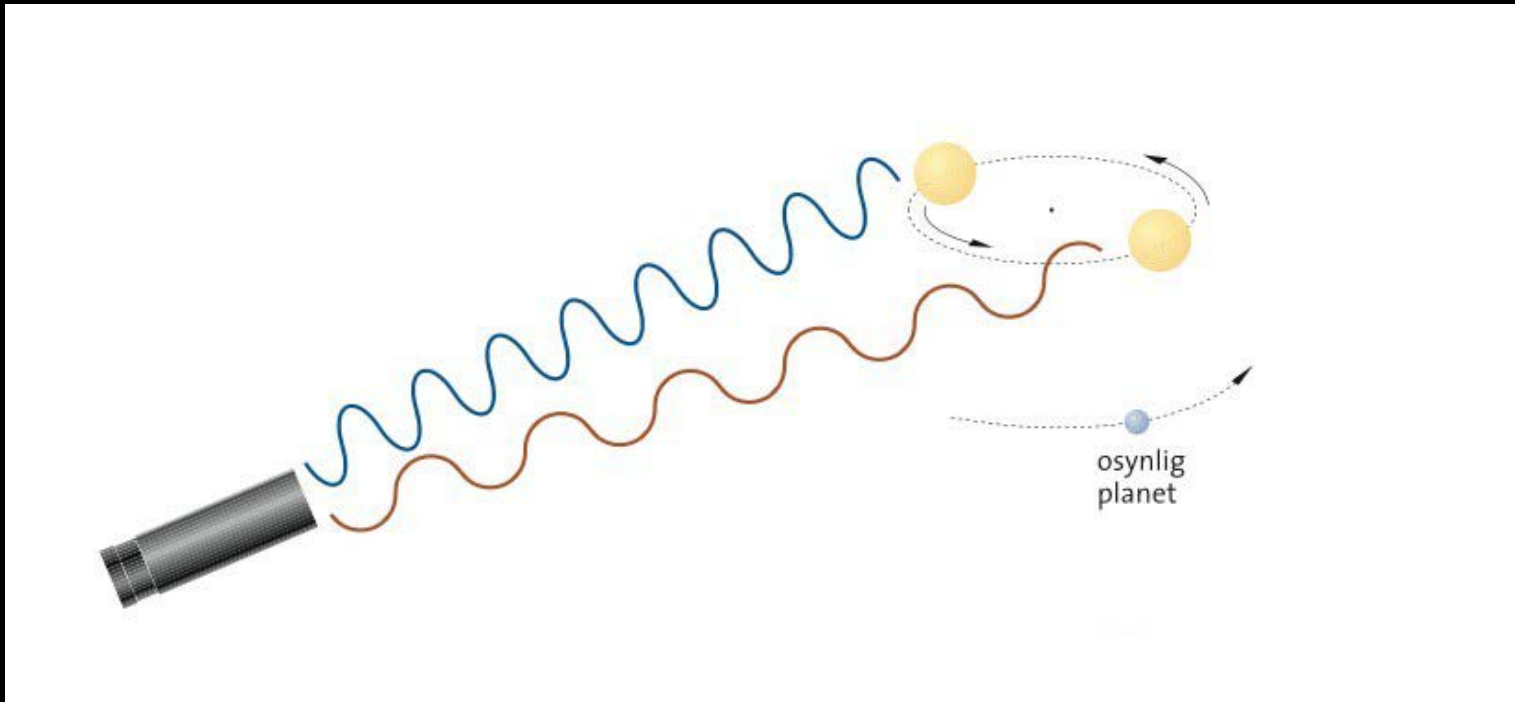
Stjärnan och planeten rör sig kring systemets gemensamma tyngdpunkt. Metoden går ut på att mäta stjärnans rörelse runt denna punkt, vilket kräver teleskop med extremt bra upplösning



Dopplermetoden I

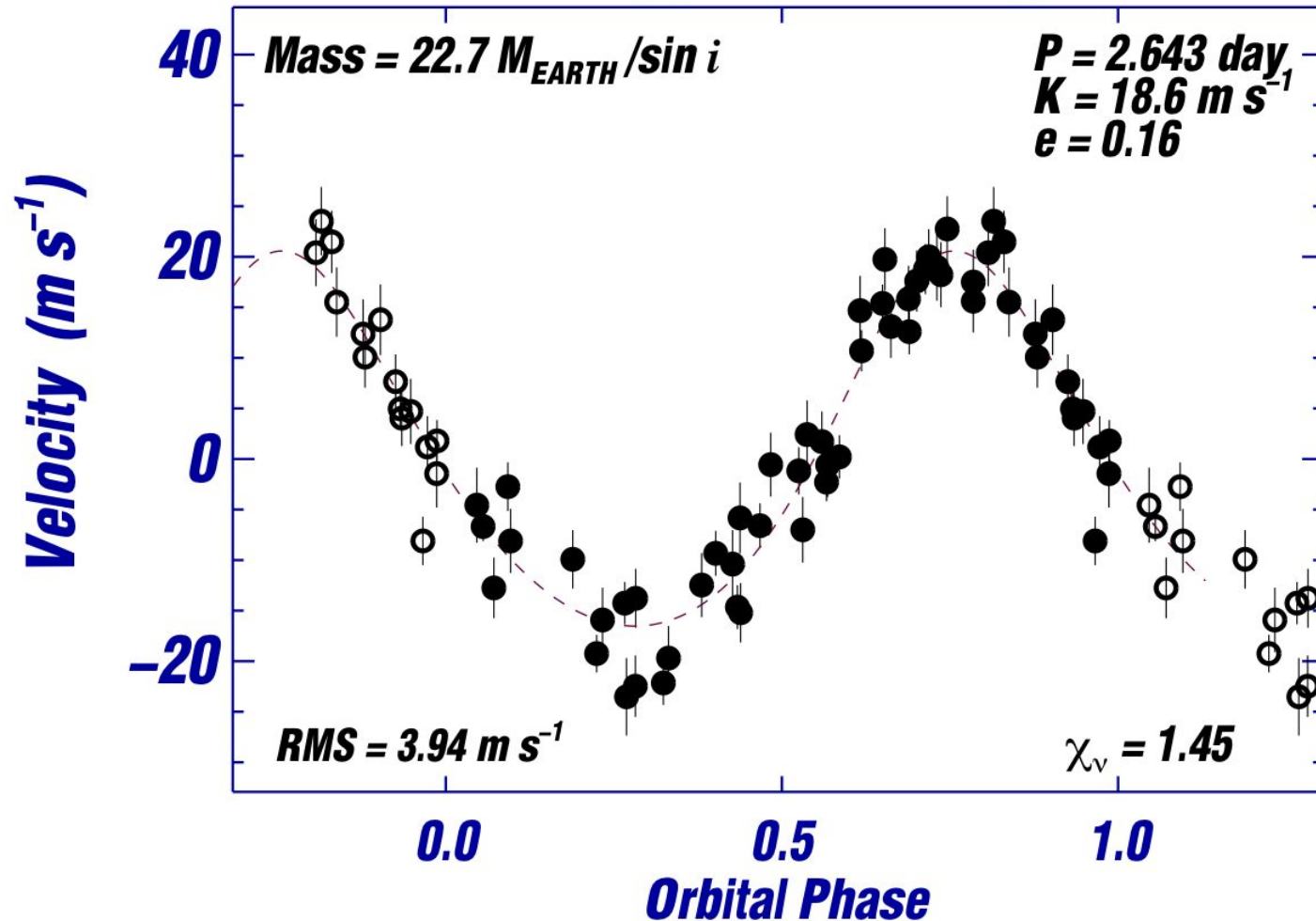
Dopplermetoden:

Rörelsen kring systemets tyngdpunkt orsakar också ändringar i radialhastigheten (genom Dopplereffekten). Hastigheten beror på planetmassan, stjärnmassan och planetens avstånd från stjärnan.



