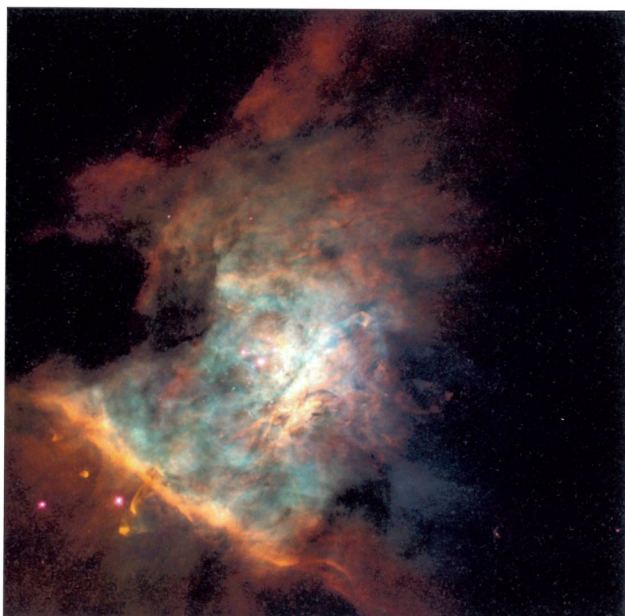




Figur 8.4. Oriontågen 1.600 lysår borte. Her foregår intens stjernedannelse, der dog for det meste er skjult af mørke støvskyer. Enkelte steder er tågen oplyst af unge og meget lysstærke stjerner.

stjernerne. Der er ingen tvivl om, at der findes utallige dybfrosne planeter af Jordens størrelse, som nu for evigt driver rundt mellem stjernerne. Endnu ved vi ikke, om det er den almindelige skæbne for jordlignende planeter. Hvis det er tilfældet, er vort solsystem trods de mange nye exoplaneter en stor sjældenhed.

Men der kan ske mere, når store planeter vandrer indad. De kan ikke undgå at passere tæt forbi andre store planeter, som er betydelig vanskeligere at flytte med. Til gengæld kan de tætte passager forstyrre banerne ganske voldsomt, således at planeterne kan ende i ret aflange baner – netop, hvad vi ser hos en række exoplaneter. Nu er en situation med flere store planeter i aflange baner ret ustabil. Med tiden vil de fleste blive slynget bort fra deres solsystem. I denne sammenhæng kan vi bemærke, at de fleste af de store exoplaneter i aflange baner, vi har kendskab til i dag, ser ud til at være enlige.

I dag er vi klar over, at også de ydre planeter i vort solsystem har flyttet sig meget siden deres dannelse. Således mener man, at både Uranus og Neptun har bevæ-

get sig udefter. I Neptuns tilfælde måske helt op til 1,2 milliarder km, eller 30 % af dens nuværende baneradius. En sådan flytning med de store planeter går naturligvis ikke stille for sig. Måske skal vi her se forklaringen på et gammelt mysterium om Uranus. Uranus roterer om sin akse på en mærkelig måde, idet dens rotationsakse næsten ligger i baneplanet, således at nord- og sydpol på Uranus skiftes til at pege direkte mod Solen. Det er så usædvanligt, at der må ligge en voldsom begivenhed bag. Den mest sandsynlige teori er, at Uranus en gang er stødt sammen med en klode af betydelig størrelse, noget vi netop ville forvente, hvis planeterne har vandret kaotisk omkring i solsystemets barndom. De nye beregninger viser også, at Jupiter er kommet en smule tættere på Solen. At den til alt held for os har holdt sig i pæn afstand fra Solen, kan muligvis hænge sammen med, at den oprindelige gasskive omkring Solen ikke har været særlig tæt.

