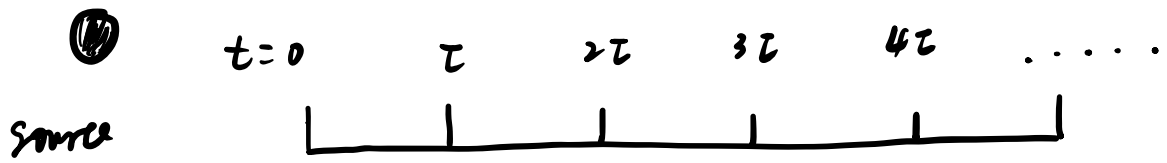


# Doppler effect: 多普勒效应



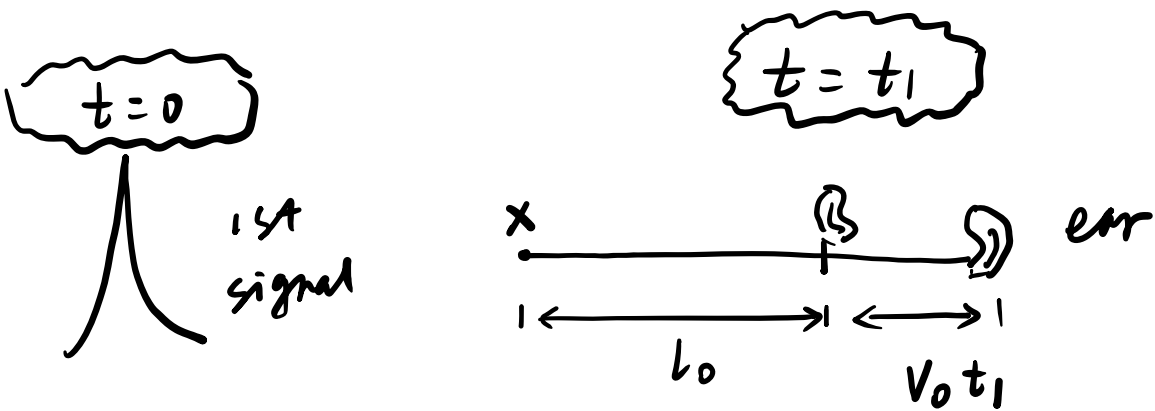
## 符号约定

$\tau$ : 信号发射周期

$v$ : 信号传播速度  $\rightarrow$

$v_s$ : 信号源移动速度 (source)  $\rightarrow$

$v_o$ : 观测者移动速度 (observer)  $\rightarrow$



$l_0$ : source  $\longleftrightarrow$  observer ( $t=0$ )

