（十一章）光的电磁理论基础

第一节：光的电磁性质

一、电磁场的波动性

1、麦克斯韦方程组

(1) $\oint\oint_s \vec{D}\cdot d\vec{\sigma} = Q(\text{积分形式}) \longleftrightarrow \nabla\cdot\vec{D} = \rho(\text{微分形式})\quad \text{电场高斯定律}$

a、左端对电位移矢量D的曲面积分表示向外流经体积为V的闭合曲面S的电通量

b、右端Q表示体积V内总的自由电荷

c、该式子表示自体积V内部向外流经闭合曲面S的电通量 = S包围的空间中的电荷量

d、当S包围的总电荷为负时，表示电通量自外流经体积V

e、该式子表明电场是有源场

(2) $\oint\oint_s \vec{B}\cdot d\vec{\sigma} = 0(\text{积分形式}) \longleftrightarrow \nabla\cdot\vec{B} = 0(\text{微分形式})\quad \text{磁场高斯定律}$

a、表示通过闭合曲面S流出和流入的磁通量相等，磁场没有起始点

b、该式子说明磁场是无源场，没有所谓"磁荷"

(3)

$\oint_l \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{\partial\vec{\Phi}}{\partial t} = -\iint \frac{\partial\vec{B}}{\partial t}\cdot d\vec{\sigma}(\text{积分形式}) \longleftrightarrow \nabla\times\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}(\text{微分形式})\quad \text{法拉第电磁感应定律}$

a、公式右端表示了空间任一曲面的磁通量随时间变化速率

b、公式左端对电场E沿曲面周边l的环线积分表示感应电动势

c、该式子表示变化的磁场可以产生电场，式中的负号表示感应电动势具有阻碍磁场变化的趋势

(4)

$\oint_l \vec{H}\cdot d\vec{l} = \vec{I} + \iint \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}\cdot d\vec{\sigma}(\text{积分形式}) \longleftrightarrow \nabla\times\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}(\text{微分形式})\quad \text{修正的安培环路定律}$

a、该式子描述了变化的电场可以产生磁场

b、麦克斯韦从感生磁场的意义出发，将电场的变化看做是一种电流称之为位移电流

c、位移电流——表征电场的变化

d、传导电流——表征电荷的流动

e、全电流 = 位移电流 + 传导电流，位移电流和传导电流在产生磁场方面等效

(5) $\nabla = x_0\frac{\partial}{\partial x} + y_0\frac{\partial}{\partial y} + z_0\frac{\partial}{\partial z}\quad \text{哈密尔顿算符}$

a、矢量的散度:$div\overrightarrow{F} = \nabla\cdot\overrightarrow{F} = \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}$**空间某点的散度描述了矢量场F从该点发散或汇聚于该点的性质**

b、矢量的旋度:$Rot\overrightarrow{F}=\nabla\times\overrightarrow{F}=(\frac{\partial\overrightarrow{R}}{\partial y}-\frac{\partial\overrightarrow{Q}}{\partial z})\overrightarrow{x_0}+(\frac{\partial\overrightarrow{P}}{\partial z}-\frac{\partial\overrightarrow{R}}{\partial x})\overrightarrow{y_0}+(\frac{\partial\overrightarrow{Q}}{\partial x}-\frac{\partial\overrightarrow{P}}{\partial y})\overrightarrow{z_0}$**空间某点的旋度描述了矢量场F在该点附近旋的性质**

c、$\nabla\cdot\vec{D}=\rho$**:（D表示电感强度（电位移矢量），**ρ**为封闭曲面内的电荷密度）电位移的散度等于该点处自由电荷的密度**

d、$\nabla\cdot\vec{B}=0$**:（B表示磁感强度）磁感强度的散度处处为零**

e、$\nabla\times\vec{E}=-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$**:（**$\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$**为磁感强度变化率）电场强度的旋度等于该点处磁感强度变化率的负值**

f、$\nabla\times\vec{H}=\vec{j}+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$**:（**$\vec{j}$**为闭合回路上的传导电流密度，**$\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$**为位移电流密度）磁场强度的旋度等于该点处传导电流和位移电流密度的矢量和**

