

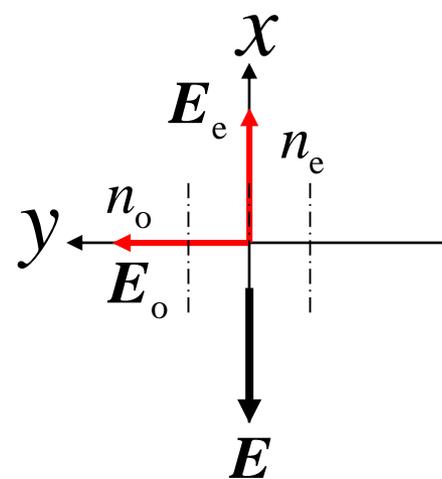
# 6-02 电光、旋光效应

1. 电光效应
2. 旋光效应

# 1.电光效应

## Kerr效应

- 某些各向同性的物质，在外电场作用下，具有双折射特性，这是一种电光效应（Kerr electro-optic effect, or DC Kerr effect）
- 电场中介质中的光波沿两个方向偏振，具有不同的折射率，感生折射率差 $\Delta n$ 与电场成二次方关系（二阶电光效应）
$$\Delta n = B(\lambda)E^2 = K\lambda E^2$$

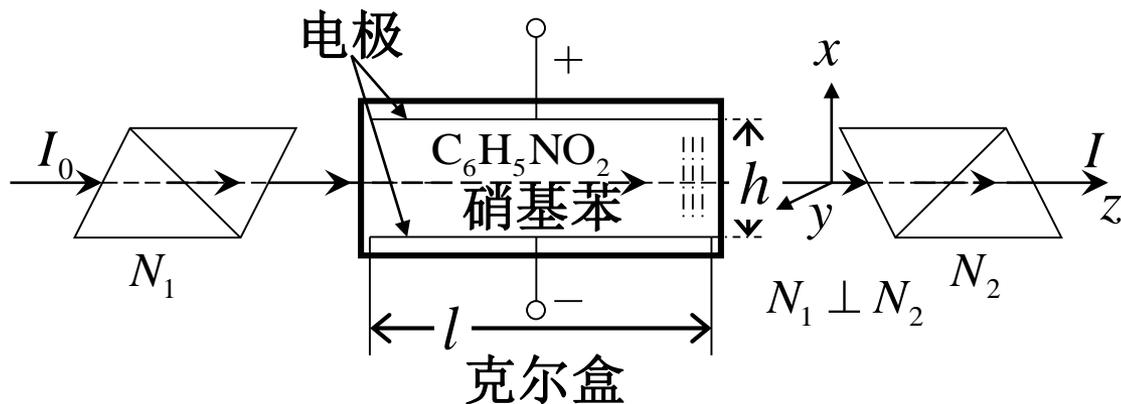
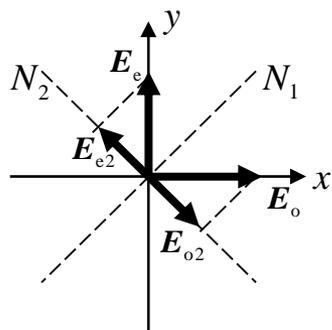
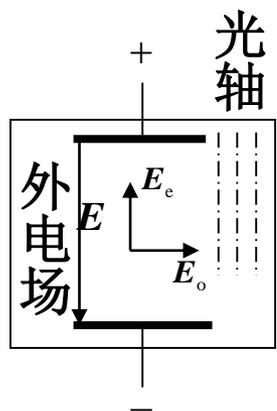
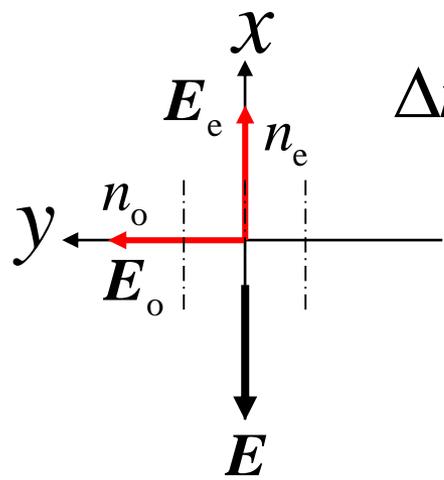


# 溶液的Kerr效应

$$\Delta n = n_o - n_e = K\lambda E^2 = K\lambda \frac{V^2}{h^2} \quad K: \text{Kerr常数}$$

$$\Delta\varphi_c = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e)l = 2\pi K \frac{V^2 l}{h^2}$$

$$I = \frac{I_0}{2} \sin^2 \frac{\Delta\varphi_c}{2} = \frac{I_0}{2} \sin^2 \left( \frac{\pi K V^2 l}{h^2} \right)$$



# Kerr常数

- 有不尽相同的表示  $\Delta n = B(\lambda)E^2 = K\lambda E^2$
- 与介质、波长、温度有关

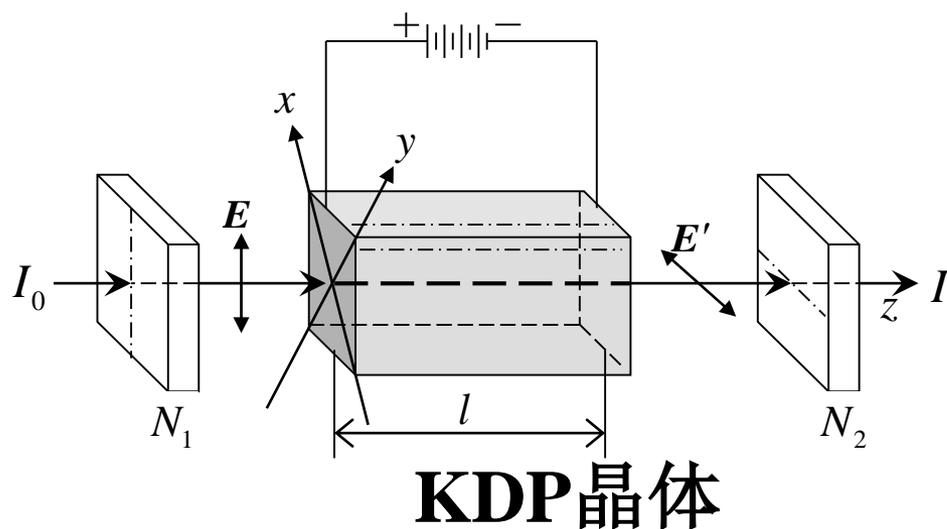
材料	$B_{589.3\text{nm}}/\text{e.s.u.}$	$K_{589.3\text{nm}}/\text{mV}^{-2}$
苯 $\text{C}_6\text{H}_6$		$0.67 \times 10^{-14}$
二硫化碳 $\text{CS}_2$	$1.23 \times 10^{-7}$	$3.56 \times 10^{-14}$
水 $\text{H}_2\text{O}$	$4.7 \times 10^{-7}$	$5.22 \times 10^{-14}$
硝基甲苯 $\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}_2$		$1.37 \times 10^{-12}$
硝基苯 $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	$346 \times 10^{-7}$	$2.44 \times 10^{-12}$
三氯甲烷 $\text{CHCl}_3$		$-3.90 \times 10^{-14}$

