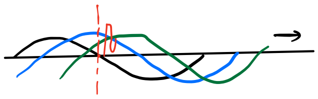
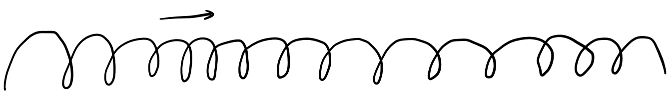
§11-1

1. 波的传播必伴随能量的传播.

2. 横波：质元的振动方向和波传播方向垂直



纵波：- - —— - - - - - - 同向



3. 波速、波长、周期/频率关系

$$u = \frac{\lambda}{T} = \nu \cdot \lambda$$

§11-2

1. 波函数：定量描述介质中各质元运动状态与时间关系.

$$f(\vec{r}, t) = f(x, y, z, t)$$

2. 平面简谐波：

$$y_p = A\cos(\omega(t - t') + \phi_0)$$ 波源传至此的"时间差"

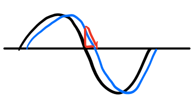
$$= A\cos[\omega(t - \frac{x}{u}) + \phi_0]$$

若超前则为正.

§11-4.

1. 波的能量：

势能：E_p = 质元间拉力在伸长过程中所做之功.



$$= F(\Delta l - \Delta x). \quad \Delta l = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = (\Delta x)\sqrt{1 + (\frac{\Delta y}{\Delta x})^2}$$

$$= F(\Delta x\sqrt{1 + (\frac{\partial y}{\partial x})^2} - \Delta x)$$

$$= F(\Delta x(1 + \frac{1}{2}(\frac{\partial y}{\partial x})^2) - \Delta x)$$

$$= F \cdot \frac{1}{2}(\frac{\partial y}{\partial x})^2 \cdot \Delta x$$

动能：$\Delta E = \frac{1}{2}\underset{= m}{(\rho_L \Delta x)}(\frac{\partial y}{\partial t})^2$

故：$\Delta E = \Delta E_k + \Delta E_p = \frac{1}{2}\rho_L(\frac{\partial y}{\partial t})^2\Delta x + \frac{1}{2}F(\frac{\partial y}{\partial x})^2\Delta x$

(注：$u = \sqrt{\frac{F}{\rho_L}}$)

$$\Rightarrow \Delta E_p = \Delta E_k.$$

$$\therefore \boxed{\Delta E = \Delta x \cdot \rho_L \omega^2 A^2 \sin^2[\omega(t - \frac{x}{u}) + \phi_0]}$$

2. 波的能量密度：介质中单位体积的波动能量.

$$w = \frac{\Delta E}{S\Delta x} = \rho\omega^2A^2\sin^2[\omega(t - \frac{x}{u}) + \phi_0]$$

平均能量密度. 在 0～T 内做积分：

$$\boxed{\bar{w} = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2}$$

3. 能流：单位时间通过介质某截面的能量.

平均能流：$\bar{P} = \bar{w} \cdot u \cdot S$

平均能流密度：与波传播方向垂直的单位面积的平均能流. 即波的强度.

$$I = \frac{\bar{P}}{S} = \bar{w}u = \frac{1}{2}\rho u \cdot \omega^2A^2 = \frac{1}{2}z\omega^2A^2$$

其中 $z = \rho u$ 称作特性阻抗

4. 对球面波而言：

能量总量守恒：

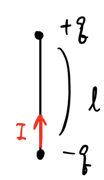
$$\frac{1}{2}\rho A_1^2\omega^2u \cdot 4\pi r_1^2 = \frac{1}{2}\rho A_2^2\omega^2u \cdot 4\pi r_2^2$$

$$\to A_1 r_1 = A_2 r_2.$$

$$A \propto \frac{1}{r}, \quad I \propto A^2 \propto \frac{1}{r^2}$$

§11-6.

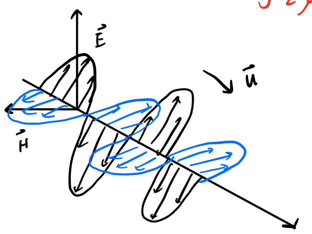
1.



I 在电偶极子中振荡

2. $$\begin{cases} E = E_0 \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right] = E_0 \cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \varphi_0\right] \\ H = H_0 \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right] = H_0 \cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \varphi_0\right] \end{cases}$$

求导，得 $u = \dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$.



$\vec{E}$、$\vec{H}$ 同相，$\vec{E} \perp \vec{H}$

易知 $\sqrt{\varepsilon}\,\vec{E} = \sqrt{\mu}\,\vec{H} \iff \vec{E} = u\vec{B}$

真空中光速：$c = \dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$

3. 电磁波能量

电场：$w_e = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$

$w_m = \frac{1}{2}\mu H^2$

$\rightarrow w = \frac{1}{2}(\varepsilon E^2 + \mu H^2)$

电磁波的能流密度

$$S = wu = \frac{u}{2}(\varepsilon E^2 + \mu H^2)$$

$$= \cdots = EH$$

$\therefore \vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$ Poynting 矢量

§ 11-9.

Doppler 效应：相对介质，设波源运动速度为 v_s，观察者 v_R

波传播速度 u

1. 波源不动，观察者动.

$$\nu_R = \frac{u+v_R}{u}\nu_s$$ （v_R 接近为"+"，远离"-"）

2. 观察者不动，波源动

$$\nu_R = \frac{u}{u-v_s}\nu_s$$ （波源接近观察者为"+"）

3. 观察者与波源同时相对介质而运动

$$\nu_R = \frac{u+v_R}{u-v_s}\nu_s.$$

当 source、receiver 相向运动，二者 v 均取"+"

同向 - -，二者 v 均取"-"

注意：波源发出的频率是"波源自己认为的 f"