2、物质方程（描述物质在场的作用下特性的关系式称为物质方程）

（1）静止的各向同性媒质中（无限大各向同性均匀介质里μ和ε**是常数，**σ**=0）**

a、$\overrightarrow{j}=\sigma\overrightarrow{E}$**:** σ**是电导率**

b、$\overrightarrow{D}=\varepsilon\overrightarrow{E}$**:** ε**是介电常数（电容率）**

c、$\overrightarrow{B}=\mu\overrightarrow{H}$**:** μ**是磁导率**

（2）各项异性介质中（晶体光学基础）：（D和E任然满足，但ε**是一个张量，即D与E在不同方向分量不同，即D与E不再同向晶体光学）**

（3）非线性介质中（非线性光学基础）：D与E有一次，二次，...次方有关

3、电磁场的波动性

（1）电磁场的传播：时变电场->涡旋磁场（右手定则）->时变磁场->涡旋电场（左手定则）

（2）电磁场传播的波动性：（无限大各向同性均匀介质里μ和ε**是常数，**σ**=0，若电磁场远离辐射源，则**$\rho=0,j=0$**），麦克斯韦换为物质方程：**

a、$\nabla\cdot\vec{D}=\rho\rightarrow\nabla\cdot\overrightarrow{E}=0$

b、$\nabla\cdot\vec{B}=0\rightarrow\nabla\cdot\vec{B}=0$

c、$\nabla\times\vec{E}=-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}\rightarrow\nabla\times\vec{E}=-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$

d、$\nabla\times\vec{H}=\vec{j}+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}\rightarrow\nabla\times\overrightarrow{B}=\varepsilon\mu\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$

（3）电磁场在真空中传播速度：代入得：$\nabla^2\vec{E}-\varepsilon\mu\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0$ 和 $\nabla^2\vec{B}-\varepsilon\mu\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0$**，解得：**$v=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$

（4）介质折射定律的定义：

a、电磁波在真空中的传播速度为$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}=2.99794\times10^8m/s$

b、相对介电常数和相对磁导率：$\varepsilon_r=\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\quad\mu_r=\frac{\mu}{\mu_0}$**，**$\varepsilon_0$**是真空介电常数，**$\mu_0$**是真空磁导率**

c、介质中电磁波的传播速度：$v=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}}$

d、介质折射率的定义：$n=\frac{c}{v}=\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}$，除磁性物质外，大部分物质的相对磁导率$\mu_r\approx 1$，即：$n\approx\sqrt{\varepsilon_r}$

二、平面电磁波及其性质

1、波动方程的平面波解

（1）、平面电磁波的定义：与传播方向正交的平面上各点电场或磁场强度具有相同值的波

（2）传播方向

a、沿z轴正向传播：$f_(1)(\frac{z}{v}-t)$

b、沿z轴反向传播：$f_(1)(\frac{z}{v}+t)$

（3）取沿z轴正向传播的形式：

a、$\vec{E}=f(\frac{z}{v}-t)$

b、$\vec{B}=f(\frac{z}{v}-t)$

c、表明电磁波是逐点传播，源点的振动经过一定时间延迟才嗯那个传播到场点

2、平面简谐电磁波的波动公式

（1）、角频率ω、振动频率v 、振动周期T、光波波长λ 、波矢量k(k的方向就是波能量的传播方向)

a、$\omega=2\pi v=\frac{2\pi}{T}$

b、$\lambda=vT$

c、$\lambda_0=cT$

d、$k=\frac{2\pi}{\lambda}=\frac{\omega}{v}$

e、$\vec{E}=\overrightarrow{A}\cos\left[\omega(\frac{z}{v}-t)\right]=\overrightarrow{A}\cos\left[2\pi(\frac{z}{\lambda}-\frac{t}{T})\right]=\overrightarrow{A}\cos\left(kz-\omega t\right)$

（2）

a、单一频率的单色波，时空无限延续

b、在空间域中：以空间周期λ、空间频率$\frac{1}{\lambda}$、空间角频率$k=\frac{2\pi}{\lambda}$来表示空间周期性

c、在时间域中：用时间周期T、时间频率$\frac{1}{T}$、角频率$\omega=\frac{2\pi}{T}$来表示时间周期性

d、时空周期性通过：$\lambda=vT$联系

e、任何时间或空间周期性的破坏都会破坏光波的单色性

（3）任意方向传播的平面波

a、$\overrightarrow{r}=\overrightarrow{x}\cos\alpha+\overrightarrow{y}\cos\beta+\overrightarrow{z}\cos\gamma$

b、$\overrightarrow{E}=A\cos\left(\overrightarrow{k}.\overrightarrow{r}-\omega t\right)=A\cos\left[k\left(x\cos\alpha+y\cos\beta+z\cos\gamma\right)-wt\right]$

