

# Venuspassage

## – en astronomisk meterstok

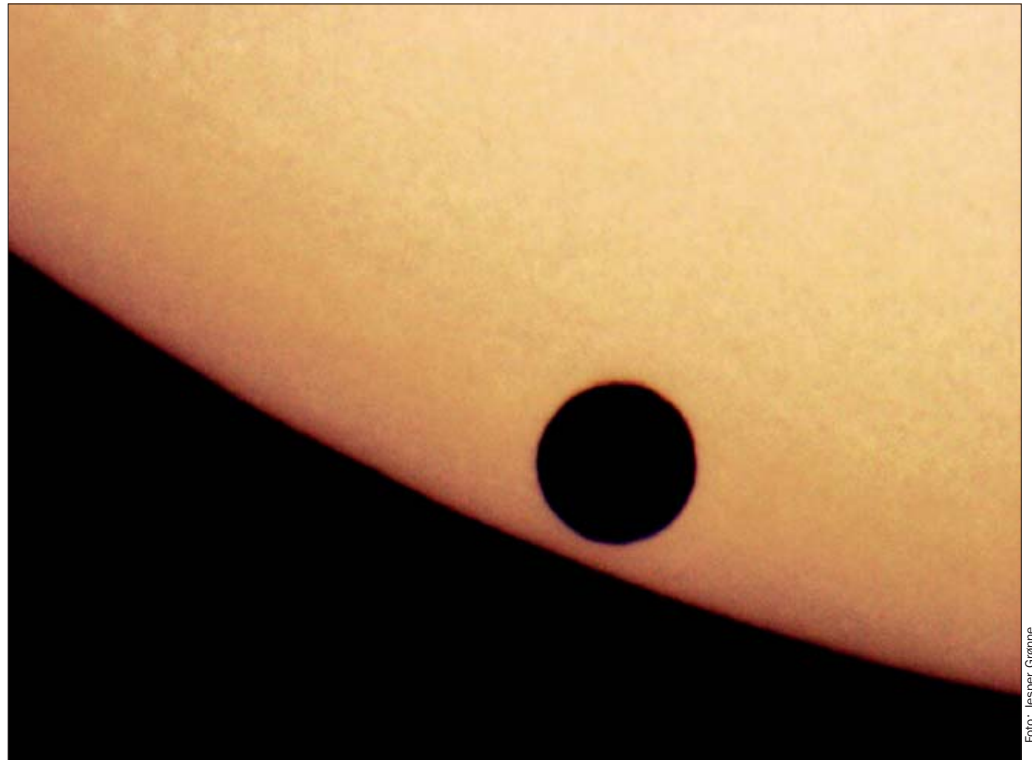
Onsdag den 6. juni er der en meget sjælden astronomisk begivenhed i vente. Planeten Venus passerer denne dag ind mellem Solen og Jorden og skaber en såkaldt venuspassage. Historisk set har sådanne passager spillet en stor rolle for måling af afstande i Solsystemet.

Af Michael Linden-Vørnle

■ Når det drejer sig om spektakulære himmelfænomener, kan der næppe herske tvivl om, at totale solformørkelser sidder solidt på førstepladsen. Blandt topscorerne finder vi også totale måneformørkelser, meteorstorme og lysstærke kometer.

Lidt længere nede på listen finder vi merkur- og venuspassager. Der er tale om begivenheder, hvor Merkur eller Venus passerer ind mellem Solen og Jorden. Planeten kan derfor ses som en mørk plet, der i løbet af nogle timer vandrer hen over solskiven. Disse passager kan ikke ligefrem siges at være spektakulære. Faktisk kan de finde sted uden at påkalde sig den fjerneste opmærksomhed. Til gengæld forekommer passagerne langt sjældnere end sol- og måneformørkelser. I gennemsnit sker der ca. 13 merkurpassager og knapt to venuspassager pr. århundrede.

