

第一章 光的传播

§1 光源与光谱

一、光源

1、热辐射光源

2、非热辐射光源——冷光源

气体放电光源——电致发光

固体发光光源——场致发光、发光二极管等

荧光——光致发光、

磷光——化学发光、生物发光

激光、同步辐射光源

第一章 光和光的传播

§1 光源与光谱

一、光源

1、热辐射光源

2、非热辐射光源——冷光源

气体放电光源——电致发光

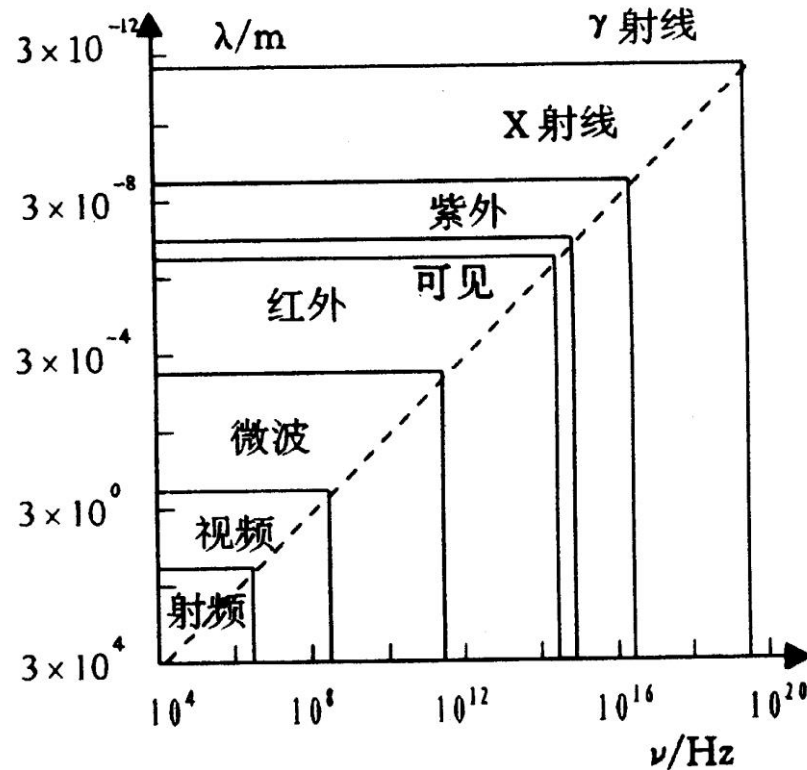
固体发光光源——场致发光、发光二极管等

荧光——光致发光、

磷光——化学发光、生物发光

二、光 谱

电磁波可见光波段 $\begin{cases} \lambda: 400\text{nm} \sim 760\text{nm} & 1\text{nm}=10^{-9}\text{m} \\ \nu: 7.7 \times 10^{14} \sim 3.9 \times 10^{14} \text{Hz} \end{cases}$



颜色 红 橙 黄 绿 蓝 靛 紫

波长 (nm) 760 647 588 550 472 455 430 360

单色光——具有单一波长的光

非单色光、准单色光

$i(\lambda) = \frac{dI_\lambda}{d\lambda}$ 谱密度: λ 处单位波长间隔内的光强

光谱: $i(\lambda) \sim \lambda$ 的分布曲线

总光强: $I = \int_0^\infty i(\lambda) d\lambda$

{ 连续光谱
线状光谱 —— 光谱分析

三、光强

电磁波：传播速率： $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ $\left. \begin{array}{l} \\ v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r}} \end{array} \right\} \text{介质折射率 } n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ $\mu_r = 1 \rightarrow n \approx \sqrt{\epsilon_r}$

横波性： \vec{E} 、 \vec{B} 均垂直于波传播方向

$$\vec{E} \perp \vec{B}$$

振幅满足：真空中： $E_0 / B_0 = c \rightarrow \sqrt{\epsilon_0} E_0 = \sqrt{\mu_0} H_0$

介质中： $E_0 / B_0 = v \rightarrow \sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r} E_0 = \sqrt{\mu_0 \mu_r} H_0$

光矢量 $\rightarrow \vec{E}$

(*Photo vector*)

*能流密度矢量——坡印廷矢量： $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$

大小 S ：单位时间通过垂直于波传播方向的单位面积的能量
方向：沿波能量的传播方向

$$\text{真空中: } \begin{matrix} B = \mu_0 H \\ E = cB \end{matrix} \rightarrow S = \frac{1}{\mu_0} EB = c\epsilon_0 E^2 = \frac{E^2}{c\mu_0}$$

$$\text{介质中（各向同性、非铁磁性）：} \rightarrow S = cn\epsilon_0 E^2 = \frac{n}{c\mu_0} E^2$$

