

第六章 光在晶体中的传播

第四节 电光效应和旋光效应

6.4 电光效应和旋光效应

6.4.1 电光效应的现象和解释

6.4.2 电光效应的应用

6.4.3 旋光现象和旋光效应

6.4.4 旋光现象的解释

6.4.5 磁致旋光效应的原理

6.4.6 磁致旋光效应的应用

6.4.1 电光效应的现象和解释

自然双折射与感应双折射

- **自然双折射**：由于晶体结构自身的各向异性决定，光在其内传播时产生的双折射现象。又叫晶体的固有双折射。
- **感应双折射**：当光通过有加电场、超声场或磁场的晶体时，将产生与外场作用有关的双折射现象。又叫晶体的感应各向异性。

感应双折射也称人工双折射。

感应双折射的主要内容

- **电光效应**
- **磁光效应**
- **声光效应**

6.4.1 电光效应的现象和解释

电光效应及其现象

定义： 电场施加在物质上，使其折射率发生变化，这种现象称之为**电光效应**（electro-optic effect）或**电致感应双折射**。

表现：

(1) 使原本各向同性的介质变为各向异性，表现出双折射现象。

(2) 使原本为单轴晶体的物质变为双轴晶体等。

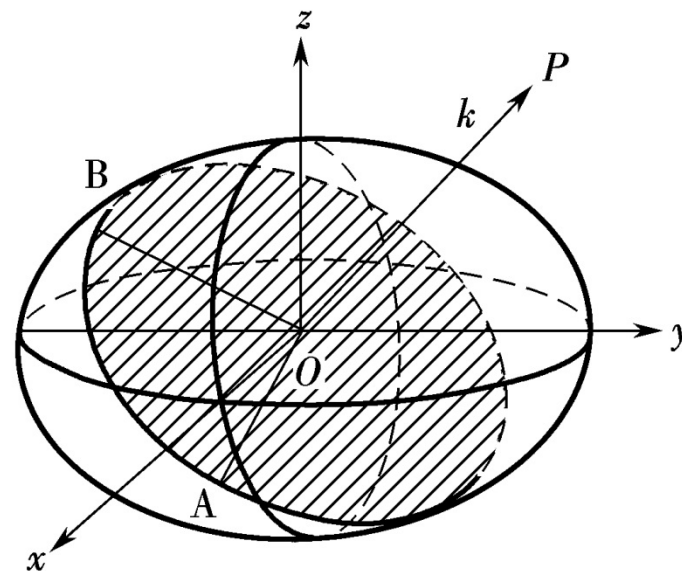
表示：
$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right) = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_0^2} = \gamma E + pE^2 + \dots$$

其中 n 是受外场作用时晶体的折射率， n_0 是自然状态下晶体的折射率， E 是外加电场强度， γ 和 p 是与物质有关的常数。

6.4.1 电光效应的现象和解释

各向异性晶体的折射率

根据光的电磁理论，光是一种电磁波。因此，在各向异性介质中，光波的电场强度矢量 E 和电位移矢量 D 一般是方向不同的。



在各向异性晶体中，电位移矢量与电场的关系可以表述为：

$$\begin{pmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{pmatrix} = \epsilon_0 \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix}$$

6.4.1 电光效应的现象和解释

各向异性晶体的折射率

对于任意一种晶体，我们总可以找到三个相互正交的特殊方向 (x, y, z) ，使介电张量对角化。即：

$$\begin{pmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{pmatrix} = \varepsilon_0 \begin{pmatrix} \varepsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix}$$

这三个特殊的方向称为晶体的主轴方向，在三个主轴方向上有

$$D_x = \varepsilon_0 \varepsilon_x E_x \quad D_y = \varepsilon_0 \varepsilon_y E_y \quad D_z = \varepsilon_0 \varepsilon_z E_z$$

相对应的三个主折射率为

$$n_x = \sqrt{\varepsilon_x} \quad n_y = \sqrt{\varepsilon_y} \quad n_z = \sqrt{\varepsilon_z}$$

