

Lysets hastighed og Io

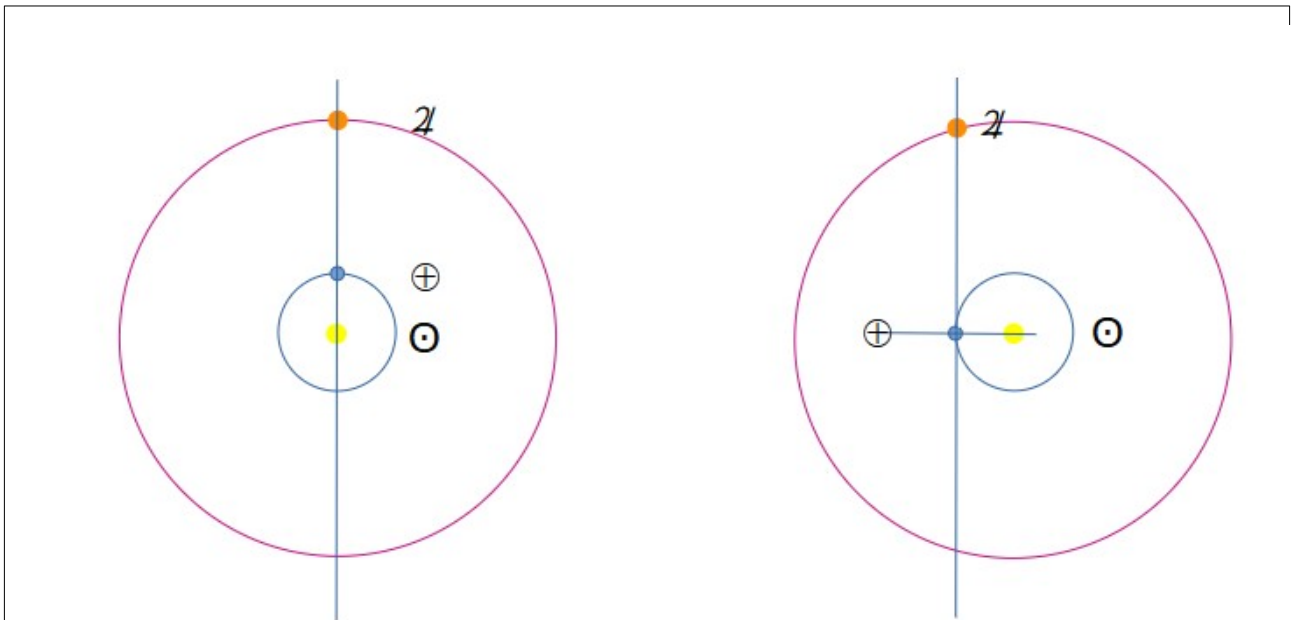
Olga Ramer har besluttet sig for at måle lysets hastighed ved gentagne gange at observere, når månen *Io* passerer ind foran Jupiter. Hun har en 20 cm (8") Schmidt Cassegrain-kikkert, f/10, med et Plössl 26 mm okular (synsfelt på 52°) til rådighed. Derudover har hun et godt ur.

Du kan emulere hendes udstyr ved at benytte *Stellarium* som virtuelt observatorium. For at vise den anvendte teleskopopsætning, skal du i *Stellarium* trykke *F2*, dernæst *Udvidelsesmoduler*, og så vælge *Oculars*. Genstart programmet, og indtast oplysningerne i boksen øverst til højre på skærmen.

Teorien bag forsøget

Olga kender Keplers love, så hun kan sagtens beregne Jordens omløbshastighed, hvis hun antager cirkelbevægelse. Den astronomiske enhed er som bekendt målt til $1,496 \cdot 10^{11}$ m.

Betragt figur 1.



Figur 1: Solen, Jorden og Jupiter. (Symbolerne for Solen, Jorden og Jupiter er hhv. \odot , \oplus og $\♃$.) Ved første billede står Jupiter i opposition, og ved andet billede, har Jorden bevæget sig 90° i sin bane om Solen.

Tidsrummet fra en af Jupitermånerne passerer ind foran Jupiter-skiven (kaldet en *okkultation*) til den gør det igen fra samme side, er månens periode, T . Man kan måle denne periode fra Jorden, hvis Jupiter står i opposition.

