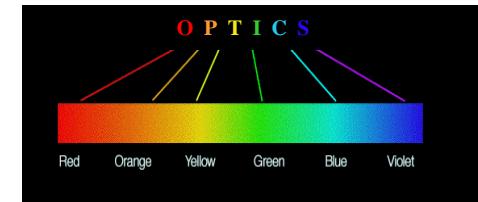
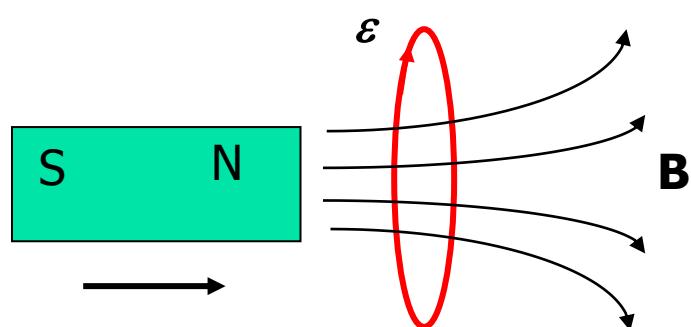


第二章 光的传播和基本性质



一，光的电磁波理论

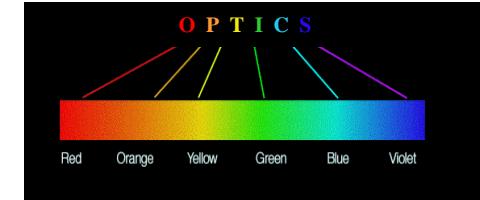
1. 1 交变电磁场及其在空间的传播



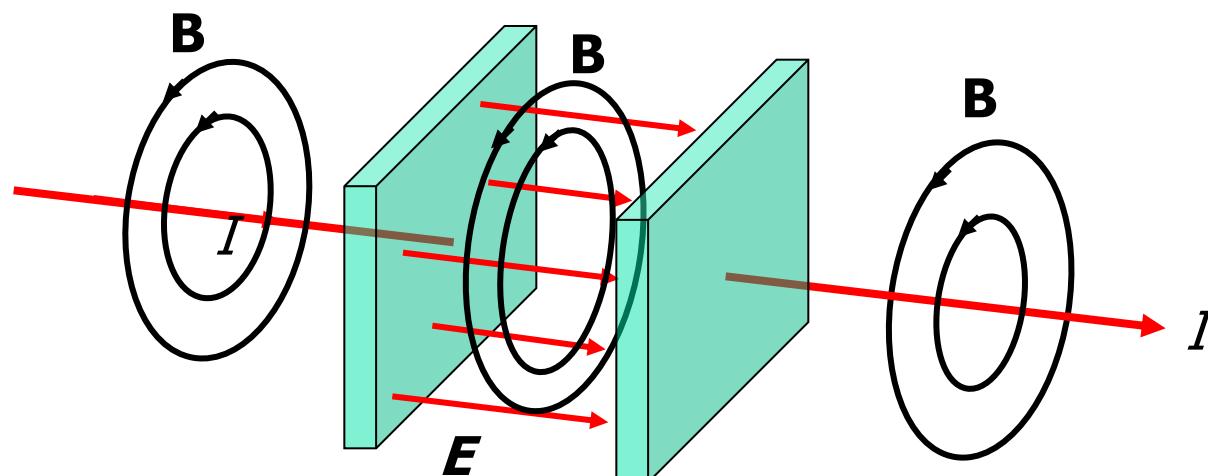
(1) 任何随时间变化的磁场在周围空间产生电场（感应电动势），这种电场具有涡旋性，电场的方向由左手定则决定。



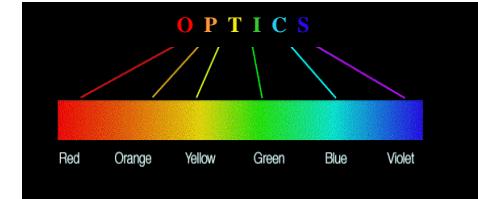
第二章 光的传播和基本性质



(2) 任何随时间变化的电场（位移电流）在周围空间产生磁场，磁场是涡旋的，其方向由右手定则决定。



第二章 光的传播和基本性质

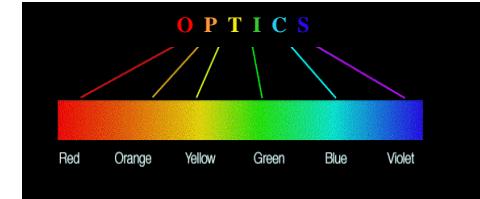


(3) 电场和磁场紧密相联，它们互相激发形成统一的场：**电磁场**。

(4) 变化的电磁场能够以一定的速度向周围空间传播：**电磁波**。



第二章 光的传播和基本性质



1. 2麦克斯韦电磁波理论

有源场麦克斯韦电磁方程组：

积分形式： $\oint \mathbf{D} \cdot d\sigma = Q$

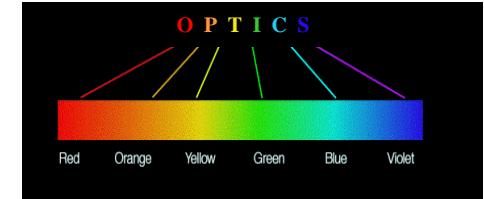
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\sigma = 0$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \iint \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\sigma$$

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I + \iint \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \cdot d\sigma$$