6.4.1 电光效应的现象和解释

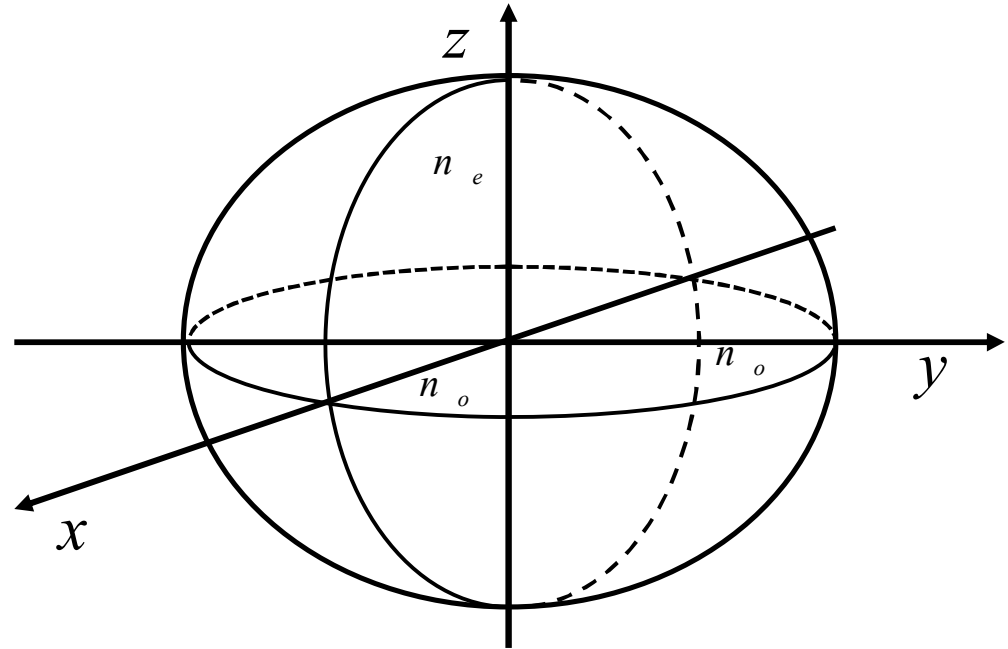
晶体的折射率椭球

在三个主轴方向，波面的法向与光射线一致，因此光波在晶体中的传播性质可以用一个折射率椭球来描述，在晶体的主轴坐标系中，折射率椭球的表达式写为：

$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} = 1$$

$$n_i = \sqrt{\varepsilon_i}, \quad (i = x, y, z)$$

是晶体的主折射率



物理意义：表征了对应某一波长的晶体主

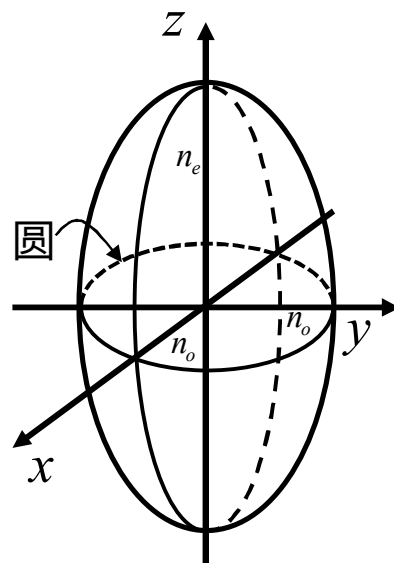
折射率在椭球空间各个方向上全部取值分布的几何图形。

6.4.1 电光效应的现象和解释

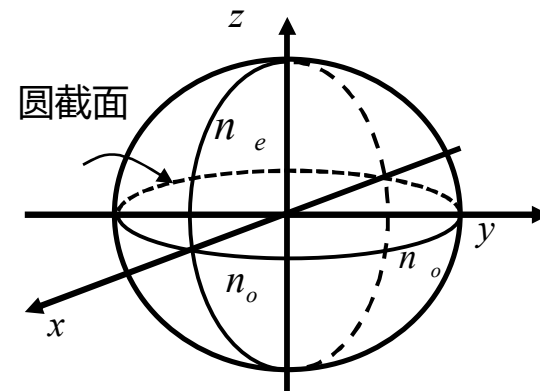
晶体的折射率椭球(续)