*平均能流密度——光强 / 辐照度： S 的时间平均值

$$I = \bar{S} = \left\{ \begin{array}{ll} = \frac{1}{2} c\epsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2c\mu_0} E_0^2 & (\text{真空中}) \\ = \frac{1}{2} cn\epsilon_0 E_0^2 = \frac{n}{2c\mu_0^2} E_0^2 & (\text{介质中}) \end{array} \right\} \propto E_0^2 \rightarrow A^2$$

(瓦特/米²)

§ 2 光的几何光学传播规律——光线

一、几何光学三定律（光波长 $\rightarrow 0$ 时）

光在均匀介质中的直线传播定律

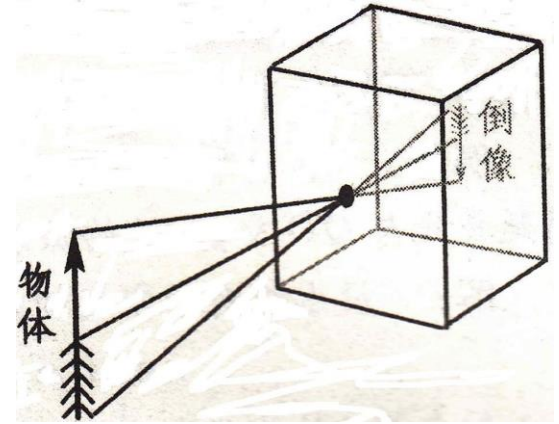
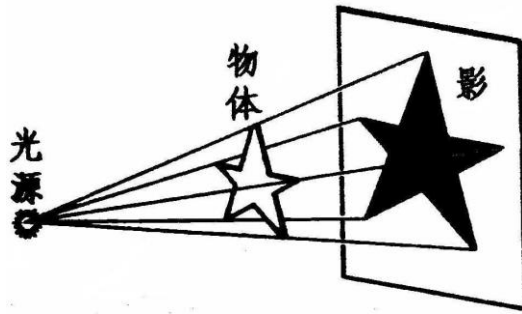
§ 2 光的几何光学传播规律——光线

一、几何光学三定律（光波长 $\rightarrow 0$ 时）

光在均匀介质中的直线传播定律

反射定律

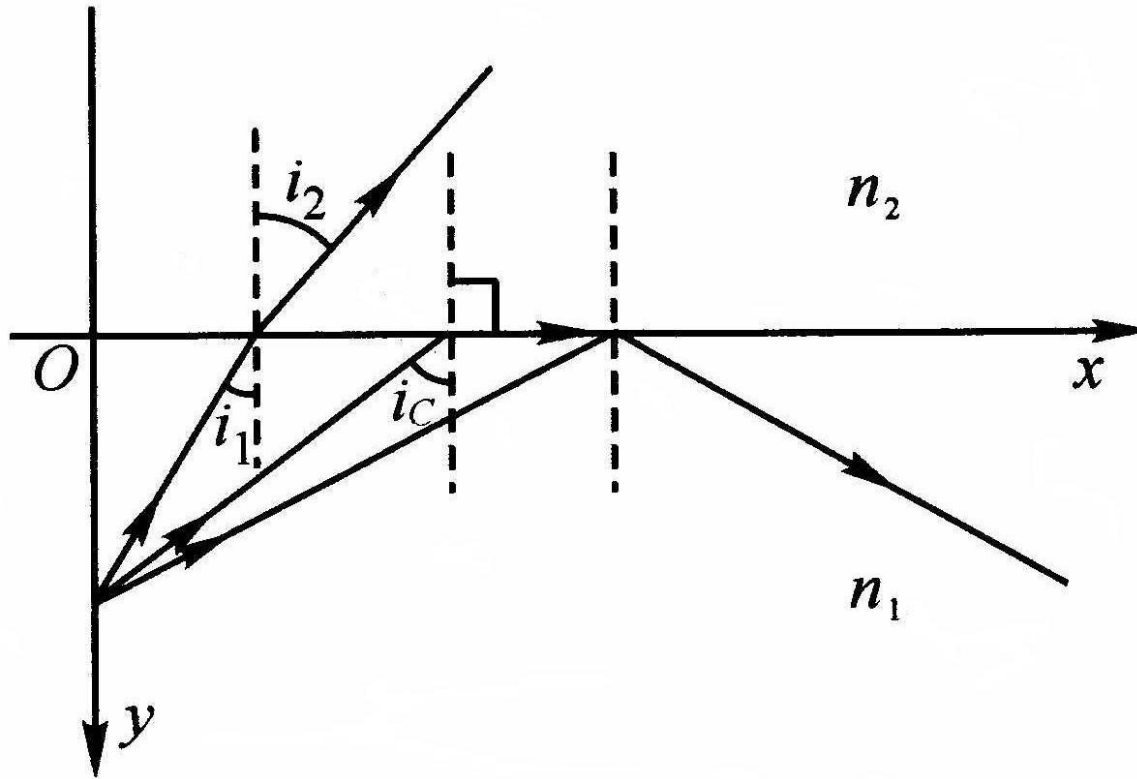
折射定律



二、全反射

光密介质1 \longrightarrow 光疏介质2: $n_2 < n_1$: $\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1$

$$\text{临界角 } i_1 = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \leftarrow \sin i_1 = \frac{n_2}{n_1} \downarrow \sin i_2 = 1$$



