

Föreläsning 20.11: exoplaneter och svarta hål



Astronomikurs, Raseborgs
medborgarinstitut 2025

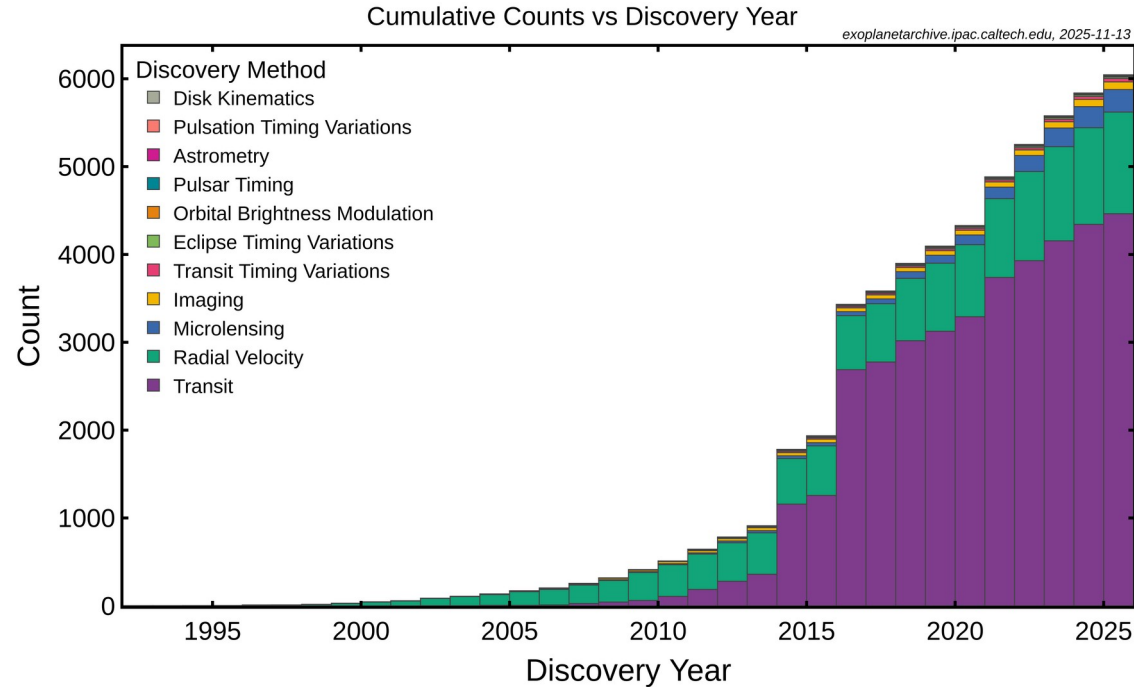
Bild: ESA/Hubble

Vad är en planet?

- Enligt IAU's (International Astronomical Union) definition från 2006 är en planet en himlakropp som
 - Kretsar runt Solen (eller en annan stjärna)
 - Har formats rund pga. sin egen tyngdkraft
 - Dominerar sin omlopps bana, dvs. där finns inga andra himlakroppar av samma storlek
- I dvärgplaneter (Pluto, Ceres, Eris, Haumea, Makemake) uppfylls bara de två första kriterierna
- En måne (som kretsar runt en planet) är inte en planet även om den är tillräckligt stor för att vara rund

Exoplaneter

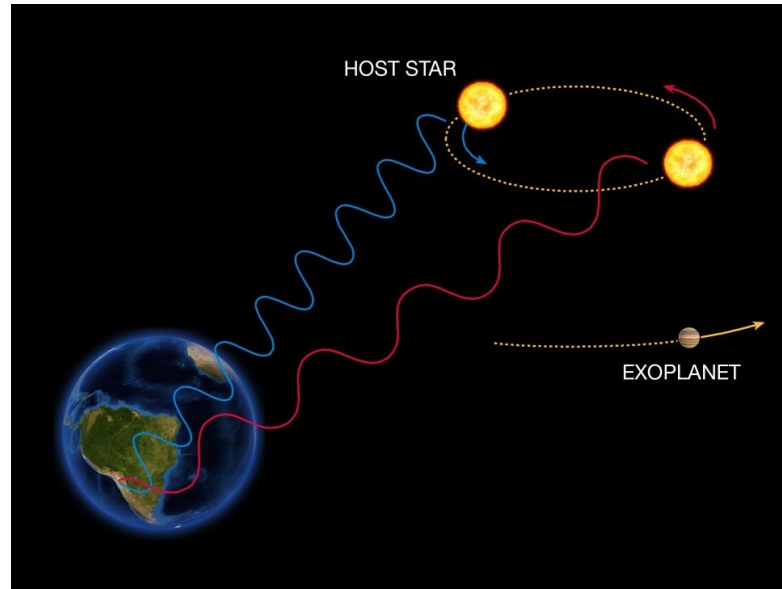
- Planeter som kretsar runt andra stjärnor
- Första hittades 1992, nu 6045 kända (13.11.2025)