第二章 光的传播和基本性质



微分形式: $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$

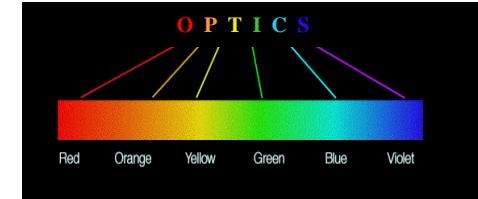
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$



第二章 光的传播和基本性质



物质方程 $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

$$\mathbf{j} = \gamma \mathbf{E}$$

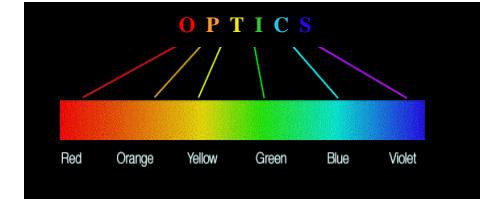
ϵ 电容率; μ 磁导率; γ 电导率

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad \mu = \mu_r \mu_0$$

真空: $\epsilon_r = 1$ $\mu_r = 1$



第二章 光的传播和基本性质



无源场麦克斯韦电磁方程组：

无源场: $\rho = 0, \ j = 0 \quad \nabla \cdot \mathbf{E} = 0$

自由空间均匀介质: $\nabla \cdot \mathbf{H} = 0$

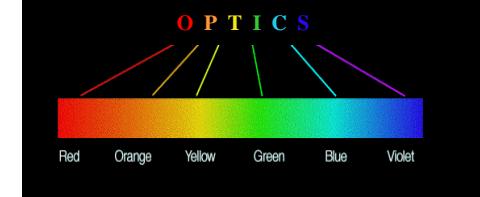
ϵ, μ = 常数

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$



第二章 光的传播和基本性质



无源场麦克斯韦电磁方程求解：
波动微分方程：

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = 0$$

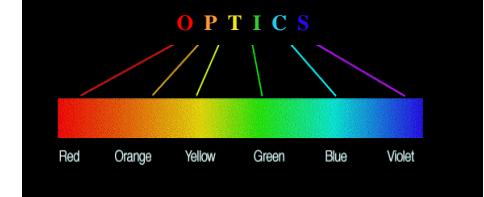
$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

真空中电磁波速度：

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}$$



第二章 光的传播和基本性质



1. 3 平面电磁波特解，球面波和柱面波

平面电磁波（单色）：

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0 \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_{\mathbf{E}})$$

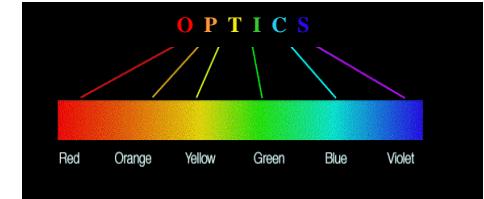
$$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{H}_0 \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_{\mathbf{H}})$$

$$\mathbf{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{波矢/波数, 指示波传播的方向}$$

$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi \frac{1}{T} \quad \text{角频率}$$



第二章 光的传播和基本性质



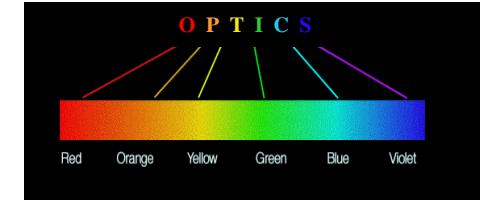
$(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})$ 物理意义:

相位—决定着波在传播轴上各点引起的振动状态。

ωt 时间相位; $\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}$ 空间相位

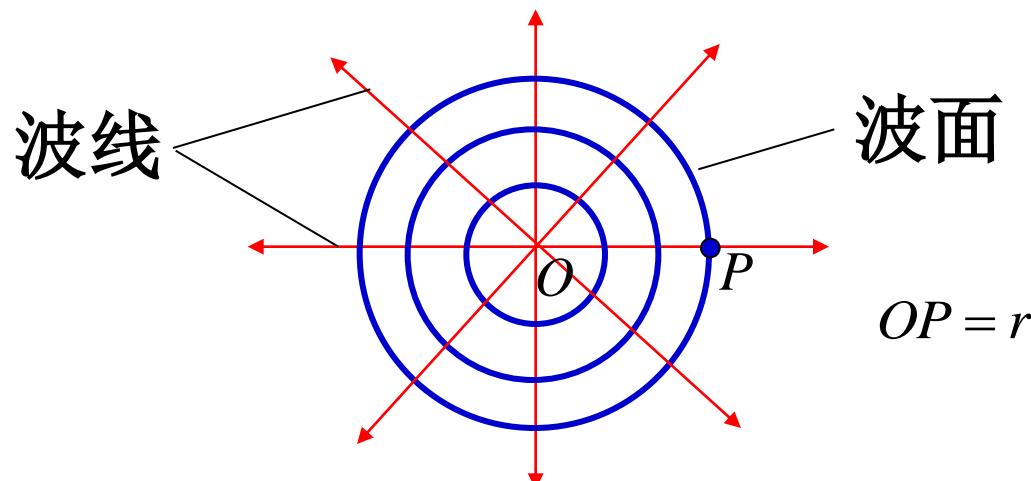


第二章 光的传播和基本性质

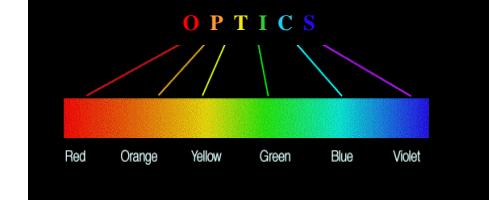


球面电磁波：

点源，各向同性介质中，波面为球面



第二章 光的传播和基本性质



单色光波：

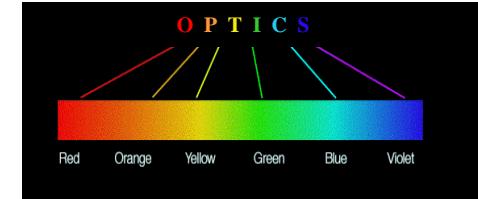
$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{a}_1}{r} \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \phi_0)$$