Dopplermethoden II

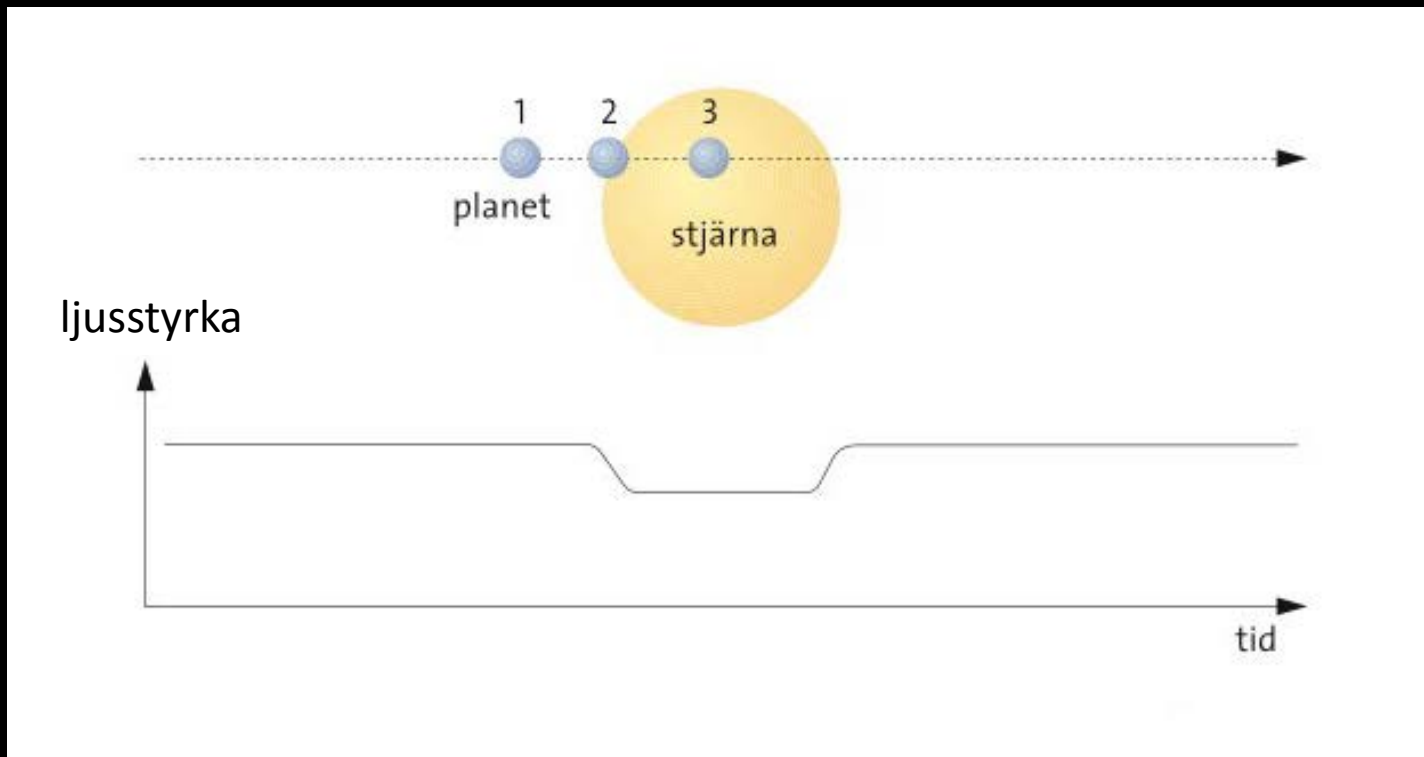
Gliese 436: Doppler Discovery of Planet



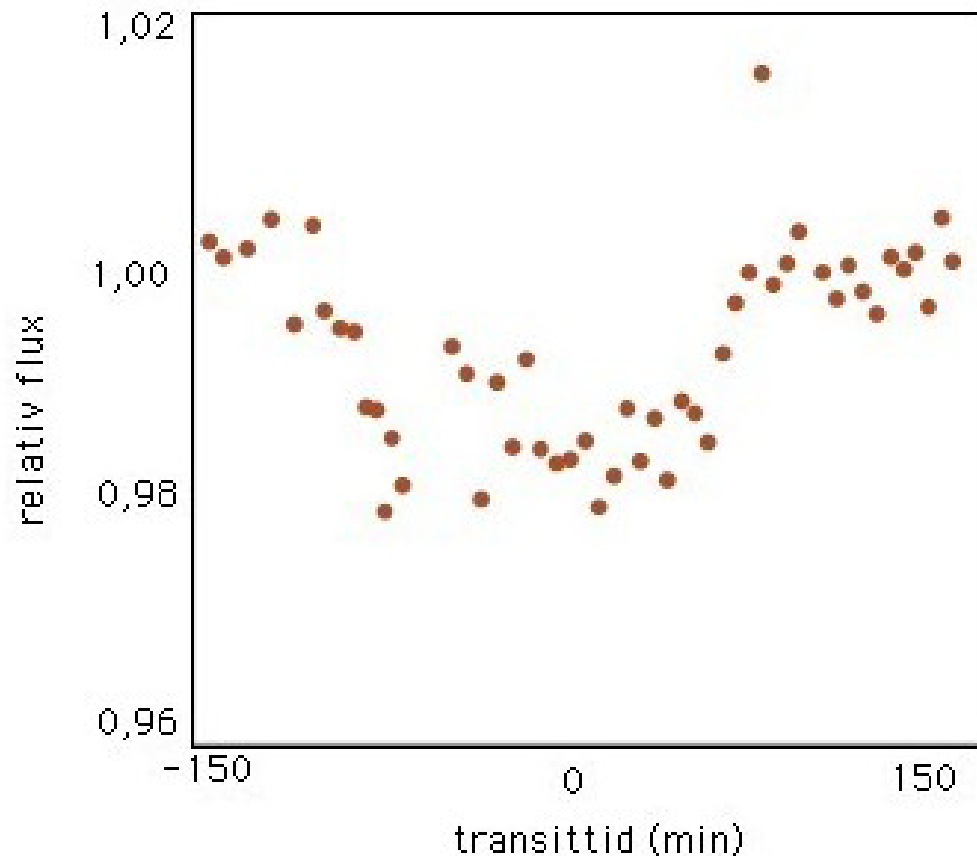
Fotometriska metoden

Fotometriska metoden (eng. transit method):

Om planeten passerar framför stjärnan, förmörkas stjärnan. Man kan bestämma den s.k. transittiden ur förändringen i ljusstyrka.

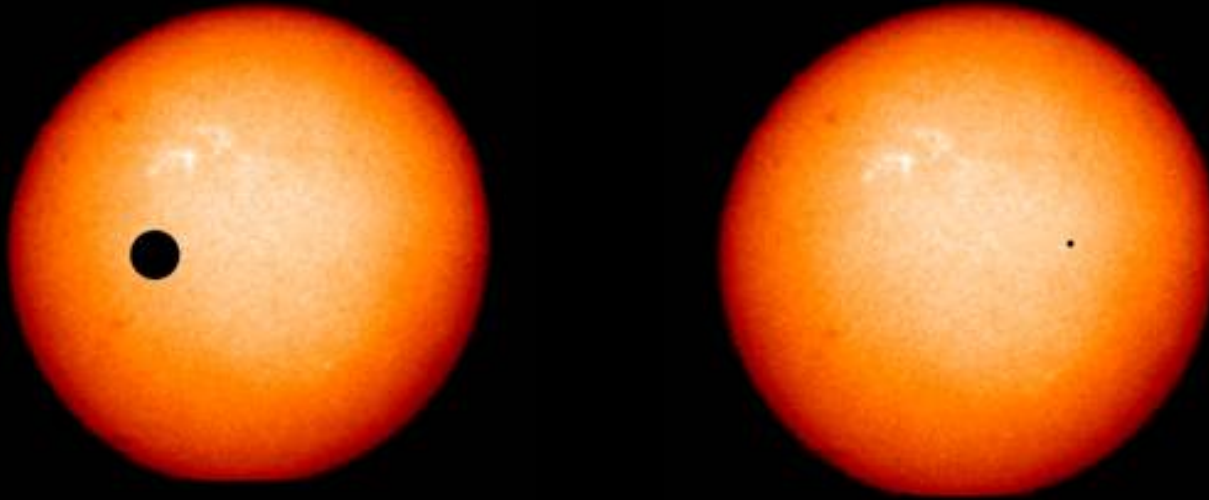


Exempel på ljuskurva

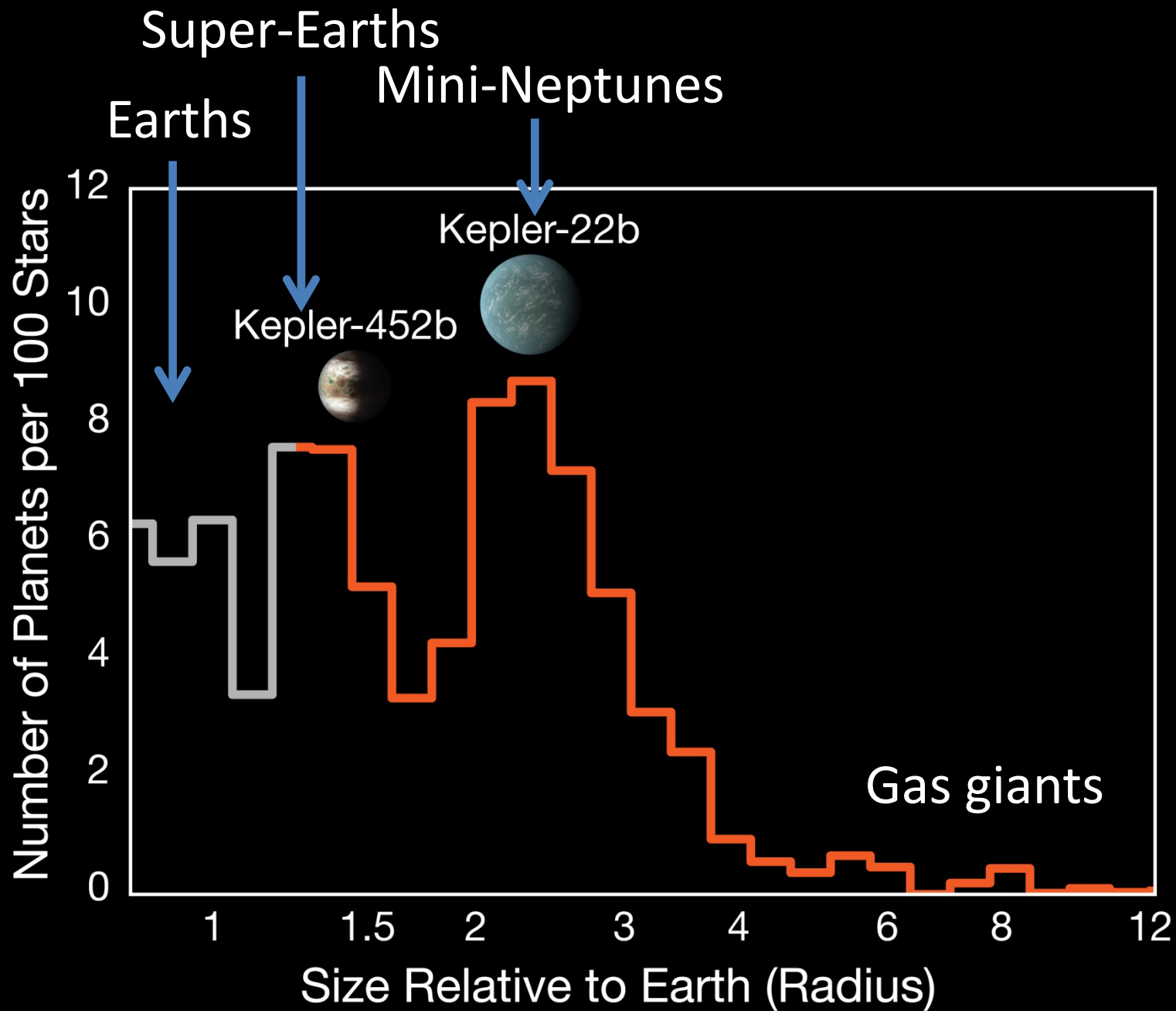


Fotometriska metoden ger många kandidater, men ljusförändringar kan även bero på annat än planeter → Uppföljning med andra metoder krävs

Stora planeter lättare att hitta än små

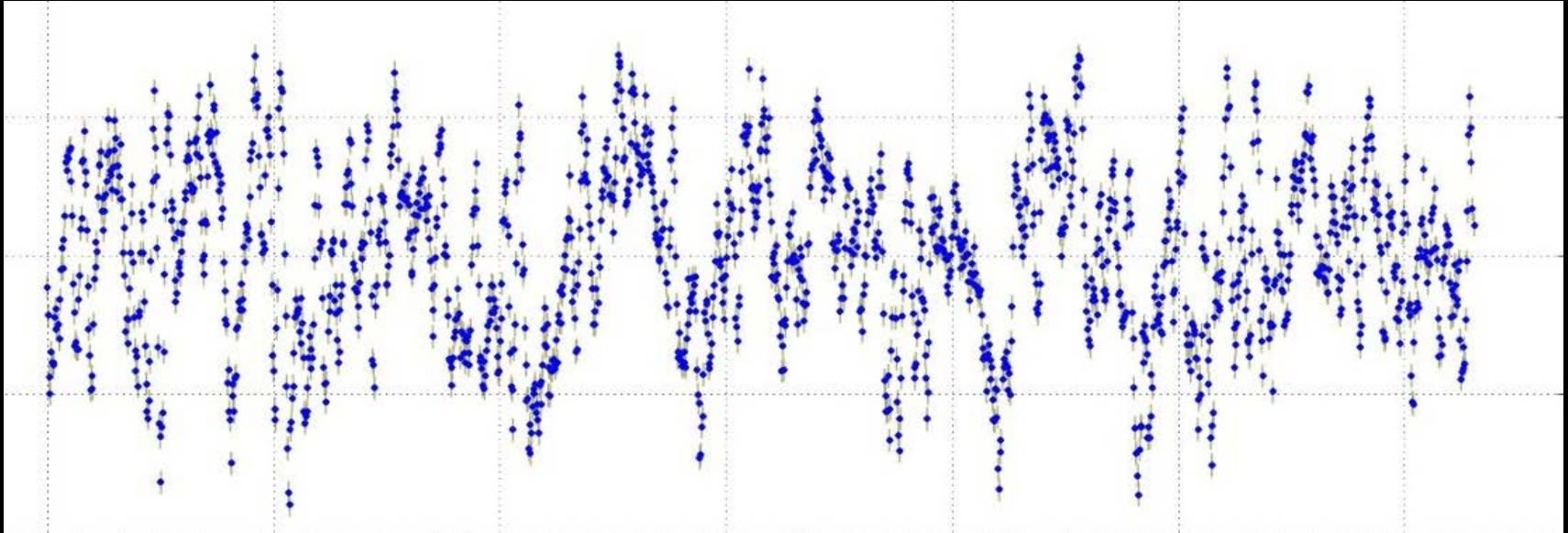


Stora, tunga planeter är lättare att hitta än små – dett gäller såväl fotometriska metoden, Dopplermetoden och astrometriska metoden. Men när man försöker korrigera för denna urvalseffekt verkar den typiska exoplaneten ändå vara större än Jorden.



Alla kan hjälpa till!