# Pockels效应

- 一些单轴晶体在外电场中，光沿着晶体光轴传播，也能发生双折射（一阶电光效应）  
$$\Delta n = n_x - n_y = n_o^3 \gamma E$$

$$\Delta \varphi_c = \frac{2\pi}{\lambda} (n_x - n_y) l = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma E l = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma V$$

$$I = \frac{1}{2} I_0 \sin^2 \left( \frac{\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma V \right)$$

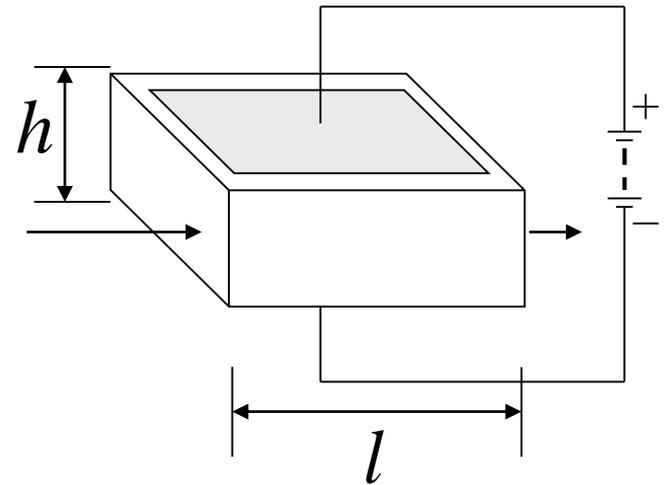


# 横向Pockels效应

- 加横向电场，也有双折射现象

$$n' - n'' = n_o^3 \gamma' E \quad \Delta\varphi_c = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma' E l = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma' V \left(\frac{l}{h}\right)$$

- 由于 $l \gg h$ ，可以降低电压



# 利用电压可以调制光强

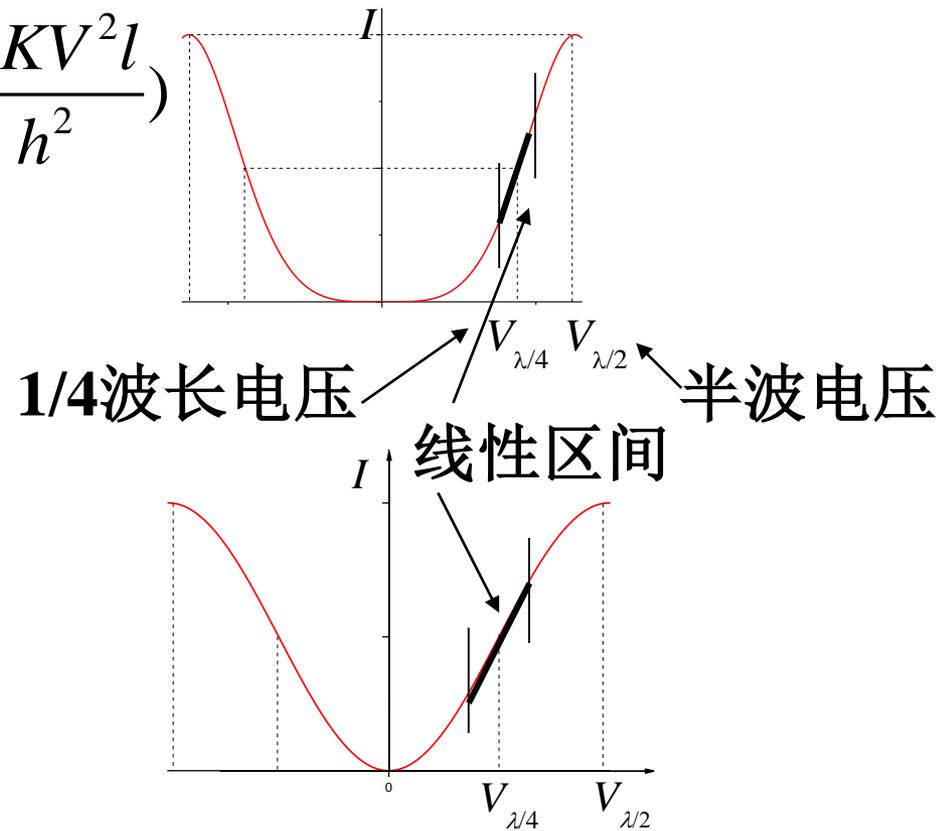
- **Kerr效应**  $I = \frac{I_0}{2} \sin^2\left(\frac{\pi KV^2 l}{h^2}\right)$

- **纵向Pockels效应**

$$I = \frac{1}{2} I_0 \sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma V\right)$$

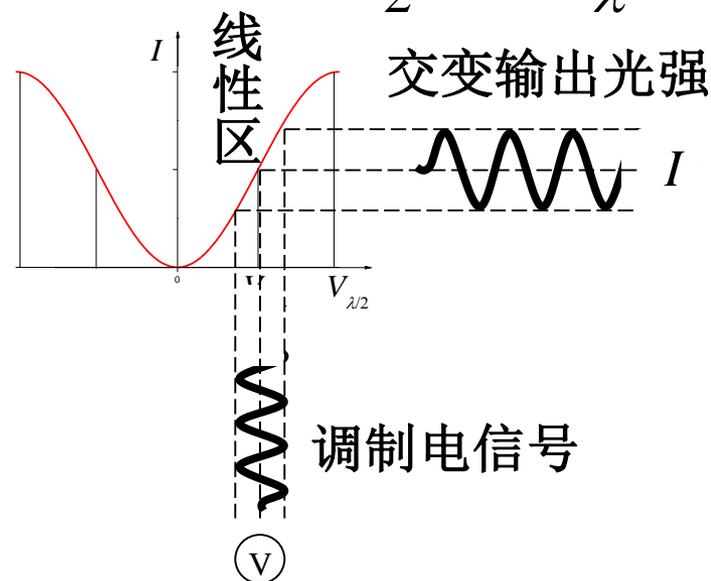
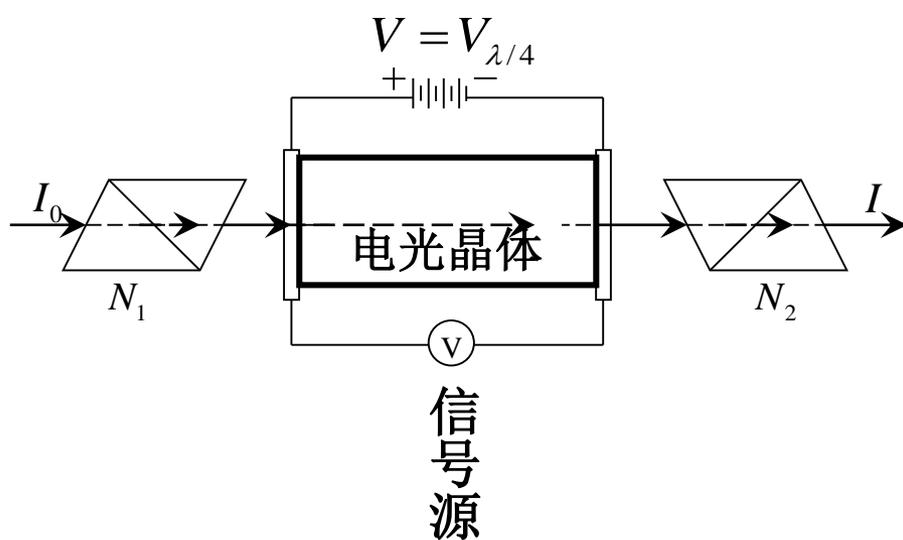
- **横向Pockels效应**

