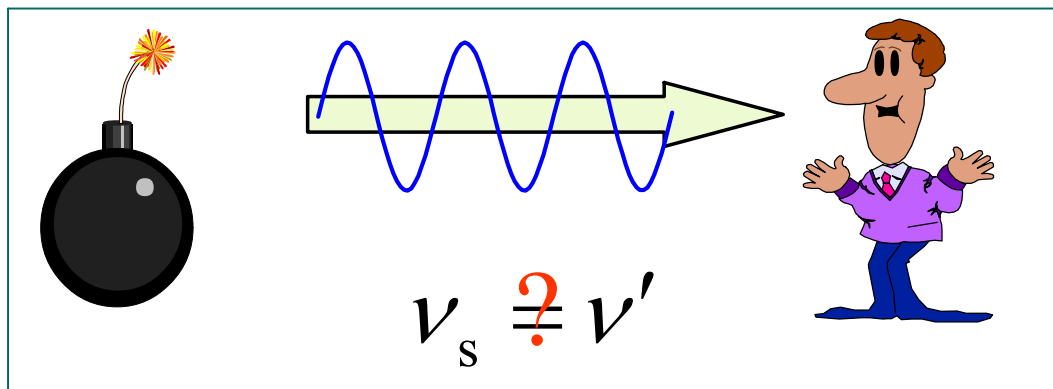


讨论

人耳听到的声音的频率与声源的频率一定相同吗？

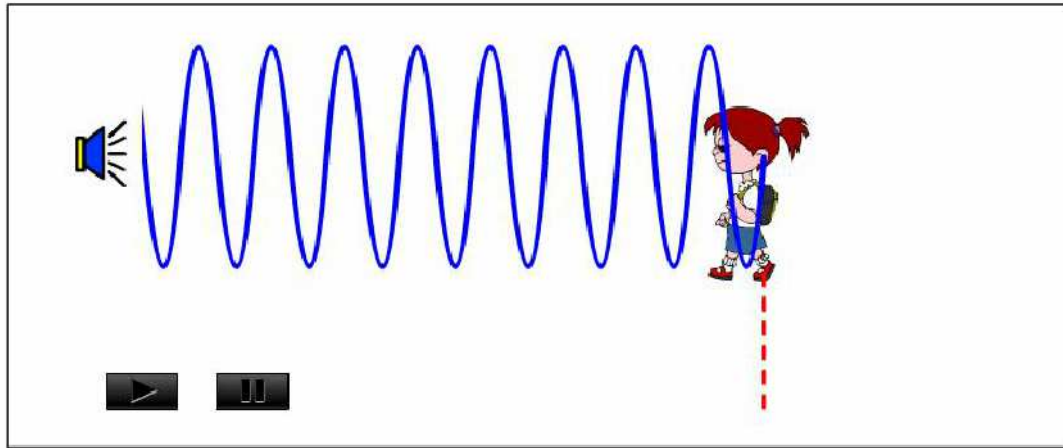


发射频率 v_s

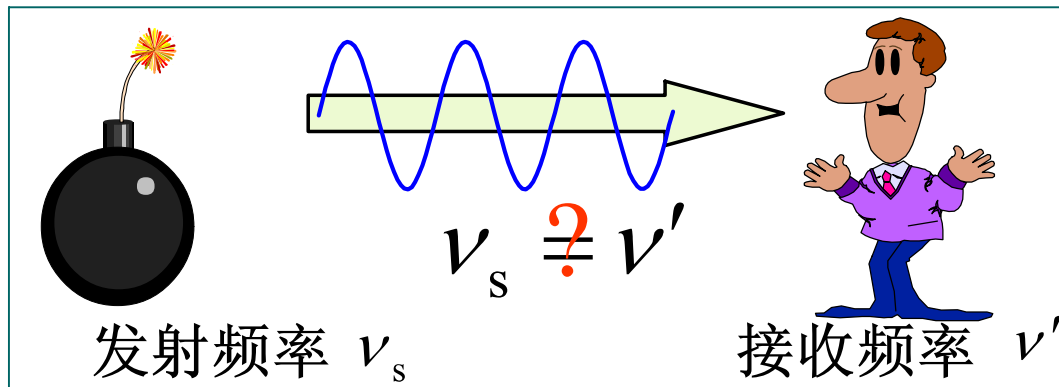
接收频率 v'