特征：球面波的振幅与距离成反比。

*证明自学。



第二章 光的传播和基本性质



柱面电磁波：

无限长线光源，在各向同性介质中的
波面为柱面

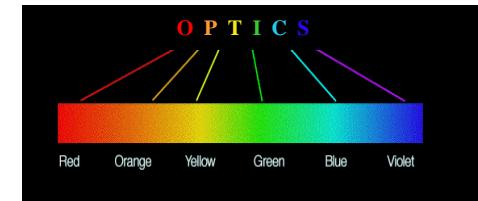
$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{b}_1}{\sqrt{r}} \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \phi_0)$$

特征：柱面波的振幅与距离的平方根成反比。

*证明自学。

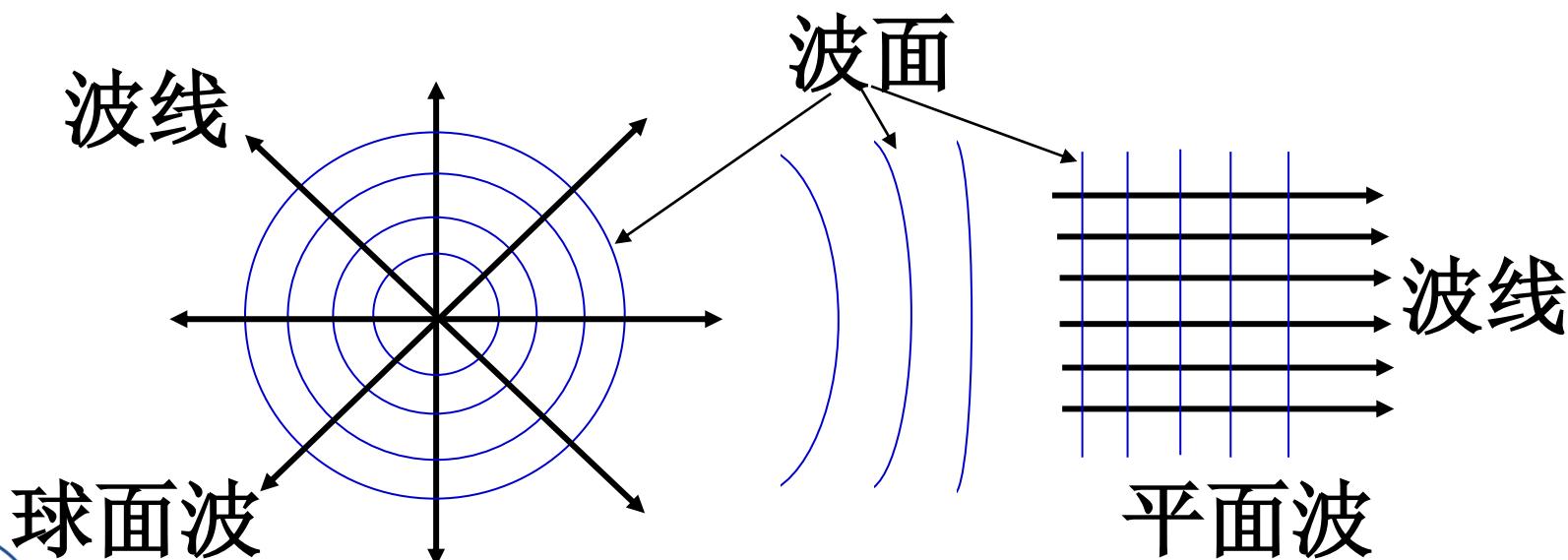


第二章 光的传播和基本性质

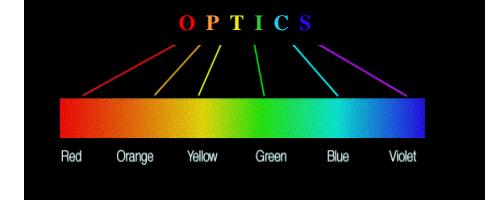


二，惠更斯原理

2. 1 波的几何描述



第二章 光的传播和基本性质



波面（波阵面）：等相位面

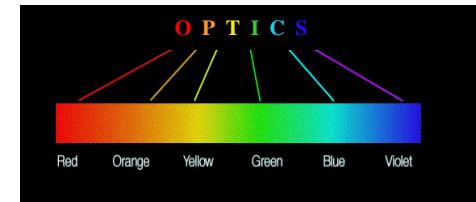
波线：代表能流方向，与波面正交

球面波 → 同心波束

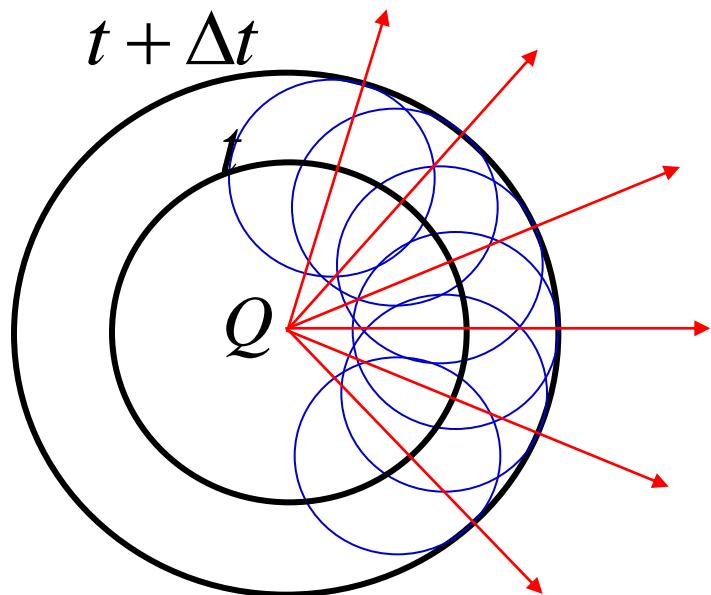
平面波 → 平行波束



第二章 光的传播和基本性质



2.2 惠更斯原理表述

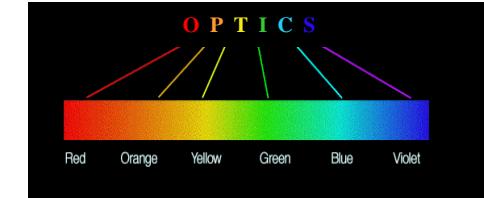


次波半径 $r = v \cdot \Delta t$

