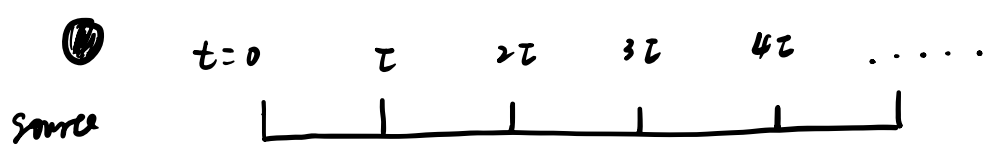


Doppler effect : 多普勒效应



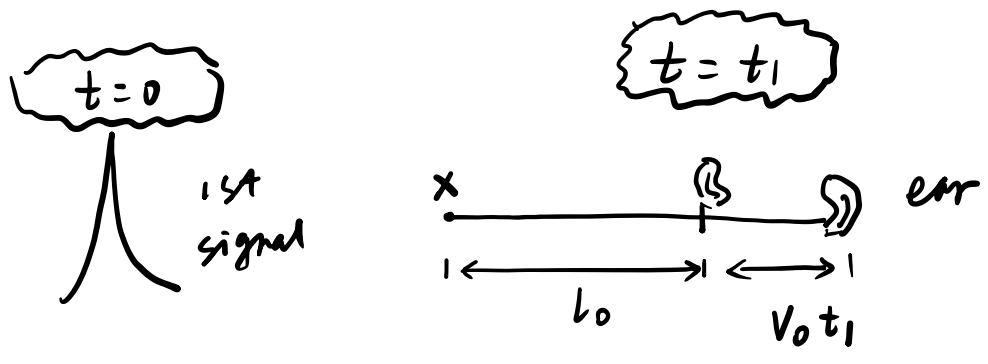
符号约定

τ : 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

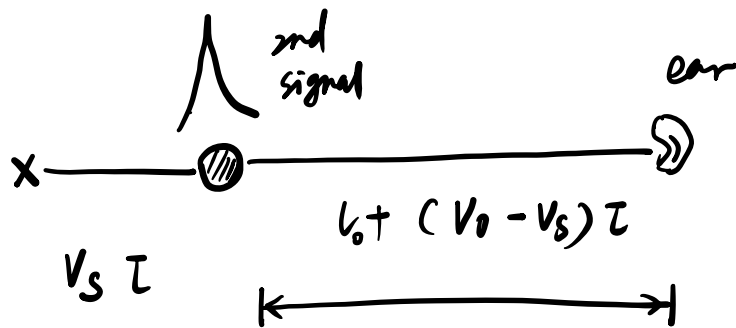
$$V t_1 = l_0 + v_0 t_1$$

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

$t = t_1$: 第一个信号被观测者接收到

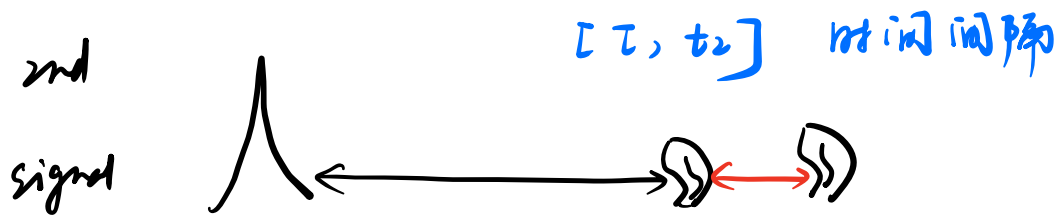
$t = t_2$: 第二个 ~~~~~

$t = \tau$



源和观测者问题

$t = t_2$



$$V(t_2 - \tau) = \boxed{l_0 + (V_0 - V_s)\tau} + \boxed{V_0(t_2 - \tau)}$$

$$= l_0 + V_0 t_2 - V_s \tau$$

$$t_2 = \frac{l_0 - V_s \tau + V \tau}{(V - V_0)}$$

预测若周期:

$$\begin{aligned} \tau' = t_2 - t_1 &= \frac{l + (V - V_s)\tau}{V - V_0} - \frac{l}{V - V_0} \\ &= \frac{(V - V_s)\tau}{V - V_0} \end{aligned}$$

$$f' = \frac{1}{\tau'} = \frac{V - V_0}{V - V_s}$$

从结果看:

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

2° V_0 : 改变有效的传播速度

$$V \rightarrow V - V_0$$

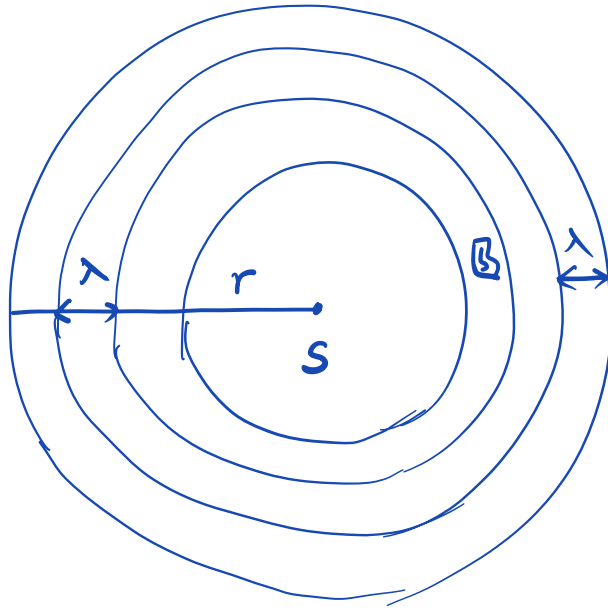
∴ 综合 1° 2°

观测者接收信号周期:

$$T' = \frac{\lambda - V_s T}{V - V_0} = \frac{V T - V_s T}{V - V_0}$$

$$f' = \frac{V - V_0}{V - V_s} f = \frac{(V - V_s) T}{V - V_0}$$

图示



Source 不动

ear 动

接收信号传播速度: $v \rightarrow v - v_0$

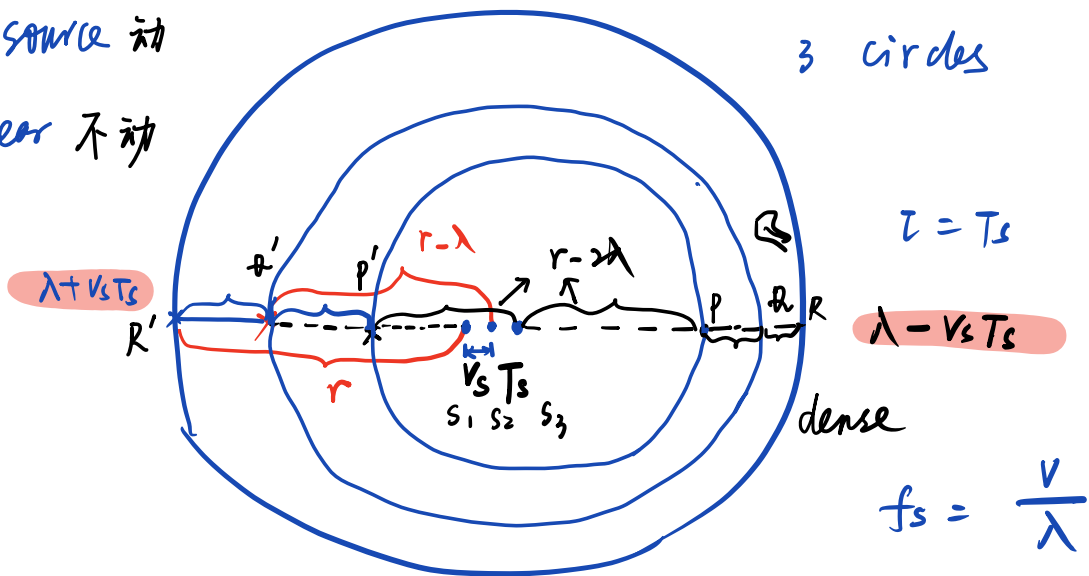
$$T_0 = \frac{\lambda}{v - v_0}$$

$$f_0 = \frac{v - v_0}{v} f_s$$

$$T_s = \frac{\lambda}{v}$$

Source 动

ear 不动



3 circles

$$T = T_s$$

$$\lambda - v_s T_s$$

dense

$$f_s = \frac{v}{\lambda}$$

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

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

几何关系

$$s_1 R = r = s_1 R'$$

$$s_2 Q = r - \lambda = s_2 Q'$$

$$s_3 P = r - 2\lambda = s_3 P'$$

$$PQ = QR = \lambda - v_s T_s$$

$$P'Q' = Q'R' = \lambda + v_s T_s$$

合起来, source v_s

ear : v_0

$$f_0 = \frac{v - v_0}{v - v_s} f_s$$

$$f_0 = \frac{v}{\lambda - v_s T_s} \quad \lambda < v_s T_s \text{ 怎么办?}$$

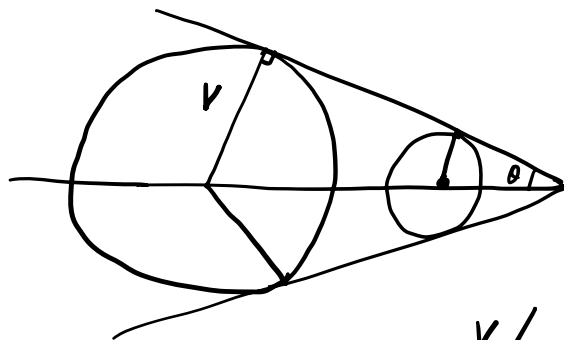
$$v_s > v$$

船 (shuān) 波, 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



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

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