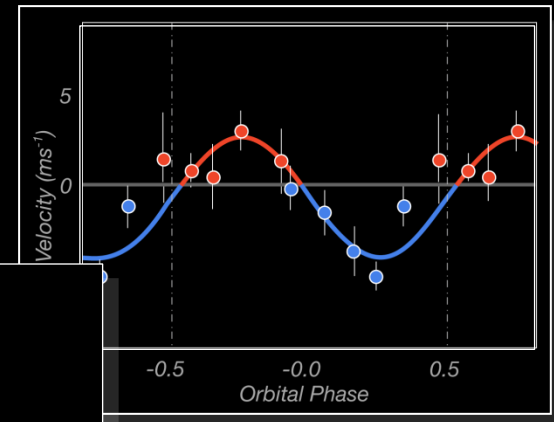
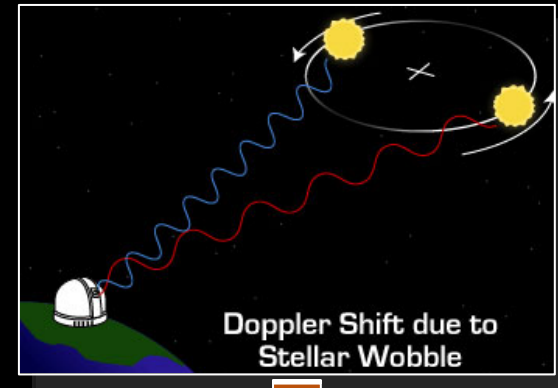
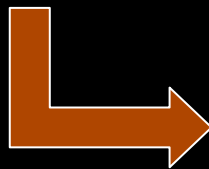
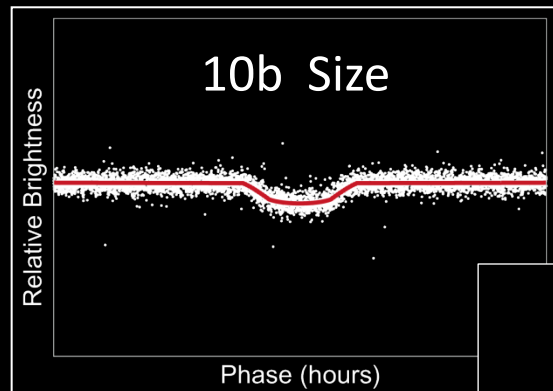
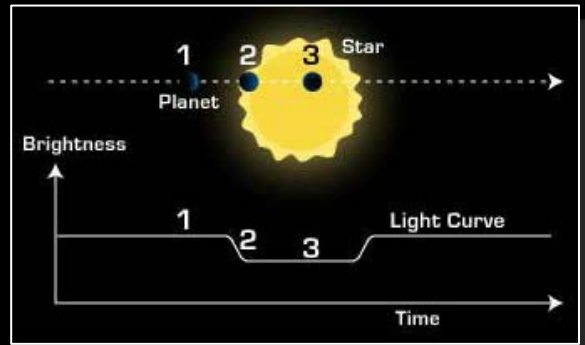
Ljusstyrka



Tid

<http://www.planethunters.org/>

Kombination av Dopplermetod och fotometrisk metod → Densitet

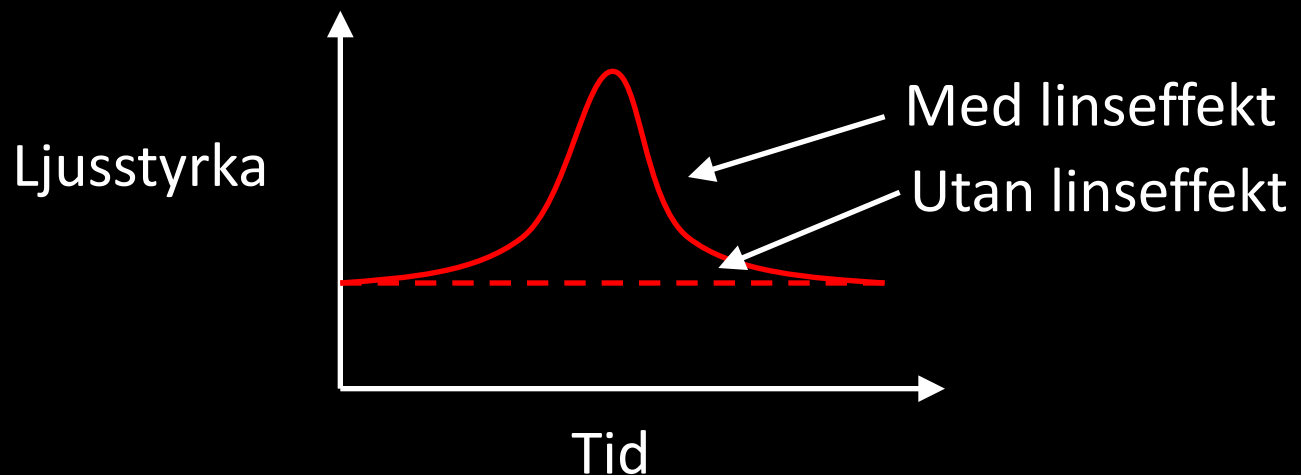
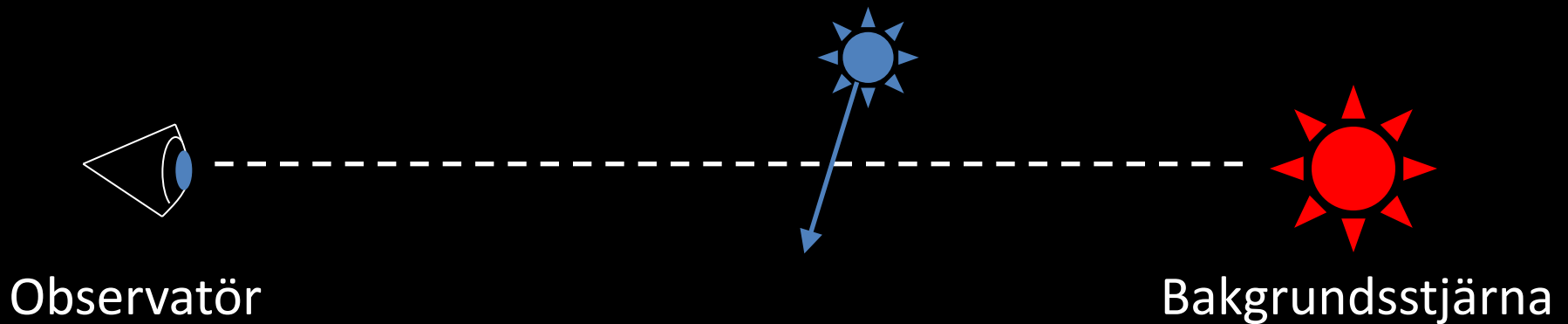


