

機械波

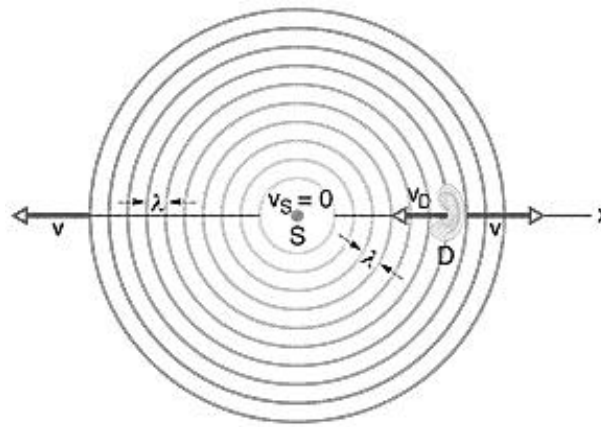
都卜勒效應

(The Doppler Effect)

當波源（包括光）或波偵測器移動時，所偵測到的頻率會和波源所發出之頻率不同。

機械波之都卜勒效應

(a) 波源固定，偵測器移動



中興大學物理系 孫允武

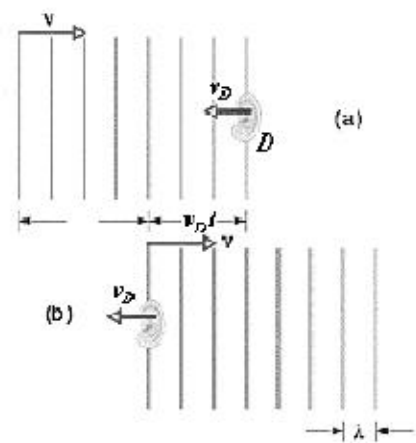
機械波七-1

機械波

偵測器所偵測到的頻率為單位時間通過偵測器之波長數目。
當波源及偵測器均不動時，

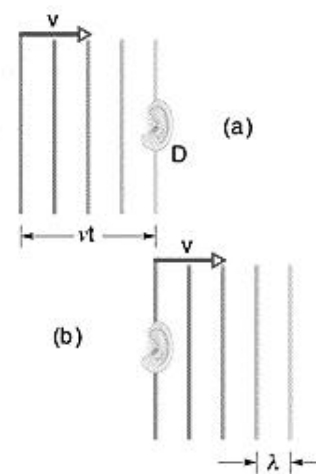
$$f = \frac{vt/I}{t} = \frac{v}{I}$$

若偵測器以 v_D 之速度向（遠離）波源移動



$$f' = \frac{(vt \pm v_D t)/I}{t} = \frac{v \pm v_D}{I}$$

$$= \frac{v \pm v_D}{v/f} = f \frac{v \pm v_D}{v}$$



f	波對偵測器之速率 波速
-----	----------------

中興大學物理系 孫允武

機械波七-2

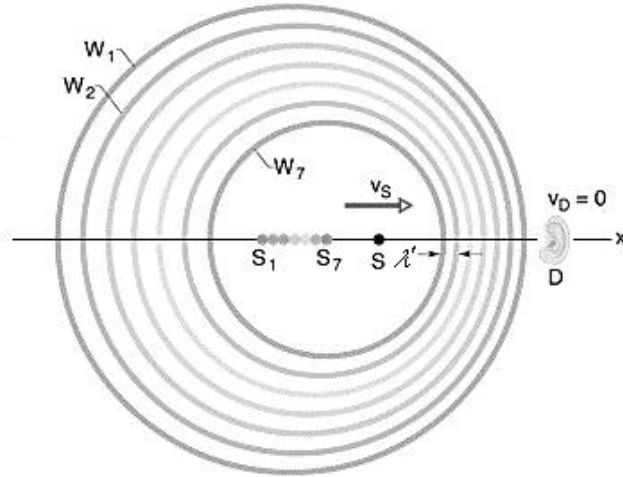
機械波

(b) 波源移動，偵測器固定
波源向（遠離）偵測器方向移動

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{vT \mp v_s T} = \frac{v}{v/f \mp v_s/f}$$

$$= f \frac{v}{v \mp v_s}$$

波速
波對波源之速率



(c) 波源移動，偵測器移動

$$f' = f \frac{v \pm v_D}{v \mp v_s}$$

波對偵測器之速率
波對波源之速率

中興大學物理系 孫允武

機械波七-3

機械波

(d) 波源及偵測器移動很慢

$$f' \approx f \left(1 \pm \frac{u}{v} \right), \quad u = |v_s \pm v_D|, \quad \frac{u}{v} \ll 1$$

例題

As an ambulance travels east down a highway at a speed of 33.5 m/s, its siren emits at a frequency of 400 Hz. What frequency is heard by a person in a car traveling west at 24.6 m/s (a) as the car approaches the ambulance and (b) as the car moves away from the ambulance?