$$I = \frac{1}{2} I_0 \sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma' V \frac{l}{h}\right)$$



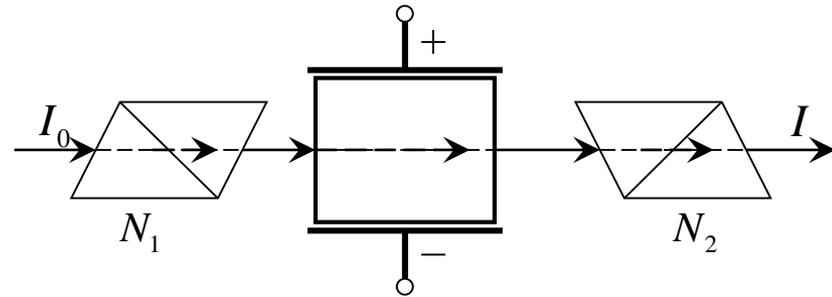
# 电光效应的应用

- 1. 激光光强的调制
- 激光的特点是稳定，但要用于光通信，必须加载信号，对光强进行调制  $I = \frac{1}{2} I_0 \sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma V\right)$



# 电光效应的应用

- 2. 高速光闸
- 电光晶体以及具有电光效应的溶液对电场的响应时间很短， $\sim 10^{-9}\text{s}$ ，在这一时间内可以达到半波电压
- 打开或截止光路



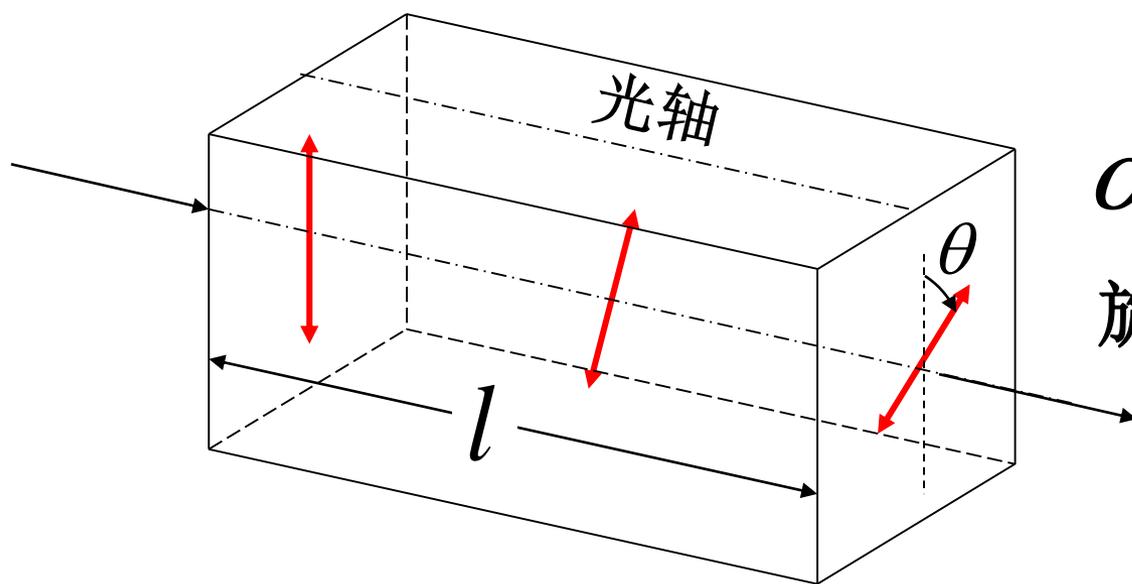
$$I = \frac{1}{2} I_0 \sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma V\right)$$

$$\begin{cases} V = 0 \\ I = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} V = V_{\lambda/2} \\ I = I_0 / 2 \end{cases}$$