全反射原理的应用实例:

光学纤维

全反射棱镜

三、棱镜与色散

色散——折射率是光波长的函数： $n = n(\lambda)$

三棱镜的色散：

偏向角 $\delta = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$
 $= (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2)$

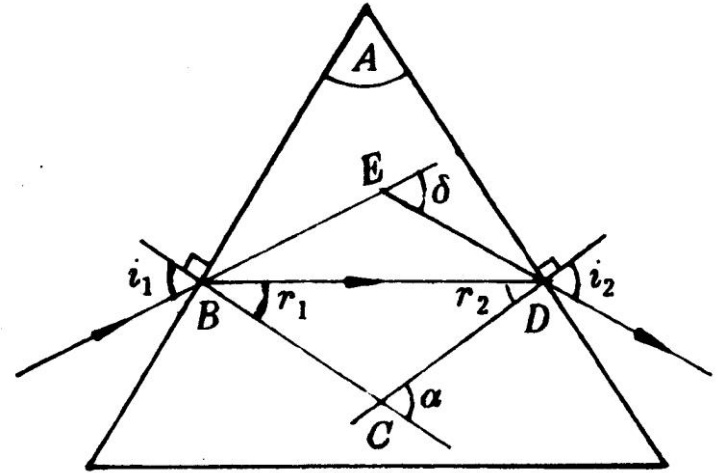
$$\begin{cases} A = \alpha = r_1 + r_2 \\ dA = 0 = dr_1 + dr_2 \end{cases} \rightarrow dr_1 = -dr_2$$

$$\delta = (i_1 + i_2) - \alpha$$

当 $i_1 = i_2$: $\delta = \delta_{\min} \rightarrow$ 最小偏向角 (*angle of minimum deviation*)

$$\downarrow$$

$$\frac{d\delta}{di_1} = 1 + \frac{di_2}{di_1} = 0 \rightarrow di_1 = -di_2$$



由折射定律:

$$\begin{array}{l} \sin i_1 = n \sin r_1 \\ n \sin r_2 = \sin i_2 \end{array} \xrightarrow[\text{微分}]{} \begin{array}{l} \cos i_1 di_1 = n \cos r_1 dr_1 \\ n \cos r_2 dr_2 = \cos i_2 di_2 \end{array} \rightarrow \therefore \frac{\cos i_1}{\cos i_2} = \frac{\cos r_1}{\cos r_2}$$

$$\begin{array}{l} i_1 = i_2 \\ r_1 = r_2 \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} \delta_{\min} = 2i - \alpha \\ A = r_1 + r_2 = 2r_1 \end{array} \rightarrow \left. \begin{array}{l} i_1 = \frac{1}{2}(\delta_{\min} + \alpha) \\ r_1 = \frac{1}{2}\alpha \\ \sin i_1 = n \sin r_1 \end{array} \right\} n = \sin\left[\frac{1}{2}(\delta_{\min} + \alpha)\right] / \sin \frac{\alpha}{2}$$

已知 α , 测量 $\delta_{\min} \rightarrow$ 材料对某种 λ 的折射率 n

§3 费马原理——几何光学基本原理

一、光程

*光的传播特点：不同介质中频率 ν 不变 $\nu = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{\nu}{\lambda}$

$$\text{波速、波长改变} \begin{cases} \nu = \frac{c}{n} < c \\ \lambda = \frac{\lambda_0}{n} < \lambda_0 \end{cases}$$

*光程： $L = nl$ $\begin{cases} l: \text{光在介质中传播的实际路程} \\ n: \text{介质折射率} \end{cases}$

*光程含义： $l = \nu \Delta t = \frac{c}{n} \Delta t \rightarrow nl = c \Delta t$

相同时间内光在真空中所经过的路程

二、费马原理

最短时间原理：光从一点传播到另一点，实际所走的路径是这两点间所有可能路径中费时最短的一条。

$A \rightarrow B$: 依次通过 l_1 ; n_2 ; l_2 ; \dots n_k ; l_k

$$t = \sum_m^k \frac{l_m}{v_m} = \frac{1}{c} \sum_m^k n_m l_m \xrightarrow{n=n(l)} t = \frac{1}{c} \int_A^B n(l) dl$$