对于单轴晶体, 有 $n_x = n_y = n_o$, $n_z = n_e$, 于是单轴晶体折射率椭球方程为:

$$\frac{x^2 + y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} = 1$$



正单轴晶体



负单轴晶体

是一个旋转对称的椭球。

当晶体加上电场后, 折射率椭球的形状、大小、方位都发生变化, 椭球方程变成

$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} + \frac{2yz}{n_{yz}^2} + \frac{2xz}{n_{xz}^2} + \frac{2xy}{n_{xy}^2} = 1$$

也可写作

$$\frac{x^2}{n_{11}^2} + \frac{y^2}{n_{22}^2} + \frac{z^2}{n_{33}^2} + \frac{2yz}{n_{23}^2} + \frac{2xz}{n_{13}^2} + \frac{2xy}{n_{12}^2} = 1$$

6.4.1 电光效应的现象和解释

晶体的折射率椭球(续)

将 $\frac{x^2}{n_{11}^2} + \frac{y^2}{n_{22}^2} + \frac{z^2}{n_{33}^2} + \frac{2yz}{n_{23}^2} + \frac{2xz}{n_{13}^2} + \frac{2xy}{n_{12}^2} = 1$ 记做

$$\left(\frac{1}{n^2}\right)_1 x^2 + \left(\frac{1}{n^2}\right)_2 y^2 + \left(\frac{1}{n^2}\right)_3 z^2 + 2\left(\frac{1}{n^2}\right)_4 yz + 2\left(\frac{1}{n^2}\right)_5 xz + 2\left(\frac{1}{n^2}\right)_6 xy = 1$$

当外加电场 $E=0$ 时, 该式退化为 $\frac{x^2}{n_1^2} + \frac{y^2}{n_2^2} + \frac{z^2}{n_3^2} = 1$

即在 $E=0$ 时 $\left(\frac{1}{n^2}\right)_1 \Big|_{E=0} = \frac{1}{n_x^2}, \left(\frac{1}{n^2}\right)_2 \Big|_{E=0} = \frac{1}{n_y^2}, \left(\frac{1}{n^2}\right)_3 \Big|_{E=0} = \frac{1}{n_z^2},$

$$\left(\frac{1}{n^2}\right)_4 \Big|_{E=0} = \left(\frac{1}{n^2}\right)_5 \Big|_{E=0} = \left(\frac{1}{n^2}\right)_6 \Big|_{E=0} = 0$$

在有外电场 $E (E_x, E_y, E_z)$ 作用下, 如果折射率椭球方程的系数 $\left(\frac{1}{n^2}\right)_i$ 的变化量 $\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_i$ 与电场 E 的各分量成线性关系, 则

$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_i = \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_i \Big|_E - \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_i \Big|_{E=0} = \sum_j r_{ij} E_j$$

6.4.1 电光效应的现象和解释

晶体的折射率椭球(续)

$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_i = \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_i \Big|_E - \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_i \Big|_{E=0} = \sum_j r_{ij} E_j$$

用矩阵可以表示为

$$i=1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$j=1, 2, 3 \text{ 或 } x, y, z$$

$$\begin{pmatrix} \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_1 \\ \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_2 \\ \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_3 \\ \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_4 \\ \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_5 \\ \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_6 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix}$$

r_{ij} 组成的 6×3 矩阵被称为晶体的线性电光张量，它的每一个元素 r_{ij} 被称为线性电光系数。

6.4.1 电光效应的现象和解释

一次电光效应和二次电光效应

折射率和电场的关系也可以表示为 $n = n_0 + aE + bE^2 + \dots$

式中 n_0 是没有外加电场($E=0$)时的折射率, a 和 b 是常数。一次项 aE_0 引起的折射率变化的效应, 称为一次电光效应, 也称线性电光效应或普克尔效应 (1893年由Pockels发现); 由二次项 bE_0^2 引起折射率变化的效应, 称为二次电光效应, 也称平方电光效应或克尔效应 (1875年由Kerr发现)。一次电光效应只存在于不具有对称中心的晶体中, 二次电光效应则可能存在于任何物质中。一般来说, 一次效应要比二次效应显著。采用压电晶体时一般用其一次电光效应。立方晶体虽无一次电光效应, 但其二次电光效应较强, 因此采用立方晶系时可用其二次电光效应。