- 波面上的每一点可以被看作次波源；
- 次波源向四周激发次波；
- 下一时刻的波面是这些次波面的包络面；
- 切点连线—光传播方向。



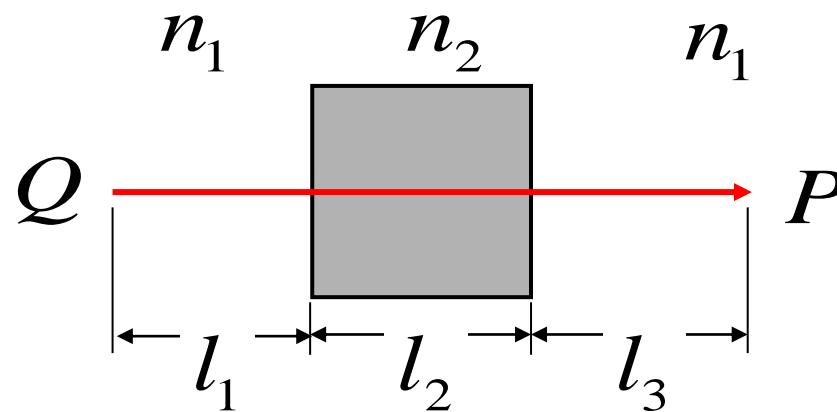
第二章 光的传播和基本性质



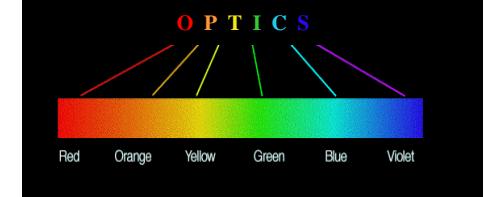
三，费马原理

3.1 光程

光线几何路径与所经过介质的折射率的乘积。



第二章 光的传播和基本性质



三种情况：

$$n \text{不变} \quad L = nl$$

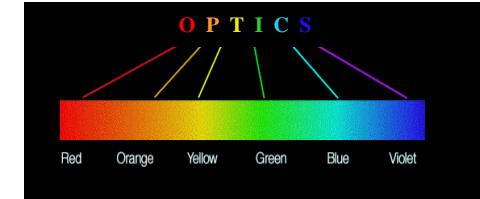
$$n \text{不同} \quad L = \sum n_i l_i$$

$$n \text{连续变化} \quad L = \int n(l) dl$$

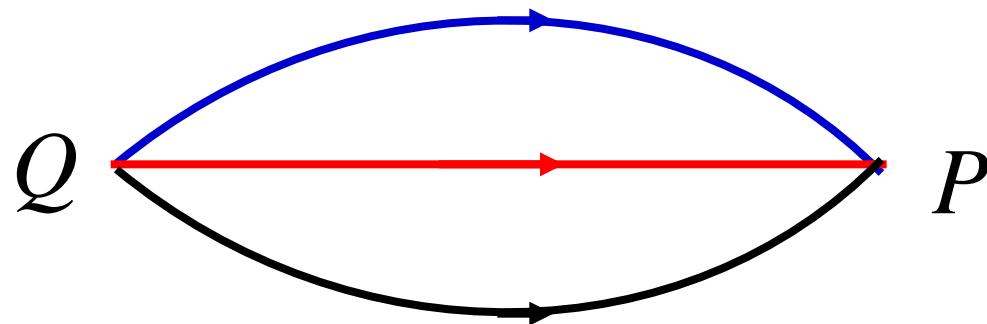
传播时间： $t = \frac{L}{c}$



第二章 光的传播和基本性质



3.2 费马原理表述

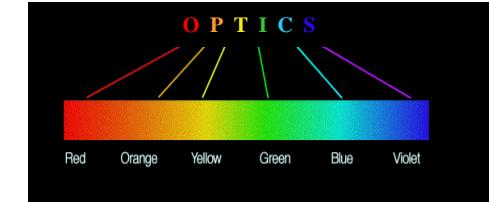


最短时间原理：

光线遵循取最短时间路径的原则。



第二章 光的传播和基本性质



更严格的描述：

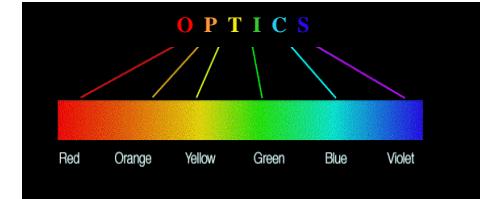
光线沿光程为平稳值的路径传播

数学表达：