（4）平面波的复数表示：$\overrightarrow{E}=\overrightarrow{A}e^{i\left(\overrightarrow{k}\cdot\overrightarrow{r}-\omega t\right)}$

3、平面电磁波的性质

（1）、横波特性：电矢量和磁矢量的方向均垂直于波的传播方向

（2）$\overrightarrow{E},\overrightarrow{B},\overrightarrow{k_0}$互成右手螺旋系

（3）$\overrightarrow{E}$和$\overrightarrow{B}$同相位：$\frac{\overrightarrow{E}}{\overrightarrow{B}}=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}=v$

三、球面波和柱面波

1、球面波：任意时刻波阵面为球面的光波

（1）、公式：$\overrightarrow{E}=\frac{\overrightarrow{A}}{r}e^{[i(kr-\omega t)]}$

（2）发散的球面波：$\overrightarrow{E}=\frac{\overrightarrow{A}}{r}e^{(ikr)}$

（3）汇聚的球面波：$\overrightarrow{E}=\frac{\overrightarrow{A}}{r}e^{(-ikr)}$

（4）性质

a、点振动源向四周均匀振动形成球面波

b、波的等相面是球面，且上面的振幅处处相等

c、平面波是球面波的一种特殊形式

d、取点原理与振动源，等相面曲率半径逐渐增大且接近于平面

e、理想的球面波或平面波是不存在的（因为理想点振动源不存在）

f、光源尺寸远小于所取点到点光源尺寸时，将该点近似为点光源

2、柱面波：具有无限长圆柱波面的波，由线光源产生

（1）、公式：$\overrightarrow{E}=\frac{\overrightarrow{A}}{\sqrt{r}}e^{[i(kr-\omega t)]}$

（2）发散的柱面波：$\overrightarrow{E}=\frac{\overrightarrow{A}}{\sqrt{r}}e^{(ikr)}$

（3）汇聚的柱面波：$\overrightarrow{E}=\frac{\overrightarrow{A}}{\sqrt{r}}e^{(-ikr)}$

（4）性质：

a、柱面波是无限长同步线振动源产生的

b、可以用平面波照亮一个极细的长缝获得近似的柱面波

c、一般单色光源不产生柱面波，因为其各点振动不同步

四、光波的辐射和能量

1、电偶极子辐射模型

（1）、经典电磁理论认为：原子发光是原子内部过程形成的电偶极子的辐射

（2）外界能量激发，电子和原子核运动，以致于原子核与电子不重合，且距离不断变化，使原子成为一个震荡的电偶极子，在周围空间产生交变的电磁场，在空间以一定速度传播，伴随能量传递。

2、实际光波的认知

（1）、实际光源发出的光波并非时间和空间连续的无限简谐波，而是有限长度的衰减震动，是被称为波列的光波组成

（2）由于原子的剧烈震动，彼此间不断碰撞，辐射过程中断，因此原子发光是断断续续的

（3）原子发光持续时间是原子碰撞时间间隔，为10E-8~10E-9秒

（4）原子光波由有限长的称为波列的光波组成，每段波列，振幅在持续时间内保持不变或缓慢变化，前后隔断波列之间无固定位相关系，光矢量的振动方向也不同

（5）实际光源辐射的光不是偏振光而是自然光

a、实际光源由大量的原子和分子组成，所发出的光振动方向杂乱无章

b、再观察时间内，每个原子多次辐射，每次辐射的振动方向和相位无规则

3、光波的辐射能

（1）、电磁场的能量密度（某一区域中单位体积内的辐射能）：

a、$w=\frac{1}{2}\left(\overrightarrow{E}\cdot\overrightarrow{D}+\overrightarrow{H}\cdot\overrightarrow{B}\right)=\frac{1}{2}\left(\varepsilon\overrightarrow{E}^2+\frac{1}{\mu}\overrightarrow{B}^2\right)$

（2）描述电磁能量传播，引入辐射强度矢量$\overrightarrow{S}$**,方向表示能量流动方向，大小等于单位时间垂直通过单位面积的能量：**

a、$\overrightarrow{S}=wv=\frac{1}{\mu}\overrightarrow{E}\times\overrightarrow{B}$

b、这表明$\overrightarrow{S}$**、**$\overrightarrow{E}$**、**$\overrightarrow{B}$**互为右手螺旋关系**