Density

$$\frac{\text{Mass}}{\text{Volume}} = 8.8 \text{ g/cm}^3$$

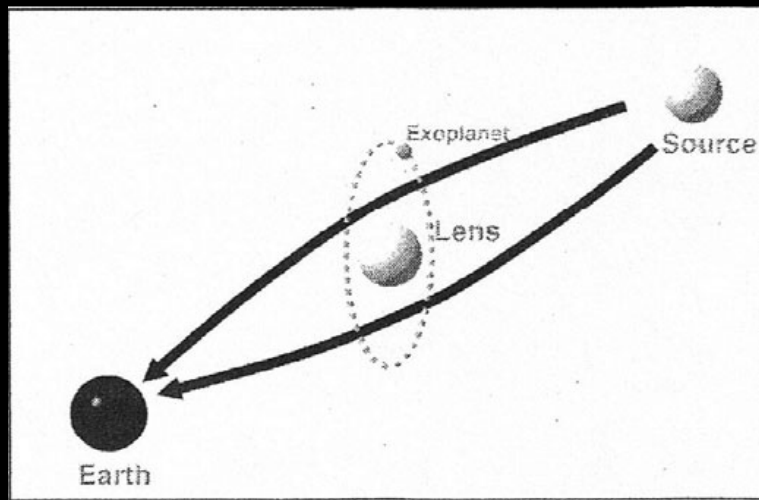
Gravitationslinseffekter I

Ljussvag förgrundstjärna
som rör sig genom synlinjen

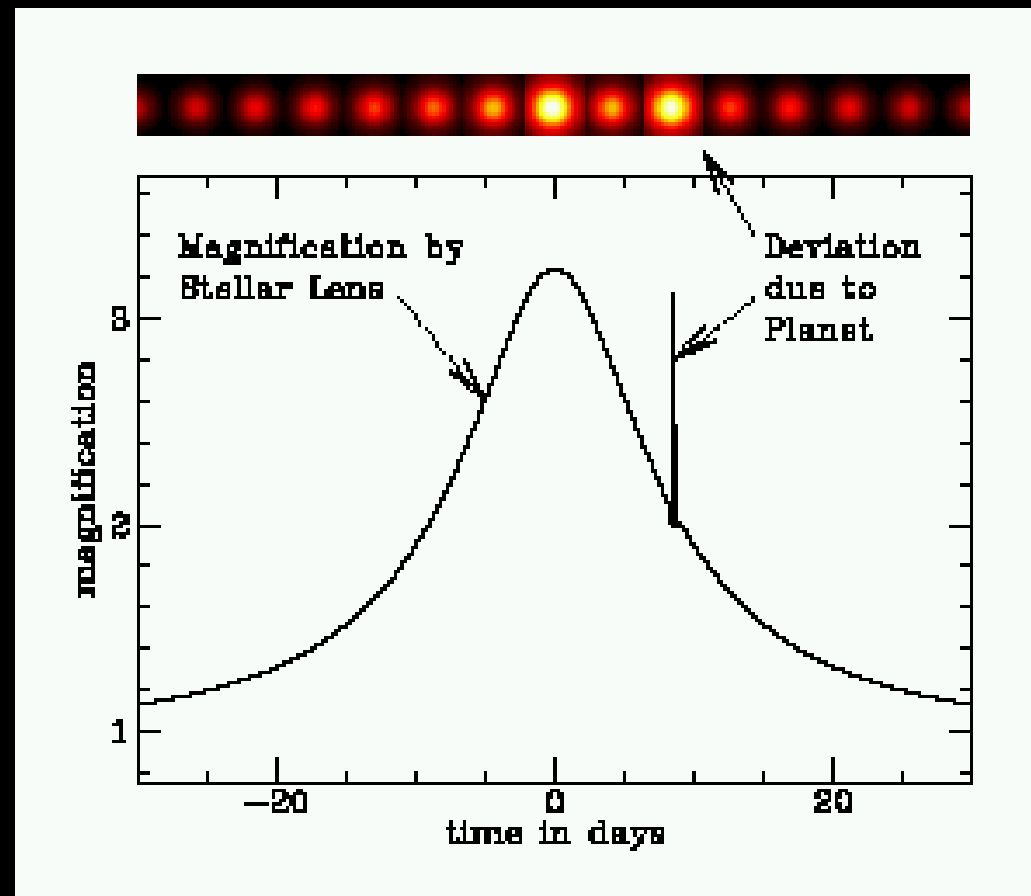


Gravitationslinseffekter II

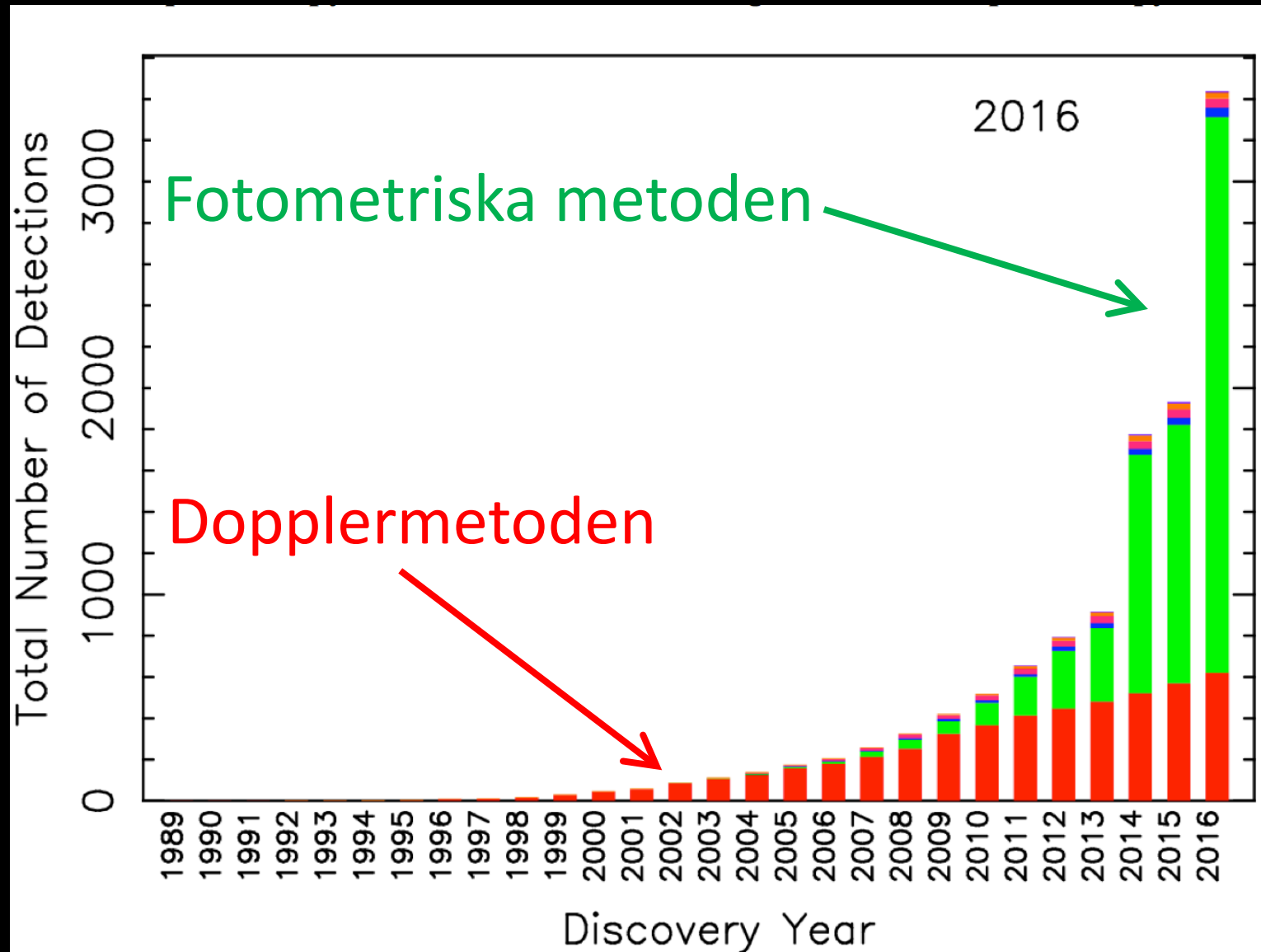
Om förgrundstjärnan åtföljs av en planeter får man ytterligare toppar i ljuskurvan



Effekten kallas *microlensing*
(en av många möjliga
gravitationslinseffekter)



Detektionsstatistik I



Detektionsstatistik II

- Totalt antal upptäckta planeter: ca 3500 (Sept 2017)
- Största antal upptäckta planeter i exoplanetsystem: 7 (TRAPPIST-1, Kepler-90)
- Den närmaste exoplaneten: 4.2 ljusår (Proxima Centauri b)
- Lättaste exoplaneten: ca 2% av jordens massa
- Längst omloppstid: ca 1 miljon år
- Kortast omloppstid: 2,2 timmar

De flesta exoplaneterna som upptäckts hittills har högre massa än Jorden och ligger (relativt sett) närmare sin moderstjärna → högre ytttemperatur

Liknar några exoplaneter jorden?

Rankning efter Earth Similarity Index (ESI), som beror på radie, densitet, flykthastighet och yttemperatur



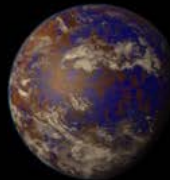
[0.85]

Proxima Cen b



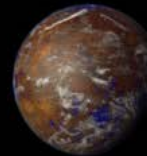
[0.85]

TRAPPIST-1 e



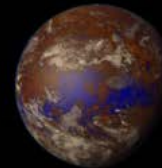
[0.84]

GJ 667 C c



[0.84]

Kepler-442 b

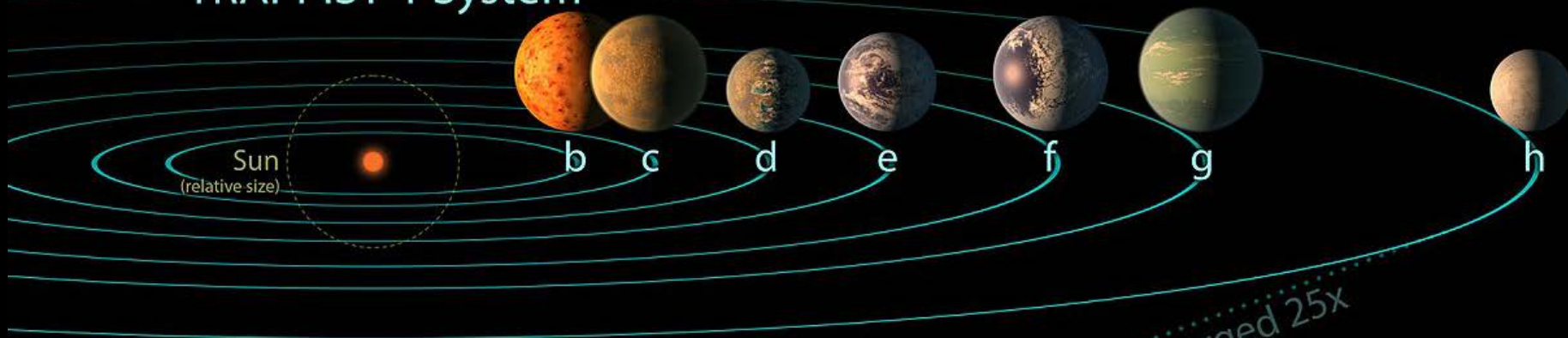


[0.77]

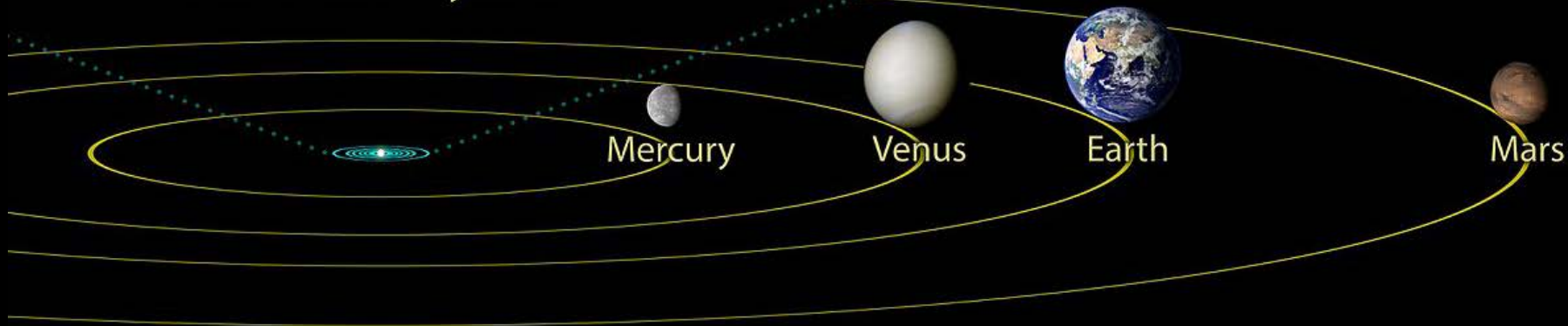
GJ 667 C f*

På denna skala har Jorden ESI = 1.0, Mars 0.64 och Jupiter 0.12

TRAPPIST-1 System



Inner Solar System

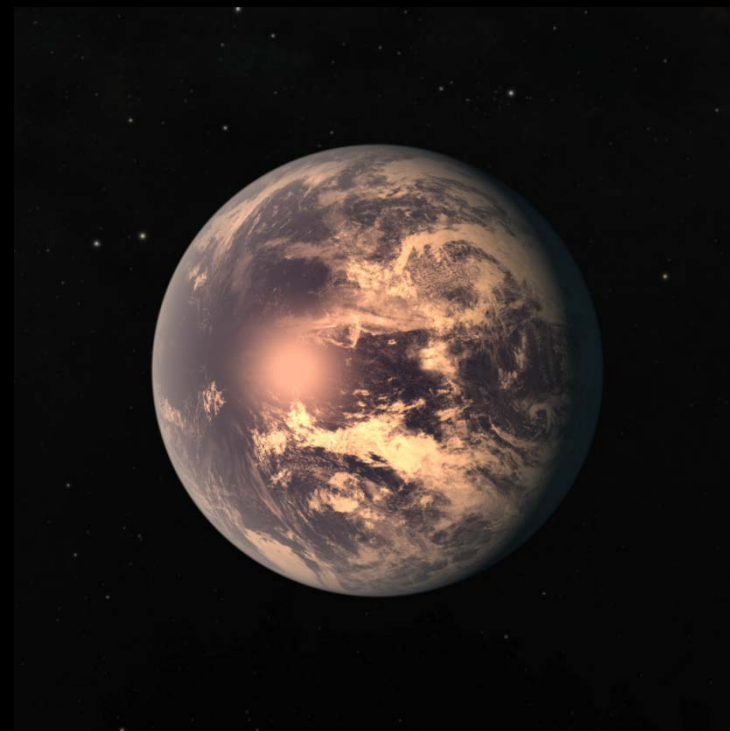


Orbits Enlarged 25x

Liknar några exoplaneter jorden?

Exempel: TRAPPIST-1e:

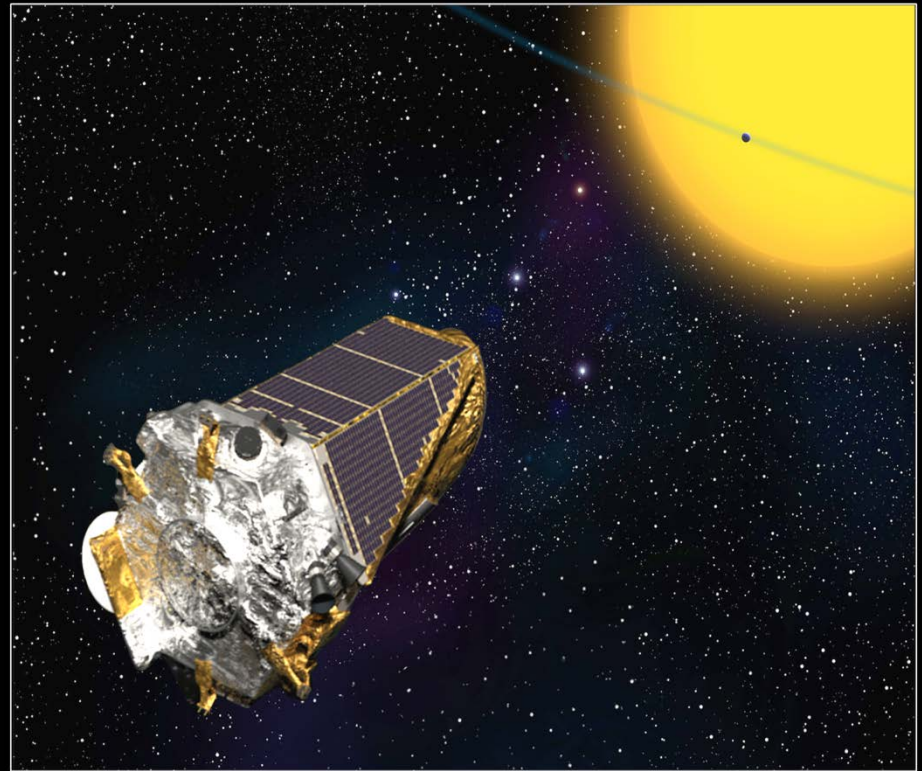
- 40 ljusår bort
- Radie ca 90% av jordens
- Ytgravitation ca 70% av jordens
- Upptäckt med fotometriska metoden
- Ett år på Kepler TRAPPIST-1e: 6 dagar
- Moderstjärnan mycket mindre, ljussvagare och svalare än solen
- Kan ha flytande vatten



Konstnärlig tolkning av TRAPPIST-1e

Rymdteleskopet Kepler

- Använder fotometriska metoden
- Avsaknaden av störande jordatmosfär ger överlägsen precision
- Har upptäckt flest exoplaneter hittills
- Mekaniskt haveri maj 2013 – Keplers kapacitet nedsatt



Kepler-teleskopet, i rymden sedan 2009 (uppskjutet av NASA)