Hur hittas de?

- Exoplaneter är svåra att observera, eftersom de inte lyser eget ljus (förutom infrarött) och befinner sig nära en stjärna som lyser starkt
- Främst via radialhastighets- och transitsmetoderna
- Radialhastiget: planeten kretsar egentligen inte runt stjärnan, utan båda kretsar runt systemets massmedelpunkt => planeten orsakar en periodisk rörelse i stjärnan, som syns som blå/rödförskjutning i spektrallinjerna
- Transitsmetoden: då en planet kommer rakt framför stjärnan, minskar mängden strålning från stjärnan
- Endast några exempel där exoplaneten har fotograferats direkt

Radialhastighetsmetoden

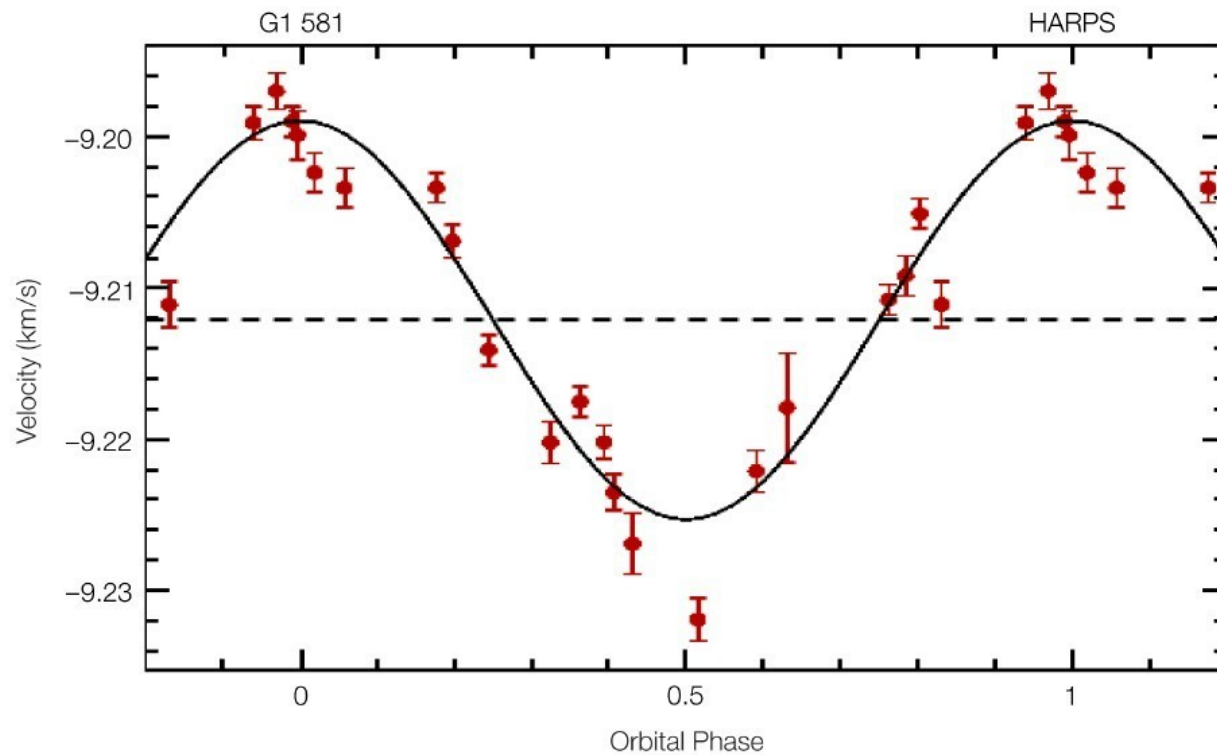


The Radial Velocity Method

ESO Press Photo 22e/07 (25 April 2007)

This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.