（3）光波的频率高达10E15 HZ，点磁场变化极其迅速，$\overrightarrow{S}$**随时间变化快，人眼和其他探测器只能接收到**$\overrightarrow{S}$**的时间平均值**

（4）光强I**与平面光波振幅**A^2**的关系：**$I=\langle S\rangle=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}A^2$

第二节：光在介质分界面上得反射和折射

一、电磁场的连续条件

1、简介：当电磁波由一种介质到另一种介质，由于物理性质不同，在界面上是不连续的，但是在分界面上的电磁场量有一定关系

2、电磁场的连续条件：

（1）通过分解面时，磁感应强度法向分量连续$\overrightarrow{B}_{1n}=\overrightarrow{B}_{2n}$

（2）通过分解面时若没有自由电荷，电感强度的法向分量连续$\overrightarrow{D}_{1n}=\overrightarrow{D}_{2n}$

（3）通过分解面时，电矢量切向分量连续$\overrightarrow{E}_{1n}=\overrightarrow{E}_{2n}$

（4）通过分解面时若没有面电流，磁矢量切向分量连续$\overrightarrow{H}_{1n}=\overrightarrow{H}_{2n}$

二、光在两电介质分界面上的反射和折射

1、光波的入射面是指界面法线与入射光线组成的平面

2、光波的振动面是指电场矢量的方向与入射光线组成的平面

3、任一方向位振动的光矢量$\overrightarrow{E}$分解为互相垂直的两个分量

（1）平行于入射面振动的分量为光矢量的p分量，记为$\overrightarrow{E_p}$

（2）垂直于入射面振动的分量为光矢量的p分量，记为$\overrightarrow{E_s}$

三、菲涅尔公式（表示反射波、折射波、入射波的振幅和相位关系）

1、S波（垂直于入射面分量）的菲涅尔公式

（1）$\overrightarrow{r_s}$是S波的振幅反射系数，$\overrightarrow{t_s}$是S波的振幅透射系数

（2）$\overrightarrow{r_s}=\frac{\overrightarrow{A'_{1s}}}{\overrightarrow{A_{1s}}}=-\frac{\sin(\theta_1-\theta_2)}{\sin(\theta_1+\theta_2)}=\frac{n_1\cos\theta_1-n_2\cos\theta_2}{n_1\cos\theta_1+n_2\cos\theta_2}$

（3）$\overrightarrow{t_s}=\frac{\overrightarrow{A_{2s}}}{\overrightarrow{A_{2s}}}=\frac{2\cos\theta_1\sin\theta_2}{\sin(\theta_1+\theta_2)}=\frac{2n_1\cos\theta_1}{n_1\cos\theta_1+n_2\cos\theta_2}$

2、P波（平行于入射面分量）的菲涅尔公式

（1）$\overrightarrow{r_p}$是P波的振幅反射系数，$\overrightarrow{t_p}$是P波的振幅透射系数

（2）$\overrightarrow{r_p}=\frac{\overrightarrow{A'_{1p}}}{\overrightarrow{A_{1p}}}=\frac{tg(\theta_1-\theta_2)}{tg(\theta_1+\theta_2)}=\frac{n_2\cos\theta_1-n_1\cos\theta_2}{n_2\cos\theta_1+n_1\cos\theta_2}$

（3）$\overrightarrow{t_p}=\frac{\overrightarrow{A_{2p}}}{\overrightarrow{A_{2p}}}=\frac{2\cos\theta_1\sin\theta_2}{\sin(\theta_1+\theta_2)\cos(\theta_1-\theta_2)}=\frac{2n_1\cos\theta_1}{n_2\cos\theta_1+n_1\cos\theta_2}$

3、对于$\theta_1 = 0$的垂直入射的特殊情况

(1) $\overrightarrow{r_s} = \frac{\overrightarrow{A'_{1s}}}{\overrightarrow{A_{1s}}} = -\frac{n-1}{n+1}$

(2) $\overrightarrow{r_p} = \frac{\overrightarrow{A'_{1p}}}{\overrightarrow{A_{1p}}} = \frac{n-1}{n+1}$

(3) $\overrightarrow{t_s} = \frac{\overrightarrow{A_{2s}}}{\overrightarrow{A_{1s}}} = \frac{2}{n+1}$