Några av Keplers höjdpunkter

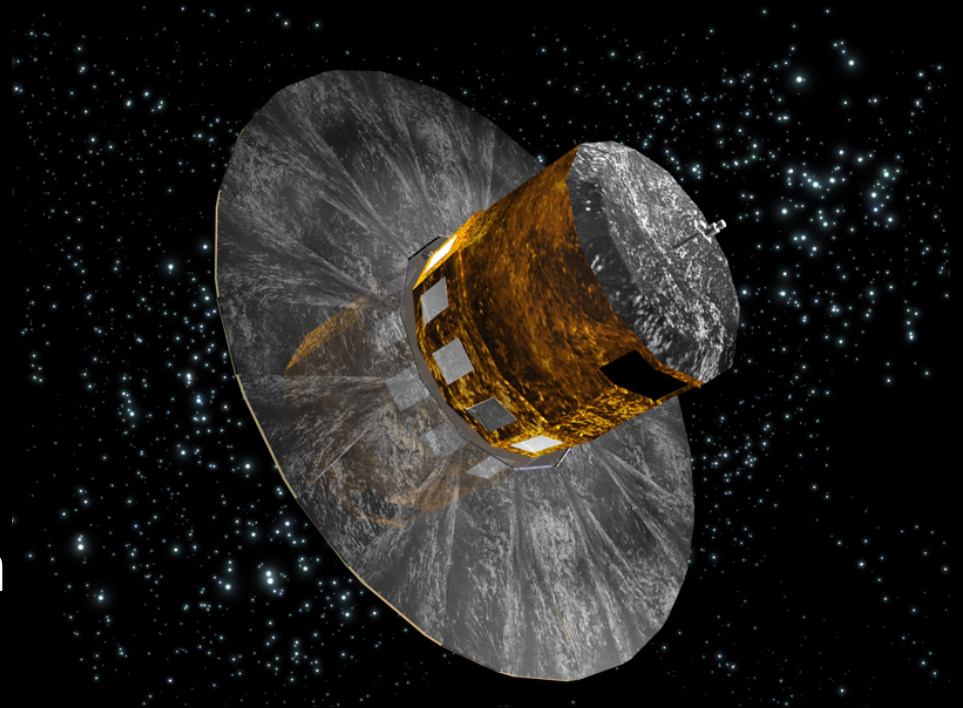
- Första dubbelstjärnorna med planeter upptäckta ("Tatooine")
- Första planeterna av jordens storlek upptäckta
- Minsta planeten hittills – ungefär stor som jordens måne



Tatooines dubbelsolar i Star Wars

GAIA

- Använder fotometriska metoden och astrometriska metoden
- Lennart Lindegren (Lund) är en av förgrundsgestalterna
- Sköts upp av ESA december 2013



Den beboeliga zonen I

(Cirkumstellära) Beboeliga zonen :

Den zon kring en stjärna där planeter med flytande vatten på ytan kan finnas

Synonymer:

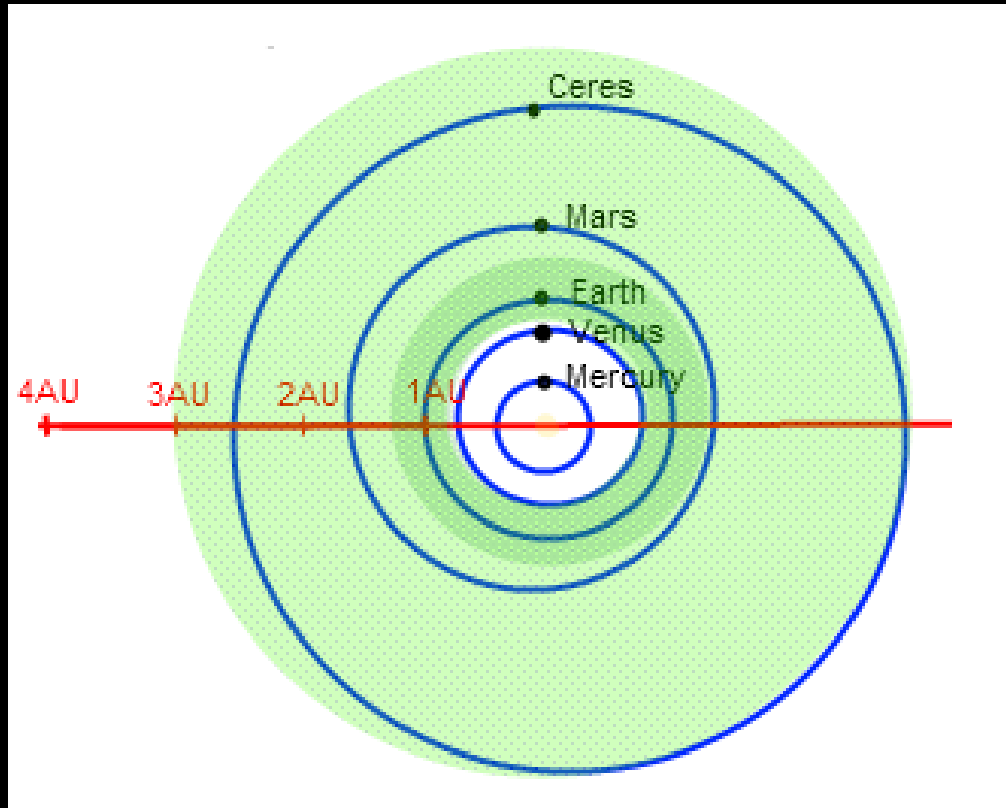
- Life zone
- Goldilocks zone
- Liquid water belt

Den beboeliga zonen II

Zonens storlek beror bland annat på:

- Planetens avstånd från stjärnan
- Stjärnans massa, temperatur och utvecklingsstadium
- Planetens atmosfärstryck och kemiska sammansättning
- Växthusprocesser i planetatmosfären
- Planetens albedo (reflektionsförmåga)

Vårt solsystems beboeliga zon

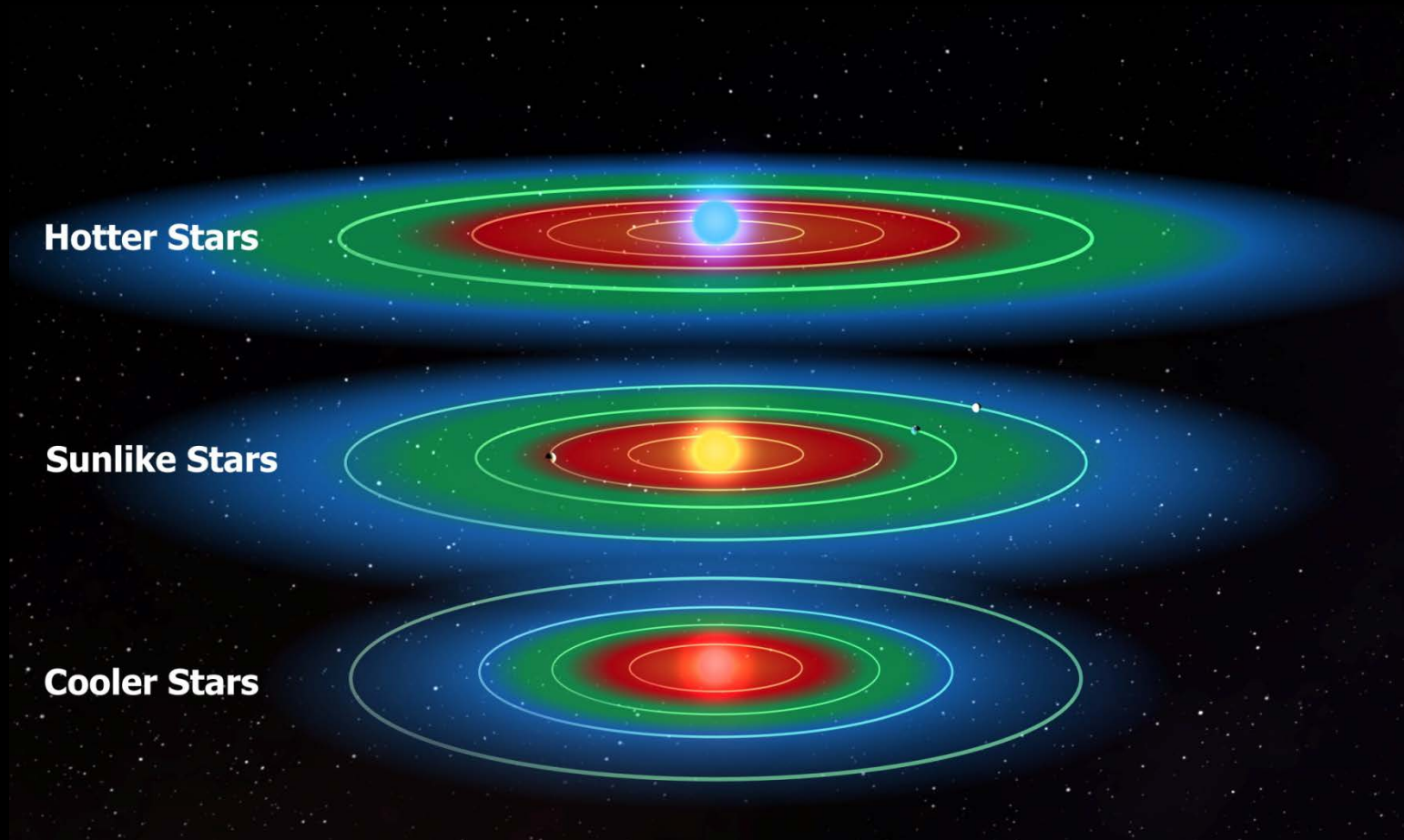


Mörkgrön zon gäller planeter av Jordens/Venus massa

Ljusgrön zon gäller planeter med aningen högre massa

Obs! Exakt utsträckning svår att beräkna exakt, även för vårt eget solsystem.

Beboeliga zonens beroende av stjärnans temperatur



Grov uppskattning utifrån Keplers data

Ca 1-10% av alla solliknande stjärnor i Vintergatan har en jordlik planet i sin cirkumstellära beboeliga zon →
~ 1-10 miljarder sådana planeter i Vintergatan

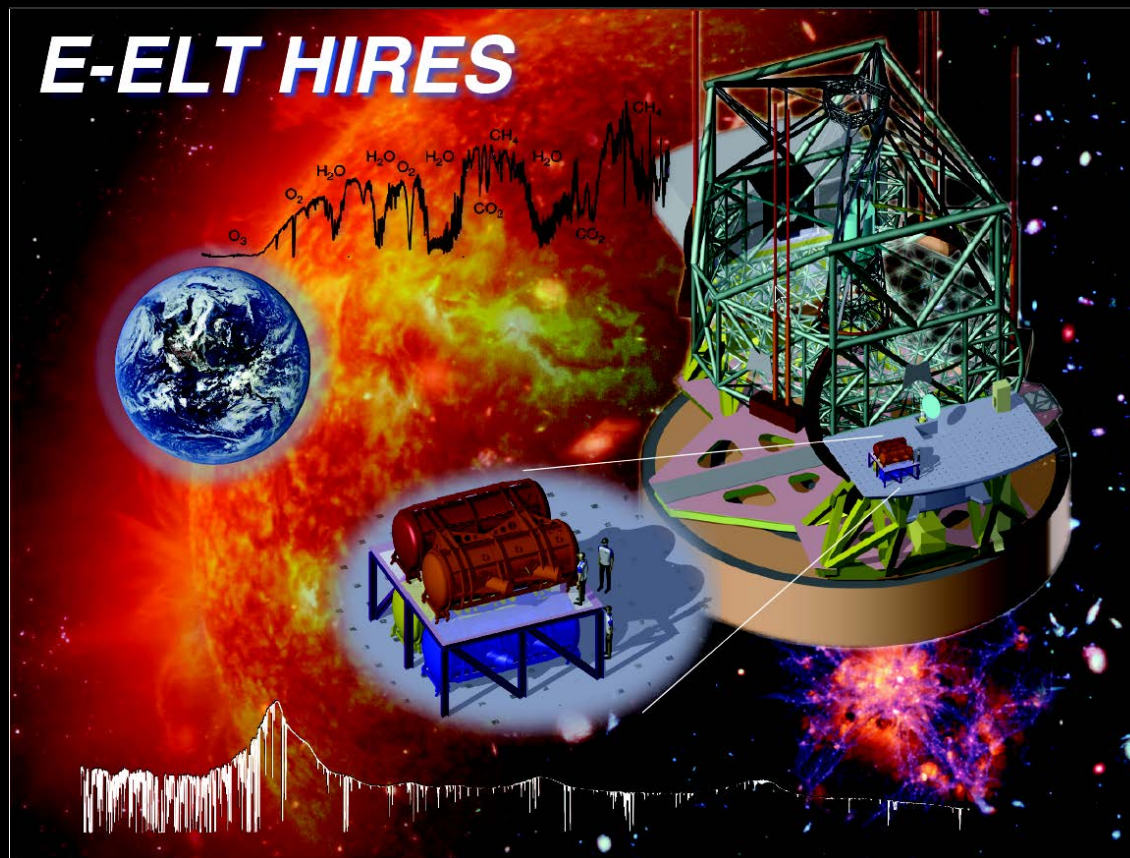
Osäkerheterna är dock stora:

- Stjärnor som är lättare och svalare än solen är vanligare, och kan ha stor andel jordlika, beboeliga planeter
- Beboeliga zonens utsträckning omstridd för alla sorters stjärnor

Framtidens jätteteleskop



HIRES



Forskare vid Uppsala Universitet är med och bygger instrumentet HIRES för Extremely Large Telescope (ELT).
Med HIRES hoppas man kunna upptäcka biosignaturer i atmosfären hos exoplaneter av jordens storlek.