Ud over det forhold, at de er meget sjældne, så er især venuspassagerne interessante, fordi de tidligere har spillet en central rolle i bestemmelsen af afstande i Solsystemet. Ved at gennemføre nøjagtige observationer af en venuspassage fra forskellige steder på Jorden er det nemlig



Venuspassagen den 8. juni 2004.

muligt at bestemme afstanden til Venus og herudfra Jordens og de øvrige planeters afstand fra Solen.

I et større perspektiv er sådanne planetpassager interessante, fordi det faktisk er en af de metoder, der bruges til at finde planeter i kredsløb om

andre stjerner end Solen og som kan anvendes til at undersøge, om livet kan være opstået der.

### Venuspassage

Mens Jorden er godt 365 jorddøgn om at kredse én gang om Solen, så gennemfører Venus et omløb på kun knapt 225 jord-

døgn. Hvert 584. jorddøgn står Venus mellem Jorden og Solen i det, der kaldes indre eller nedre konjunktion. Dette interval på 584 jorddøgn mellem to på hinanden følgende nedre konjunktioner kaldes Venus' synodiske periode. Det er Jordens bevægelse om Solen, der er årsagen

til, at den synodiske periode er meget længere end Venus' omløbstid.

En venuspassage kræver imidlertid mere end en situation med nedre konjunktion. Det hænger sammen med, at Venus' bane omkring Solen hælder en smule (3,4 grader) i forhold til Jordens. Denne beskedne hældning bidrager på afgørende vis til at gøre venuspassager meget sjældne.

For at en venuspassage kan finde sted, skal ikke bare Jorden, Venus og Solen stå på linje. Også ét af skæringspunkterne mellem Jordens og Venus' baner – de såkaldte knudepunkter – skal med på linjen.

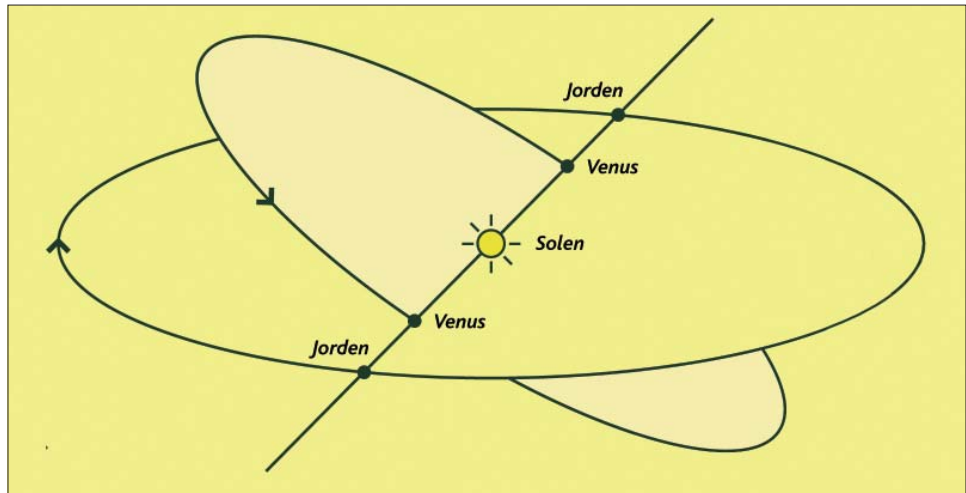
Disse betingelser betyder, at der kan opleves to synlige passager inden for otte år, men derefter vil der gå mere end 100 år før betingelserne for en synlig passage igen er opfyldt (se boks).

Formen på Jordens og Venus' baner omkring Solen har imidlertid også betydning for intervallet mellem venuspassagerne (Venus' bane er næsten cirkelrund, mens Jordens er en smule elliptisk). Det betyder, at intervallet mellem passagerne hver anden gang er 16 år kortere. Samlet kommer venuspassagerne med følgende intervaller (angivet i år): 8-121,5 – 8-105,5 – 8-121,5 – 8-105,5 – 8- etc. Vi befinder os i øjeblikket i en periode med parvise passager, der følger dette mønster, og det vil fortsætte til og med år 2984. Fra og med år 3089 vil passagerne kun komme enkeltvis indtil 3818, hvor det parvise mønster begynder igen. Denne gang dog med en kadence på 129,5-8 – 105,5-8 – 129,5-8- osv.