Radial Velocity Curve of Gliese 581
(HARPS/3.6-m)

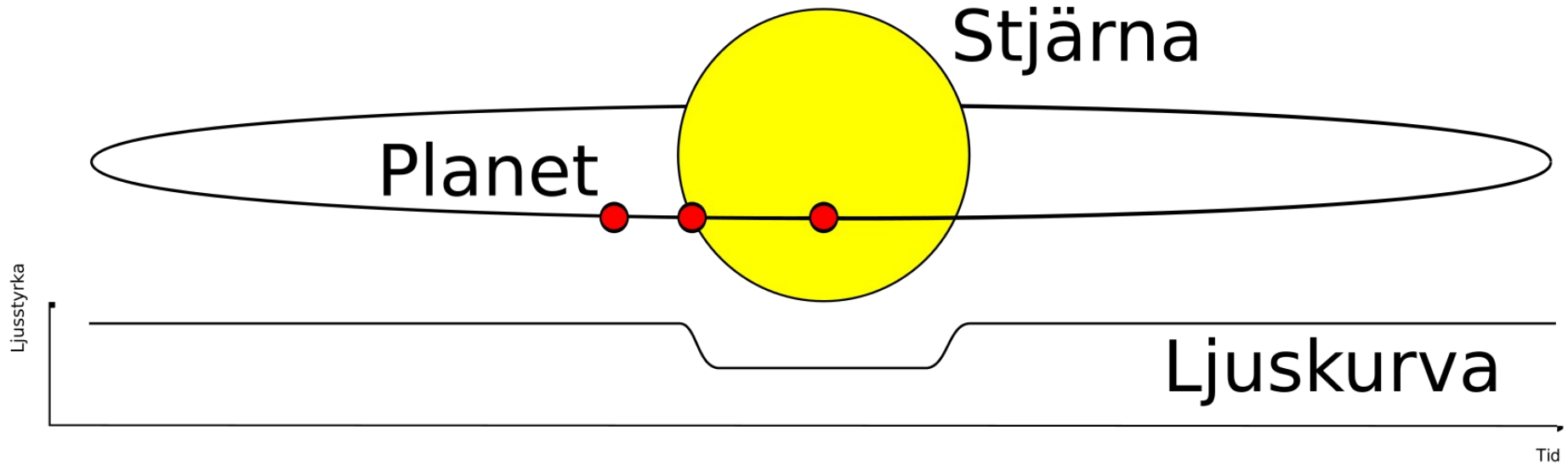
ESO PR Photo 37/05 (November 30, 2005)