Hvis vinklen mellem Jupiter, Solen og Jorden er 90° , kan man også måle en Jupitermånes omløbstid, men da Jorden her bevæger sig radialeft. synslinjen mellem Jorden og Jupiter, vil der komme en forsinkelse (eller forkortning) af tidsrummet mellem to okkultationer, da lyset skal vandre længere (eller kortere) ved okkultation 2 end ved okkultation 1.

Står Jorden som i figur 1b, ved første okkultation, vil en observatør tæt ved Jupiter måle et starttidspunkt for okkultationen, som vi kan definere til kl. 0:00:00. Ved Jorden, vil man måle okkultationen til tidspunktet

$$t_1 = \frac{\Delta s}{c},$$

hvor Δs er afstanden mellem Jorden og Jupiter, når lyset når frem til Jorden.

Ved 2. okkultation vil en observatør ved Jupiter måle et tidspunkt, T , som netop svarer til månens omløbstid.

I rejsetiden mellem okkultation 1 og 2 vil Jorden flytte sig afstanden $\Delta s_1 = v_{\oplus} \cdot (t_2 - t_1)$, dvs. lyset skal rejse lidt længere end ved første okkultation.

Ved situationen i figur 1b måler man altså en periode $\tau = t_2 - t_1 > T$. Sammenhængen mellem de to målte perioder er

$$\tau = t_2 - t_1 = \left(T + \frac{(\Delta s + \Delta s_1)}{c} \right) - \left(0 + \frac{\Delta s}{c} \right) \Leftrightarrow$$

$$\tau = T + \frac{v_{\oplus} \cdot \tau}{c}.$$

Dermed kan vi isolere lysets hastighed, c .

$$c = v_{\oplus} \cdot \left(\frac{\tau}{\tau - T} \right) \quad (1)$$

Opgaven går altså ud på at måle en Jupitermånes omløbstid ved opposition samt ved en vinkelafstand på $90^\circ = 6^h$ i rektascension mellem Jupiter og Solen.