### Keplers verden

Et af de meget væsentlige skridt i udviklingen af den moderne naturvidenskab er formuleringen af Keplers love for planeternes bevægelse. Hjulpet af sin læremester, Tycho Brahes, nøjagtige observationer gennemført på Hven, var Kepler som den første i stand til at beskrive egenskaberne for planeternes banebevægelse. Det afgørende skridt var at forkaste princip-

### Passagernes mekanik



Venus' bane omkring Solen vist i forhold til Jordens baneplan (Ekliptika). For at en venuspassage kan ske, skal både Jorden, Venus, Solen og et af de to skæringspunkter (knudepunkter) ligge på linie.

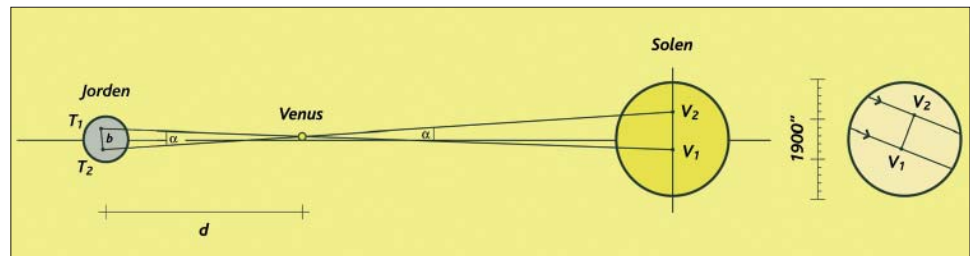
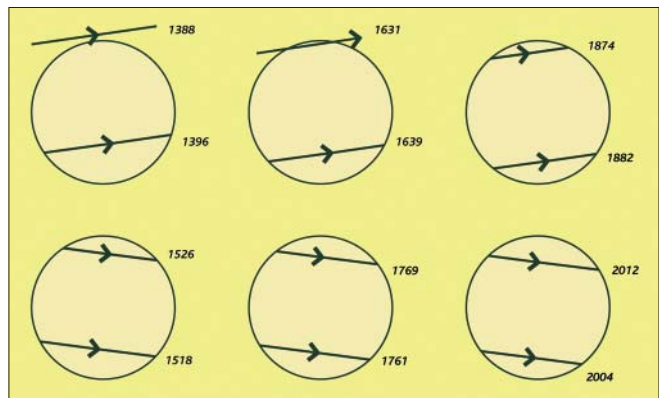


Illustration af Halleys metode til bestemmelse af afstanden til Venus vha. en venuspassage. Venus' bevægelse hen over solskiven ses under forskellige vinkler. Denne forskel kan bruges til at beregne afstanden mellem Jorden og Venus. Princippet er enkelt, men der er en lang række praktiske komplikationer.

Jorden er godt 365 jorddøgn om at kredse én gang om Solen, mens Venus bruger knapt 225 jorddøgn. Vi er interesserede i den situation, hvor Venus står mellem Jorden og Solen i det, der kaldes indre eller nedre konjunktion. Der går lige knapt 584 jorddøgn mellem to på hinanden følgende nedre konjunktioner – et interval, der kaldes Venus' synodiske periode.

Det er Jordens bevægelse om Solen, der er årsagen til, at den synodiske periode er meget længere end Venus' omløbstid. Princippet er lidt det samme som for Månen. Her er intervallet mellem to på hinanden følgende nymåner også længere end Månens omløbstid omkring Jorden. I løbet af ét måneomløb (27,3 døgn) har Jorden nemlig bevæget sig et betydeligt stykke i sin bane omkring Solen. Månen er derfor længere om igen at komme mellem Solen og Jorden. Intervallet mellem to nymåner er derfor 29,5 døgn.