一 波源不动, 观察者相对介质以 v_0 运动



接收频率——单位时间内观测者接收到的振动次数或完整波数。



只有波源与观察者相对静止时才相等。



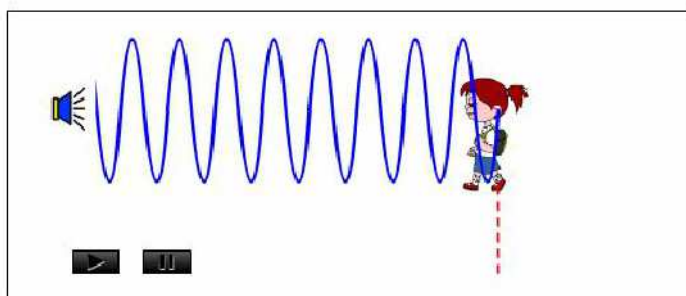
观察者接收的频率

观察者**向**波源运动

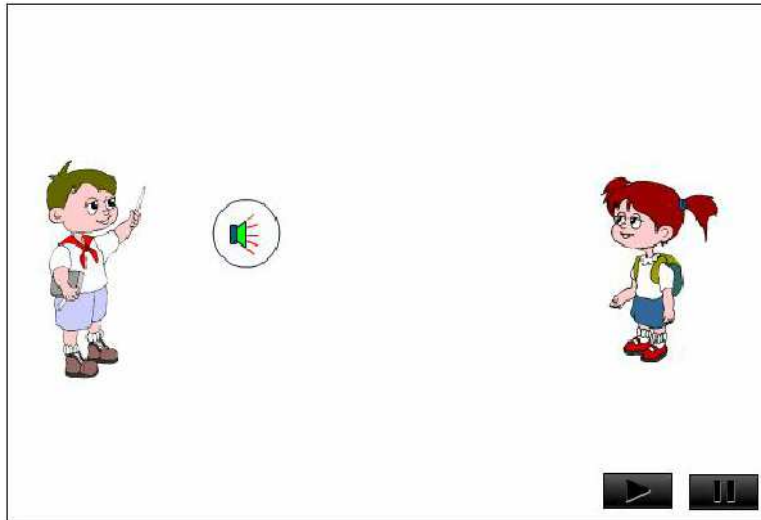
$$\nu' = \frac{u + v_0}{u} \nu$$

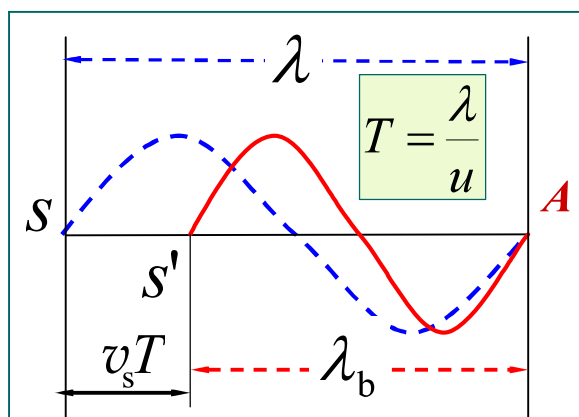
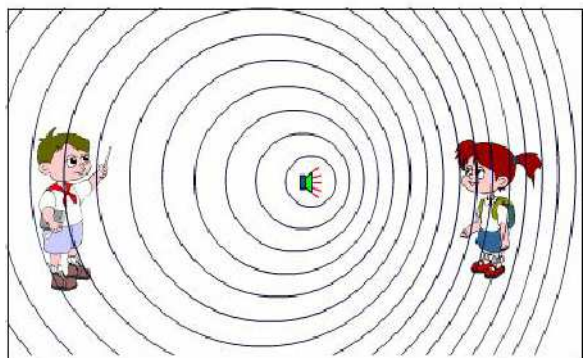
观察者**远离**波源运动