## 2. 旋光效应

### 自然旋光

- 石英晶体中，线偏光沿着光轴传播，电矢量的振动面旋转

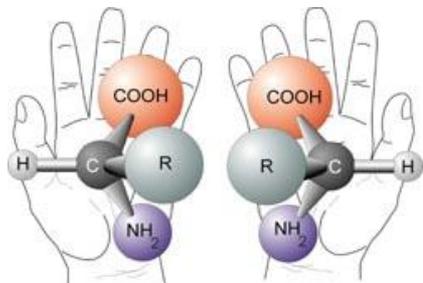


$$\theta = \alpha l$$

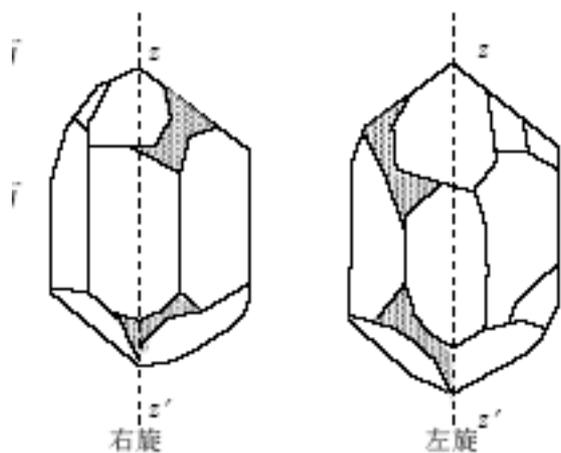
$$\alpha = \alpha(\lambda)$$

旋光本领，或旋光率

# 旋光异构体



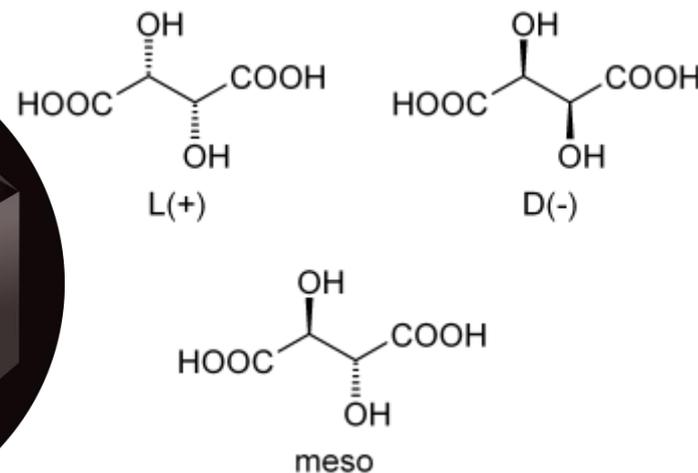
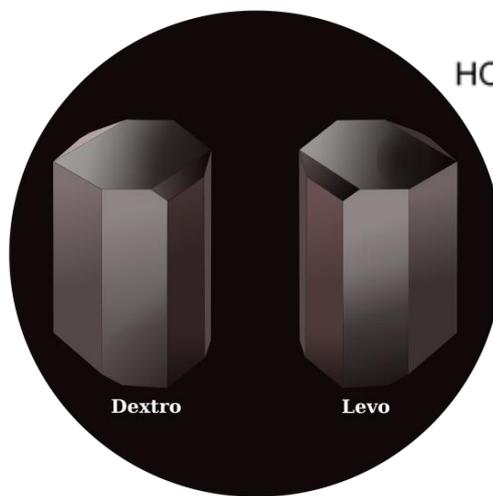
- 同一种晶体具有不同的旋光方向，称作旋光异构体



**dextro**

**levo**

石英的旋光异构体



酒石酸晶体的旋光异构体

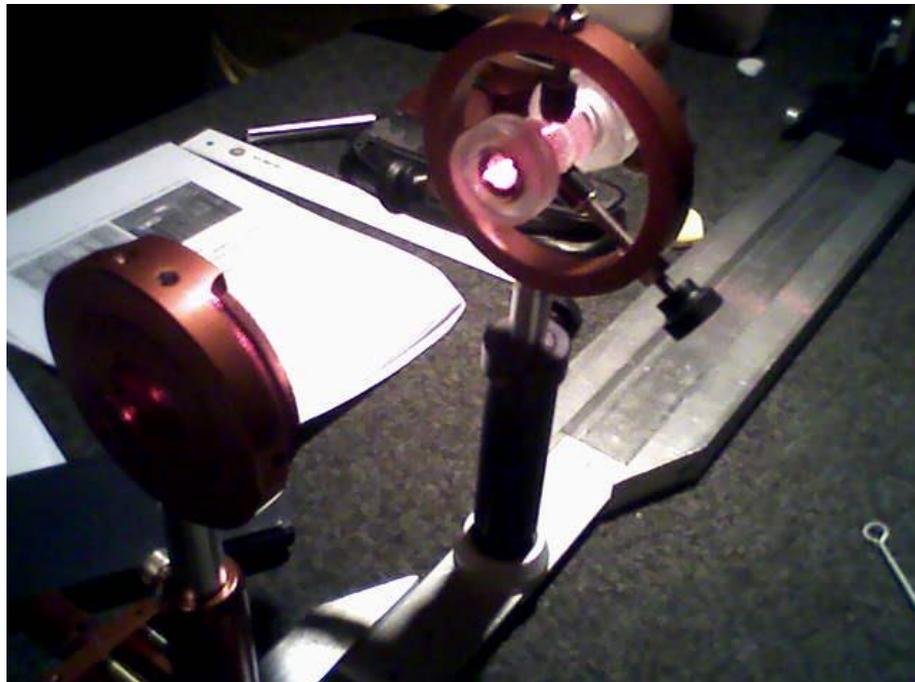
# 溶液的旋光性

- 蔗糖溶液具有旋光性，与浓度有关

$$\theta = \alpha Nl$$

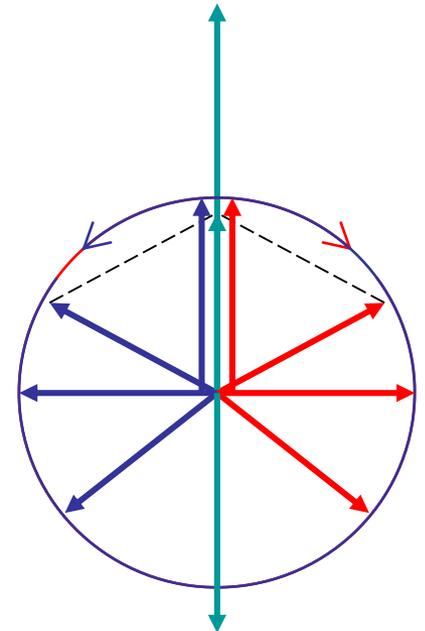
$$\alpha = \alpha(\lambda, N)$$

比旋光率

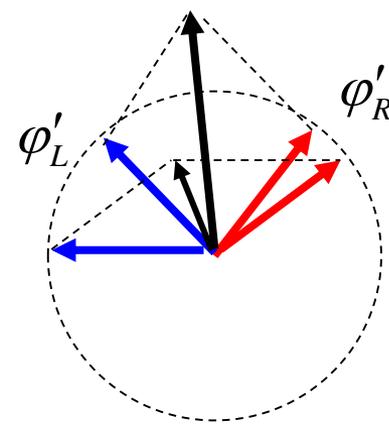
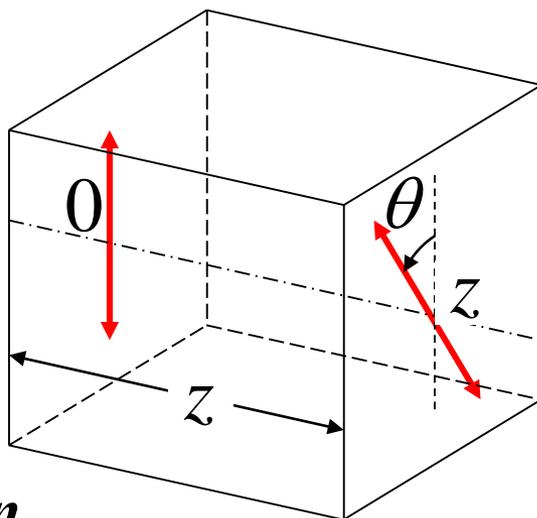
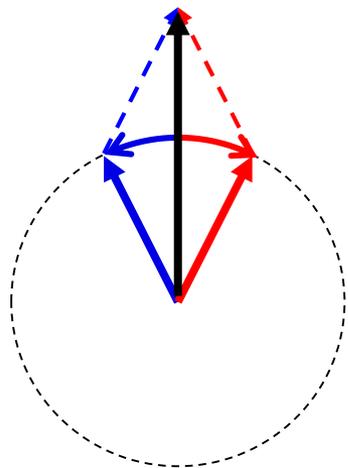


# 菲涅耳对旋光的定性解释

- 线偏振光可以看作是由两列反方向旋转的圆偏振光合成的
- 在晶体中，左旋光、右旋光的折射率不同
- 因而在晶体中经过一段距离后一列光比另一列相位滞后
- 导致合成的线偏光振动面旋转