6.4.1 电光效应的现象和解释

二次电光效应—克尔(Kerr)效应 (J. Kerr, 1875)

介质：硝基苯 ($C_6H_5NO_2$) 液体

现象：

(1) 无外加电场时，没有光线射出正交的偏振片，表明无双折射效应。

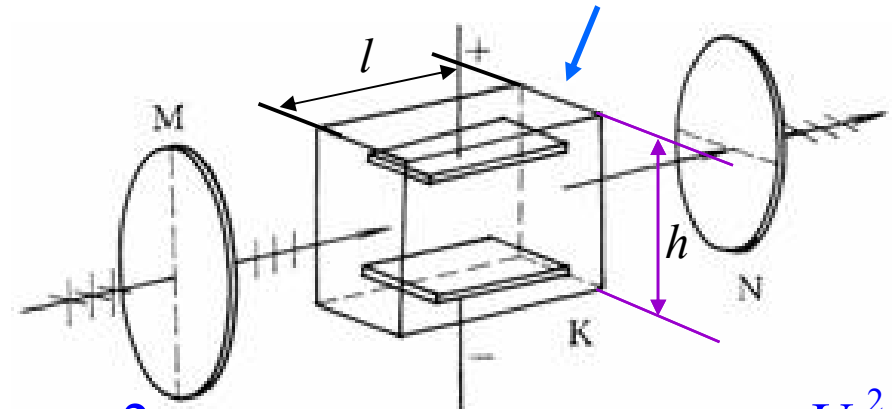
(2) 有外加**强**电场时 ($E \sim 10^4 V/cm$)，有光线透过。

结论：外加电场使盒内液体出现了双折射现象。

特点：弛豫时间为 $10^{-9}s$ 量级，可以用于高速光调制。

缺点：硝基苯有毒、纯度要求高、液体不便于携带。

电场垂直于光传播方向 (横向电场)



$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} lbE^2 = 2\pi K_r l E^2 = 2\pi K_r l \frac{U^2}{h^2}$$

K_r -比例系数，称为克尔常量

$$\Delta n = K_r E^2$$

$$K_r = \frac{b}{\lambda}$$

6.4.1 电光效应的现象和解释

二阶电光效应—克尔(Kerr)效应 (J. Kerr, 1875)

几种材料的克尔常量

材料	λ_0/nm	n	$K_r/(10^{-15}\text{m}\cdot\text{V}^{-2})$
苯 C_6H_6	546.1	1.503	4.9
	632.8	1.496	4.14
二硫化碳 CS_2	546.1	1.633	38.8
	632.8	1.619	31.8
四氯化碳 CCl_4	546.1	1.460	0.86
	632.8	1.456	0.74
水 H_2O	589.3	1.33	51
硝基甲苯 $\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}_2$	589.3		1370
硝基苯 $\text{C}_6\text{H}_6\text{NO}_2$	589.3		2440

说明：克尔效应的表达式有多种写法，其他写法例如 $\Delta n = B(\lambda)E^2$ 系数也会有所不同，但都与波长有关。

6.4.1 电光效应的现象和解释

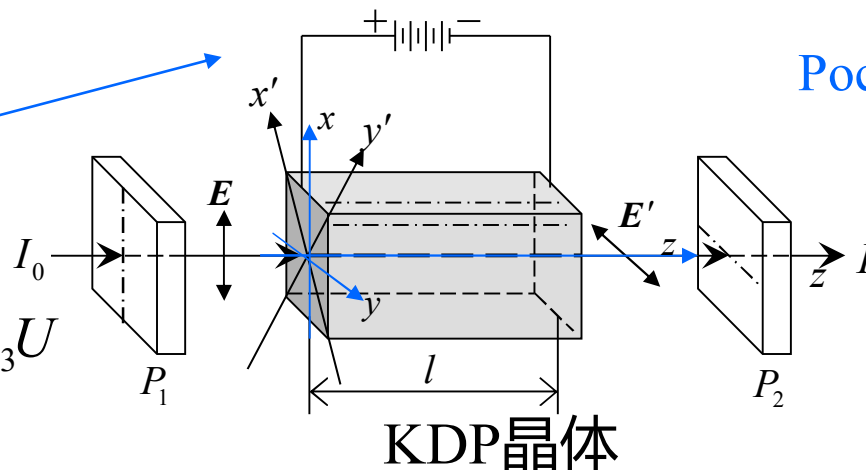
一阶电光效应—泡克尔斯(Pockels)效应 (F. Pockels, 1893)