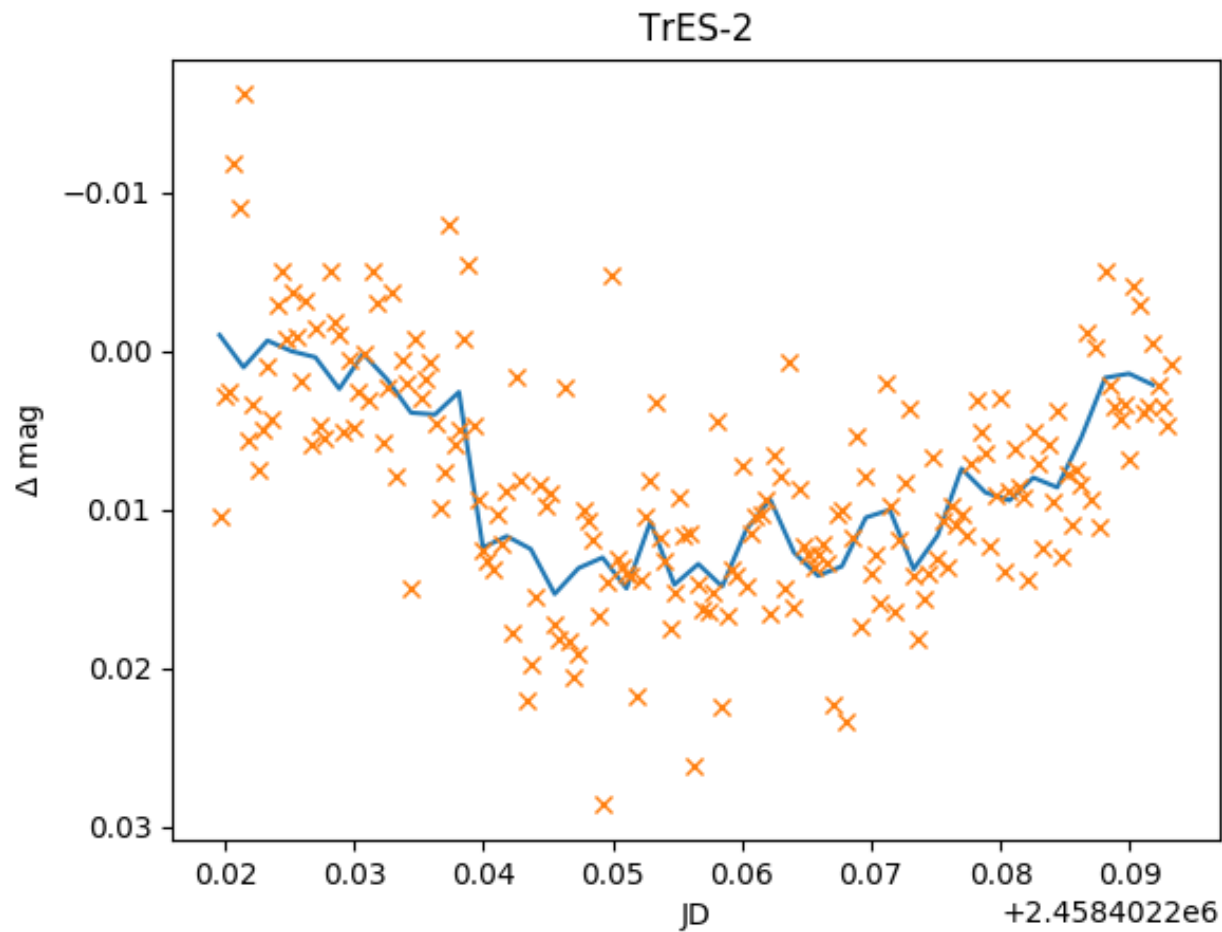


© ESO

Astronomikurs, Raseborgs
medborgarinstitut 2025

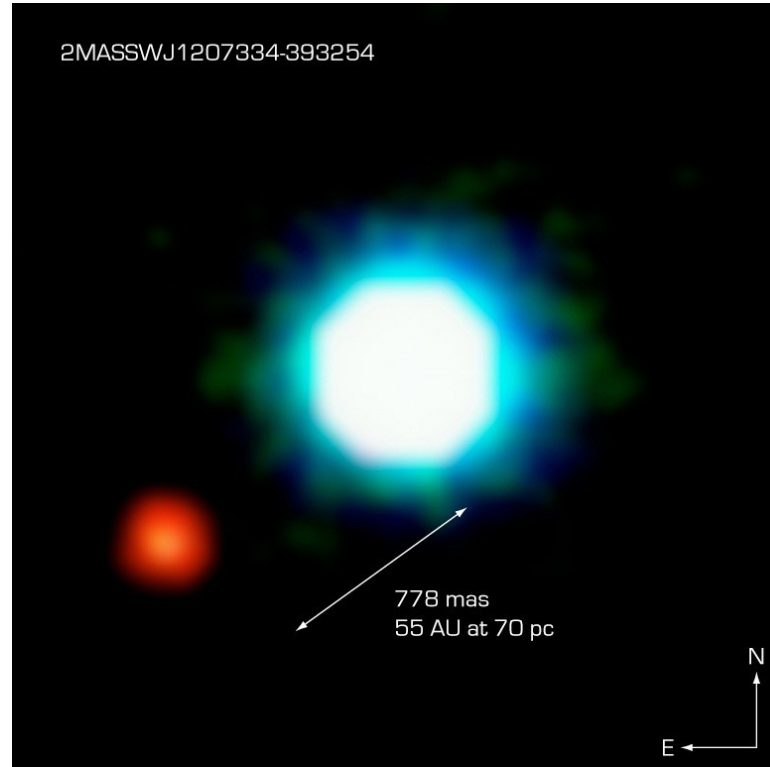
Transitsmetoden



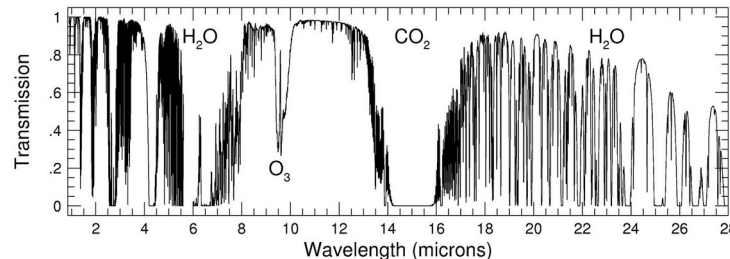


Ljuskurva av stjärnan TrES-2 under en exoplanets transit, observerad från Metsähovi i Kyrkslätt.