Indledende opgaver

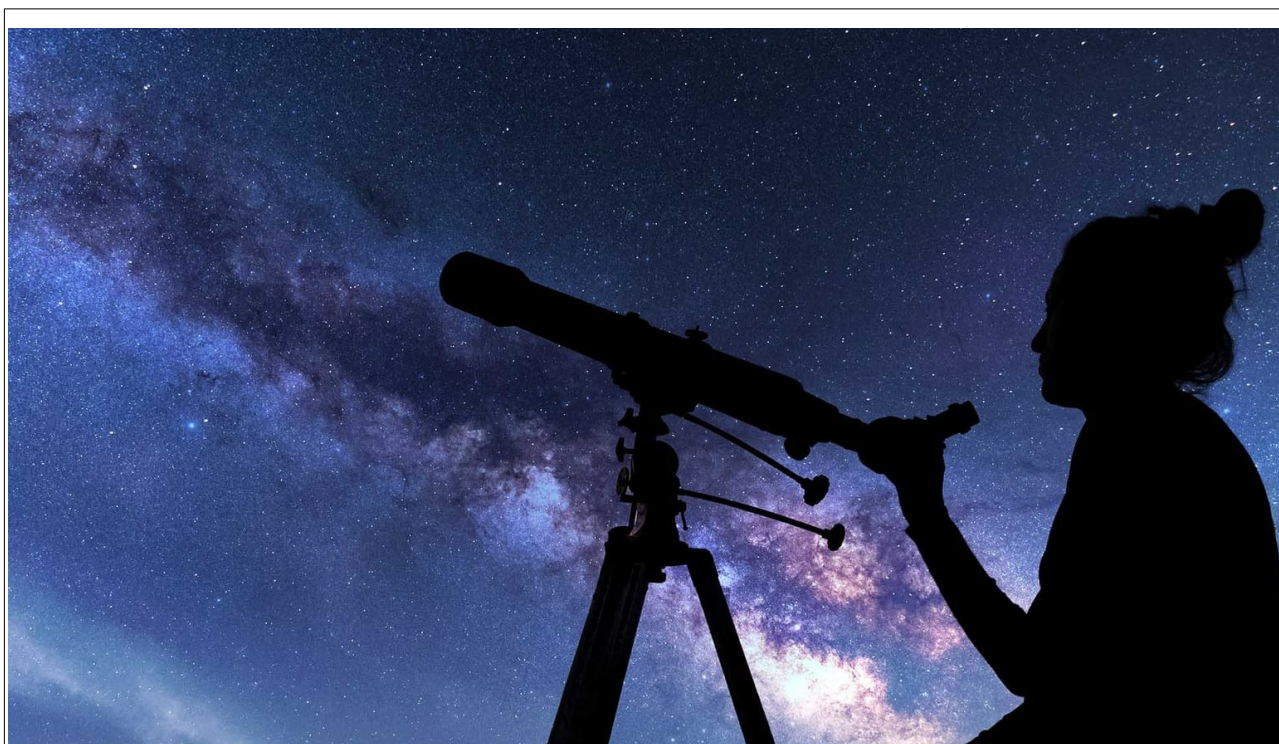
- Beregn Jordens omløbsfart, v_{\oplus} , såfremt banen antages cirkulær.
- Overbevis dig om at formel 1 er korrekt. Overvej, hvordan formlen ville se ud, hvis man måler den tilsyneladende måneperiode τ , når Jorden bevæger sig mod Jupiter.
- Åbn *Stellarium* og hvis okular-knappen ikke allerede er synlig, så aktiver den i menuen *Indstillingsvindue-Opsætningsmoduler-Oculars*. Oppe i højre hjørne bør der nu komme nogle bokse. Hvis du ingen ser, så luk *Stellarium* og åbn det igen.
- Tryk på svensknøglen, og vælg fanebladet *Telescopes*. Vælg den rigtige kikkert. Kan du ikke finde en, der passer, så opret selv en med de teleskopdata, som er anført i begyndelsen af opgaven.¹
- Vælg nu fanebladet *oculars* og tjek om det ønskede okular findes på listen. Hvis det ikke gør, så opret et.
- Klik på en stjerne eller et andet himmellegeme og kontroller at objektets rektascension og deklination dukker op i venstre side af skærmen. Dukker det ikke op, skal du klikke på *Indstillingsvindue-information* og hakke af i punktet *Rektascension/deklination (J2000)*.

Observationsprogrammet

Du skal alliere dig med en makker, og I skal begge have *Stellarium* klar.

¹ Benyt f -tallet og diameteren til at beregne brændvidden på teleskopet. (Se formelsamlingen.)

- a) Vælg søg (F3) og indtast Jupiter. Tryk evt. *A* for at slukke for atmosfæren og *G* for at fjerne Jordens horisont. (Tryk på *mellemrum*, hvis billedet driver.)
- b) Tryk på første ikon i øverste højre hjørne og vælg det rigtige okular samt teleskop. (Det er snyd, hvis du bare zoomer helt ind på Jupiter uden at vælge teleskop/okular først.)
- c) Vælg (F10) *Astronomical Calculation Window-Phenomena* og vælg *Sol* og *Planeter*, hak af i *Opposition*, og vælg et tidsrum over et par år. Noter en dato, hvor Jupiter står i opposition.
- d) Skriv den fundne dato ind i Stellariums ur. (F5).
- e) Find *Io* og mål tidspunkterne for 2 nabo-okkultationer mellem månen og Jupiter. Beregn *Io*s periode T . Kontroller om du er enig med din makkers resultat.²
- f) Find *Elongationen* i informationsteksten på venstre side af skærmen. Den viser vinklen mellem Solen og Jupiter. Skift datoer (F5) indtil elongationen er 90° . Noter tidspunktet, når *I* har fundet det, og sluk for det løbende ur.
- g) Mål den samme månens tilsyneladende periode τ . (Dvs. gentag punkt e.)
- h) Beregn ved hjælp af formel 1 lysets hastighed. Sammenlign dit resultat med din makkers.
- i) Hele klassen deler nu deres resultater og et gennemsnit tages. Sammenlign med tabelværdien.
- j) Hvad kan man gøre for at få et bedre resultat?



Figur 2: <https://starwalk.space/en/news/5-outstanding-female-astronomers>

² Du kan trykke på *ALT+P*, hvis planeteksten irriterer.