

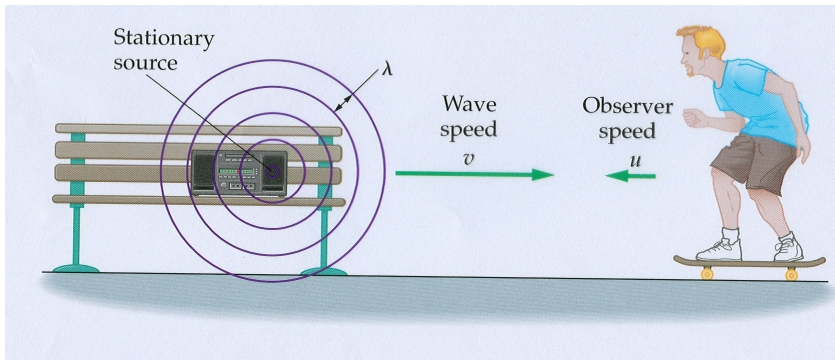
5.12. DOPPLEROV EFEKT

Promatramo izvor vala I i prijemnik P:

- ako su izvor vala i prijemnik nepokretni u odnosu na sredstvo kroz koje se val širi, frekvencija koju prima prijemnik jednaka je frekvenciji izvora
- ako se izvor vala i prijemnik jedan u odnosu na drugog relativno gibaju, tada prijemnik prima drugačiju frekvenciju f' od one koju emitira izvor f – DOPPLEROV EFEKT

Razlikujemo dva slučaja:

- izvor miruje ($v_i = 0$), promatrač se giba brzinom v_p
 - izvor se giba brzinom v_i , promatrač miruje ($v_p = 0$)
- Izvor, koji miruje, emitira valove frekvencije $f = v / \lambda$. Promatrač, koji se giba brzinom v_p , registrira valove frekvencije f' :
 - ako se promatrač približava izvoru, relativna brzina vala s obzirom na promatrača je $v' = v + v_p$
 - ako se promatrač udaljava od izvora, relativna brzina vala s obzirom na promatrača je $v' = v - v_p$



Frekvencija koju promatrač registrira je:

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v \pm v_p}{\lambda} = \frac{v \pm v_p}{v} f = f \left(1 \pm \frac{v_p}{v}\right)$$

+ približavanje
- udaljavanje

SLIKA: UZ IZVOD DOPPLEROVA EFEKTA – HENČ-BARTOLIĆ, KULIŠIĆ – SL. 2.30.A) STR. 127.

Valne plohe su koncentrične kugline plohe.

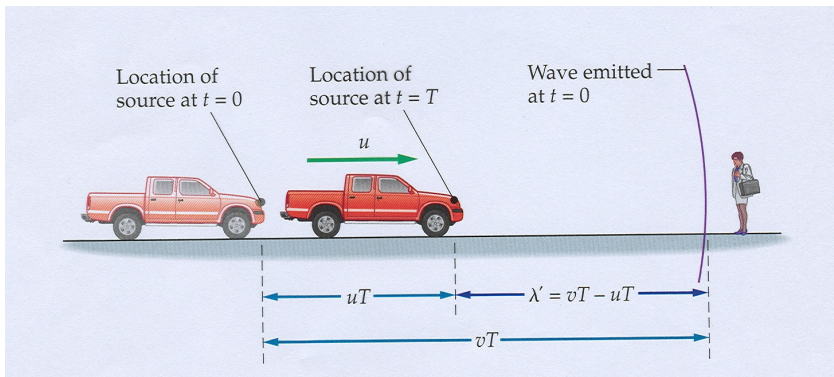
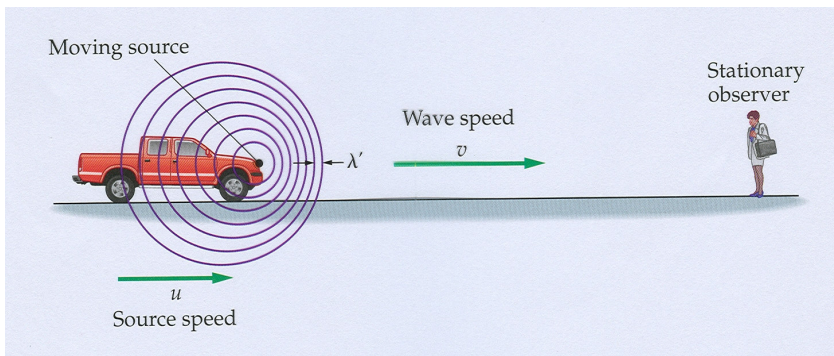
- Izvor se giba brzinom v_i , a promatrač miruje ($v_p = 0$). Valna duljina u smjeru gibanja izvora se skрати za pomak izvora u jednom periodu T :