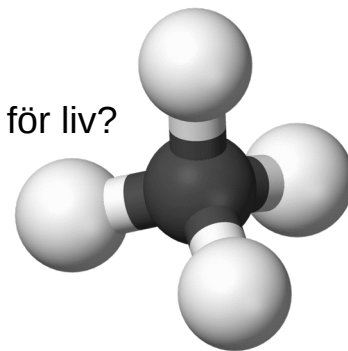
Direkt bild



Förhållanden

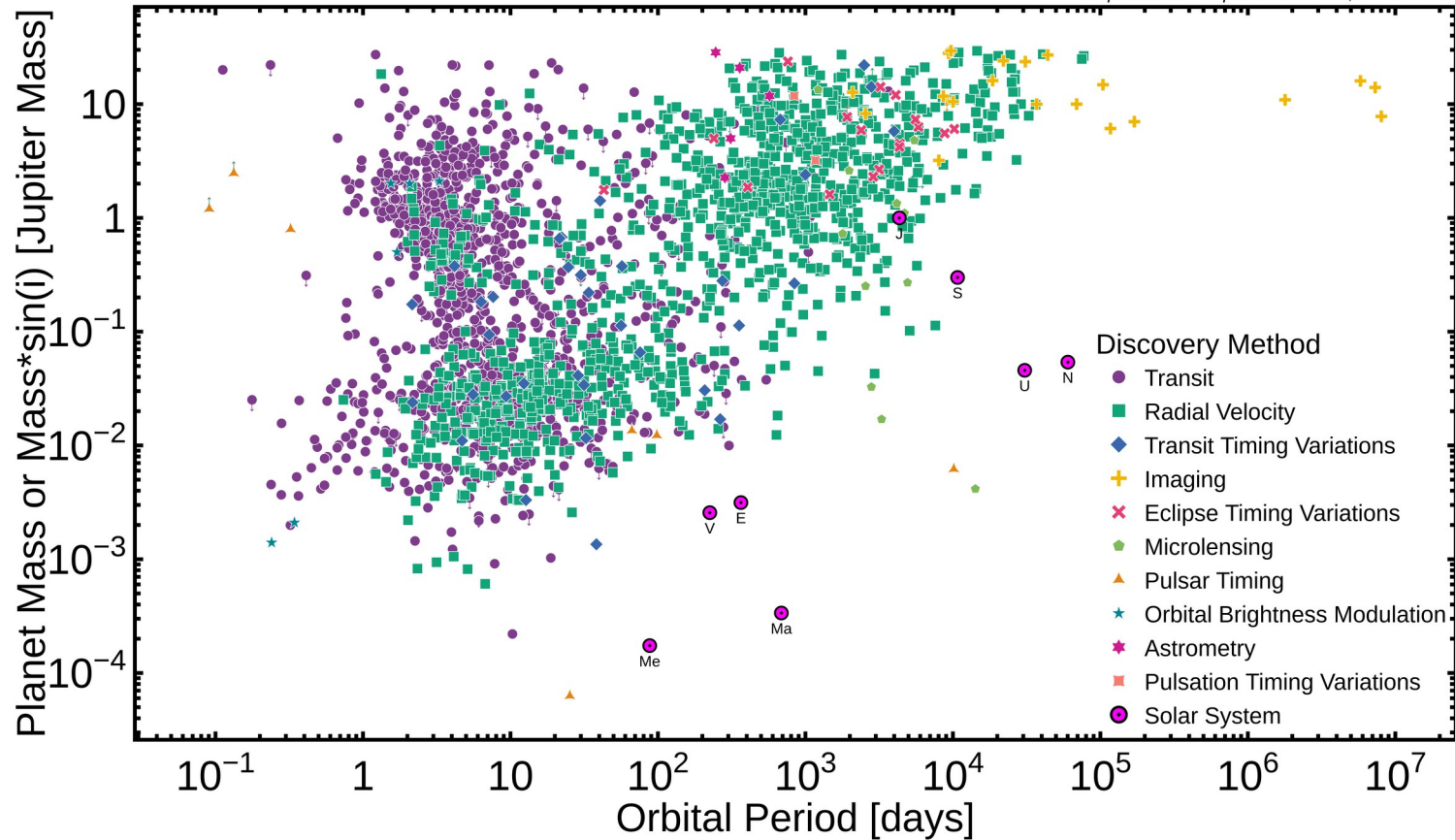


- Om stjärnans ljus kommer genom planetens atmosfär (under en transit) förändras stjärnans spektrallinjer, vilket berättar om förhållanden på planeten
- James Webb undersöker bl.a. exoplaneters atmosfärer
 - Bevis på t.ex. molekylär syre (O₂) eller andra biomarker kunde påpeka på liv?
- En stor mängd jordliknande planeter har redan hittats
- Vad är kraven för att liv kunde utvecklas?
- Liv på Jorden kräver
 - En lämplig avstånd från stjärnan; vatten måste hållas som en vätska (kanske flytande metan kunde fungera som lösningsmedel i -180°C? På Saturnus måne Titan cirkulerar metan som vatten på jordytan)
 - Organiska ämnen (kolväte-föreningar) – verkar vara vanliga
 - Skydd från energiska partiklar från rymden – atmosfär och magnetfält (flare-utbrott från stjärnan eller supernovor i granskapet kan vara farliga, i centrum av galaxen kan strålning från centrala svarta hålet vara farligt)
 - Tid (massiva stjärnor dör i några miljoner år – livet på Jorden har utvecklats under flera miljarder år)