$$\nu' = \frac{u - v_0}{u} \nu$$



二 观察者不动, 波源相对介质以 v_s 运动





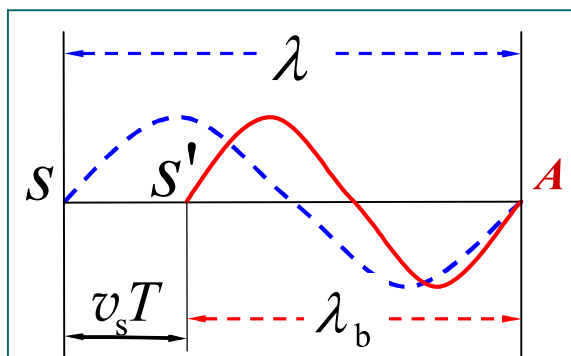
$$T' = \frac{\lambda - v_s T}{u} = \frac{\lambda_b}{u} \quad \nu' = \frac{1}{T'} = \frac{u}{\lambda - v_s T} = \frac{u}{u - v_s} \nu$$



观察者接收的频率

波源**向**观察者运动
$$\nu' = \frac{u}{u - v_s} \nu$$

波源**远离**观察者运动
$$\nu' = \frac{u}{u + v_s} \nu$$



三 波源与观察者同时相对介质运动 (v_s, v_0)

$$\nu' = \frac{u \pm v_0}{u \mp v_s} \nu$$

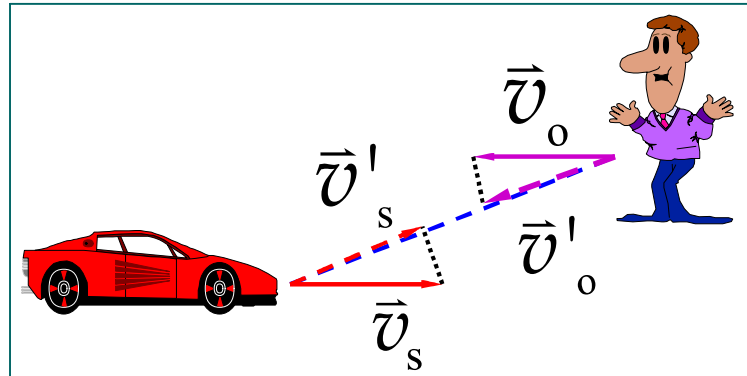
v_0 观察者**向**波源运动 **+** , 远离 **-**

v_s 波源**向**观察者运动 **-** , 远离 **+**

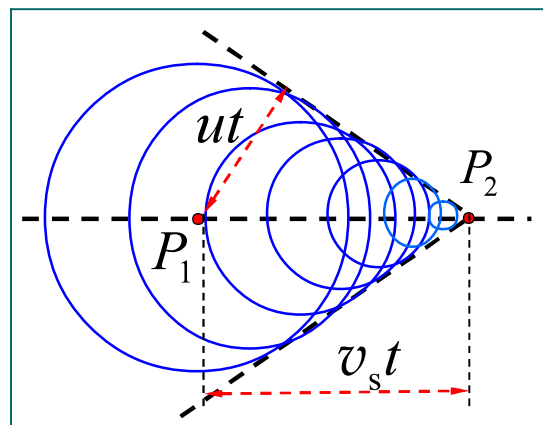


若波源与观察者不沿二者连线运动

$$\nu' = \frac{u \pm v'_0}{u \mp v'_s} \nu$$



当 $v_s \gg u$ 时，所有波前将聚集在一个圆锥面上，波的能量高度集中形成**冲击波**或**激波**，如核爆炸、超音速飞行等。



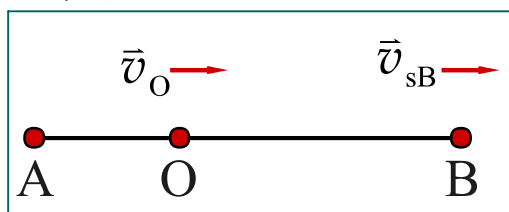
多普勒效应的应用

- (1) 交通上测量车速；
- (2) 医学上用于测量血流速度；
- (3) 天文学家利用电磁波红移说明大爆炸理论；
- (4) 用于贵重物品、机密室的防盗系统；
- (5) 卫星跟踪系统等。