$$\lambda' = \lambda - v_i T = \frac{v}{f} - \frac{v_i}{f} = \frac{v - v_i}{f} = \frac{v}{f'}$$

SLIKA: UZ IZVOD DOPPLEROVA EFEKTA – HENČ-BARTOLIĆ, KULIŠIĆ – SL. 2.30.B) STR. 127.

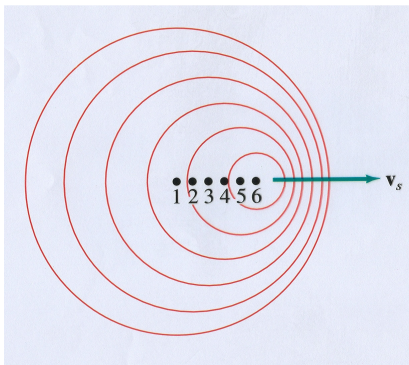
Frekvencija koju registrira promatrač u slučaju kad se izvor približava promatraču:

$$f' = \frac{v}{v - v_i} f$$



Frekvencija koju registrira promatrač u slučaju kad se izvor udaljava od promatrača:

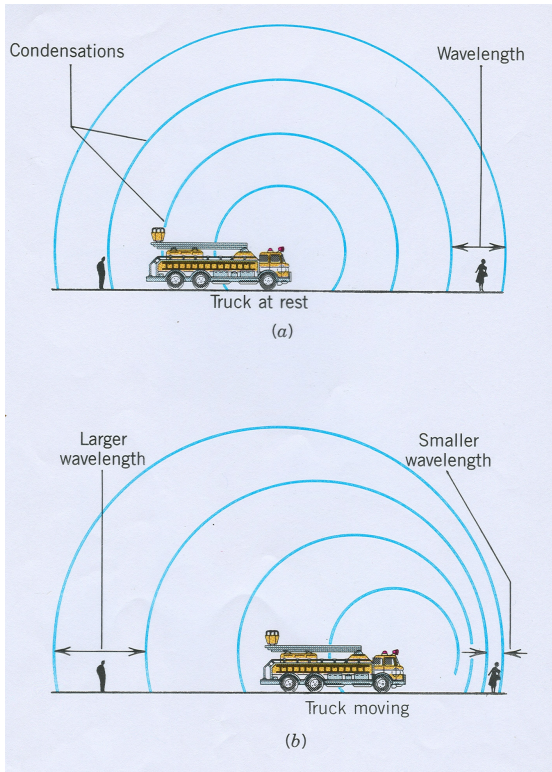
$$f' = \frac{v}{v + v_i} f$$



Općenito: $f' = \frac{v + v_p}{v - v_i} f$

v_p + za približavanje, - za udaljavanje

v_i + za približavanje, - za udaljavanje



Promatrač i prijemnik se gibaju duž pravca koji ih povezuje.

Ako je $v_i \ll v$, odnosno $v_p \ll v$ (brzine izvora i promatrača su puno manje od brzine vala), onda je na primjer za približavanje izvora promatraču:

$$f' = \frac{1}{1 - \frac{v_i}{v}} f = \left(1 + \frac{v_i}{v} + \left(\frac{v_i}{v}\right)^2 + \left(\frac{v_i}{v}\right)^3 + \dots\right) f = \left(1 + \frac{v_i}{v}\right) f$$

5.12.1. DOPPLEROV EFEKT ZA ELEKTROMAGNETSKE VALOVE

Prema prvom postulatu specijalne teorije relativnosti, brzina svjetlosti (brzina EM valova) je jednaka u svim inercijskim referentnim sustavima i ne ovisi o gibanju izvora ili promatrača.