(4) $\overrightarrow{t_p} = \frac{\overrightarrow{A_{2p}}}{\overrightarrow{A_{1p}}} = \frac{2}{n+1}$

四、反射和折射时的振幅关系

1、菲涅尔公式给出反射波或折射波与入射波的振幅的相对变化，用振幅反射，投射系数来表示，并随入射角变化

2、光从光疏介质入射到光密介质（如空气到玻璃）

(1) 当$\theta_1 = 0$时，垂直入射，$\overrightarrow{r_s}$、$\overrightarrow{r_p}$、$\overrightarrow{t_s}$、$\overrightarrow{t_p}$都不为零，表示存在反射波和折射波

(2) 当$\theta_1 = 90$时，即掠入射时，$\left|\overrightarrow{r_s}\right| = \left|\overrightarrow{r_p}\right| = 1, \overrightarrow{t_s} = \overrightarrow{t_p} = 0$即没有折射光波

(3) $\overrightarrow{t_s}$、$\overrightarrow{t_p}$随θ_1的增大而缩小

(4) $\left|\overrightarrow{r_s}\right|$随$\theta_1$的增大而增大，直到等于1

(5) $\left|\overrightarrow{r_p}\right|$值在$\theta_1 = \theta_B \left(\theta_B + \theta_2 = 90^\circ\right)$时有$\left|\overrightarrow{r_p}\right| = 0$,即反射广播中没有P波，只有S波，产生全偏振现象

3、光从光密介质入射到光疏介质（如玻璃到空气）

(1) 当$\theta_1 = 0$时，垂直入射，$\overrightarrow{r_s}$、$\overrightarrow{r_p}$、$\overrightarrow{t_s}$、$\overrightarrow{t_p}$都不为零，表示存在反射波和折射波

(2) 当$\theta_1 \geq \theta_c$时（θ_c为$\theta_2 = 90^\circ$时对应的θ_1），$\left|\overrightarrow{r_s}\right| = \left|\overrightarrow{r_p}\right| = 1$,发生全反射现象

(3) $\overrightarrow{t_s}$、$\overrightarrow{t_p}$都大于。且随θ_1的增大而增大

五、相位变化（区分$n_1 > n_2$和$n_1 < n_2$两种情况，区分$\theta_1 > \theta_B$和$\theta_1 < \theta_B$两种情况）

1、光从光疏介质入射到光密介质（$n_1 > n_2$）

(1) r_S对所有θ_1都是正值，表明反射时s波在界面上发生了π的相位变化

(2) r_p当$\theta_1 < \theta_B$时为正值，相位变化0

（3）r_p当$\theta_1 > \theta_B$时为负值，反射光的p波有π相位突变

（4）r_p当$\theta_1 = \theta_B$时为零，表明反射光中没有平行于入射面的振动，只有垂直于入射面的振动，即全偏振现象

2、光从光密介质入射到光疏介质（如玻璃到空气）

（1）当入射角$\theta_1 > \theta_C$时，香味改变不是零也不是π，而是随着入射角缓慢变化，发生全反射

（2）当入射角$\theta_1 < \theta_C$时,s波和p波的相位变化情况与$n_1 < n_2$时得到的结果相反，并且也有$\theta_1 = \theta_B$时产生全偏振现象

（3）

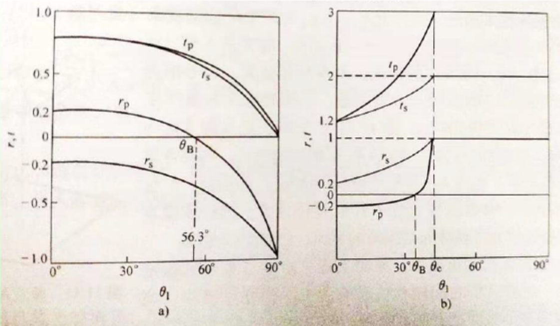
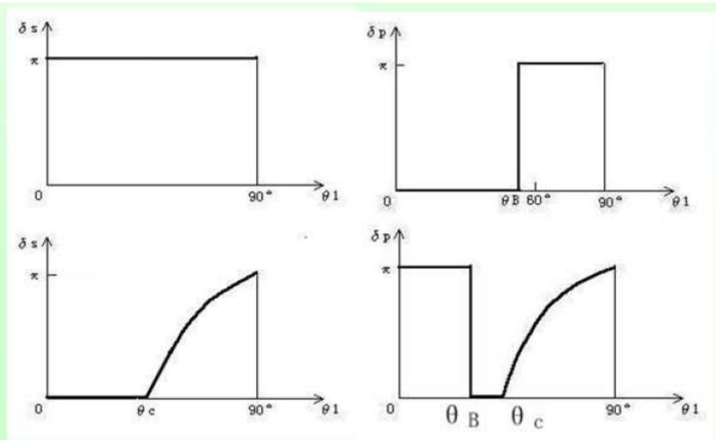