$$\delta L = \delta \int n(l) dl = 0$$

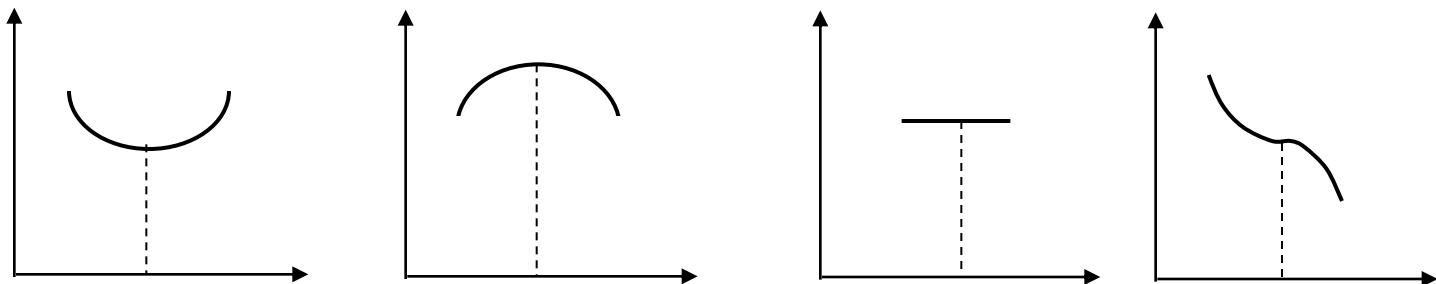


第二章 光的传播和基本性质

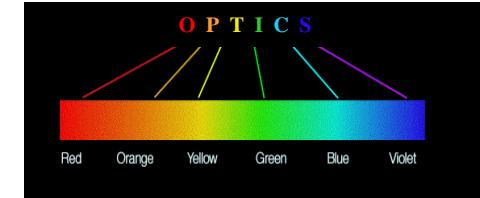


平稳值的三种涵义：

- (i) 极小值 (ii) 极大值 (iii) 常数，拐点



第二章 光的传播和基本性质



四，光传播的几何光学特性

4.1 实验定律 (*自学)

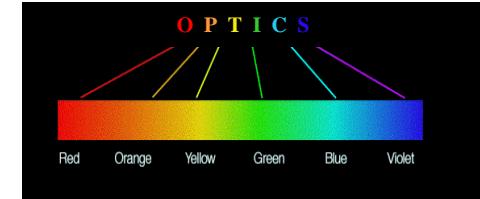
- 光的直线传播定律
- 光的反射定律和折射定律

折射定律
$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

- 光的独立传播定律
- 光的可逆性原理

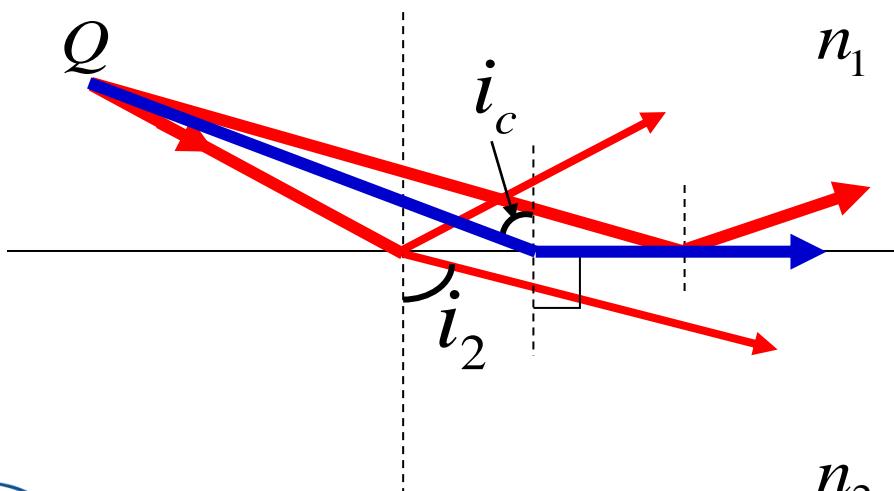


第二章 光的传播和基本性质



4. 2全反射 (*自学)

光密介质→光疏介质

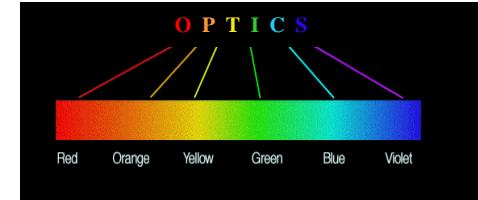


临界角:

$$\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$$

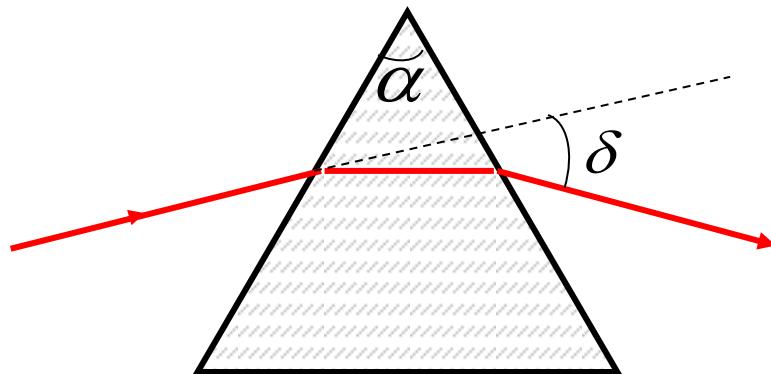


第二章 光的传播和基本性质



4. 3棱镜 (*自学)