A, B 一定条件下, t 为最小值: $\delta t = \frac{1}{c} \delta \int_A^B n(l) dl = 0$

$$\text{总光程 } L = \int_A^B n(l) dl \rightarrow \delta \int_A^B n(l) dl = 0$$

最小光程原理：光从一点传播到另一点，实际所走的路径总是所有可能路径中光程最短的一条。

讨论1: 以费马原理推导光的折射、反射定律

折射定律:

光程: $L = n_1 l_1 + n_2 l_2 = n_1 \sqrt{h_1^2 + (d-x)^2} + n_2 \sqrt{h_2^2 + x^2} \sim L(x)$

$$\frac{dL}{dx} = 0 \rightarrow \frac{n_1(d-x)}{l_1} = \frac{n_2 x}{l_2} \rightarrow n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \gamma$$

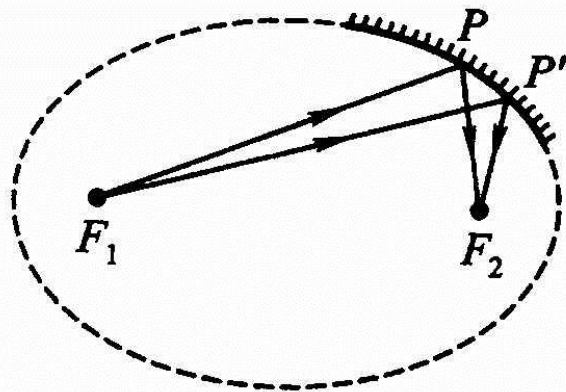
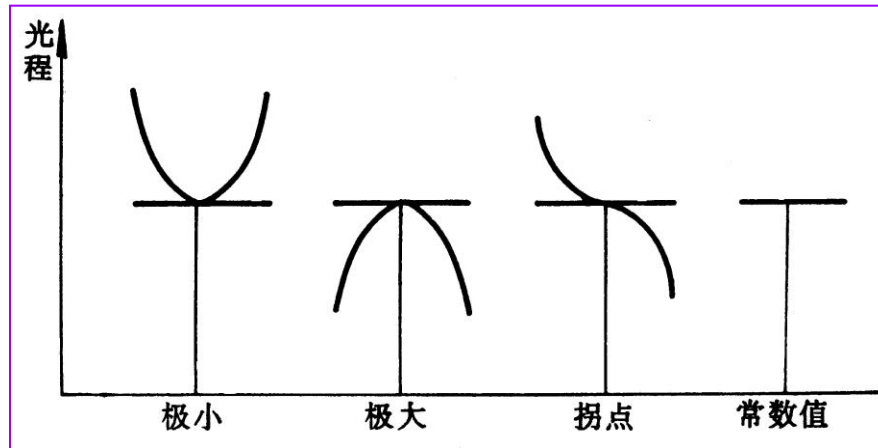
反射定律:

光程: $L = n l_1 + n l_2 = n \sqrt{h^2 + (d-x)^2} + n \sqrt{h^2 + x^2} \sim L(x)$

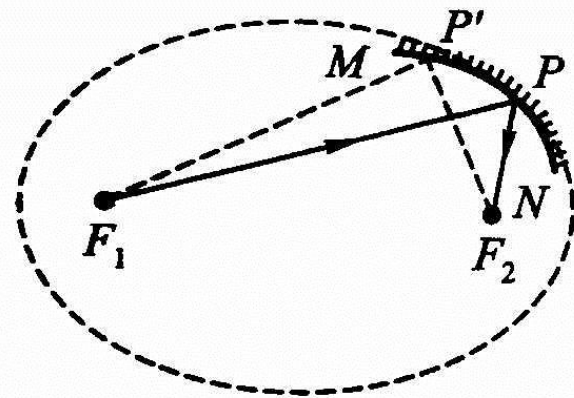
$$\frac{dL}{dx} = 0 \rightarrow \frac{(d-x)}{l_1} = \frac{x}{l_2} \rightarrow \sin \alpha = \sin \beta$$