图 11-9 r_s、r_p、t_s、t_p 随 θ_1 的变化关系
a) $n=1.5$ b) $n=1/1.5$



3、结论

（1）正入射或掠入射情况下，从光疏到光密介质得分界面反射时，反射光的电矢量对于入射光的电矢量发生了π的相位突变（半波损失：反射时损失了半个波长）

（2）光波从光密介质到光疏介质，正反射时电矢量相位不会有π的相位突变，略入射时发生全反射现象

（3）折射波始终不发生相位突变

六、反射比和透射比

1、反射率:$\rho = \left(\frac{A_1{}'}{A_1}\right)^2$

（1）$\rho_s = {r_s}^2$

（2）$\rho_p = {r_p}^2$

2、透射率:$\tau = \frac{n_2\cos\theta_2}{n_1\cos\theta_1}\left(\frac{{A_2}'}{A_1}\right)^2$

（1）$\tau_s = \frac{n_2\cos\theta_2}{n_1\cos\theta_1}{t_s}^2$

（2）$\tau_p = \frac{n_2\cos\theta_2}{n_1\cos\theta_1}{t_p}^2$

3、满足能量守恒定律

（1）$\rho_s + \tau_s = 1$

（2）$\rho_p + \tau_p = 1$

（3）$\rho_n + \tau_n = 1$

4、反射、透射特性决定因素

（1）入射光的偏振态

（2）入射角

（3）界面两侧介质的折射率

5、入射光为自然光时，反射比为：$\rho_n = \frac{\rho_s+\rho_p}{2}$

6、正入射时：$\rho_n = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$

7、当入射波电矢量取任意方位角α时

（1）$\rho_\alpha = \rho_s \sin^2\alpha + \rho_p \cos^2\alpha$

（2）$\tau_\alpha = \tau_s \sin^2\alpha + \tau_p \cos^2\alpha$

8、布儒斯特角

（1）入射光是自然光，反射光中没有p波，只有垂直于入射面振动的s波，发生全偏振现象，反射光时偏振光，此入射角称为布儒斯特角

（2）$\tan\theta_B = n = \frac{n_2}{n_1}$

9、为减少光能量损失，近代光学技术普遍采用在光学元件表面镀增透膜

七、反射和折射时的偏振关系

1、自然光或完全非偏振光$W = W_s + W_p$

（1）具有一切可能的振动方向

（2）在各个振动方向上振幅在观察时间内平均值相等

（3）初相位完全无关

（4）$W_s = W_p$

2、部分偏振光

（1）外界作用下，各个振动方向上的振幅强度不等

（2）可看作完全偏振和自然光的混合

(3) $W_s \neq W_p$

3、完全偏振光（线偏振光）

（1）光矢量有确定不变或有规则变化的振动方向

（2）如垂直偏振光或平行偏振光

(3) $W_s = 0$或者$W_p = 0$

4、偏振度p：在部分偏振光的总强度中完全偏振光所占的比例

（1）完全非偏振光，p = 0

（2）完全偏振光，p = 1

（3）一般的p值表示部分偏振光，p值愈接近1，光的偏振程度愈高