- Salta oceaner nedanför frusna ytan vanliga på många månar i yttre solsystemet, möjliga platser för liv? Europa, Enceladus, Ganymedes, Callisto, Triton...?



Planet Mass or Mass*sin(i) vs Orbital Period

exoplanetarchive.ipac.caltech.edu, 2025-11-13



Liv i universum

- Än så länge vet vi om liv endast på Jorden
- Radiosignaler från främmande civilisationer letas efter, har också skickats från Jorden
- Fermis paradox: var är alla?
 - Kanske vi är (nästan) ensamman?
 - Kanske civilisationer inte vill göra sig kända?
 - Kanske främmande livsform är så olika oss att vi inte ens känner dem som liv? Radiovågor är lätta för oss att kommunicera med, men kanske inte för dem?

Svarta hål

- Flykthastighet: hastigheten som behövs för att undkomma en himlakropps gravitation
 - Från Jordytan 11 km/s
 - Från solsystemet (på Jordens avstånd) 42 km/s
 - Från Solens yta 617 km/s
- Då flykthastigheten överkommer ljusets hastighet ($\sim 300\,000$ km/s) kan ingenting undkomma objektet – detta sker vid ett svart håls *händelsehorisont*

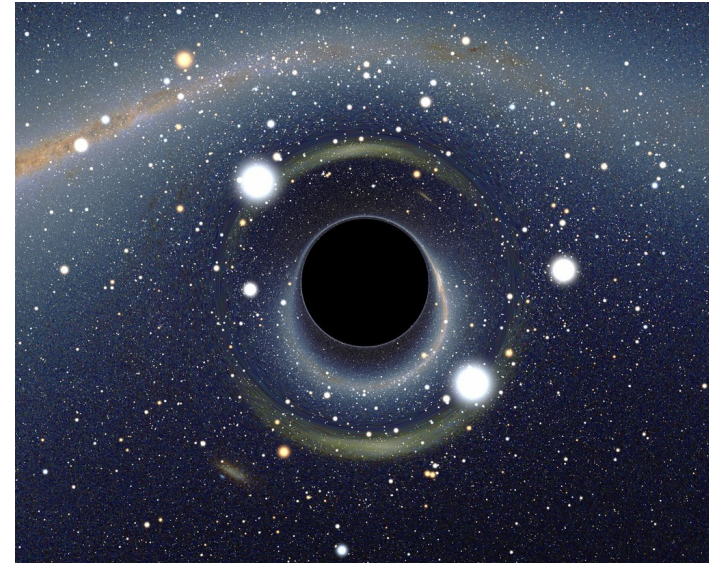


Bild: Alain Riazuelo

Hur bildas svarta hål?