Om sannolikheter

Klassiskt tankefel:

A: "Det finns 1 miljard planeter i Vintergatan som i någon mening liknar vår jord"

B: "Ja, men då är det ju *självkligt* att det måste finnas intelligent liv på andra platser än här"

Vad är det egentligen för fel med detta?

Om sannolikheter II

Mer extremt exempel:

A: "Det finns 1 miljard planeter i Vintergatan som i någon mening liknar vår jord, och

åtminstone 100 miljarder galaxer i universum"

B: "Ja, men då är det ju *självlart* att det måste finnas intelligent liv på andra platser än här"

Är detta också fel?

Brister i definitionen/beräkningen av cirkumstellära beboeliga zonen

- Utgår från att allt liv är vattenbaserat (möjligheten till liv i ex. flytande metan eller ammoniak ignoreras)
- Tar inte hänsyn till flytande vatten under fast yta (ex. Jupitermånen Europa)
- Tar inte hänsyn till phase/tidal locking
- Gissningar som påverkar resultatet:
Atmosfärssammansättning och förekomsten av molntäcke

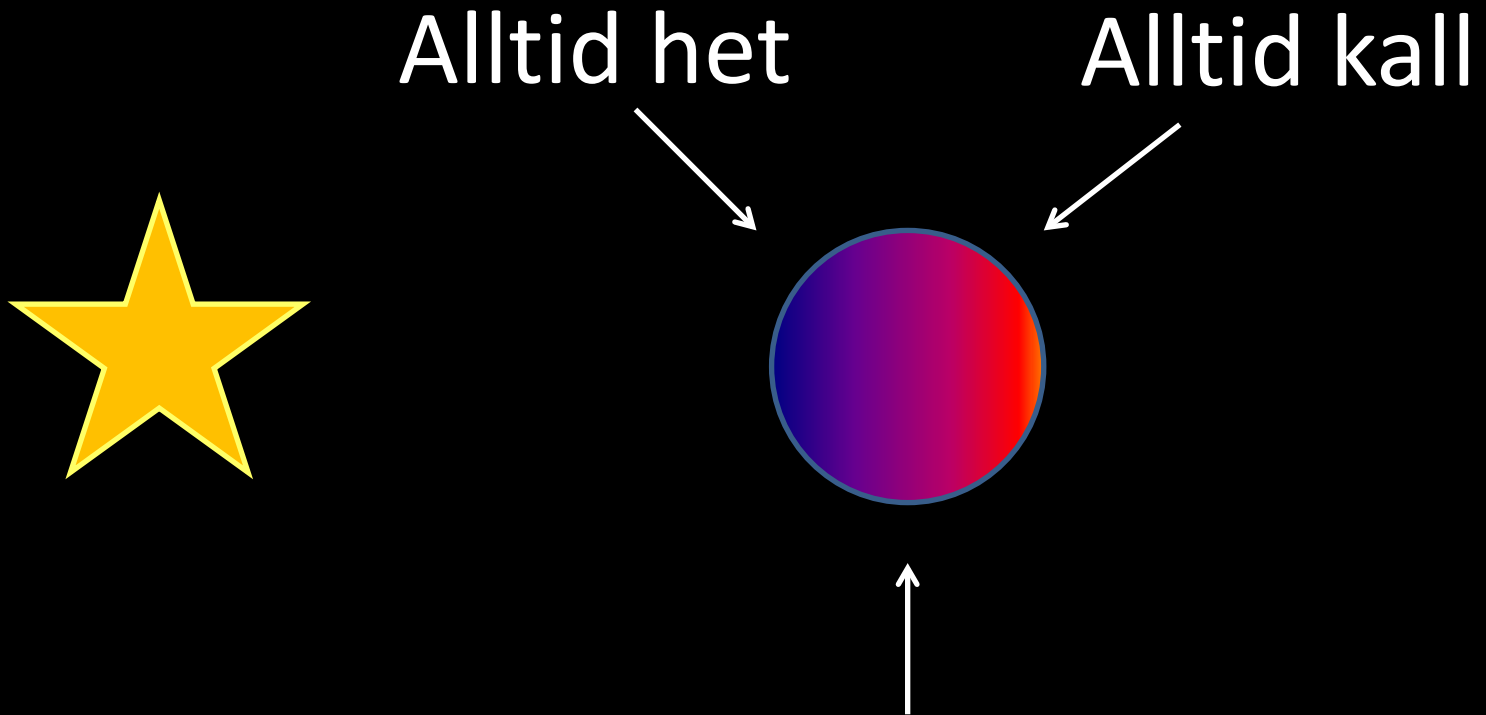
”Phase/tidal-locking” av månar

Många månar deformeras en aning av dragningskraften från sin moderplanet. Detta påverkar månens egen rotation och leder tillsist till en situation där månen hela tiden vänder (i stort sett) samma sida mot planeten.



Exempel: Jordens måne

”Phase/tidal-locking” av planeter

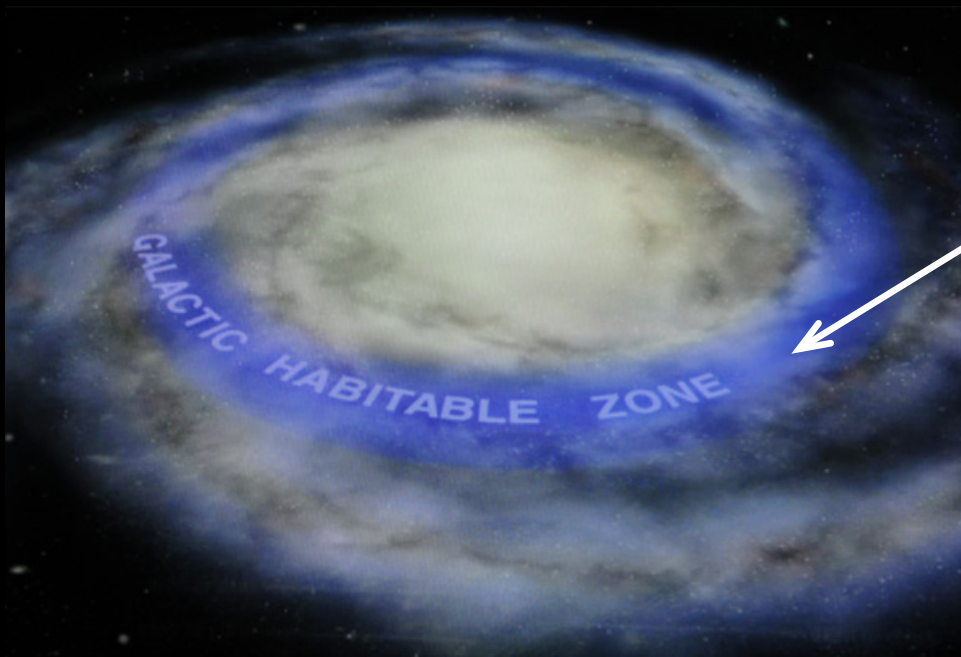


Men här kan möjligen
utsikterna för liv
vara bra

Den galaktiska beboeliga zonen

Galaktiska beboeliga zonen :

Den region av skivgalaxer som anses gynnsam för förekomsten av liv



Kanske 15000 ljusår bred i Vintergatans fall

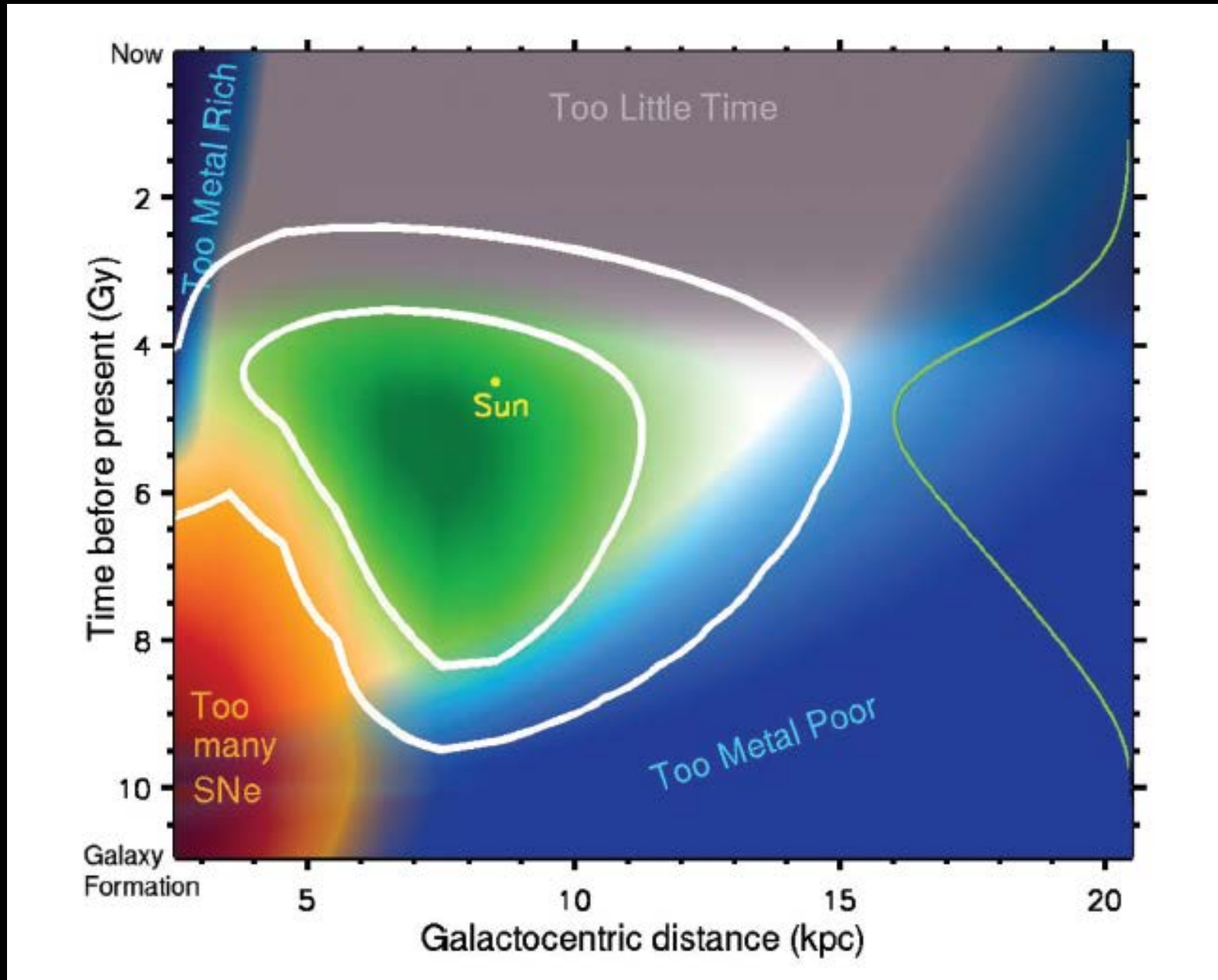
Observera: Detta är ett mindre välutforskat fält, och alla håller inte med om att en sådan zon enkelt låter sig definieras!