(a) $f' = f \frac{v + v_D}{v - v_s} = (400\text{Hz}) \frac{343 + 24.6}{343 - 33.5} = 475\text{Hz}$

(b) $f' = f \frac{v - v_D}{v + v_s} = (400\text{Hz}) \frac{343 - 24.6}{343 + 33.5} = 338\text{Hz}$

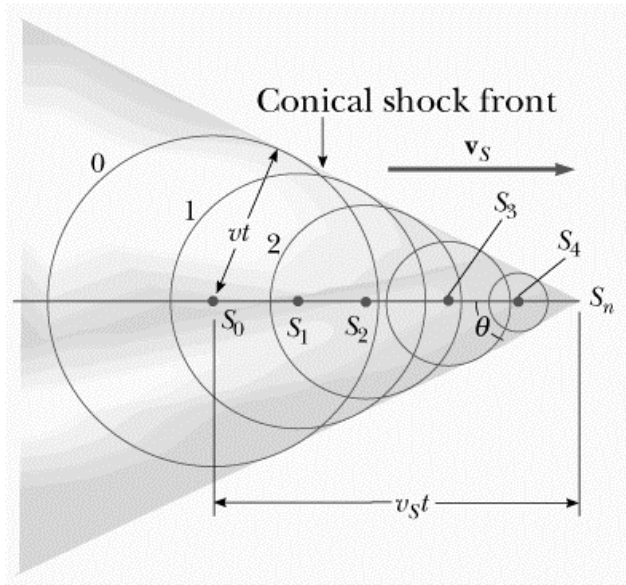
中興大學物理系 孫允武

機械波七-4

機械波

震波(Shock Waves)

當波源之速率超過波速時，不同時間發出之波前會複合成一V形結構，三維之波則形成一圓錐狀結構，稱為馬赫圓錐(Mach cone)，在Mach cone上先是一巨大的波峰，接著一波谷。



Mach cone angle q

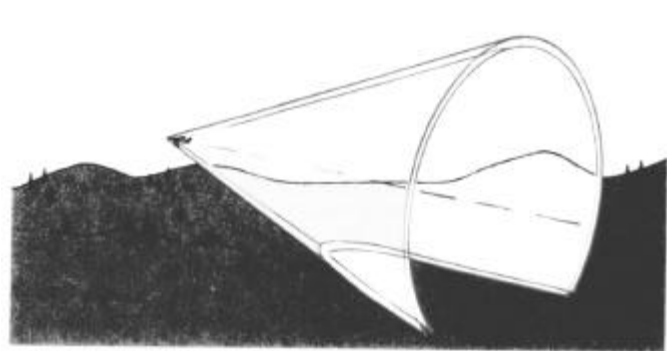
$$\sin q = \frac{vt}{v_s t} = \frac{v}{v_s}$$

中興大學物理系 孫允武

機械波七-5

機械波

音爆



光的都卜勒效應

光即電磁波，和機械波不同之處在於光不需要介質即可傳遞，而且在真空中之速度為光速，其都卜勒效應必須考慮相對論的效應。

當光源與光偵測器之相對速率 u 遠小於光速 c 時，可得和機械波類似之公式：

$$f' \approx f(1 \pm u/c)$$

$u \ll c$ ，+表示波源與偵測器互相靠近，-表示互相遠離。

中興大學物理系 孫允武

機械波七-6

機械波

換算成波長：

$$l' \approx l(1 \pm u/c)^{-1} \approx l(1 \mp u/c)$$

$$\frac{l' - l}{l} \approx \mp \frac{u}{c}$$

$$u \approx \frac{\Delta l}{l} c$$

天文學家只要比較星星的光譜與地球上測得之光譜（例如氫原子），由所得之波長差即可推算該星相對於地球之速率。

柴侖可夫輻射(Cerenkov Radiation)

高能量的帶電粒子，速率($b c$)接近光速，射入折射率 n 之介質時，粒子速率有可能比介質中之光速(c/n)快，粒子所發出之光波會形成類似震波，沿和入射方向不同之方向傳出。

$$\sin \theta = \frac{ct/n}{bct} = \frac{1}{bn}$$