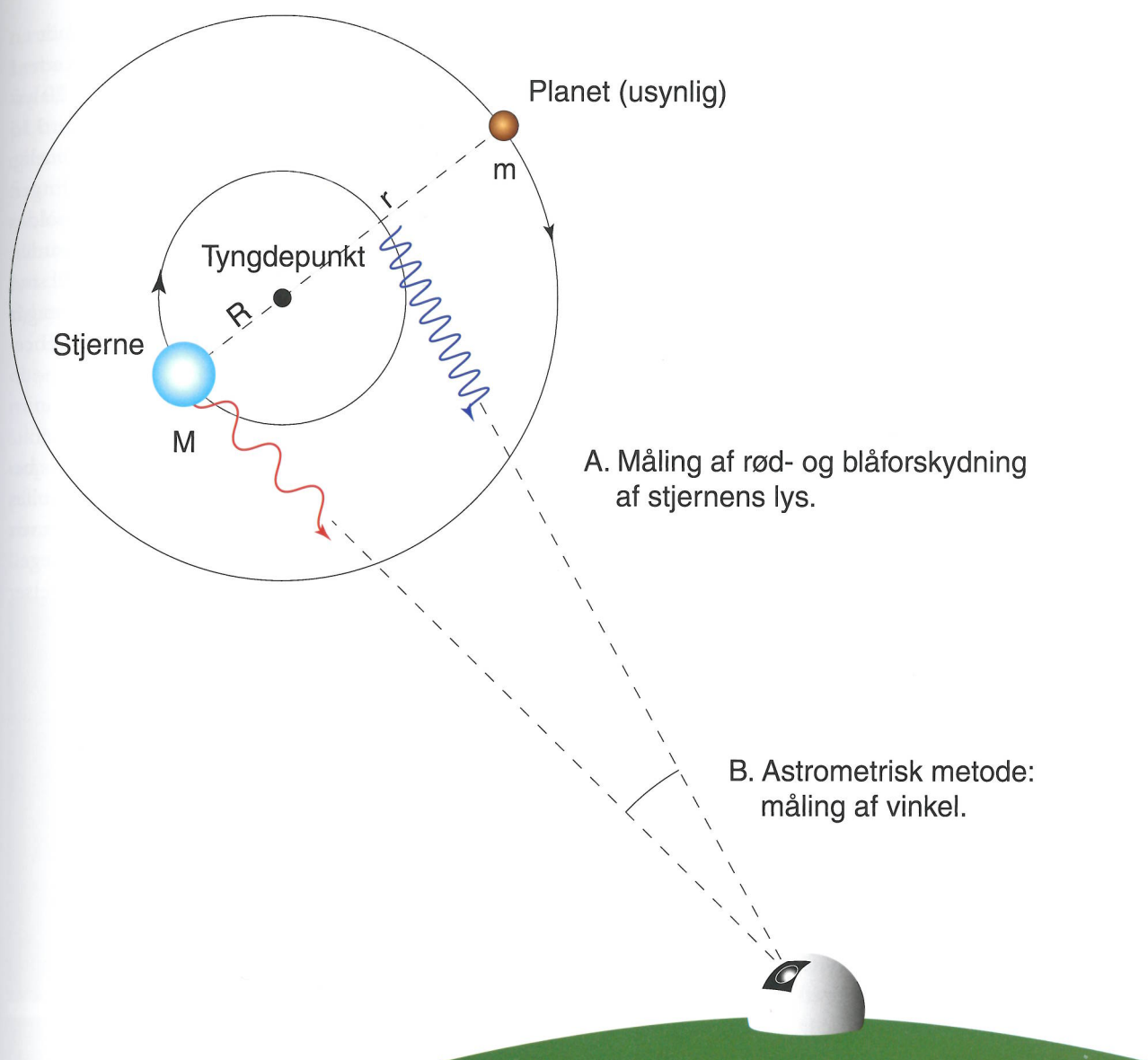
Metoderne

Det er ikke tilfældigt, at de første exoplaneter blev opdaget i 1995. Først da havde vi rådighed over den nødvendige teknik. Vi kender i dag fem metoder til at finde exoplaneter med:

- Måling af radialhastigheder for stjerner.
- Astrometriske målinger.
- Formørkelser.
- Gravitationslinser.
- Direkte observation.

Stjerners radialhastigheder

Af disse fem metoder har man til dato næsten kun benyttet den første, nemlig måling af *stjerners radialhastigheder*. Når en stor planet bevæger sig om en stjerne, vil også stjernen bevæge sig. Begge legemer kredser nemlig om det fælles tyngdepunkt. Det er denne rokkende bevægelse af stjernen, vi er i stand til at måle. Stjernens bevægelse om det fælles tyngdepunkt vil vi se på to måder. Dels vil der være en bevægelse frem og tilbage i syns-



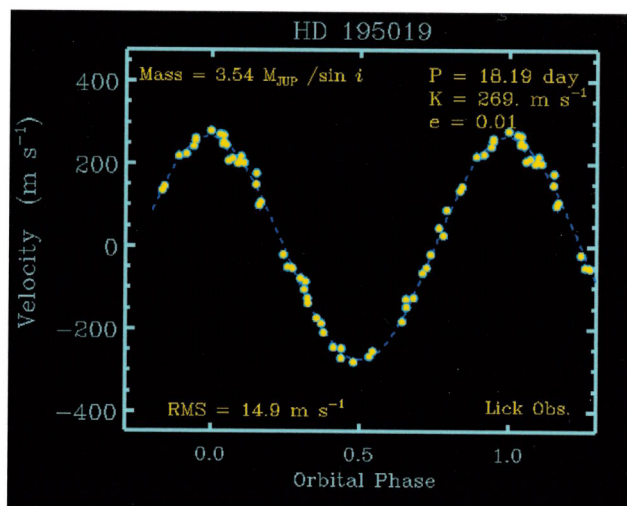
Figur 8.5. Ved radialhastighedsmetoden (A) måler man stjernens bevægelse i syns-
linjens retning ved hjælp af Dopplereffekten. Ved den astrometriske metode (B)

måler man stjernens bevægelse vinkelret på synslinjens retning.