$t=0$  时源与接收者之间的距离

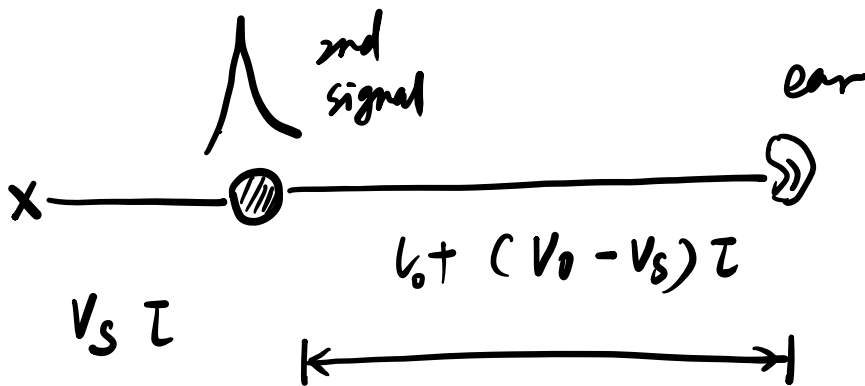
$$V t_1 = l_0 + v_0 t_1$$

$$t_1 = \frac{l_0}{V - v_0}$$

$t = t_1$  : 第一个信号被观测者接收到

$t = t_2$  : 第二个 ~~~~~

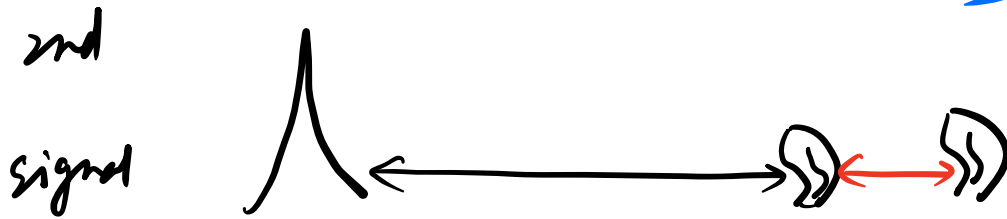
$t = \tau$



源和观测者间距

$t = t_2$

$[ \tau, t_2 ]$  时间间隔



$$V(t_2 - \tau) = \boxed{l_0 + (v_0 - v_s)\tau} + \boxed{v_0(t_2 - \tau)}$$

$$= l_0 + v_0 t_2 - v_s \tau$$

$$t_2 = \frac{l_0 - v_s \tau + v \tau}{(v - v_0)}$$

观测者周期:

$$\begin{aligned} \tau' = t_2 - t_1 &= \frac{l + (v - v_s)\tau}{v - v_0} - \frac{l}{v - v_0} \\ &= \frac{(v - v_s)\tau}{v - v_0} \end{aligned}$$

$$f' = \frac{1}{\tau'} = \frac{v - v_0}{v - v_s}$$

从结果看:

1°  $V_s$ : 从行波的意义上看, 改变有效波长,  $\lambda \rightarrow \lambda - V_s \tau$

2°  $V_0$ : 改变有效的传播速度

$$V \rightarrow V - V_0$$

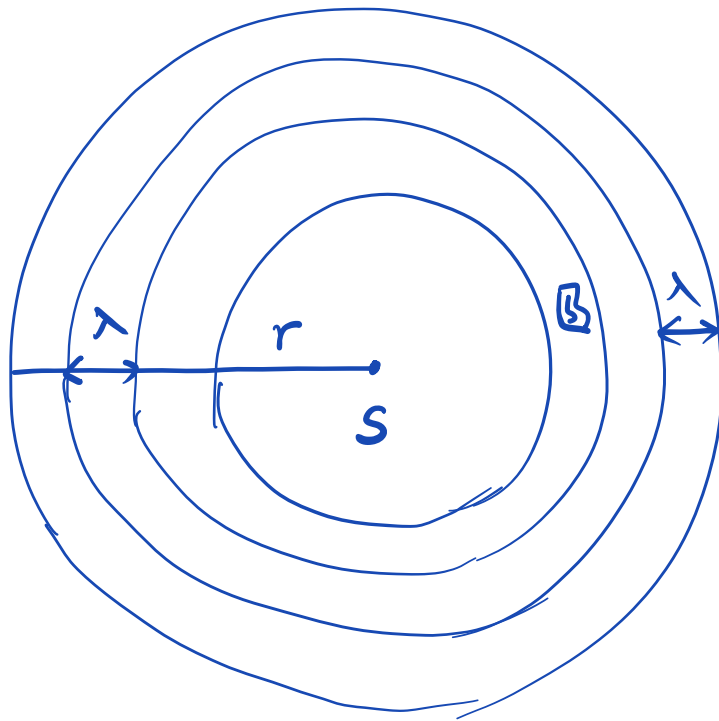
∴ 综合 1° 2°

观测者接收信号周期:

$$\tau' = \frac{\lambda - V_s \tau}{V - V_0} = \frac{V \tau - V_s \tau}{V - V_0}$$