棱镜的最小偏向角



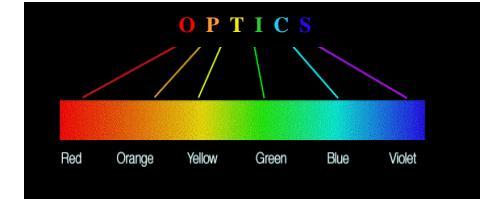
$$\frac{\sin \frac{1}{2}(\delta_m + \alpha)}{\sin \frac{1}{2}\alpha} = \frac{n}{n_0}$$

薄透镜近似:

$$\delta_m \approx \frac{n - n_0}{n_0} \alpha$$

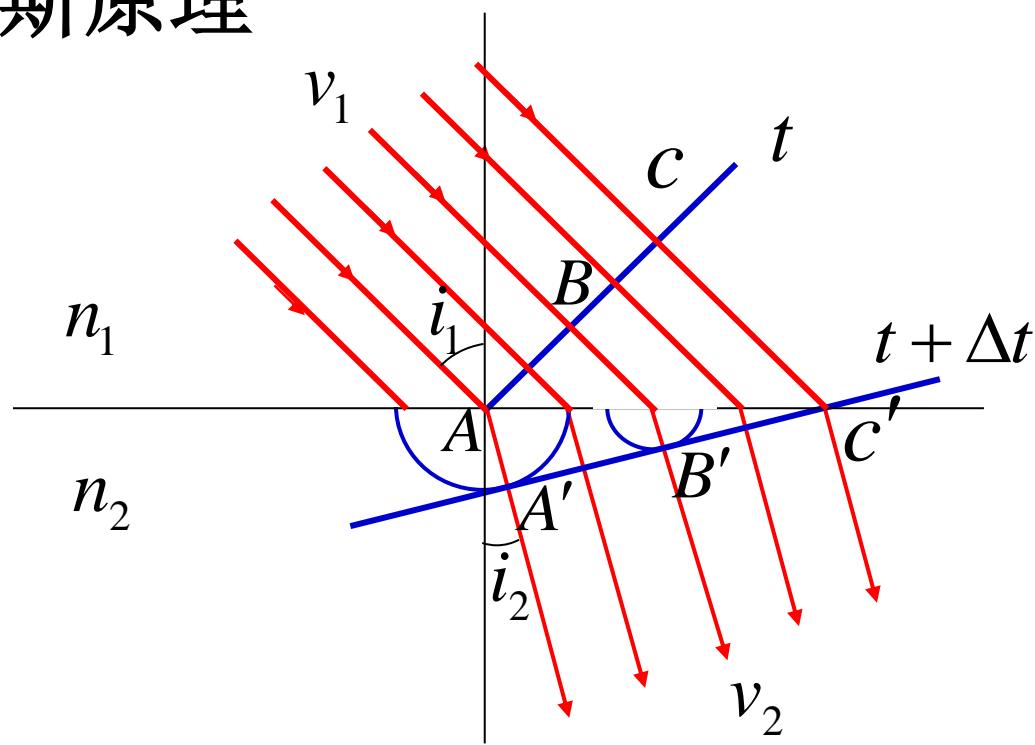


第二章 光的传播和基本性质

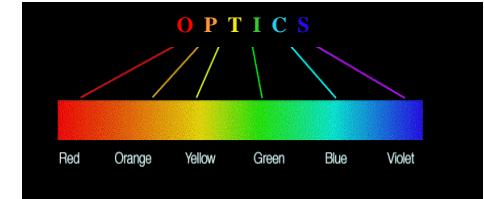


4.4 折射率与光速关系

惠更斯原理



第二章 光的传播和基本性质



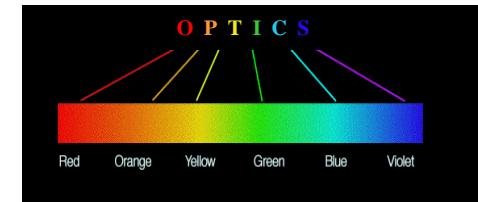
$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v_2} = \text{const.} \quad \text{折射定律}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\text{介质绝对折射率: } n = \frac{c}{v}$$