例1 A、B 为两个汽笛，其频率皆为500 Hz，A 静止，B 以 $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速率向右运动。在两个汽笛之间有一观察者O，以 $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度也向右运动。已知空气中的声速为 $330 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，求：

- (1) 观察者听到来自A的频率；
- (2) 观察者听到来自B的频率；
- (3) 观察者听到的拍频。

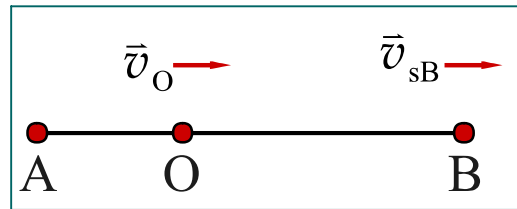


解 (1) 已知

$$u = 330 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, v_{sA} = 0, v_{sB} = 60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v' = \frac{u \pm v_0}{u \mp v_s} v$$

$$v' = \frac{330 - 30}{330} \times 500 = 454.5 \text{ Hz}$$

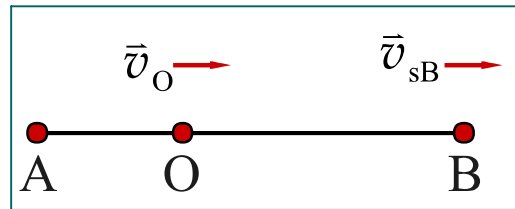


(2) 观察者听到来自B 的频率

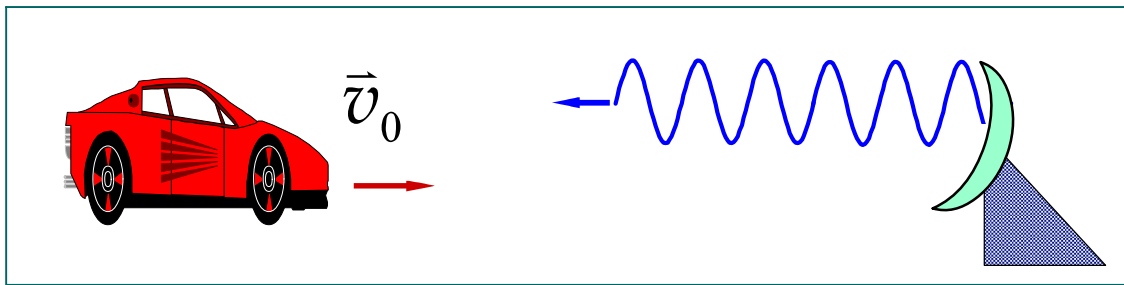
$$\nu'' = \frac{330 + 30}{330 + 60} \times 500 = 461.5 \text{ Hz}$$

