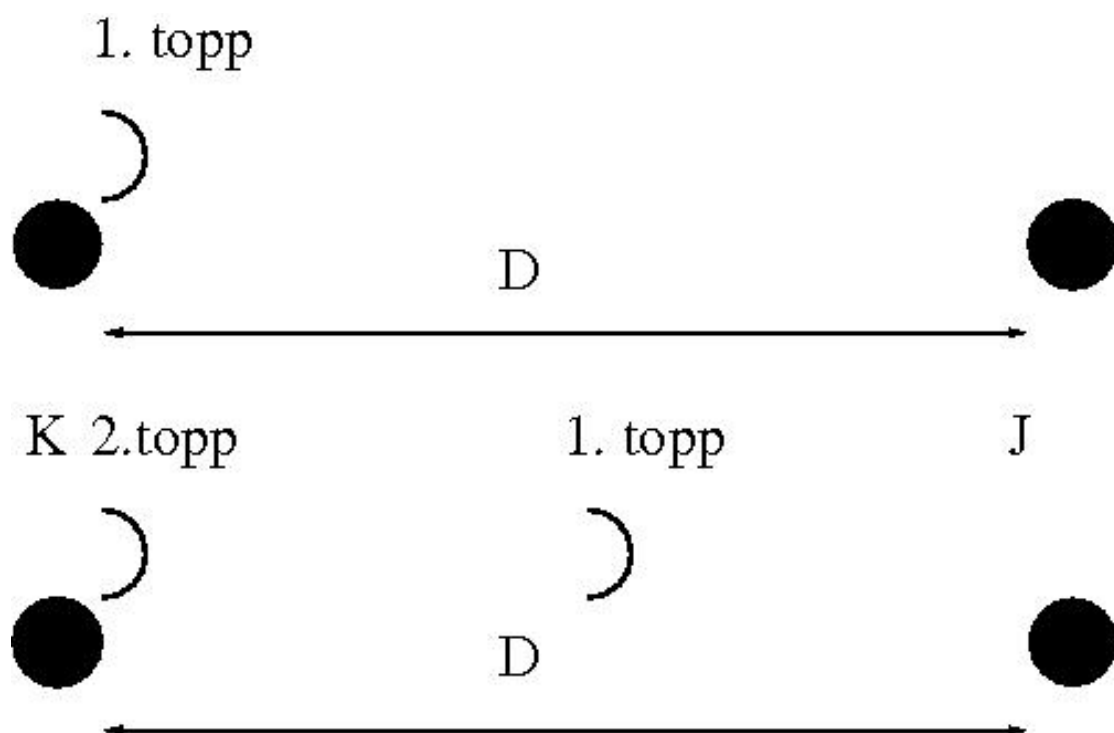


Dopplereffekten

I astrofysikk observerer vi lyskilder i universet (med "lys" mener jeg her og i det følgende alle former for elektromagnetisk stråling, ikke bare synlig lys). Lys beveger seg alltid med farten $c = 299\,792\,458$ m/s i tomt rom, uansett hvordan kilden beveger seg i forhold til oss. Men bølgelengden og frekvensen vi måler, kan avsløre om kilden beveger seg mot oss eller vekk fra oss, og i så fall hvor raskt. Dette kalles *Dopplereffekten* etter dens oppdager Christian Doppler (1803-1853).

La oss først se på en kilde, K, som er i ro i forhold til en observatør på jorda, J. Kilden sender ut lys med periode T. Det betyr at tiden fra en bølgetopp sendes ut til den neste er T. Frekvensen er da $f = 1 / T$, og bølgelengden er $\lambda = c / f = cT$.

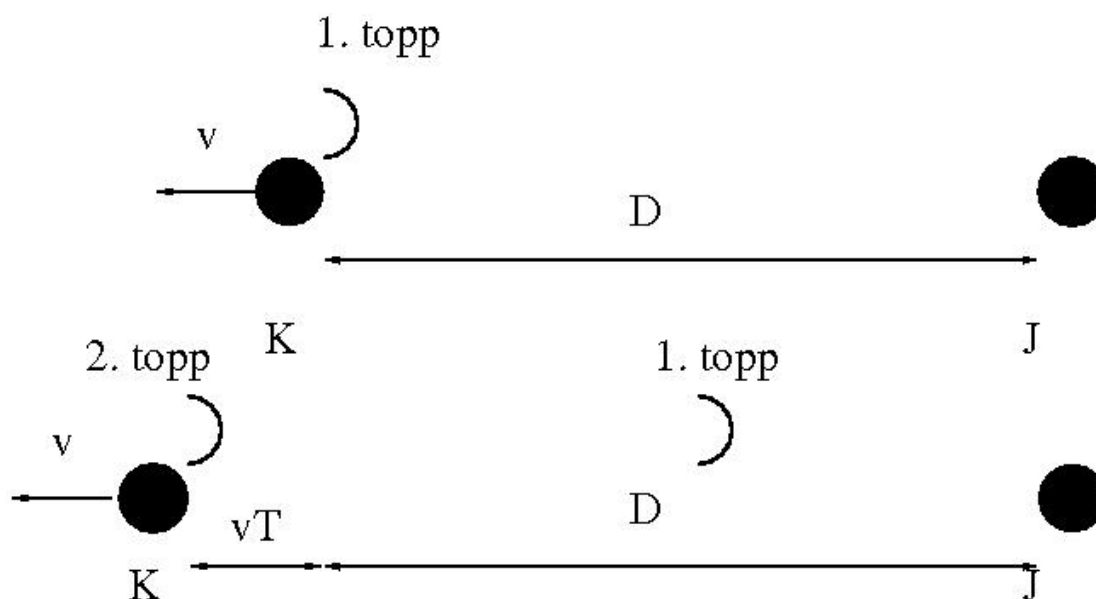


Figur 1: Kilden K er i ro i forhold til jorda J.