5、自然光的反射、折射偏振特性

（1）自然光正入射和掠入射时，反射光和折射光仍为自然光

（2）自然光斜入射时，反射光和透射光都是部分偏振光

(3) $\theta_1 < 45^\circ$时，R_n基本不变，近似为4.3%

(4) $\theta_1 > 45^\circ$时，R_n随着θ_1的增大较快增大

（5）自然光为布儒斯特角入射时，即$\theta_1 = \theta_B$时，反射光是完全偏振光，但是反射光强很小，透射光强很大，但是偏振度很小

八、全反射$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} = n$其中c为全反射角

1、反射比：$\rho_s = \rho_p = 1$

2、相位变化

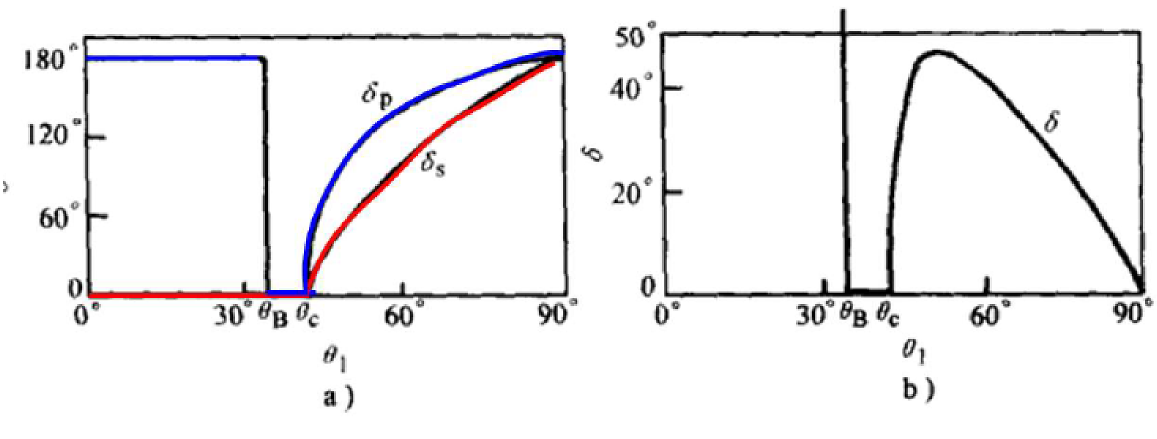


图11-17 全反射时相位的变化（$n_1 = 1.5, n_2 = 1$）

a) δ_s、δ_p b) $\delta = \delta_p - \delta_s$

3、隐失波：全反射时光波透过第二个介质约一个波长的深度，并沿着界面流过一个波长量级距离后重新返回第一介质，沿着反射光方向射出，沿着第二介质表面流动的波称为隐失波

4、全反射的特点

（1）无反射能量损失

（2）反射时有相位变化

（3）存在隐失波

5、全反射的应用

（1）反射棱镜

（2）光纤

（3）潜望镜

（4）菲涅尔棱体

第五节：光波的叠加

一、波的叠加原理

1、原理：几个波在相遇点产生的振动是各个波分别在该点产生的振动的矢量和

2、光波传播具有独立性，相遇后分开，依旧按照自己传播方向前进

二、两个频率相同，振动方向相同的单色光波的叠加

1、两个同频率，同振动方向的单色光波分别自距离相遇点距离为r_1的S_1点，以及距离为r_2的S_2发出，分别为$E_1=a_1\cos\left(kr_1-\omega t\right),E_2=a_2\cos\left(kr_2-\omega t\right)$

（1）令$\alpha_1=kr_1,\alpha_2=kr_2$

（2）相加有：$E=a_1\cos\left(\alpha_1-\omega t\right)+a_2\cos\left(\alpha_2-\omega t\right)$

（3）由三角公式有：$E=A\cos\left(\alpha-\omega t\right)$

（4）$I=A^2={a_1}^2+{a_2}^2+2a_1a_2\cos\left(\alpha_2-\alpha_1\right)$

（5）$\tan\alpha=\frac{a_1\sin\alpha_1+a_2\sin\alpha_2}{a_1\cos\alpha_1+a_2\cos\alpha_2}$

2、合振动也是一个简谐振动，振动频率和方向与两单色光波相同，振幅和初相位由上式决定

（1）单色光波在介质中传播的波长：$\lambda_n=\frac{\lambda}{n}$

（2）两光波在相遇点的相位差：$\delta=\alpha_2-\alpha_1=k\left(r_2-r_1\right)=\frac{2\pi}{\lambda_n}\left(r_2-r_1\right)$