- I princip behöver man bara klämma ihop material tillräckligt tätt, inuti dess Schwarzschilds radie (= händelsehorisontens radie)
 - För Jordens massa skulle Schwarzschilds radien vara 9 mm
 - För Solen 3 km
 - Sagittarius A* i centrumet av Vintergatan, 4 miljoner $M_{\odot}$: 0.1 AU
- Den enda kända mekanismen för att bilda svarta hål är via supernovaexplosioner, där massiva stjärnor dör
- Supermassiva svarta hål i centrum av galaxer är miljontals gånger mera massiva än stjärnor, de måste ha uppkommit via någon annan okänd mekanism

Struktur

- Om ett svart hål inte roterar, är det i princip en väldigt simpel objekt
 - Innuti händelsehorisonten antar man att all materia har samlats till en singularitet, en oändligt liten punkt utan någon inre struktur
 - Fysikens teorier kan dock inte beskriva vad som sker innuti händelsehorisonten, så vi vet inte säkert: en teori om *kvantgravitation* behövs
- Om hålet roterar (så som allt vanligtvis gör), är situationen lite mera komplex
- Två svarta hål med samma massa och rotation (och elektrisk laddning) är identiska
- Nära svarta hål böjs även ljusets riktning

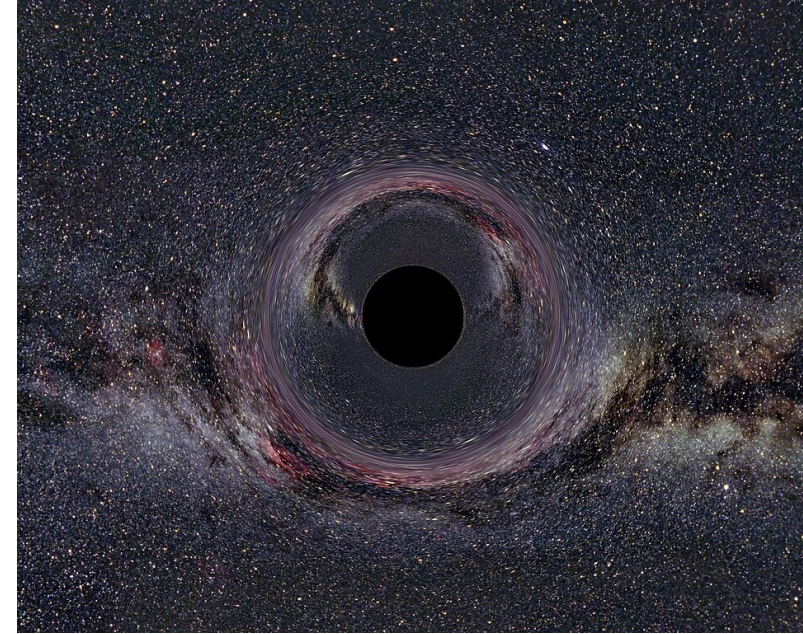
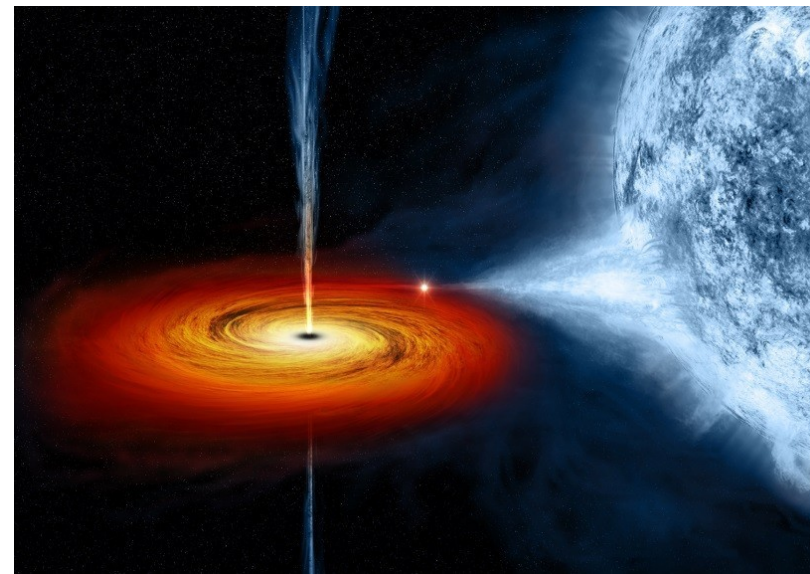