第二章 光的传播和基本性质



折射率n的物理本质：

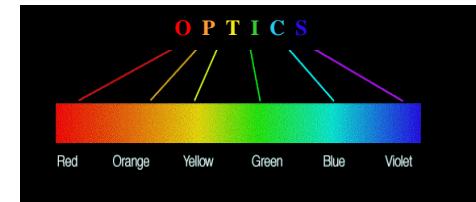
$$\text{绝对折射率 } n = \sqrt{\epsilon' \mu'}$$

$$\text{麦克斯韦关系 } n = \sqrt{\epsilon'}$$

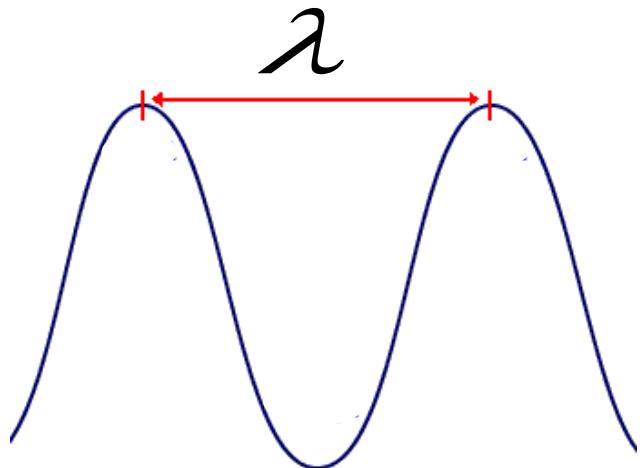
除铁磁物质，大多数物质，磁性很弱， $\mu' \approx 1$



第二章 光的传播和基本性质



4.5 折射率与光波长关系



波速 = 扰动的时间频率
× 波动的空间周期

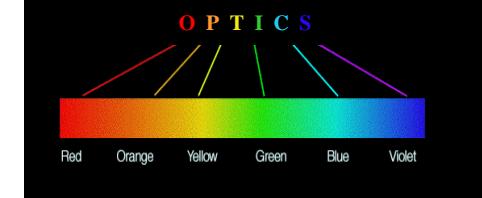
$$v = \lambda \cdot \nu$$

线性介质中，光扰动的时间频率仅由光源决定，与所在介质无关， $\nu = \nu_0$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