Den galaktiska beboeliga zonen II

Vad som definierar zonen:

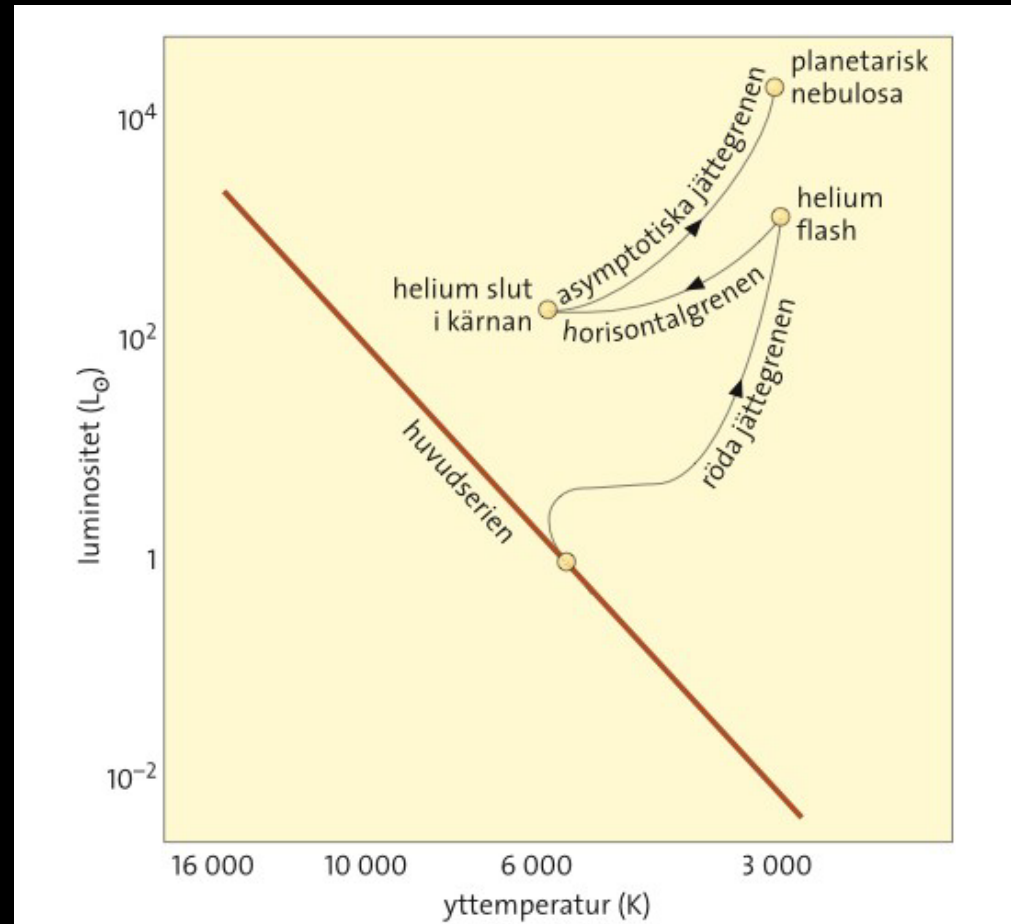
- Metallfördelningen ej jämn i Vintergatsskivan -
För att bilda planeter måste moderstjärnan ha en viss mängd tunga grundämnen ("metaller") till sitt förfogande
 - För få metaller → Jordlika planeter kan inte bildas
- Viss tid krävs för uppkomsten av komplext liv (4 miljarder år?)
- Närhet till supernovor (kraftig stjärnbildning i det förflutna) är farligt för vår typ av liv

Den galaktiska beboeliga zonen III



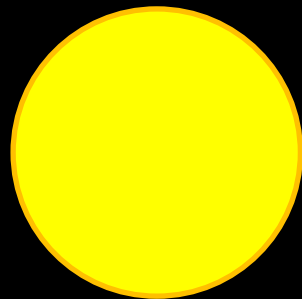
Astronomiska faror för vår typ av liv I: Solens begränsade livslängd

- Om 1 miljard år har solens temperatur ökat tillräckligt för att flytta den beboeliga zonen utåt i solsystemet → Jordens hav ångar bort



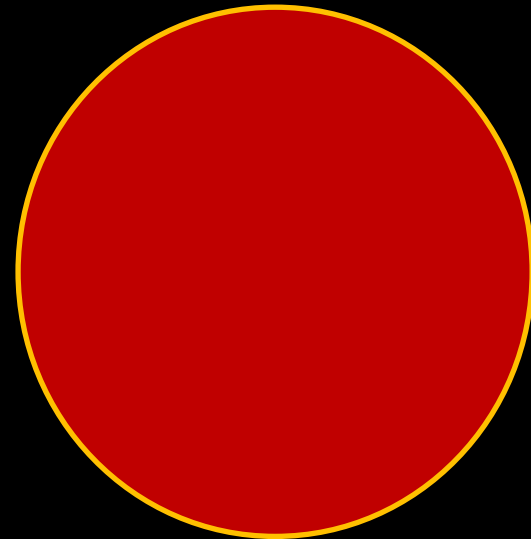
Astronomiska faror för vår typ av liv I: Solens begränsade livslängd

Solen idag



Planeter

Solen som röd jätte

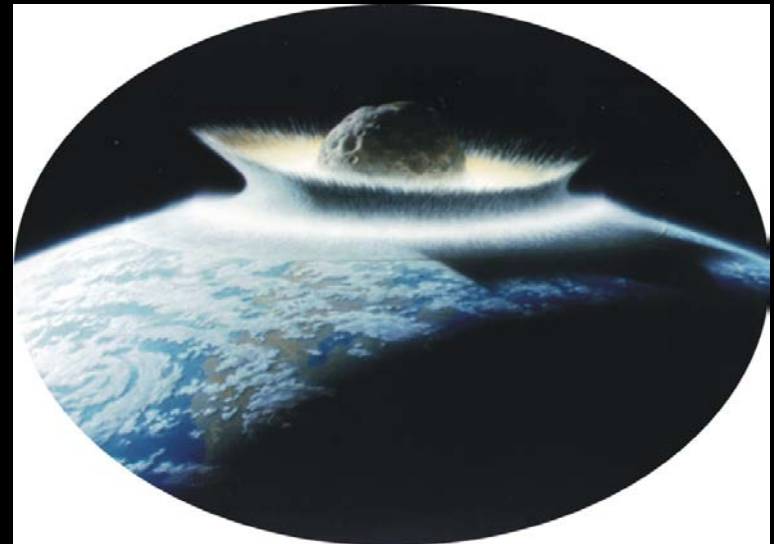


- Om ca 5 miljarder år sväller Solen upp och blir en röd jätte → Merkurius, Venus och Jorden hamnar sannolikt inuti (om vi inte ändrar jordens bana)

Astronomiska faror för vår typ av liv II:

Nedslag av stora himlakroppar

- Nedslag av asteroider stora nog att kraftigt rubba ekosystemet (t.ex. utrota dinosaurierna) tros ske med ~ 100 miljoner års mellanrum



Websida för beräkning av nedslagseffekter:

<http://impact.ese.ic.ac.uk/ImpactEffects/>

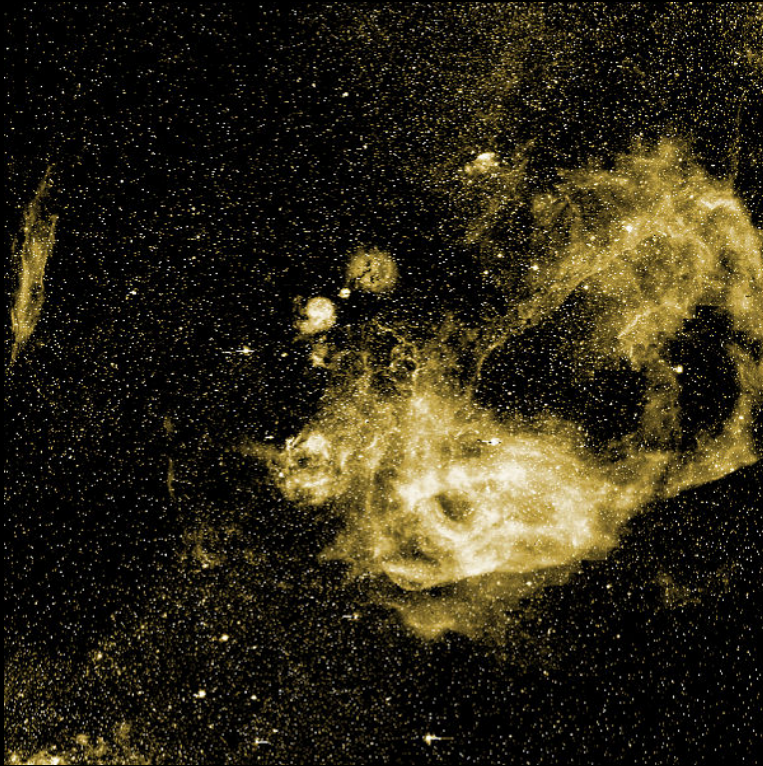
Astronomiska faror för vår typ av liv III:

Supernovor

- Vissa stjärnor exploderar som supernovor vid slutet av sin livstid
- En supernova som exploderar inom ≈ 30 ljusår från jorden kan förstöra ozonskiktet så att skadlig strålning släpps igenom
- Uppskattning: En explosion inom 30 ljusår en gång på 240 miljoner år



Rester efter närbelägna supernovaexplosioner



Velas supernovarest –
exploderade ca 10000 f.Kr
Avstånd: 800 ljusår



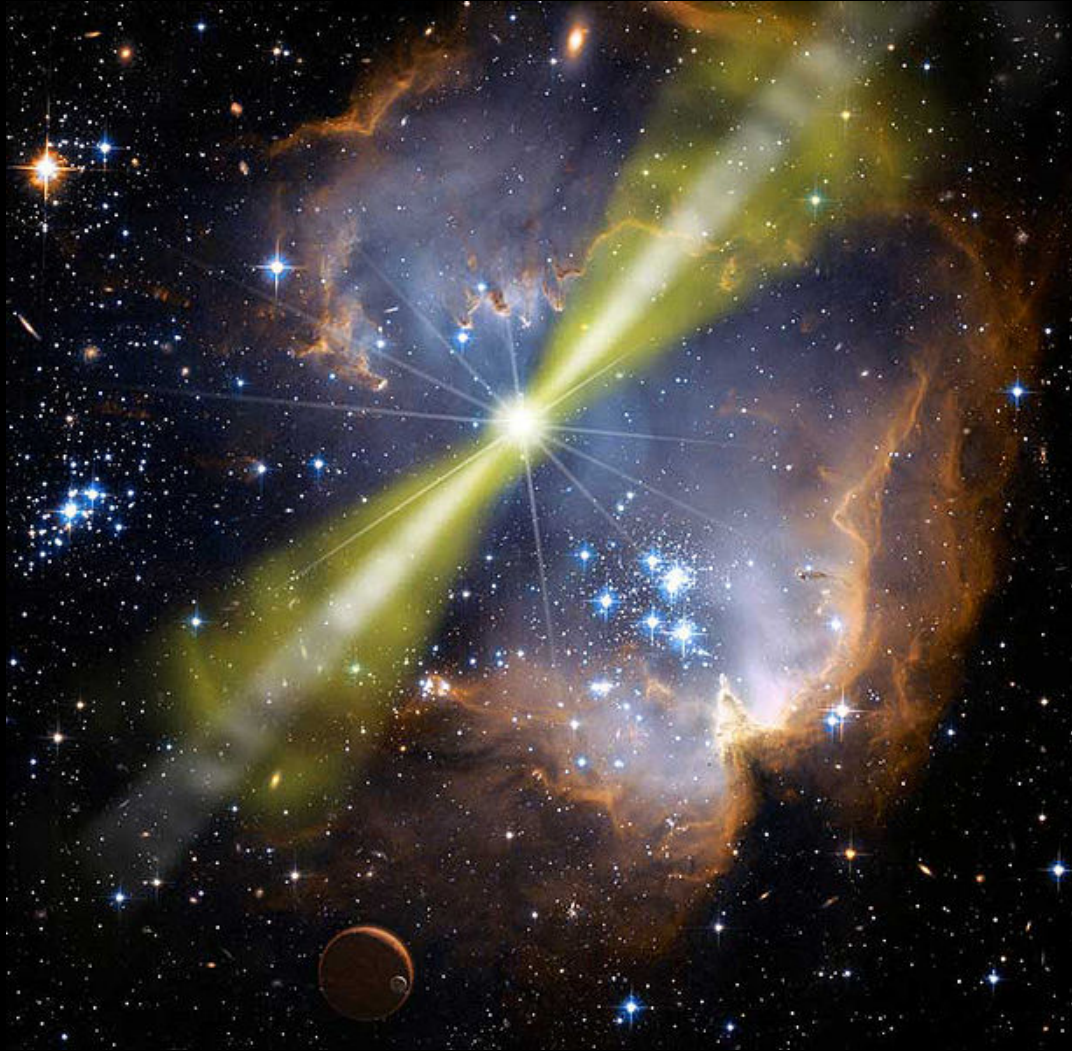
SN 1006 – sågs explodera
1 maj 1006 e.Kr
Avstånd: 7200 ljusår