介质: KDP晶体, 主要成分磷酸二氢钾 (KH_2PO_4)

原理: 无外加电场时, KDP晶体为单轴晶体, 在电场作用下变为双轴晶体, 因此沿原来光轴的方向产生了附加的双折射效应。

电场平行于光传播方向
—纵向泡克尔斯效应

$$\Delta\varphi = \delta = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{63} E l = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{63} U$$



Pockels cell 实物



Thorlabs公司产品
长度约36mm, 重
量约90g

优点:

- 响应时间快, 且可在外加电场消失后消失—无记忆性。
- 所需电压比克尔效应要低。
- 电光延迟量 δ 和所加电压 U 有关, **和晶体长度无关** (增加长度以降低电场强度为代价, 而不会增加延迟量)。
- **工作稳定、无自然双折射影响, 无需补偿。**

6.4.1 电光效应的现象和解释

一阶电光效应—泡克尔斯(Pockels)效应 (续)

纵向泡克尔斯调制的缺点

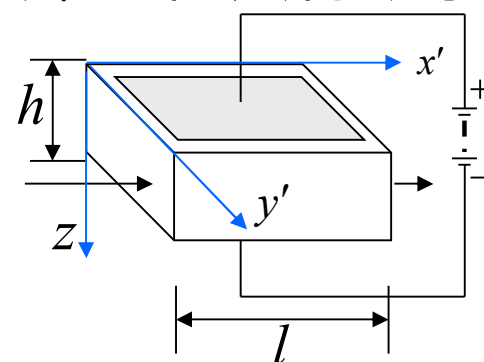
- 大部分重要的电光晶体的半波电压都很高，由于和波长成正比，当光源波长较长时更高，使控制电路的成本大大增加。
- 为了沿光轴加电场，必须使用透明电极，或带中心孔的环形金属电极。

横向泡克尔斯效应和横向调制

光的传播方向与KDP晶体的光轴z方向垂直，加横向电场，也有双折射现象

$$n' - n'' = n_o^3 \gamma' E \quad \delta = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 r_{63} E l = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 r_{63} U \left(\frac{l}{h} \right)$$

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_c + \delta = \frac{2\pi}{\lambda} |n_e - n_o| l + \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 r_{63} U \left(\frac{l}{h} \right)$$