Siden K er i ro i forhold til J, tilbakelegger den andre bølgetoppen samme avstand som den første før den når J. Siden de beveger seg med samme fart, c , må det bety at andre bølgetopp når jorda en tid T etter den første. På jorda mottar vi derfor lyset med en periode T, og

dermed blir frekvensen og bølgelengden også den samme som ved kilden.

Så ser vi på tilfellet der K beveger seg vekk fra J med fart v langs synslinja vår. Kilden har samme periode, frekvens og bølgelengde som før, og igjen følger vi ferden til to suksessive bølgetopper i signalet.



Figur 2: Kilden beveger seg vekk fra jorda med hastighet v langs synslinjen.

Første bølgetopp tilbakelegger samme avstand før den når oss som da K var i ro. Men når den andre toppen sendes ut, en tid T etter den første, har K beveget seg en strekning $s=vT$ vekk fra J. Dermed må den andre toppen tilbakelegge en større avstand enn den første. Den beveger seg imidlertid med samme fart, c , og det må bety at den vil bruke lengre tid på å nå oss. Avstanden i tid mellom de to toppene vil derfor være større ved jorda enn ved kilden. Det betyr at lyset vi mottar har en lavere frekvens og en større bølgelengde enn lyset som kilden sendte ut.

Samme analyse kan gjennomføres i tilfellet der kilden beveger seg mot jorda. Ikke overraskende blir resultatet da at avstanden i tid mellom toppene er kortere når lyset mottas på jorda, og at lyset derfor har høyere frekvens og kortere bølgelengde enn ved kilden. Hvor mye frekvens og bølgelengde endrer seg, avhenger av hvor raskt kilden beveger seg. Matematisk kan sammenhengen mellom endring i bølgelengde, $\Delta\lambda$ og kildens fart v uttrykkes ved

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

Her er λ_0 bølgelengden til lyset som forlater kilden, og c er som vanlig lysfarten i tomt rom. Kildens fart v er positiv hvis kilden beveger seg vekk fra oss, negativ om den er på vei mot oss.

Ved bevegelse vekk fra jorda, $v > 0$, blir endringen i bølgelengde positiv, slik at mottatt bølgelengde er større enn utsendte. Det stemmer jo med de tidligere betraktningene. I slike tilfeller sier vi ofte at signalet er *rødforskjøvet*. Om signalet var i området for synlig lys, for eksempel gult, ville det mottatte lyset ha vært mer rødlig. Betegnelsen brukes imidlertid om all elektromagnetisk stråling, så selv om måler radiobølger fra en kilde, kaller vi det rødforskyvning. I det motsatte tilfellet, ved bevegelse mot jorda med $v < 0$, snakker vi om *blåforskyvning*.

Merk at det bare er farten langs synslinjen som betyr noe. Om objektet vi ser på også har en fart på tvers av synslinjen vår, gir ikke dette normalt opphav til noen målbar rød- eller blåforskyvning av lyset.

Det bør også sies at Dopplereffekten gjelder for alle typer bølger, ikke bare lys. Den ble først oppdaget for lydbølger av den tidligere nevnte Christian Doppler. Effekten er viktig i astronomien fordi den gjør det mulig å måle hastigheten til kildene vi observerer. Vi skal se flere eksempler på dens betydning i løpet av kurset.

Tillegg (ikke pensum, kun for spesielt interesserte)

La oss utlede det matematiske uttrykket for Dopplereffekten. Vi ser igjen på tilfellet i figur 2 der kilden K beveger seg vekk fra oss med fart v langs synslinjen. Den sender ut lys med periode T , frekvens $f_0 = 1 / T$ og bølgelengde $\lambda_0 = c / f_0 = cT$. Vi starter klokka når den første bølgetoppen blir sendt ut, og da er avstanden mellom kilden K og jorda lik D .

Den første toppen tilbakelegger avstanden D før den når jorda, og den beveger seg med lysfarten c . Det betyr at den når jorda ved tidspunktet $t_1 = D / c$.

Den andre toppen blir sendt ut ved tidspunktet T , siden T er perioden til lysbølgene. Ved det tidspunktet har imidlertid kilden flyttet seg en strekning $s = vT$ lenger vekk fra jorda, slik at avstanden nå er $D + vT$. Den andre toppen, som startet da klokka viste T , vil derfor nå jorda ved tidspunktet $t_2 = T + (D + vT) / c$.

For observatøren på jorda vil derfor lysbølgene som mottas ha en periode gitt ved

$$T' = t_2 - t_1 = T + \frac{D + vT}{c} - \frac{D}{c} = T \left(1 + \frac{v}{c} \right)$$

Frekvensen blir da

$$f' = \frac{1}{T'} = \frac{1}{T \left(1 + \frac{v}{c} \right)} = \frac{f_0}{1 + \frac{v}{c}}$$

og bølgelengden blir

$$\lambda' = \frac{c}{f'} = \frac{c}{\frac{f_0}{1 + \frac{v}{c}}} = \frac{c}{f_0} \left(1 + \frac{v}{c} \right) = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right)$$

og endringen i bølgelengde blir derfor

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right) - \lambda_0 = \frac{v}{c} \lambda_0$$

som vi kan skrive som

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$