U sustavu S izvor EM vala miruje i emitira val frekvencije f . Opažatelj u sustavu S mjeri period T , valnu duljinu λ i brzinu c . Opažatelj u sustavu S', koji se giba relativnom brzinom v u odnosu na S, mjeri frekvenciju f' , period T' , valnu duljinu λ' , ali opet brzinu c . Periodi T i T' su povezani izrazom za dilataciju vremena:

$$T' = \frac{T}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \beta = v/c$$

Udaljavanje izvora od promatrača:

$$\text{Promatrač u S' mjeri: } \lambda' = (c+v)T' = \frac{c+v}{\sqrt{1-\beta^2}} T = \frac{c+v}{\sqrt{1-\beta^2}} \frac{1}{f} = \frac{c}{f'}$$

$$\frac{f'}{c} = \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{c+v} f \quad / : c$$

$$f' = \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1+\frac{v}{c}} f = \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1+\beta} f = \frac{\sqrt{(1-\beta)(1+\beta)}}{\sqrt{(1+\beta)(1+\beta)}} f = \frac{\sqrt{1-\beta}}{\sqrt{1+\beta}} f$$

Približavanje izvora promatraču:

$$f' = \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta} f = \frac{\sqrt{(1-\beta)(1+\beta)}}{\sqrt{(1-\beta)(1-\beta)}} f = \frac{\sqrt{1+\beta}}{\sqrt{1-\beta}} f$$

$$\text{Općenito: } f' = \frac{\sqrt{1+\beta}}{\sqrt{1-\beta}} f \quad \beta \quad + \text{ za približavanje} \\ - \text{ za udaljavanje}$$

Ako je $v \ll c$, tada je $\beta^2 \approx 1$ pa izraz za Dopplerov efekt ima isti oblik za zvučne i EM valove:

$$f' \approx \frac{1}{1-\frac{v}{c}} f \approx (1+\frac{v}{c}) f$$

5.12.2. PROMJENA FREKVENCIJE PRI REFLEKSIJI VALA NA PREDMETU KOJI SE GIBA

Val se širi kroz sredstvo brzinom v i reflektira na površini predmeta koji se giba. Zbog Dopplerovog efekta reflektirani val ima drugačiju frekvenciju od upadnog vala. Pretpostavimo da val frekvencije f upada okomito na površinu koja se giba brzinom v_p u odnosu na izvor vala. Ista formula kao za slučaj da izvor miruje, a promatrač se giba:

$$\text{- frekvencija vala na promatranoj površini - } f' = \frac{v + v_p}{v} f = \left(1 + \frac{v_p}{v}\right) f$$

Reflektirani val je val frekvencije f' emitiran s površine koja se giba brzinom v_p (slučaj izvora koji se približava, a promatrač miruje). Detektor (tj. izvor u početku) registrira frekvenciju:

$$f'' = \frac{v}{v - v_p} f' = \frac{v}{v - v_p} \frac{v + v_p}{v} f = \frac{v + v_p}{v - v_p} f$$

v_p + za približavanje
 - za udaljšavanje

Razlika frekvencija:

$$\Delta f = f'' - f = \left(\frac{v + v_p}{v - v_p} - 1\right) f = \left(\frac{v + v_p - v + v_p}{v - v_p}\right) f = \frac{2v_p}{v - v_p} f$$

Koristi se za mjerenje brzine automobila radarskim valovima – superpozicijom upadnih i reflektiranih valova dobiju se UDARI čija frekvencija je dana s $\Delta f = \frac{2v_p}{v - v_p} f$.

Mjerenjem frekvencije udara može se odrediti brzina automobila.

$$\Delta f = \frac{2v_p}{c - v_p} f$$

Uz $v_p \ll c$ slijedi: $v_p = \Delta f \frac{c}{2f}$ jer je $\Delta f \approx \frac{2v_p}{c} f$.