

# Dopplerovská pozorování

- Vycházejí ze známého Dopplerova jevu příjmu jiného kmitočtu  $f_R$  než byl vysílaný  $f_T$ , pohybují-li se zdroj a přijímač vzájemnou rychlostí  $v$ .

- **Odvození:**

vztahy mezi dráhou  $s$ , časem  $t$  a rychlostí  $c$

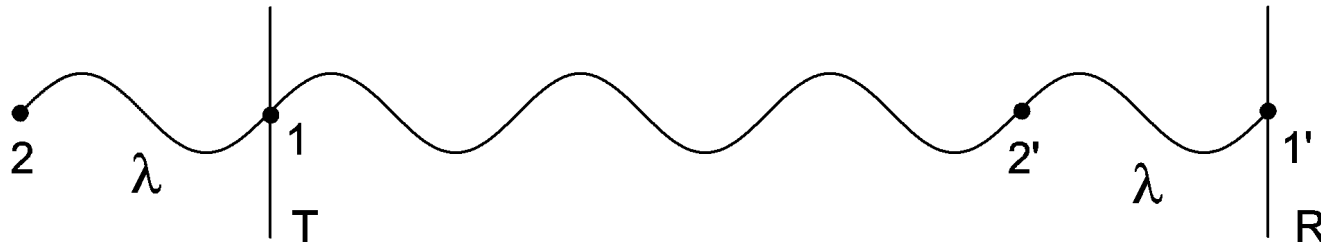
$$s = ct$$

a vlnovou délkou  $\lambda$ , frekvencí  $f$  a časovým intervalem  $\Delta t$

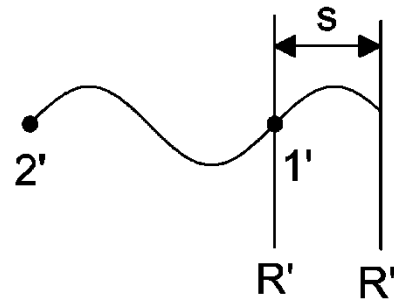
$$\lambda = c\Delta t = \frac{c}{f}$$

# Dopplerovská pozorování

- Předpokládejme nejprve, že body **T** a **R** se vzájemně nepohybují.
- Bod 2 vlny projde bodem T za dobu  $\Delta t_T$  a bod 2' projde bodem R za dobu  $\Delta t_R$ . Pokud se bod T vůči bodu R nepohybuje jsou časové intervaly stejné  $\Delta t_T = \Delta t_R$ .



Nechť se nyní bod R vzdaluje od bodu T rychlostí  $v$ .  
Pak bod 2' projde bodem R později – v pozici R''



# Dopplerovská pozorování

- Časový interval průchodu jedné vlny je tedy

$$\Delta t_R = \Delta t_T + \Delta t_{z \text{ pohybu}} = \Delta t_T + \frac{s}{c} = \Delta t_T + \frac{v \cdot \Delta t_T}{c}$$

a z toho

$$\Delta t_R = \Delta t_T \left( 1 + \frac{v}{c} \right)$$

Pro frekvenci pak platí

$$f_R = f_T \left( 1 + \frac{v}{c} \right)^{-1}$$

Ve vakuu tedy máme

$$f_R = \frac{f_T}{1 + \frac{v}{c}} \approx f_T \left( 1 - \frac{v}{c} + \{2\} \right) \longrightarrow v = \frac{c}{f_T} (f_T - f_R)$$

# Dopplerovská pozorování

- Známe-li  $f_T$  a změříme  $f_R$ , můžeme určit **radiální rychlost  $v$** .  
Z důvodů minimalizace ztrát signálu v ionosféře se pro  $f_T$  používá kmitočtů větších než 100 MHz, nelze snadno měřit dopplerovsky posunutý kmitočet  $f_R$ .
- Proto se při měření užívá v přijímači směšování s kmitočtem pomocného generátoru  $f_G$  a měří se rozdílový kmitočet