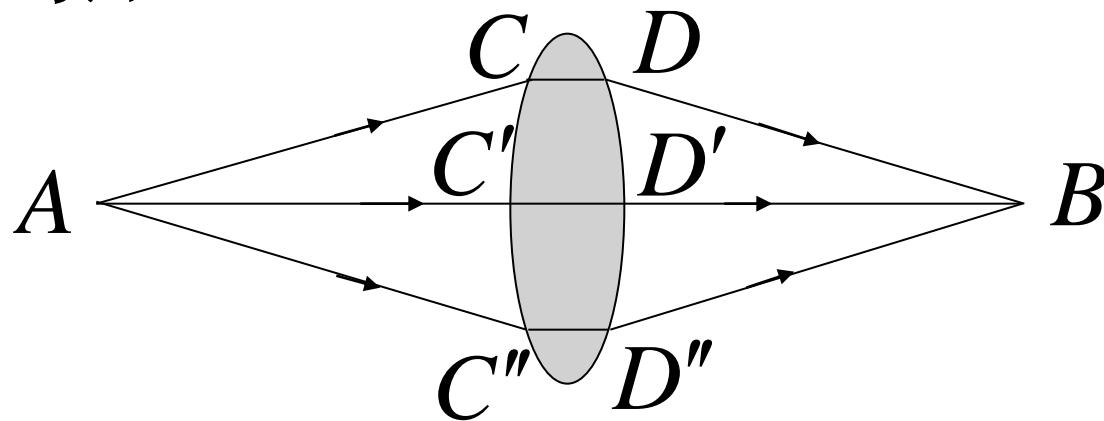


第二章 光的传播和基本性质



4. 6等光程原理

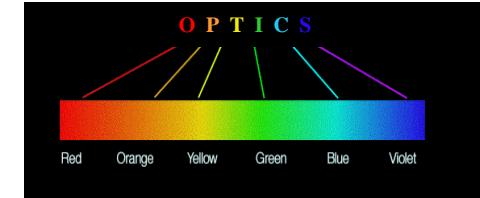
费马原理



A点发出的光线经透镜汇聚于B点，
这些光线的光程彼此相等，光程差=0



第二章 光的传播和基本性质



五，光的基本性质

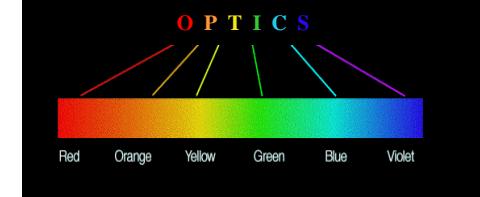
5. 1 光是横波

平面电磁波是横波，其电矢量和磁矢量的振动方向垂直于波的传播方向。

$$\mathbf{k} \cdot \mathbf{E} = 0 \quad \mathbf{k} \cdot \mathbf{H} = 0$$



第二章 光的传播和基本性质



5. 2 电场与磁场正交和同相（同步性）

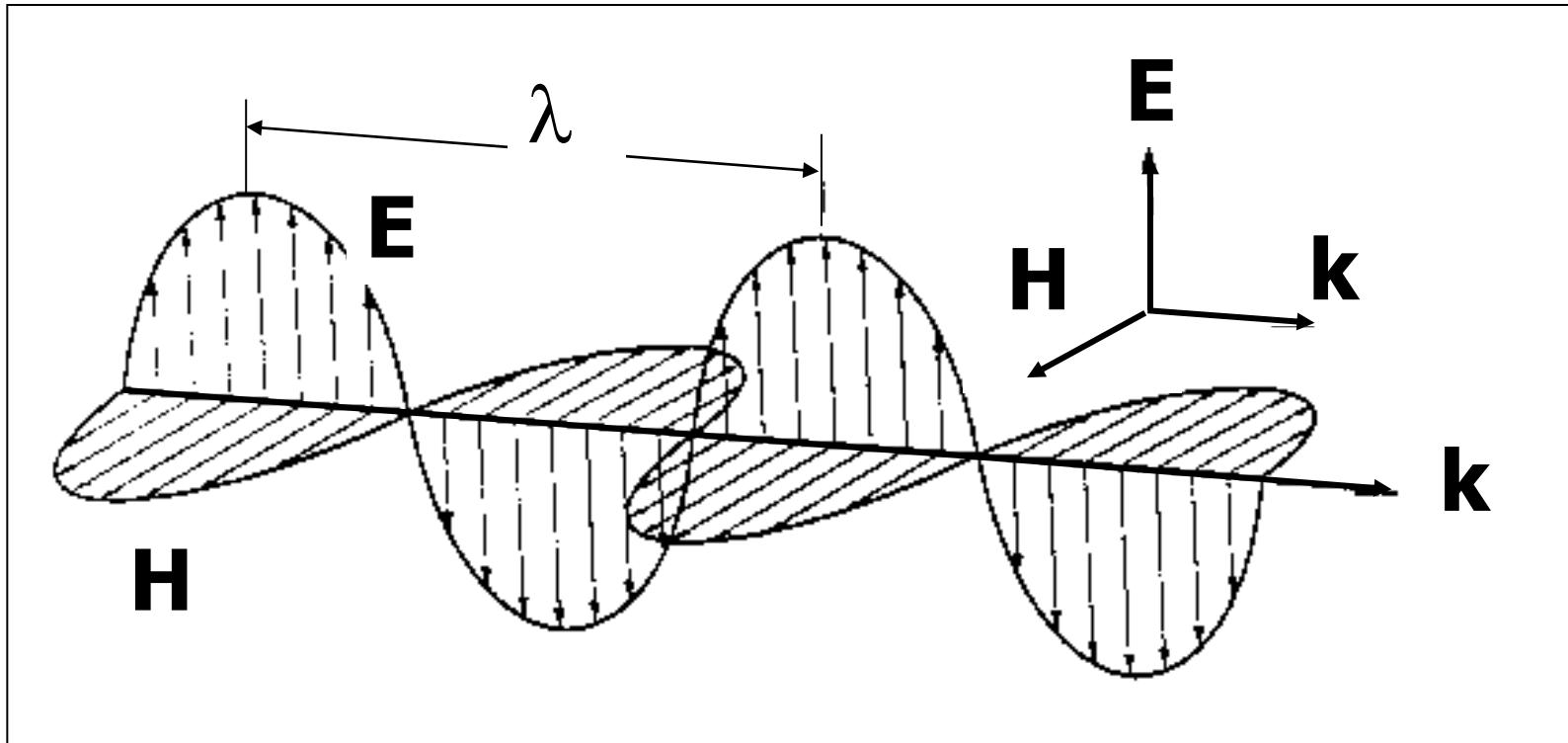
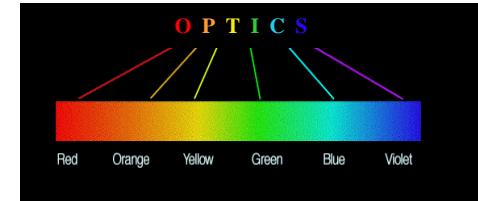
正交性：

E 和 H 互相垂直，彼此又垂直于波的传播方向 k 。三者构成右手螺旋系统

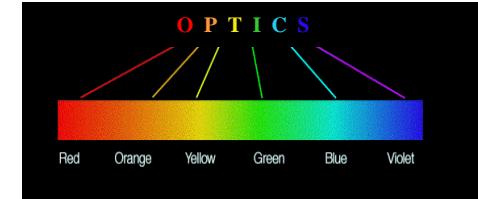
$$\sqrt{\mu}H = \sqrt{\epsilon} (k_0 \times E)$$



第二章 光的传播和基本性质



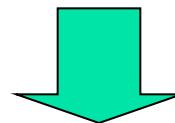
第二章 光的传播和基本性质



同相性：

E 和 H 的数值比为一正实数，有同相位，传播时同步变化

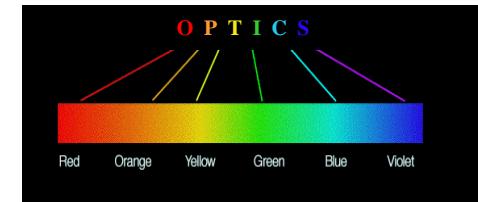
$$\sqrt{\mu}H = \sqrt{\epsilon}E \quad \text{or} \quad \sqrt{\mu}H_0 = \sqrt{\epsilon}E_0$$



$$\phi_H = \phi_E$$



第二章 光的传播和基本性质



5. 3 电磁波能流密度—坡印亭矢量

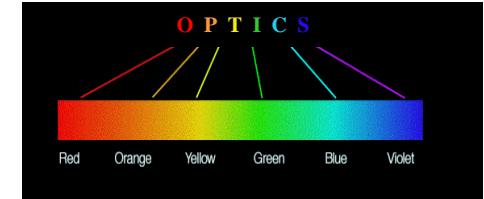
定义：

单位时间内通过垂直于传播方向单位面积的电磁能量，其方向取能量的流动方向。

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$
 单位： W/m^2



第二章 光的传播和基本性质



光强—平均电磁能流密度

$$I = \bar{S} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}} E_0^2$$

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n E_0^2 \propto n E_0^2$$

$$I = E_0^2 \quad \text{or} \quad I = n E_0^2$$