$$f' = \frac{V - V_0}{V - V_s} f = \frac{(V - V_s) \tau}{V - V_0}$$

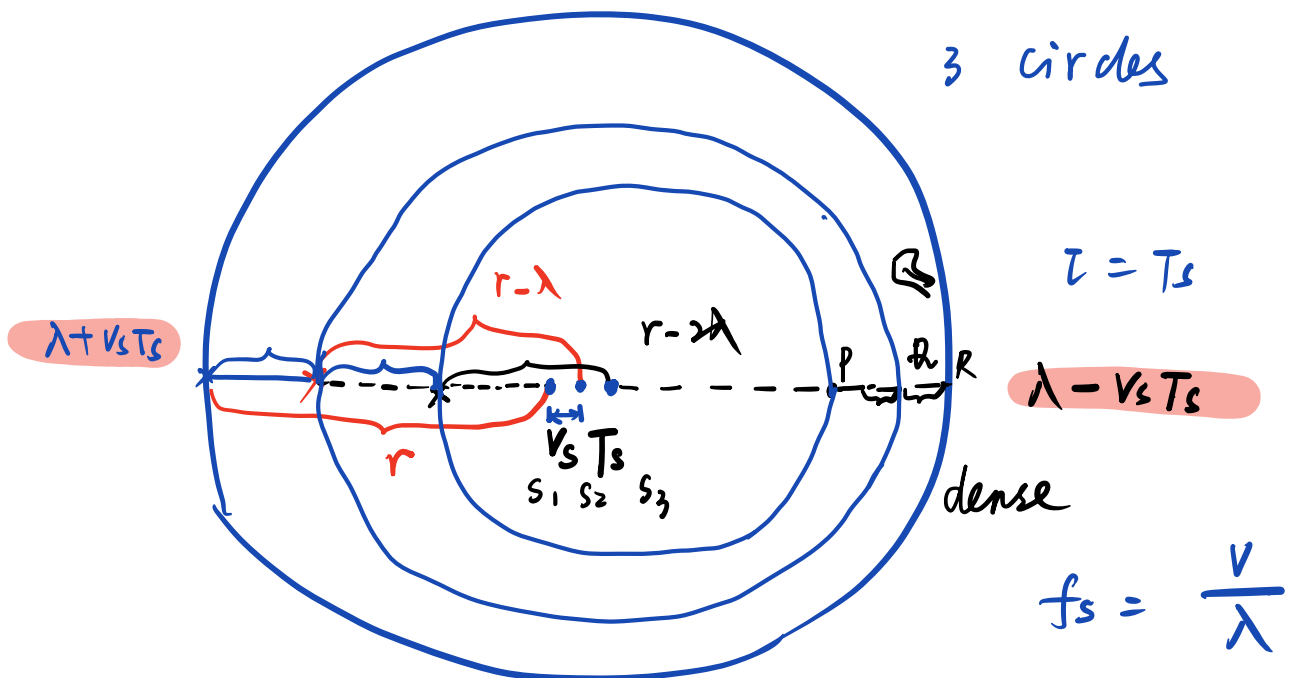
图示



source 不动

ear 动, 改变信号传播速度

$$f_o = \frac{v - v_o}{v} f_s$$



从 travelling 的意义上讲,  $f_0 = \frac{v}{\lambda - v_s T_s}$

有效波长  $f_0 = \frac{\lambda}{\lambda - v_s T_s} f_s$

$$s_1 R = r$$

$$s_2 \phi = r - \lambda$$

$$s_3 p = r - 2\lambda$$

$$p_R = \phi_R = \lambda - v_s T_s$$

$$= \frac{v}{v - v_s} f_s$$

## 电磁波的多普勒效应

关键词：测量

1. 测量在接收者参考系中进行

2. 电磁波传播不需要介质。波源朝着接收器运动等价于接收器朝波源运动，反之亦然。

⇒ 两种情况：二者相互靠近；远离。

Case 1: 波源和接收器相互**接近**

$$\nu_R = \frac{u}{u - v} \boxed{\nu_1} \xrightarrow[\text{替换}]{u \rightarrow c} \nu_R = \frac{1}{1 - v/c} \nu_1$$

↓

运动原子的固有频率

↓ 相对论效应

$$\nu_1 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \boxed{\nu_S} \Rightarrow \text{静止原子的固有频率}$$

Source 固有时最短

$$\nu_R = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} \nu_S$$

Case 2: 波源和接收器相互**远离**  $\nu_R = \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}} \nu_S$

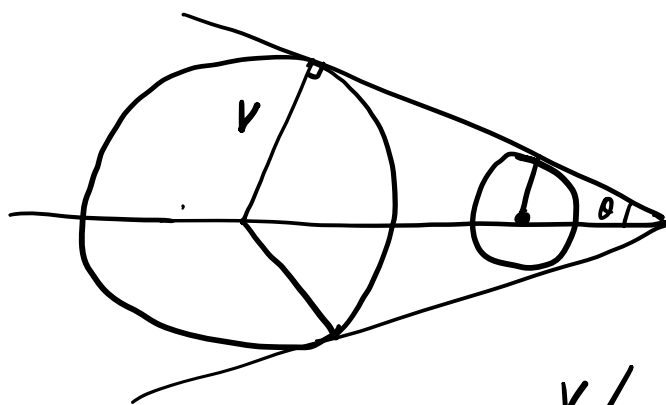
红移

舟首 (shǒu) 浪, 马赫锥 (mach cone)

切伦科夫辐射 (Cherenkov radiation)

( 介质中 带电粒子速度  $v > v_c$  )

未闻其声, 先见其人



$$v / v_s = \sin \theta$$