# 电矢量的旋转



○点处的点适量

左旋圆偏光的折射率  $n_L$

右旋圆偏光的折射率  $n_R$

在  $t$  时刻,  $z$  点光的相位比  $0$  点滞后

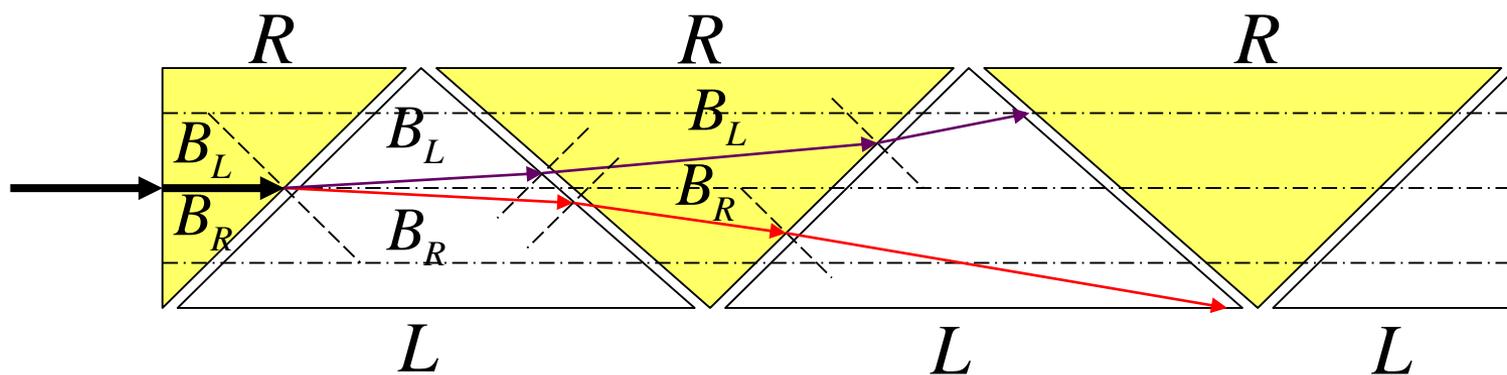
$$\varphi_R(t, 0) = \varphi_L(t, 0) = \varphi_0 \quad \varphi_R(t, z) = \varphi_0 - \frac{2\pi}{\lambda} n_R z \quad \varphi_L(t, z) = \varphi_0 - \frac{2\pi}{\lambda} n_L z$$

$n_L < n_R$  左旋

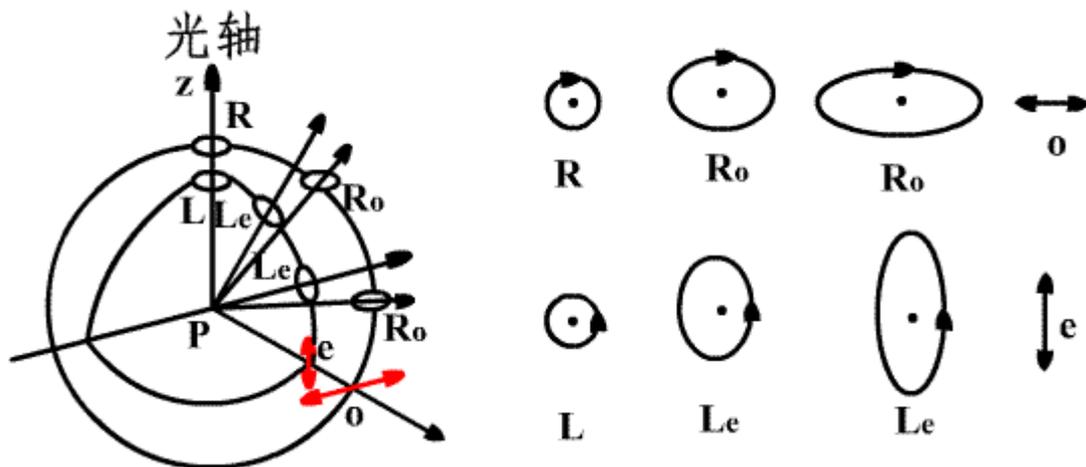
$n_R < n_L$  右旋

# 菲涅耳复合棱镜

- 将左旋石英和右旋石英三棱镜光轴平行依次组合，做成复合棱镜
- 右旋晶体中， $n_R < n_L$ ；左旋晶体中 $n_L < n_R$
- 右旋光，在右旋晶体中，折射率小；在左旋晶体中，折射率大。



# 石英晶体中光线面及相应光振动形式

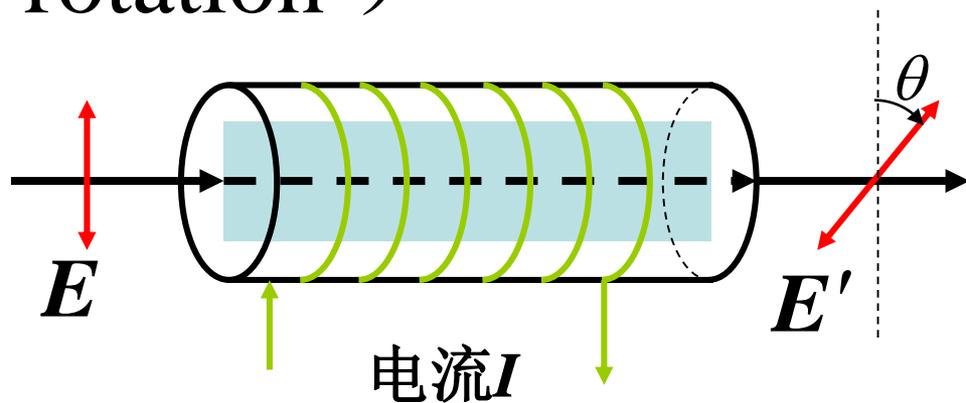


	光轴取向	旋转角度	出射光偏振态
半波片	平行于晶面	取决于入射光振动面与波片快、慢轴夹角	只对某一波片出射线偏振光
旋光片	垂直于晶面	对确定旋向的晶体只向一个方向旋转与传播方向有关	对任何波长均出射线偏振光