Nedre konjunktion er imidlertid kun en nødvendig og ikke en tilstrækkelig betingelse for, at en venuspassage kan finde sted. Det forholder sig nemlig sådan,



Venus' bevægelse over solskiven ved passagerne fra 1396 til 2012. I 1388 passerede planeten over solskiven, så der ved denne lejlighed ikke opstod en synlig passage. Frem til og med år 2984 vil passagerne optræde i par med otte års mellemrum.

at Venus' bane omkring Solen hælder en smule i forhold til Jordens. Det er en beskedne hældning (3,4 grader), der ikke desto mindre på afgørende vis bidrager til at gøre venuspassager meget sjældne.

For at en venuspassage kan finde sted, skal ikke bare Jorden, Venus og Solen stå på linie. Også ét af skæringspunkterne mellem Jordens og Venus' baner

– de såkaldte knudepunkter – skal med på linien.

Igen kan der drages en parallel til Månen. Det er nemlig også en vinkel mellem månebanen og Jordens bane omkring Solen, der begrænser antallet af sol- og måneformørkelser. Månens bane omkring Jorden hælder nemlig 5,2 grader i forhold til jordbanen. Hvis hældningen var nul grader, ville vi ved hver nymåne opleve →

## Passagerne mekanik (fortsat)

→ en solformørkelse og ved hver fuldmåne en måneformørkelse.

**Otte års mellemrum**

Hvis vi nu antager, at betingelserne for en venuspassage netop har været opfyldt, hvornår kan vi så vente, at det sker igen? For at svare på det spørgsmål er det vigtigt at bemærke, at fem synodiske perioder svarer til otte jordår – i hvert fald hvis der rundes af ( $5 \times 584 \text{ døgn} = 8 \times 365 \text{ døgn} = 2920 \text{ døgn}$ ). Uden afrunding er der dog en lille forskel på 2,46 døgn.

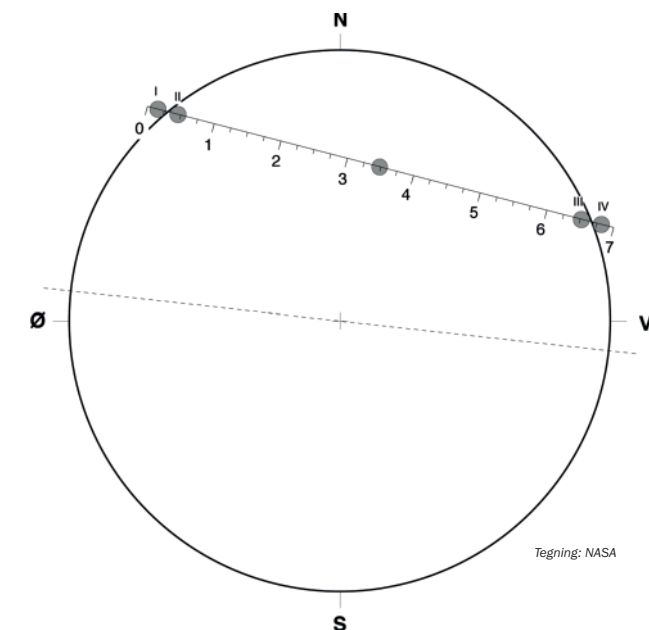
Efter ca. 2920 døgn befinder Jorden og Venus sig altså igen i næsten samme position, men betyder det, at der kommer en passage? Den lille forskel på 2,46 døgn betyder, at Venus vil befinde sig lidt længere fremme eller lidt længere tilbage i sin bane. Resultatet er, at Venus vil ligge 22 bueminutter (0,37 grad) højere eller lavere i sin bane set fra Jorden. Da solskivens diameter er ca. 32 bueminutter (og dermed har en radius på 16 bueminutter), kan en venuspassage altså kun indtræffe, hvis passagen otte år tidligere ikke gik gennem solskivens centrum.