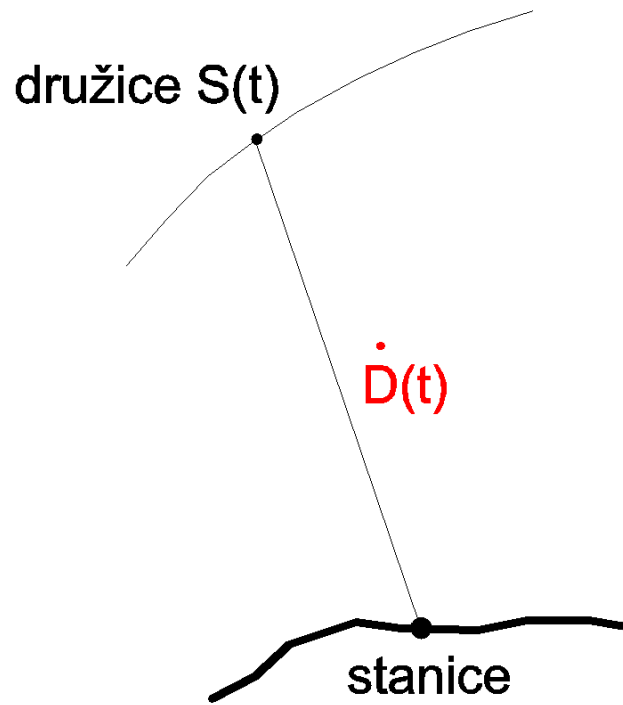
$$f_D = f_G - f_R$$

Pak lze psát

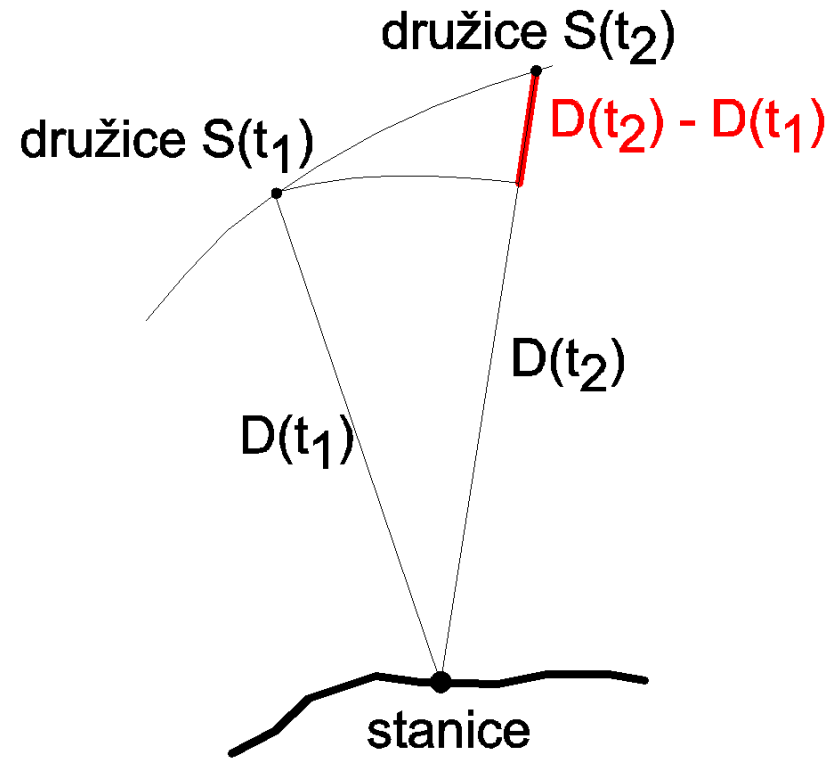
$$v = \frac{c}{f_T} (f_T \boxed{- f_G} - f_R \boxed{+ f_G}) = \frac{c}{f_T} f_D + \frac{c}{f_T} (f_T - f_G)$$

Kmitočet  $f_D$  se měří čítačem během nejvýše jednotek sekund.

# Dopplerovská pozorování



*diferenciální "Doppler"*



*integrální "Doppler"*

# Dopplerovská pozorování

- Pokud počítáme periody kmitočtu  $f_D$  po delší dobu (DORIS:10 sek; TRANSIT: 2 min) dojdeme k **integrální Dopplerovské metodě**.
- Rozdíl radiálních vzdáleností ke družici je

$$D_2 - D_1 = \int_{t_1}^{t_2} v dt = \frac{c}{f_T} \int_{t_1}^{t_2} f_D dt + \frac{c}{f_T} (f_T - f_G) \int_{t_1}^{t_2} dt$$

Čas  $t_1$  volíme a čas  $t_2$  určíme tak, aby integrál z  $f_D$  podle  $dt$  bylo celé číslo  $N$ , pak

$$D_2 - D_1 = \frac{c}{f_T} N + \frac{c}{f_T} (f_T - f_G)(t_2 - t_1)$$

kde  $D_2 - D_1$  je určený rozdíl vzdálenosti k družici v časech  $t_2$  a  $t_1$  a  $N$  je počet period mezi těmito časy.

- Změřené hodnoty  $v$  nebo  $D_2 - D_1$  se musí redukovat o přístrojové opravy, vlivy troposféry a ionosféry a o družicovou aberaci.
- Dosažitelná teoretická přesnost metody je
  - 0.4 mm.s<sup>-1</sup> v rychlosti a 1 až 5 cm v rozdílu vzdáleností u integrální metody.
- Skutečná přesnost je o něco horší, což je dáno vlivem nejistot v redukcích a šumem v aparatuře.

# DORIS

(fr. Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégré par Satellite,  
ang. Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite)

- vyvinutý Francií ve spolupráci s USA
- primární cíl systému: určování přesných drah nízko letících družic (100 – 1000 km)
- dalším produktem: souřadnice pozemních stanic
  
- Na **zemi** je umístěna síť **vysílačů**, které vysílají na dvou frekvencích 2036.24 MHz a 401.25 MHz pro odstranění vlivu ionosféry.
- Na **družici**, jejíž dráha se má určit, pracuje **přijímač signálu**, který využívá pro určení polohy dopplerovské metody.
  
- Pozemní stanice vyžadují pouze zdroj elektrické energie – není nutné připojení k internetu pro přenos dat do datových center, takže jejich rozložení může být rovnoměrné po celém světě.
- nízké náklady na vybudování stanic
- O umístění stanice rozhoduje řídicí centrum v Toulouse ve Francii.