讨论2: 费马原理的准确表述 $\rightarrow \delta \int_A^B n(l) dl = 0$

光从空间一点到另一点所走的实际路径的总光程的变化必须是**平稳的**——总光程的变分为0

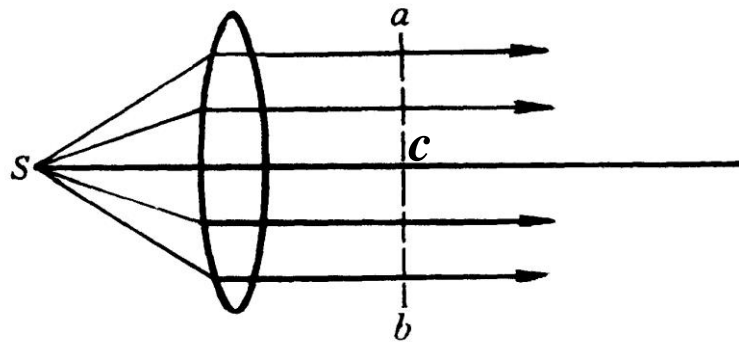


光程取恒定值



光程取极大值

讨论3： 光学系统的成像过程满足费马原理



——等光程性

透镜改变光线方向，
但不引入附加光程差

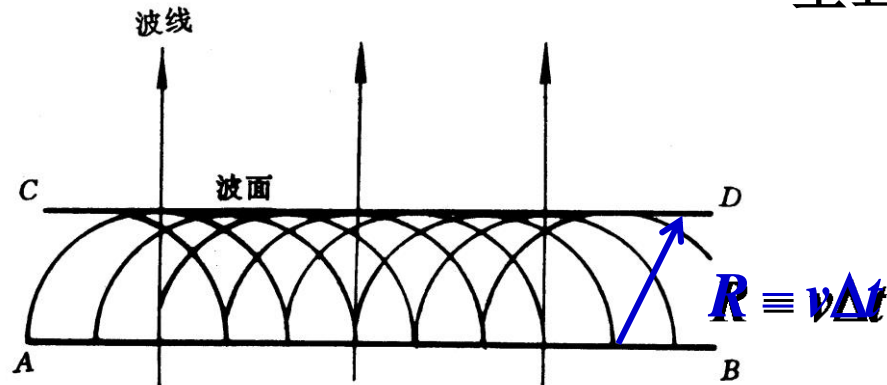
§4 惠更斯原理——光波