（3）相遇点合振动光强：$I=4I_0\cos^2\frac{\delta}{2}$

(4) 光程差：$\Delta = n\left(r_2 - r_1\right)$

(5) 光波在相遇点的强度取决于两光波在该点的光程差或相位差

三、驻波

1、定义：两频率相同、振动方向相同而传播方向相反的单色光波的叠加

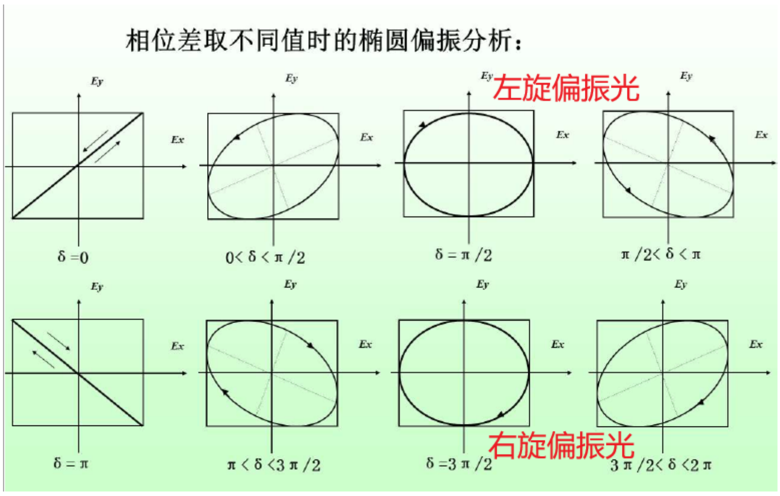
2、振幅最大值的位置称为波腹，其振幅等于两叠加光波的振幅之和，而振幅为零的位置称为波节

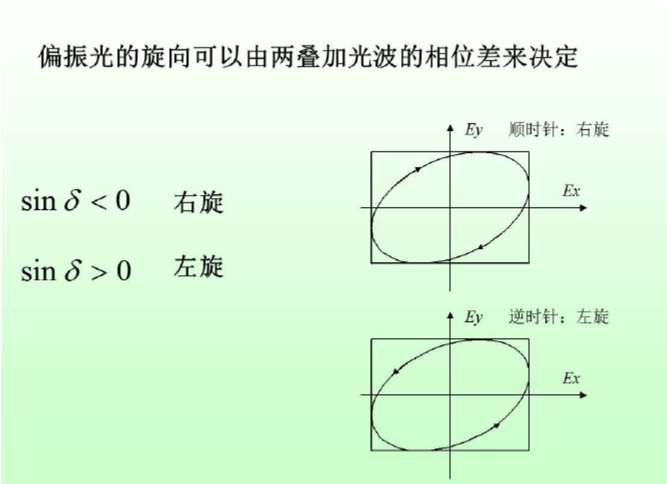
3、相邻波节之间的距离为 $\frac{\lambda}{2}$

4、相邻波节和波腹之间的距离为 $\frac{\lambda}{4}$

5、波节、波腹的位置不随时间而变

四、两个频率相同，振动方向互相垂直的单色光波的叠加





1、两个频率相同,振动方向互相垂直且具有一定位相差的光波的叠加，一般可得到椭圆偏振光

2、椭圆的形状取决于两叠加光波的振幅比$\frac{a_2}{a_1}$和相位差$\delta = \alpha_2 - \alpha_1$

五、两个不同频率的单色光波的叠加

1、定义：两个振动方向相同，振幅相等、且在同一方向传播，频率接近的单色光波的叠加，结果产生光学上的“拍”现象。

2、群速度和相速度

（1）相速度

a、定义：等相面的传播速度（单一频率的波的传播速度）

b、公式：$v = \frac{\overline{\omega}}{\overline{k}}$

（2）群速度

a、定义：合成波振幅恒定点的移动速度，即振幅调制包络的移动速度

b、公式：$v_g = \frac{dw}{dk} = \frac{d(kv)}{dk} = v + k\frac{dv}{dk}$

（3）相速度与群速度的关系

a、公式：$v_g = v - \lambda\frac{dv}{d\lambda}$

b、$\frac{dv}{d\lambda}$**，越大，波的相速度随波长的变化越大时，群速度与相速度相差越大**

c、$\frac{dv}{d\lambda} > 0$**，即波长较大的单色光波比波长较短的单色光波传播速度大时，群速度小于相速度（正常色散）**

d、$\frac{dv}{d\lambda} < 0$**，即反常色散，群速度大于相速度**

3、光的色散

a、定义：当复色光在介质界面上折射时，介质对不同波长的光有不同的折射率，各色光因折射角不同而彼此分离。

b、正常色散：对光透明的介质，其折射率随波长λ的增加而减小

c、反常色散：在介质对光有强烈吸收的波段内(吸收带)，折射率随波长的增加而增加