Astronomiska faror för vår typ av liv IV:

Gammablixtar

- Kortvariga men otroligt kraftfulla utbrott av gammastrålning ($\sim 0.1\text{-}30$ s) som detekteras ca 1 gång om dagen
- De flesta kommer från avlägsna galaxer och är harmlösa
- En sorts gammablixtar skapas när mycket massiva stjärnor dör, och materia skjuts ut i två strålar (jets)
- En gammablixt i Vintergatan skulle ge effekter som är snarlika en supernova, men risken att man ska hamna i "dödsstrålarnas" väg uppskattas vara liten jämfört med andra kosmiska hot

Gammablixstens "dödsstrålar"



Effekter på ozonlagret



GAMMA RAY BURST

*Nothing says shot the f*** up better.*

- Joniserande strålning under 1 sekund (gammablixt) – 3 månader (supernova) förstör ozonlagret under lång tid
- Nuvarande "ozonhål":
3-5% *global* minskning
- Gammablixt i Vintergatan →
Kan ge 50% minskning under ≈ 5 år
- Gammablixt är möjlig kandidat till massutdöende för 440 miljoner år sedan

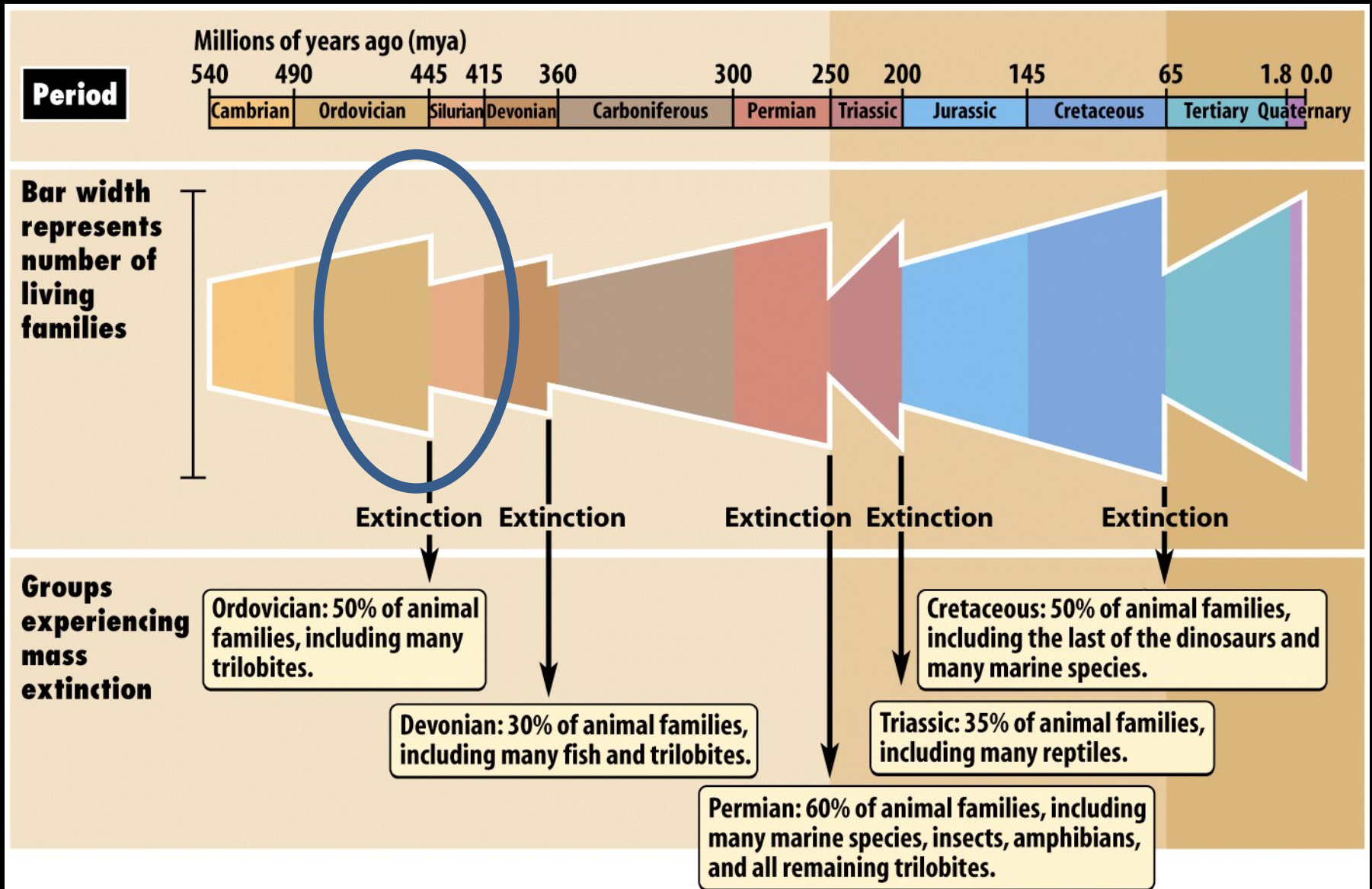


Figure 19-8 Discover Biology 3/e
© 2006 W. W. Norton & Company, Inc.

Är vi förlorare i det kosmiska lotteriet?

Chansen att hamna i vägen för en gammablixts strålar må vara liten, statistiskt sett, men stjärnan WR104 i Vintergatan kan möjligen explodera som en gammablixt och troddes tills nyligen vara riktad rakt mot oss!

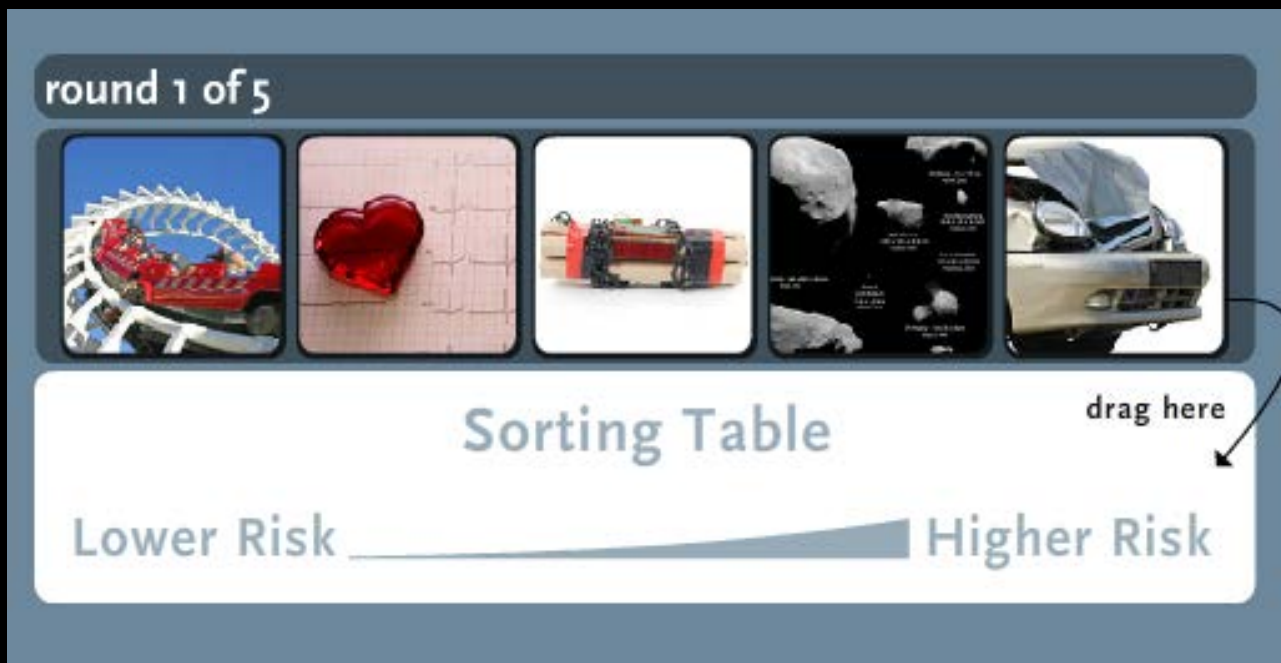


WR104



Orolig för kosmiska hot?

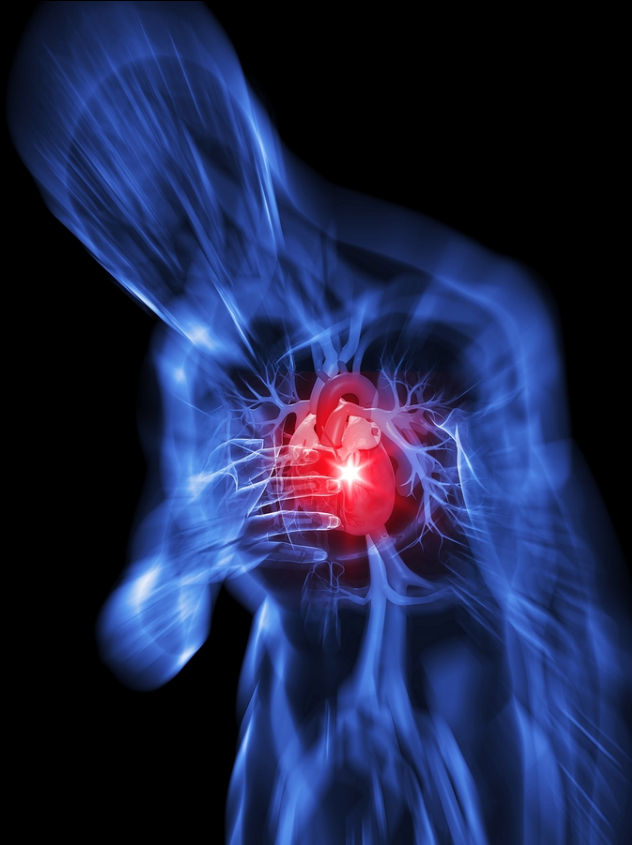
Kosmiska faror *är* ett hot mot mänsklighetens långsiktiga överlevnad, men för en enskild individ finns det annat som är mycket, mycket farligare...



www.killerasteroids.org/interactives/risk/index.php

- lärarik övning där olika risker jämförs!

Mer sannolikt att man dör av...



en hjärtattack eller ett asteroidnedslag?

Mer sannolikt att man dör av...



en terrorattack eller ett asteroidnedslag?

Mer sannolikt att man dör av...



en hajattack eller ett asteroidnedslag?

Läsning inför föreläsningarna 4-5

Föreläsning 4:

Davies: kapitel 4 (sid 66-83)

Föreläsning 5:

Webb: Kapitel 1-4

Obs! Detta är 210 sidor!

Börja i tid!