Bild: Ute Kraus, Physics education group Kraus, Universität Hildesheim

Hur kan svarta hål observeras?

- Ingen (mätbar) strålning kommer från svarta hål
 - Svarta hål avger Hawkingstrålning, som är för svagt för att mätas
- Ett isolerat svart hål är svår att observeras
 - Kan fungera som en gravitations(mikro)lins: påverkar ljuset från ett objekt direkt bakom svarta hålet
- Om material faller i svarta hålet, bildar det en ackretionsskiva, som upphettas och avger stark röntgenstrålning
- I en dubbelstjärnsystem där en stjärna och ett svart hål kretsar varandra, kan man se endast stjärnan, men svarta hålets gravitation påverkar stjärnans rörelse
 - <https://galacticcenter.astro.ucla.edu/animation.html>
- Gravitationsvågor då två svarta hål kolliderar



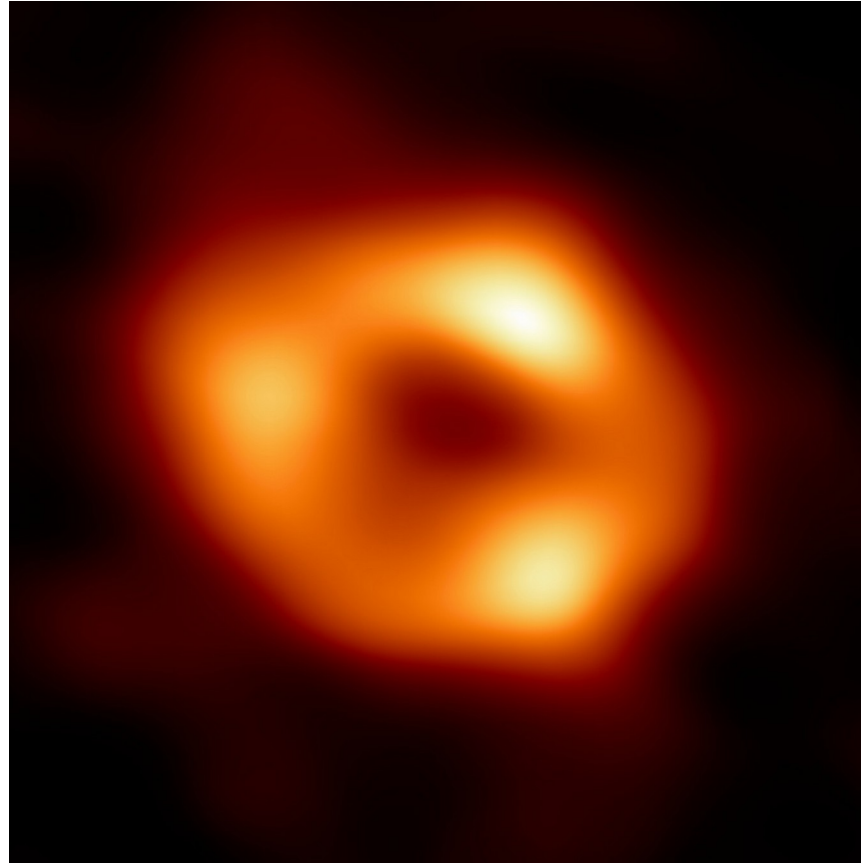
Nasa/CXC/M.Weiss

M87* (Event Horizon Telescope 2019)



Astronomikurs, Raseborgs
medborgarinstitut 2025

Sagittarius A*



Astronomikurs, Raseborgs
medborgarinstitut 2025