To synlige passager med otte års mellemrum er altså mulige, men yderligere otte år senere vil Venus ligge 44 bueminutter over eller under den første passage, og dermed uden for solskiven. Først efter mere end 100 år er betingelserne for en synlig passage igen opfyldt.

pet om, at planetbanerne er perfekte cirkler. I stedet generaliserede Kepler banernes form til at være ellipser med Solen i det ene brændpunkt (Keplers 1. lov).

Keplers 2. lov siger, at en tænkt forbindelseslinje mellem Solen og en planet i samme tidsrum altid vil overstryge samme areal. Denne lov er et udtryk for, at planeterne bevæger sig hurtigere i deres bane, når de befinder sig tæt på Solen. Endelig siger Keplers 3. lov, at en planets omløbstid i anden potens er proportional med dens gennemsnitlige afstand til Solen i tredje potens.

Keplers 3. lov kan således bruges til at sige noget om planeterne relative afstand til



Forløbet af venuspassagen den 6. juni, 2012. Alle tidspunkter langs Venus' bane er angivet i dansk sommertid.

**Mere end 100 år**

Hvis både Jorden og Venus kredse i helt cirkelrunde baner, og der ikke var andre himmellegemer til at påvirke med deres tyngdekraft, så ville der gå 121,5 år til næste passage. Venus har en bane, der er næsten cirkelrund, men Jordens er en smule elliptisk. Når Jorden er nærmest Solen har den både en højere banehastighed og solskivens vinkeludstrækning på himlen er større.

Kombinationen af disse to effekter gør, at intervallet mellem

passagerne hver anden gang er 16 år (ti synodiske perioder) kortere. Samlet kommer venuspassagerne altså med følgende intervaller (angivet i år): 8-121,5-8,105,5-8-121,5-8-105,5-8- etc. Vi befinder os i øjeblikket i en periode med parvise passager, der følger dette mønster, og det vil fortsætte til og med år 2984. Fra og med år 3089 vil passagerne kun komme enkeltvis indtil 3818, hvor det parvise mønster begynder igen. Denne gang dog med en kadence på 129,5-8-105,5-8-129,5-8 osv.

Solen. Til det formål opskrives loven som:

$$(P_1/P_2)^2 = (a_1/a_2)^3,$$

hvor  $P_1$  og  $P_2$  er omløbstiden for hhv. planet 1 og 2, mens  $a_1$  og  $a_2$  er planeterne gennemsnitlige afstande til Solen. Da planeterne omløbstid forholdsvis let kan måles, kan forholdet mellem planeterne middelfast til Solen fastlægges. Ser vi på Jorden og Venus, giver Keplers 3. lov det resultat, at Venus har en gennemsnitsafstand til Solen, der kun er 72,3 % af Jordens, mens Mars i gennemsnit ligger 1,524 gange længere fra Solen end Jorden.

For at omsætte Keplers relative afstande til absolutte stør-

relser i f.eks. kilometer, kræves at mindst én af middelfastandene i Solsystemet bliver målt – en planetarisk meterstok.

**Halleys meterstok**

Et konkret forslag til bestemmelsen af en sådan meterstok blev fremsat i 1716 af den berømte engelske astronom Edmond Halley. Hans forslag gik ud på at observere en venuspassage fra forskellige adskilte geografiske positioner på Jorden. Forskellen i position vil medføre, at Venus' bevægelse hen over solskiven ses under forskellige vinkler. Denne forskel kan bruges til at beregne afstanden mellem Jorden og Venus og dermed – vha. Keplers 3. lov – alle øvrige

afstande i Solsystemet.

Halley var blevet inspireret til denne metode den 7. november 1677 under den første merkurpassage, der blev observeret i sin fulde udstrækning. Idéen var dog allerede blevet fremsat i 1663 af den skotske matematiker James Gregory, der dog primært præsenterede det overordnede koncept. Halley derimod var meget detaljeret i sin beskrivelse af metoden og fremsatte en egentlig plan for gennemførelsen af observationer ved den førstkomende passage i 1761.