# 磁致旋光 magneto-optical effect

- 线偏光通过处于磁场中的介质后，电矢量振动面旋转
- **法拉第效应**（Faraday effect、Faraday rotation）

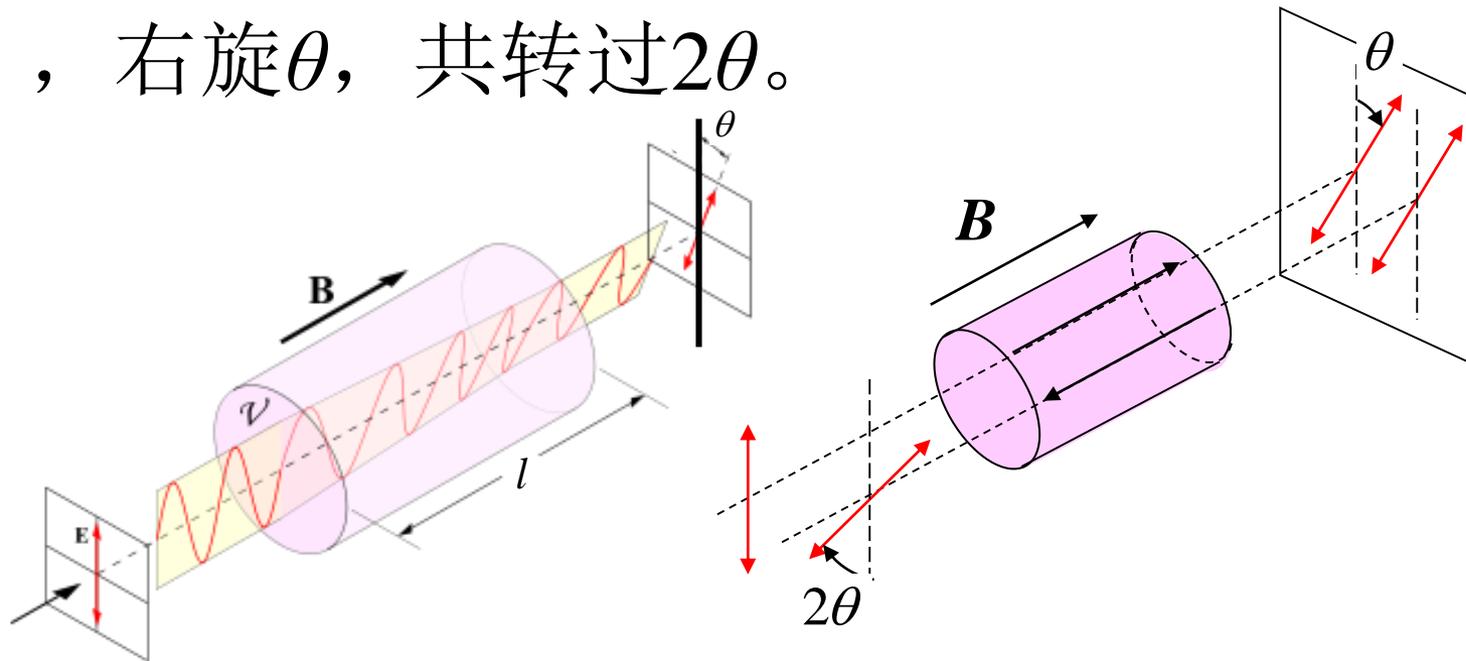
$$\theta = VBl$$



$V$ : Verdet常数，与介质、波长、温度有关。光沿磁场传播时，正值表示左旋

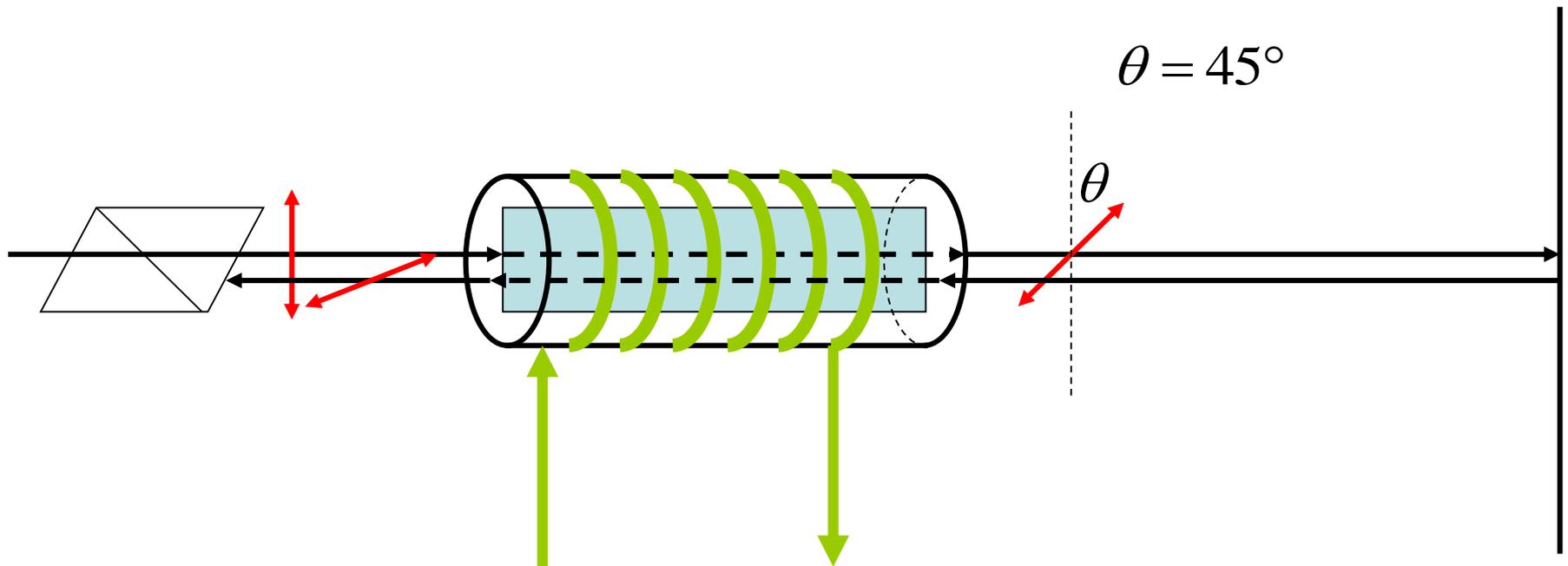
# 旋转方向与光的传播方向有关

- 如果光**沿着磁场方向**传播电矢量**左旋**，则**逆着磁场传播**电矢量**右旋**
- 光经过介质左旋 $\theta$ ，被反射回来再经过介质，右旋 $\theta$ ，共转过 $2\theta$ 。