波前上每一点都可以看作是一个新的子波源，它们各自发射球面子波，下一时刻这些球面子波的包络面就是新的波前

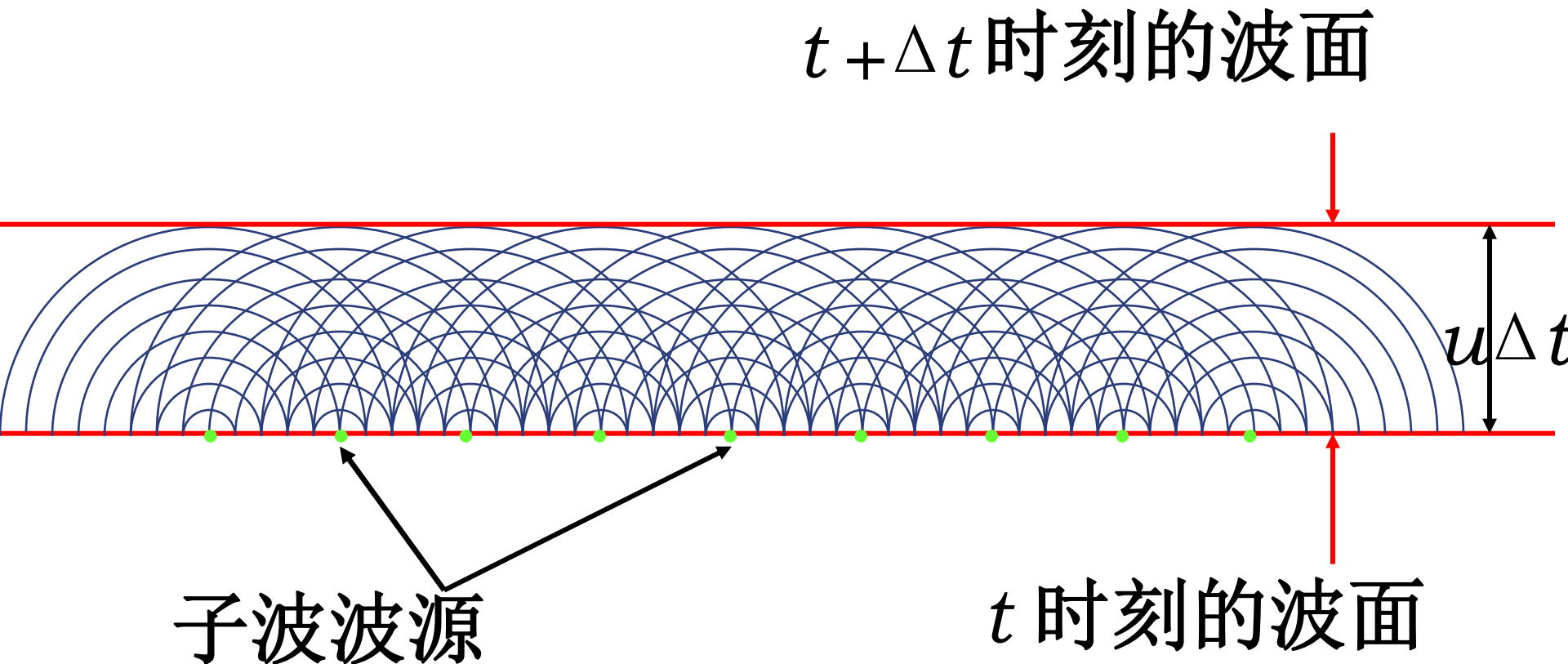
波阵面：同相位点组成的面

波前：最前方的波阵面

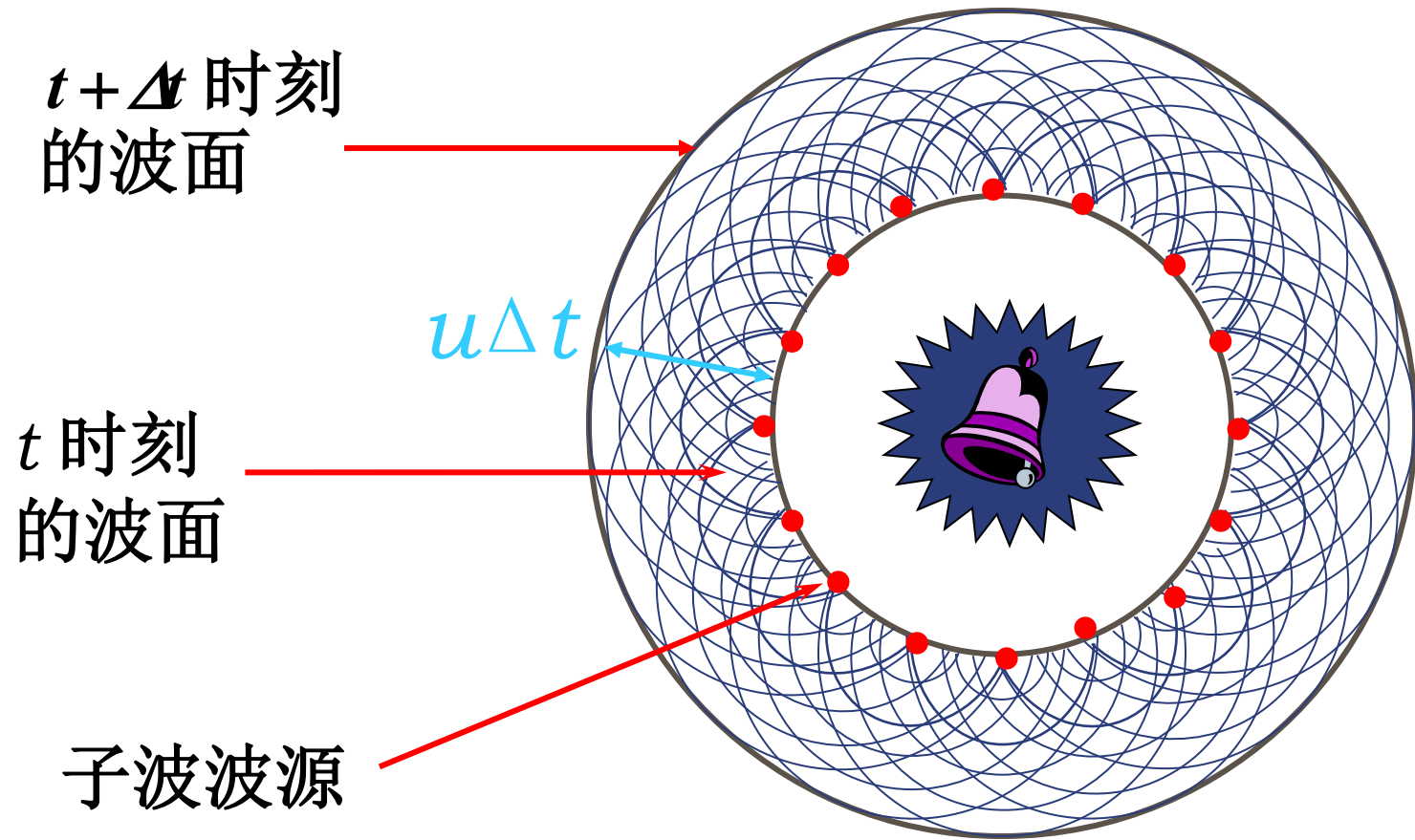
波线：垂直于波前（波阵面）的有向线段



用惠更斯原理确定
下一时刻平面波的波前



用惠更斯原理确定 下一时刻球面波的波前



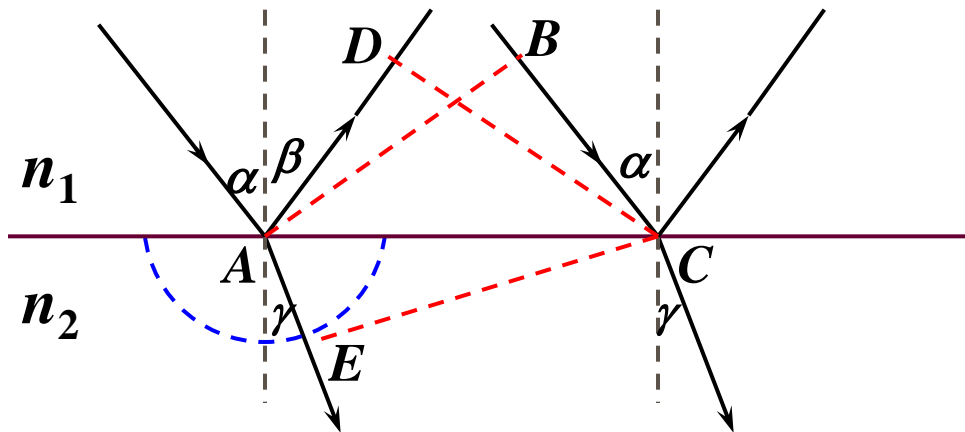
*应用惠更斯原理解释光的反射、折射定律

反射定律:

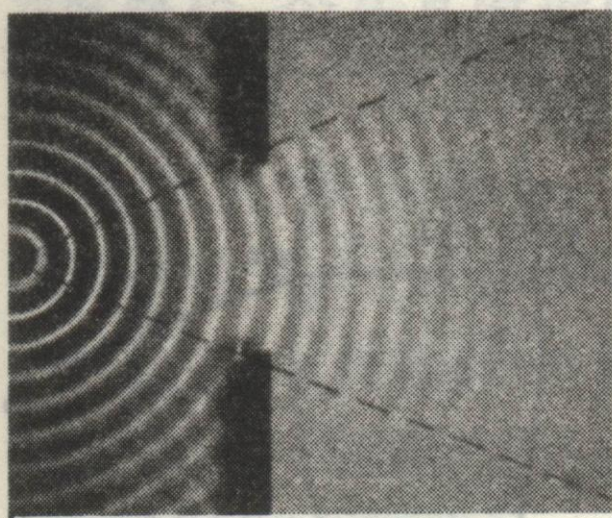
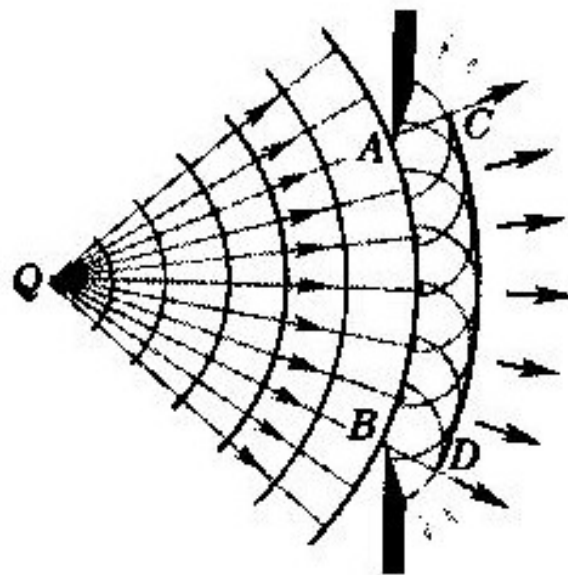
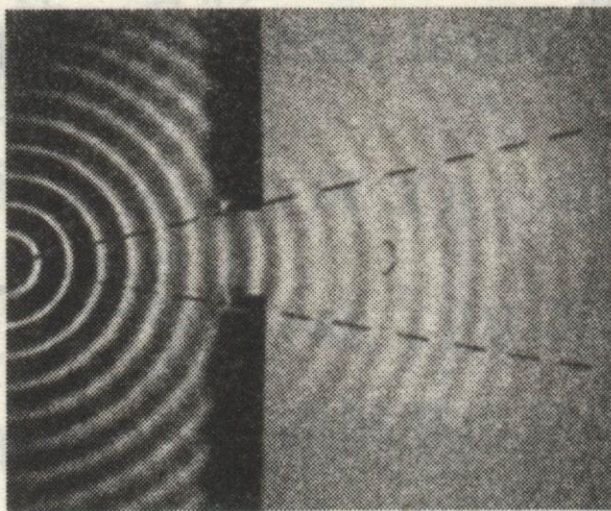
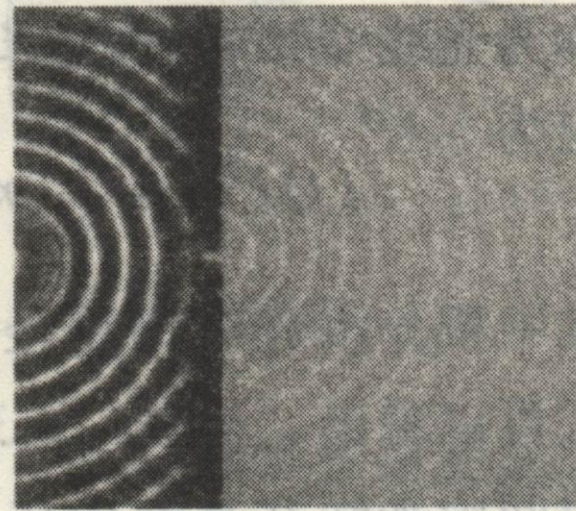
$$\begin{aligned} BC &= v_1 \Delta t \\ AD &= v_1 \Delta t \end{aligned} \rightarrow \angle DAC = \angle BCA \rightarrow \therefore \alpha = \beta$$