jens retning, dels en bevægelse fra side til side vinkelret på synslinjen. Da selv den største exoplanet er forsvindende lille i forhold til en stjerne af Solens størrelse, er disse bevægelser små og meget vanskelige at måle. Vi kan

få en ide om størrelserne ved at se på, hvorledes Jupiter påvirker vor egen Sol.

Jupiter bevæger sig rundt om Solen med en fart på 13 km/s, og den har en masse på lidt over 1/1.000 af Solens



Figur 8.6. Typisk radialhastighedskurve for en stjerne, der er omkredset af en planet.

masse. Det betyder, at Jupiter tvinger Solen til at bevæge sig om det fælles tyngdepunkt med en fart på 13 m/s eller 1/1.000 af Jupiters fart. Det er lige på grænsen af, hvad vi kan måle ved brug af Dopplereffekten. Derfor er næsten alle exoplaneter først fundet efter omfattende computerberegninger. Det er det klassiske problem om forholdet mellem signal og støj, vi her møder. Signalet er den ganske lille forskydning af spektrallinjerne på brøkdelen af nanometer som følge af stjernens rokkende bevægelse. Støjen er den almindelige måleusikkerhed, og ofte er signalet af næsten samme størrelse som støjen. Derfor kræver det en omfattende statistisk behandling af et stort antal måledata for overhovedet at udskille signalet.

Det vigtigste nye instrument til måling af radialhastigheder er HARPS, der står for High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher. Det blev taget i brug i februar 2003 på ESOs 3,6 meter store spejlteleskop i Chile. Det har en fuldstændig fantastisk præcision, idet radialhastigheder nu kan måles med en nøjagtighed på omkring en meter i sekundet. I visse tilfælde kan nøjagtigheden komme helt ned på 30 cm/s, og det åbner jo muligheder for at finde planeter langt mindre end Jupiter – i visse tilfælde helt ned til planeter af Jordens størrelse.

Det mål kom man tæt på i 2009, da HARPS fandt en exoplanet med en masse på kun det dobbelte af Jordens masse omkring stjernen Gliese 581, som befinder sig 20 lys-år borte. Desværre har planeten en omløbstid på kun 3,15 døgn, så den er alt for tæt på sin stjerne til at være beboelig.

Det er meget vanskeligt at opnå så præcise målinger. Et af kravene er, at instrumentets temperatur holdes konstant med en nøjagtighed på 0,01 grader. Desuden skal instrumentet være i et vakuumkammer, da selv små ændringer i trykket kan påvirke målingerne. De foregår ved at sammenligne stjernens spektrum med et reference-spektrum fra Thorium og Argon.

Astrometriske målinger

Den *astrometriske* metode går ud på at følge stjernens bevægelse fra side til side, når den bevæger sig om det fælles tyngdepunkt. Det er en opgave, der stadig overstiger vor tekniske formåen. I de fleste tilfælde taler vi om bevægelser, der måles i millibuesekunder, og så små bevægelser kan vi kun måle fra satellitter. Derfor er der stor skepsis, når en astronom siger, at han har fundet en planet ved hjælp af astrometriske målinger. Astronomen George Gatewood (1940-) påstår således, at han med denne metode har fundet to planeter omkring den lille røde dværgstjerne Lalande 21185 – men i samtlige tabeller anføres disse planeter som "usikre".

Formørkelser

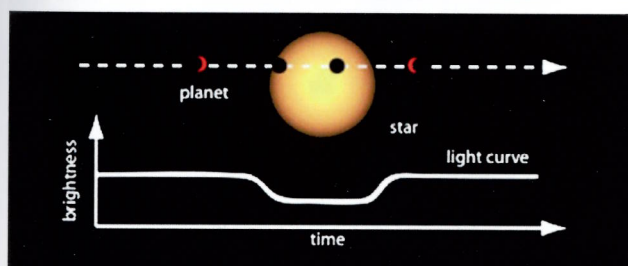
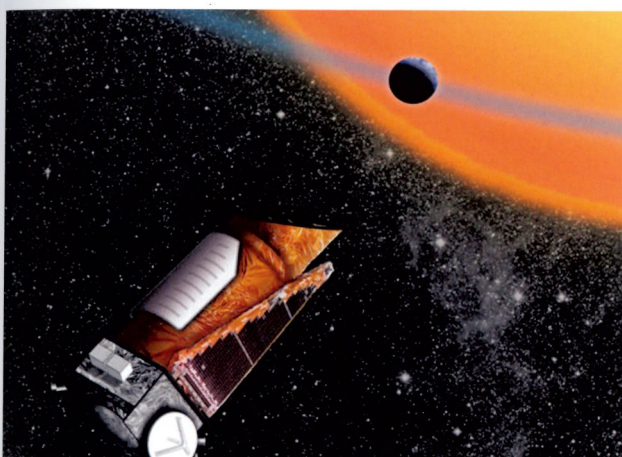
Formørkelser er siden 2009 blevet en meget central metode til at finde exoplaneter. Det skyldes især opsendelsen af den amerikanske Kepler satellit i marts 2009. Kepler er et lille spejlteleskop, med et 1,4 meter stort spejl. Der medføres kun et instrument, nemlig et fotometer til meget nøjagtigt at måle lysstyrken af de stjerner, som er inden for synsfeltet.