优点: $l \gg h$, 可以通过增加长宽比降低半波调制电压。

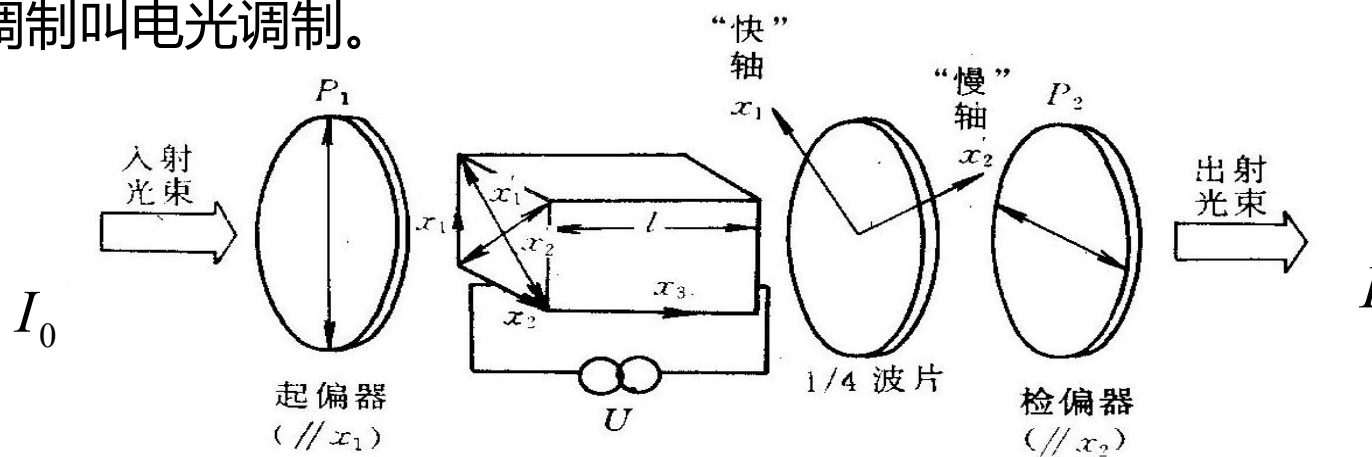
缺点: 会由自然双折射引起相移，对温度敏感，需要精确温控。

自然双折射引起
线性电光效应引起

6.4.2 电光效应的应用

电光调制

将信息电压(调制电压)加载到光波上的技术叫光调制技术。利用电光效应实现的调制叫电光调制。



电光强度调制器的基本原理

如果电光器件为KDP晶体，通过检偏器输出的光强 I 与通过起偏器的输入光强 I_0 之比为

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad \delta = \pi \frac{U}{U_{\lambda/2}} \quad \Rightarrow \quad \frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}} \right)$$

δ 是电光晶体的电光相位延迟

思考：1/4波片是否是必须的？它的作用是什么？

6.4.2 电光效应的应用

电光调制 (续)

如果外加电压是正弦信号 $U = U_0 \sin(\omega_m t)$ 则透过率为:

$$\frac{I}{I_0} = \sin^2 \left[\frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}} \sin(\omega_m t) \right]$$

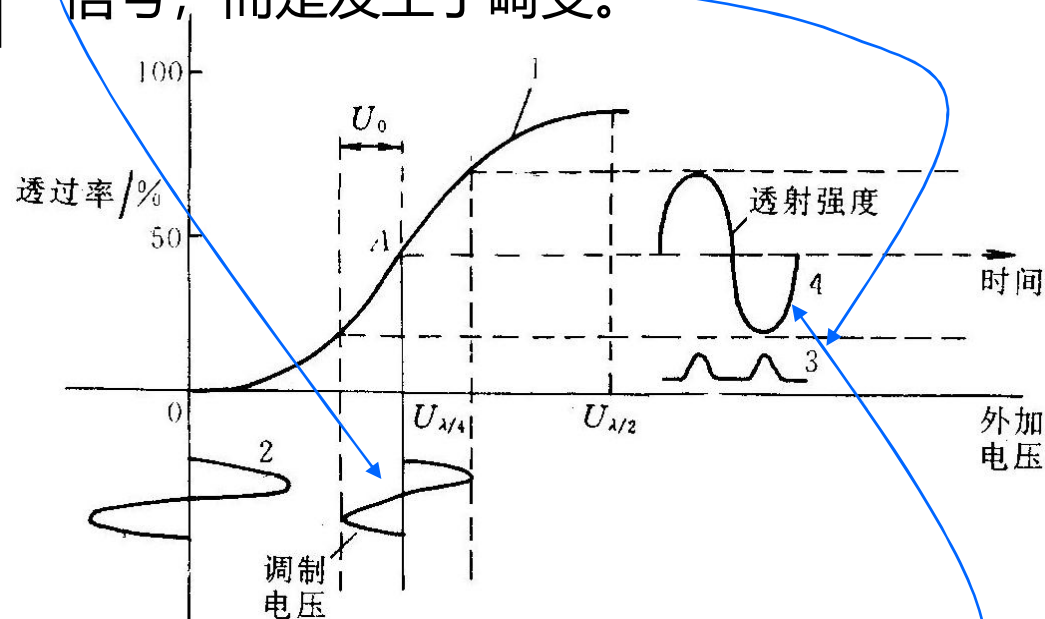
该式说明, 一般的输出调制信号不是正弦信号, 而是发生了畸变。

如果在光路中插入1/4波片, 则光通过调制器后的总相位差是 $(\pi/2 + \delta)$ 。因此, 通过检偏器输出的光强 I 与通过起偏器输入的光强 I_0 之比变为

$$\frac{I}{I_0} = \sin^2 \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2} \frac{U_0}{U_{\lambda/2}} \sin(\omega_m t) \right]$$