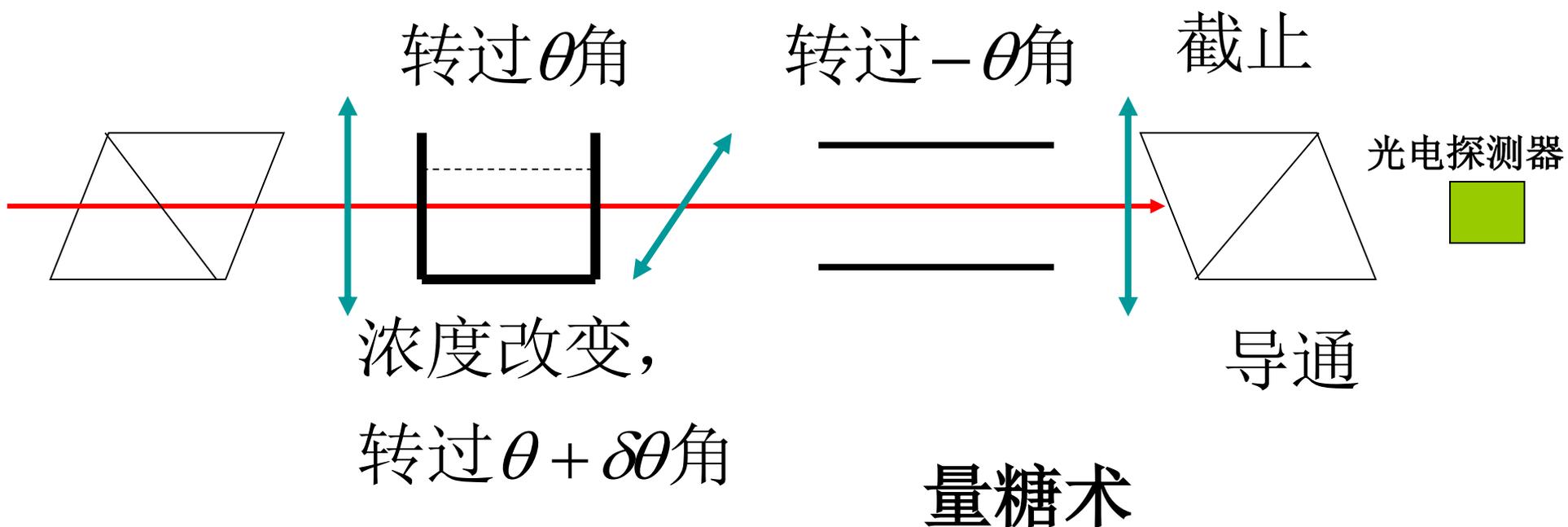


# 磁致旋光的应用

- 单通光闸：旋转方向与磁场方向有关

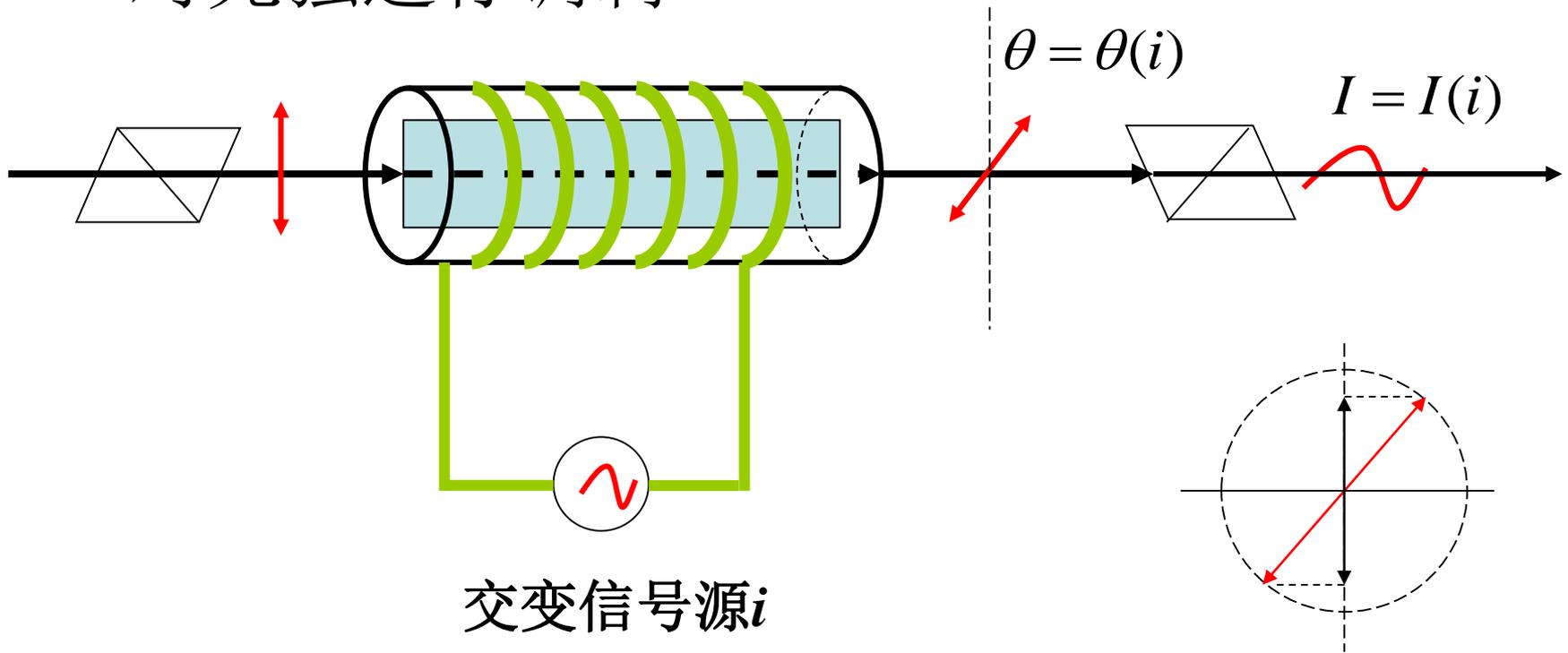


# 自动控制溶液浓度



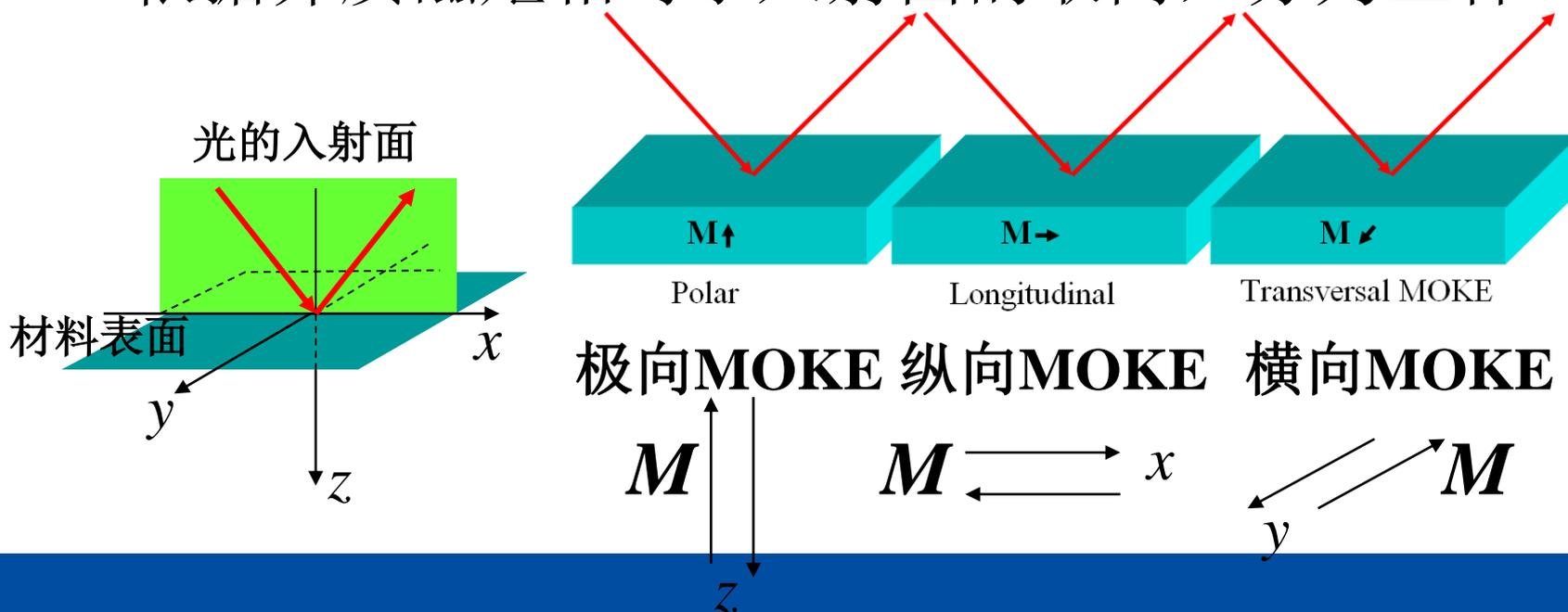
# 光通信

- 使激光电矢量振动面偏转，再通过偏振片对光强进行调制



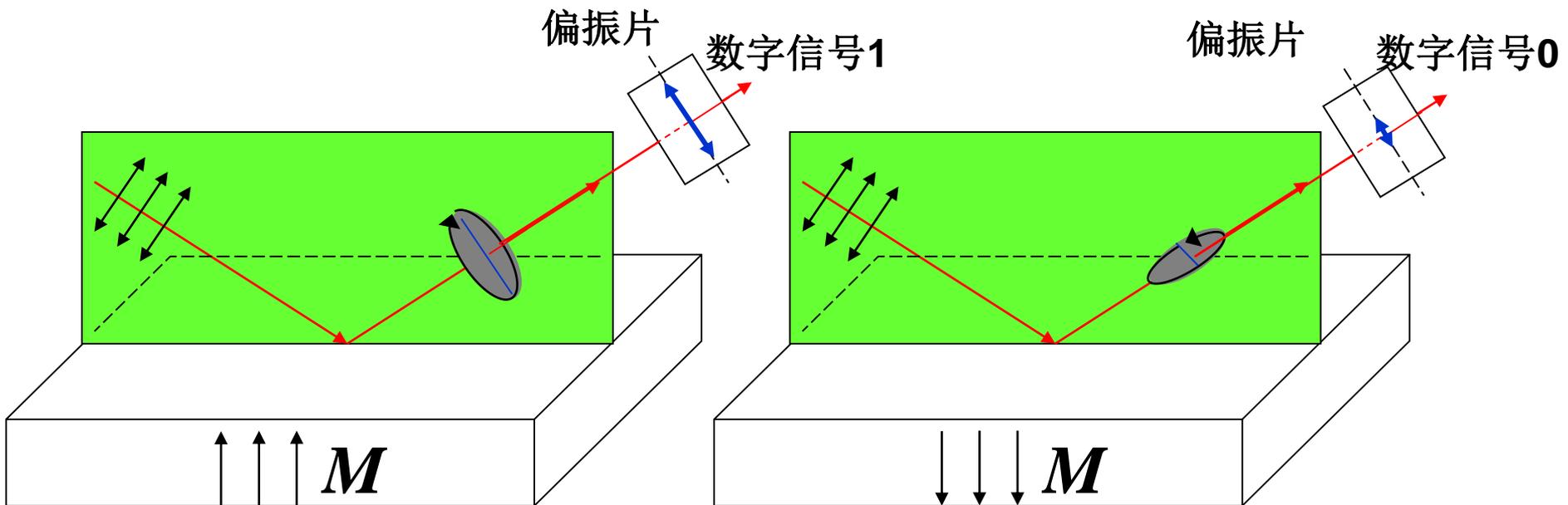
# 磁光克尔效应

- **Magneto-optic Kerr effect (MOKE)**
- 被磁性介质反射的光，其**偏振态**发生变化
- 如果介质的磁性变化，对光的**反射率**也相应变化
- 依据介质磁矩相对于入射面的取向，分为三种



# 反射光偏振态的改变

- 反射光的偏振态与介质的磁化方向有关
- 让反射光通过偏振片，介质磁化方向改变引起光的偏振态改变，透射光强亦相应改变



**作业 : P226 , 1, 2, 6**

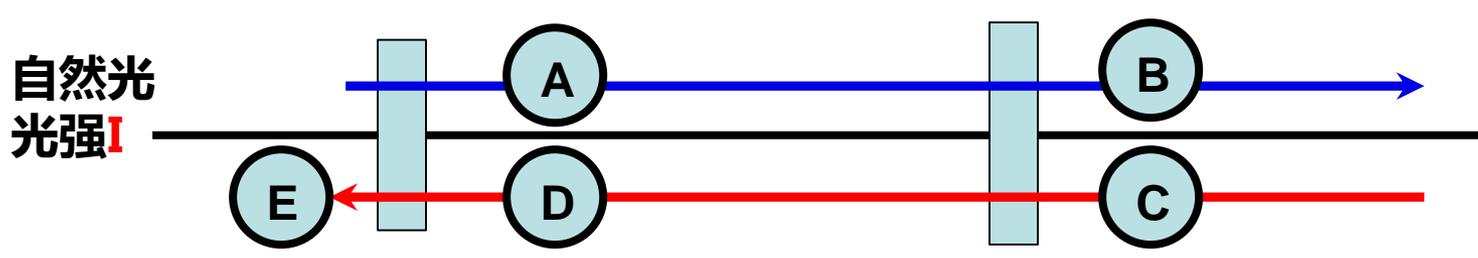
# 求ABCDE处偏振状态和强度。

1. 半波片HWP  
快轴与水平方向成 $\theta$

2. 磁致旋光角度偏转 $\theta$

介质膜全反射镜，  
正入射

检偏器P  
角度与水平方向成 $\phi$



Polarization	Corresponding Jones vector	Typical ket Notation
Linear polarized in the x-direction Typically called 'Horizontal'	$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$	$ H\rangle$
Linear polarized in the y-direction Typically called 'Vertical'	$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$	$ V\rangle$
Linear polarized at $45^\circ$ from the x-axis Typically called 'Diagonal' L+45	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$	$ D\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}( H\rangle +  V\rangle)$
Linear polarized at $-45^\circ$ from the x-axis Typically called 'Anti-Diagonal' L-45	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$	$ A\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}( H\rangle -  V\rangle)$

Half-wave plate with fast axis at angle $\theta$ w.r.t the horizontal axis <sup>[3]</sup>	$\begin{pmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{pmatrix}$
--	---