Således var Halley klar over, at det i praksis ville være umuligt at sikre en samtidig måling af Venus' placering på solskiven og dermed forskellen i vinkel. I det 18. århundrede fandtes ingen mulighed for at synkronisere ure over store afstande. Som løsning på dette problem foreslog Halley at registrere varigheden af passagen i stedet for at måle vinklen. Passagens varighed er afhængig af, hvor på solskiven planeten krydser og denne måling kan så efterfølgende bruges til at beregne vinklen mellem de forskellige "spor". Denne løsning var i sandhed en genistreg, men i praksis skulle det vise sig, at være betydeligt vanskeligere at lave en nøjagtig måling.

**Globalt projekt**

Venuspassagen, hvor Halleys metode første gang skulle afprøves, indtraf den 6. juni 1761 – godt 19 år efter Halleys død. Begivenheden blev iagttaget fra omkring 70 lokaliteter over hele verden. Det var det mest omfattende, globale, videnskabelige projekt, der indtil da var blevet iværksat. Resultatet af de mange anstrengelser var imidlertid ikke imponerende. Afstanden mellem Solen og Jorden beregnet ud fra observationerne lå mellem 125,3 mio. km og 154,8 mio. km. Der var flere årsager til dette udfald. Mange af ekspeditionerne blev plaget af dårligt vejr og der var problemer med at bestemme observationsstedernes geografiske position. Endelig viste det sig, at tidtagningen blev vanskelig gjort af den såkaldte "dråbeeffekt", hvor Venusskyggen ser