折射定律:

$$\begin{aligned} BC &= v_1 \Delta t \\ AE &= v_2 \Delta t \end{aligned} \rightarrow \begin{aligned} \sin \alpha &= \cos(\angle BCA) = \frac{BC}{AC} = \frac{v_1 \Delta t}{AC} \\ \sin \gamma &= \cos(\angle EAC) = \frac{AE}{AC} = \frac{v_2 \Delta t}{AC} \end{aligned} \rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



*关于光的直线传播问题:

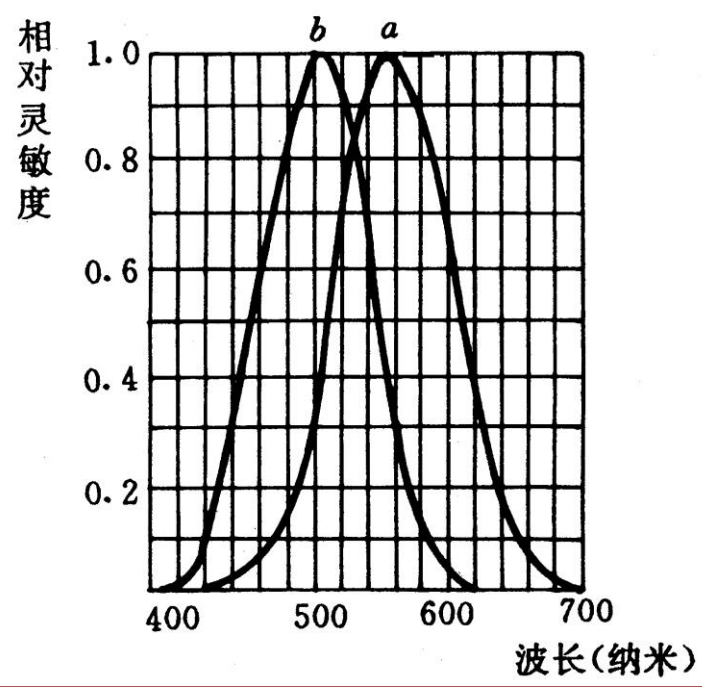
**a****b****c**

§5 光度学基本概念

一、视见函数曲线

电磁波可见光波段 $\begin{cases} \lambda: 400\text{nm} \sim 760\text{nm} \\ \nu: 7.7 \times 10^{14} \sim 3.9 \times 10^{14} \end{cases}$

人眼相对灵敏度随波长的变化曲线——



二、光度学基本单位

电磁波——电磁辐射

电磁波能量——辐射能

辐照度——光强 $I = \bar{S} = \begin{cases} = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 (\text{真空中}) \\ = \frac{1}{2} c n \epsilon_0 E_0^2 (\text{介质中}) \end{cases} \propto E_0^2 \rightarrow A^2$

光度学单位=辐射量度学单位 \times 视见函数 $V(\lambda)$

辐射通量: ΔS 发射表面上单位时间发射的电磁波能量

$$\Delta\Psi(\lambda) = \psi(\lambda)\Delta S \text{ ——瓦特}$$

辐照度: 垂直于波传播方向上单位面积的辐射通量

$$I = \psi(\lambda) \text{ ——瓦特/米}^2$$

光通量: ΔS 表面上单位时间的（视觉）光能量

$$\Delta\Phi = K_m V(\lambda) \Delta\Psi(\lambda) \text{ ——流明 (lm)}$$

规定: $\lambda_0 = 550nm \rightarrow V(\lambda_0) = 1$

$$\Delta\Psi(\lambda_0) = 1\text{瓦特} \rightarrow \Delta\Phi(\lambda_0) = 683\text{流明}$$

光功当量

$$K_m = 683\text{流明/瓦特}$$

光照度: 垂直光传播方向上单位面积的光通量

$$\text{——勒克斯 (lx) = 流明/米}^2$$

发光强度: 光在某一方向单位立体角内的光通量

$$\text{——坎德拉 (cd) = 流明/球面度}$$

光亮度: $1cm^2$ 面光源在法线方向的发光强度 ——熙提 (sb)