For at give et bedre synsfelt kredser Kepler ikke om Jorden, men i stedet om Solen i en såkaldt "Earth-trailing orbit", hvor Kepler følger efter Jorden i sin bane om Solen. En anden fordel ved denne bane er, at man undgår, at spredt lys fra Jorden kan ramme det meget følsomme fotometer. Kepler observerer konstant et lille

område på himlen, der ligger i stjernebillederne Svanen, Lyren og Dragen. Området er valgt, fordi det ligger langt fra ekliptikas plan, og det betyder igen, at teleskopet ikke på noget tidspunkt kommer til at pege mod Solen. Bare en anelse sollys ind på fotometret vil nemlig ødelægge fotometret og dermed bringe missionen til ophør.

Kepler kan observere den formørkelse, som selv en planet på størrelse med Jorden giver anledning til – selv om det naturligvis er meget lettere at observere de meget dybere formørkelser fra planeter af Jupiters størrelse.

For at få det fulde udbytte af missionen skal der observeres over flere år. Det er nemlig nødvendigt med mindst tre formørkelser, før man kan være nogenlunde sikker på, at formørkelsen skyldes en exoplanet og ikke noget andet. Det, man især er interesseret i, er at finde planeter som Jorden i den såkaldte livszone. Det er den zone omkring en stjerne, hvor en jordlignende planet vil have en temperatur, der gør det muligt for flydende vand



Figur 8.7. Kepler satellitten og hvordan den finder exoplaneter ved formørkelser.

at eksistere på overfladen. De stjerner, Kepler koncentrerer sig om, er af spektraltyperne F, G og K. De ligner alle Solen så meget, at vi kan forvente, at planeter i livszonen vil have omløbstider af størrelsesordenen et år. Det betyder, at det vil tage mindst tre år at bekræfte eksistensen af en jordlignende planet med mulighed for liv.

Et andet problem er, at sandsynligheden for, at Kepler overhovedet kan se en formørkelse, er ganske lille. Planetens skal jo have en bane, der, set fra Kepler, fører den hen foran sin stjerne. Langt det mest sandsynlige er, at planetens baneplan ligger så skævt i forhold til syns-linjen, at planeten, set fra Kepler, aldrig vil passere hen foran stjernen, men over eller under stjernen og dermed ikke skaber en formørkelse (se tema 8.1.) En beregning viser, at sandsynligheden for, at en planet, der har afstanden 1 AE til sin stjerne, giver anledning til en formørkelse, kun er 0,465 %.

Det betyder, at Kepler skal observere tusinder af stjerner over lang tid for at have en rimelig chance for at finde exoplaneter. Derfor har teleskopet et meget stort synsfelt på godt 10 kvadratgrader. Der er omkring en halv million stjerner i dette synsfelt, og af dem er 150.000 af de mest sol-lignende stjerner valgt ud til observation. De får deres lysstyrke målt med en halv times mellemrum, hvilket gør det ret sikkert at fange en formørkelse, hvis der altså er en.

Med 150.000 stjerner under observation kan man komme ud over den lave sandsynlighed for at finde en jordlignende planet i livszonen. Lad os antage, at alle de valgte 150.000 stjerner har en jordlignende planet i livszonen. Kepler vil se 0,465 % af disse planeter eller næsten 700. Selv om kun hver tiende stjerne har en sådan planet, vil Kepler alligevel kunne forvente at finde omkring 70 planeter.

Gravitationslinser

Gravitationslinser er en meget lovende metode. Ideen er, at både stjerner og planeter virker som linser for lys fra bagvedliggende objekter. Når en stjerne passerer hen foran en baggrundsstjerne, vil man derfor se en kortvarig forøgelse af den bagerste stjernes lys, fordi den bliver forstærket af linseffekten. Hvis den forreste stjerne så