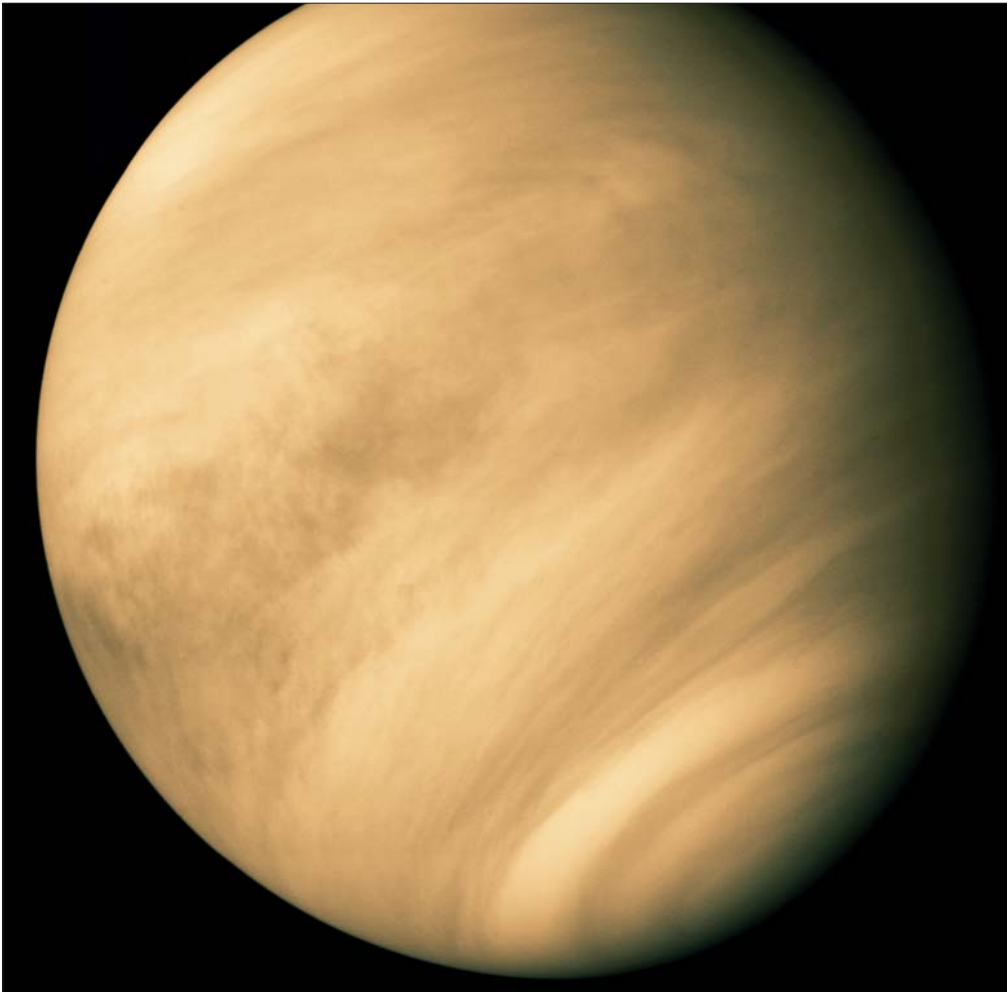


Foto: NASA

Venus fotograferet af Mariner 10. Billedet viser i praksis overfladen af det tykke skydække, der dækker planeten.

ud til at "hænge fast" i solranden. Effekten er formentlig en kombination af flere elementer. Udgangspunktet er en optisk illusion skabt af den kraftigt lysende baggrund (Solen), der får Venus til at se mindre ud, end den i virkeligheden er. Effekten forstærkes af uro i Jordens atmosfære og måske også af Venus' egen atmosfære.

#### Forbedrede observationer

Bedre gik det ved passagen otte år senere den 3. juni 1769. Ved denne lejlighed var 151 officielle observatører på banen samt et stort antal amatørastro- nomer over store dele af verden. Analysen af observationerne førte til værdier for afstanden mellem Jorden og Solen på mellem 148,1 mio. km og 154,8 mio. km. I 1835 gennemførte den tyske astronom Johann Franz Encke en samlet analyse af observationerne

fra passagerne i 1761 og 1769. Han fandt frem til en Sol-Jord afstand på 153,5 mio. km.

Ved det næste passagepar i 1874 og 1882 blev der igen gennemført observationer, der forbedrede resultatet. I mellemtiden var andre metoder til afstands- måling imidlertid blevet taget i brug. Bl.a. blev planeten Mars og visse asteroider brugt. Det var dog ikke før den 10. april 1961, at dimensionerne i vores Solsystem for alvor blev sat på plads. Denne dag blev en radarstråle sendt fra NASA's Jet Propulsion Laboratory i Californien mod Venus. Ved at måle rejsetiden for signalet og det tilbageka- stede ekko kunne de absolutte afstande i Solsystemet fastlægges med en hidtil uset nøjagtighed.

#### Årets passage

Hvis vejret tillader, kan vi den 6. juni opleve den anden passage i parret 2004-2012. Den første af

disse passager kunne ses den 8. juni 2004, hvor den var synlig i Danmark i hele sin udstrækning. Ved årets passage er det dog kun den afsluttende del af passagen, der kan ses. Passagen er nemlig godt i gang, når Solen omkring kl. 04:30 dansk sommertid står op (kl. 04:32 i København). Passagen varer indtil kl. 06:49 dansk sommertid, hvor Venus igen er passeret helt væk fra solskiven. Først i december 2117 vil det igen være muligt at se Venus passere hen over solskiven her fra Jorden. Der er derfor rigtig god grund til at krydse fingre for klart vejr den 6. juni!

Det kræver samme beskyttelse at se venuspassagen den 6. juni som en solformørkelse: solformørkelsesbriller. Silhuetten af Venus vil være mulig at se med det beskyttede, blotte øje, men observation med særlige solkikkerter vil gøre det lettere at følge begivenheden. ■

#### Om forfatterne



Michael Linden-Vørnle er astrofysiker, ph.d. Tycho Brahe Planetarium  
Tlf.: 33181997  
mykal@tycho.dk



#### Oplev venuspassagen

Tycho Brahe Planetarium inviterer til et offentligt arrangement, hvor venuspassagen den 6. juni 2012 vil kunne følges med særlige solkikkerter. Tid og sted for arrangementet vil blive annonceret på Planetariet.dk