(3) 观察者听到的拍频

$$\Delta\nu = |\nu' - \nu''| = 7 \text{ Hz}$$



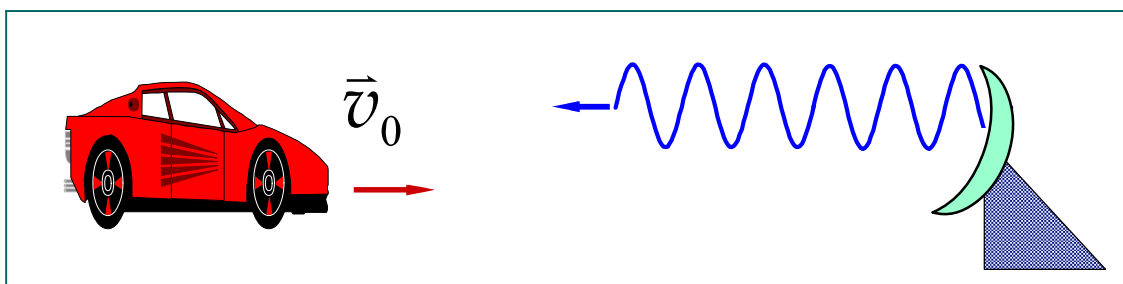
例2 利用多普勒效应监测车速，固定波源发出频率为 $\nu = 100 \text{ kHz}$ 的超声波，当汽车向波源行驶时，与波源安装在一起的接收器接收到从汽车反射回来的波的频率为 $\nu'' = 110 \text{ kHz}$ 。已知空气中的声速 $u = 330 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，求车速。



解 (1) 车为接收器
$$v' = \frac{u + v_0}{u} v$$

(2) 车为波源
$$v'' = \frac{u}{u - v_s} v' = \frac{v_0 + u}{u - v_s} v$$

车速
$$v_0 = v_s = \frac{v'' - v}{v'' + v} u = 56.8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$



例3 利用多普勒效应测飞行的高度. 飞机在上空以速度 $v_s = 200 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 沿水平直线飞行, 发出频率为 $\nu_0 = 2000 \text{ Hz}$ 的声波. 当飞机越过静止于地面的观察者上空时, 观察者在4s内测出的频率由 $\nu_1 = 2400 \text{ Hz}$ 降为 $\nu_2 = 1600 \text{ Hz}$. 已知声波在空气中的速度为 $u = 330 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 试求飞机的飞行高度 h .

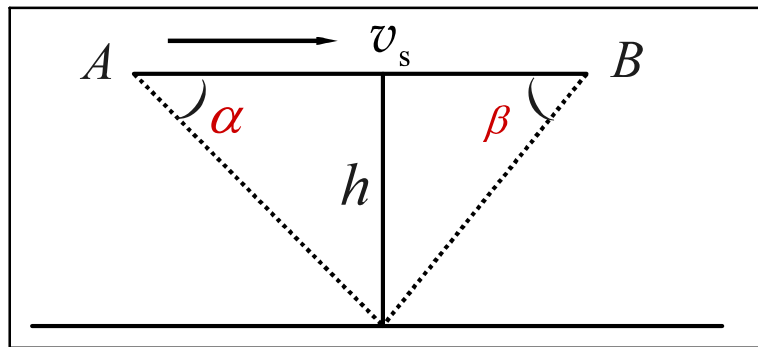


已知 $v_s = 200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $\nu_0 = 2\,000 \text{ Hz}$
 $\nu_1 = 2\,400 \text{ Hz}$ $\nu_2 = 1\,600 \text{ Hz}$ $u = 330 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 求 h

解 如图，飞机在4s内经过的距离为 AB

$$\overline{AB} = v_s t = h(\cot \alpha + \cot \beta)$$

$$v_{AC} = v_s \cos \alpha \quad v_{BC} = v_s \cos \beta$$



$$V_1 = \frac{u}{u - v_{AC}} V_0 = \frac{u}{u - v_s \cos \alpha} V_0$$

$$V_2 = \frac{u}{u + v_{BC}} V_0 = \frac{u}{u + v_s \cos \beta} V_0$$

$$\cos \alpha = \frac{V_1 - V_0}{V_1 v_s} u = 0.275 \quad \cos \beta = \frac{V_0 - V_2}{V_2 v_s} u = 0.413$$

$$h = \frac{v_s t}{\cot \alpha + \cot \beta} = \frac{v_s t}{\frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}} + \frac{\cos \beta}{\sqrt{1 - \cos^2 \beta}}}$$

$$= 1.08 \times 10^3 \text{ m}$$



选择进入下一节:

10-2 平面简谐波的波函数

10-3 波的能量 能流密度

10-4 惠更斯原理 波的衍射和干涉

10-5 驻波

10-6 多普勒效应

10-7 平面电磁波