工作点由O移到A点。在弱信号调制时, $U_0 \ll U_{\lambda/2}$, 上式可近似表示为: $\frac{I}{I_0} \approx \frac{1}{2} + \frac{\pi}{2} \frac{U_0}{U_{\lambda/2}} \sin(\omega_m t)$

可见, 当插入 1/4 波片后, 一个小的正弦调制电压将引起透射光强在50%透射点附近作正弦变化。



6.4.2 电光效应的应用

主要应用场景

电光效应的特点是几乎没有延迟时间，能几乎同步地随电场快速变化，其响应频率可达 10^{10} Hz。所以，“光开关”、“光调制器”、“光断续器”有极快的速度启闭光路或调制光强，主要应用领域包括：

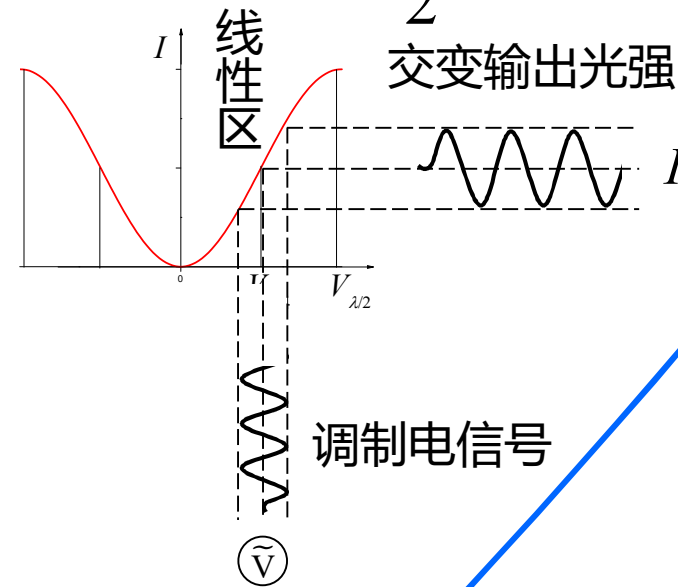
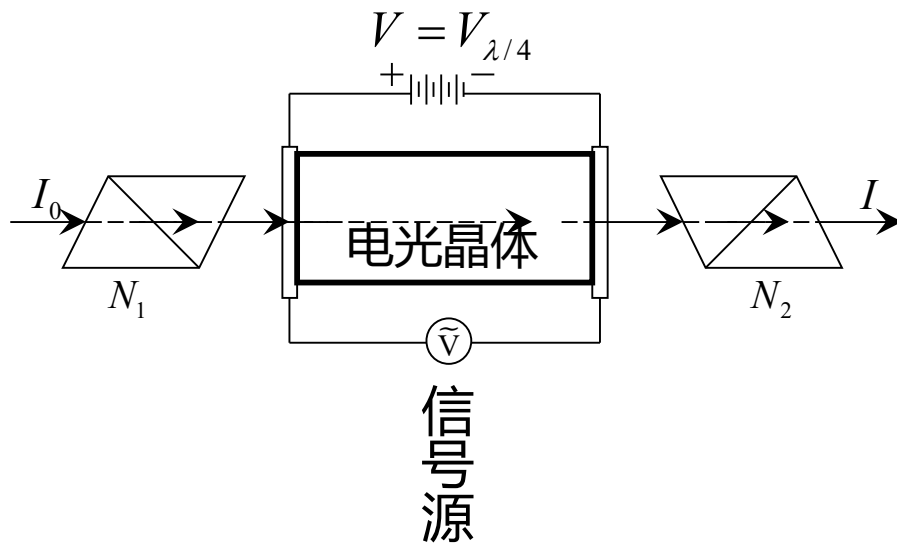
- **高速光开关**
- **电光偏转**
- **高速摄影**
- **激光通信**：自由空间、最后1km的无线接入
- **激光电视**：无线传输

6.4.2 电光效应的应用

应用例1—激光光强的调制

用于光通信，通过加载信号，对光强进行调制

$$I = \frac{1}{2} I_0 \sin^2(\Delta\varphi)$$



Kerr效应

$$\Delta\varphi = \frac{\pi K V^2 l}{h^2}$$

纵向Pockels效应

$$\Delta\varphi = \delta = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{63} E d = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{63} V$$

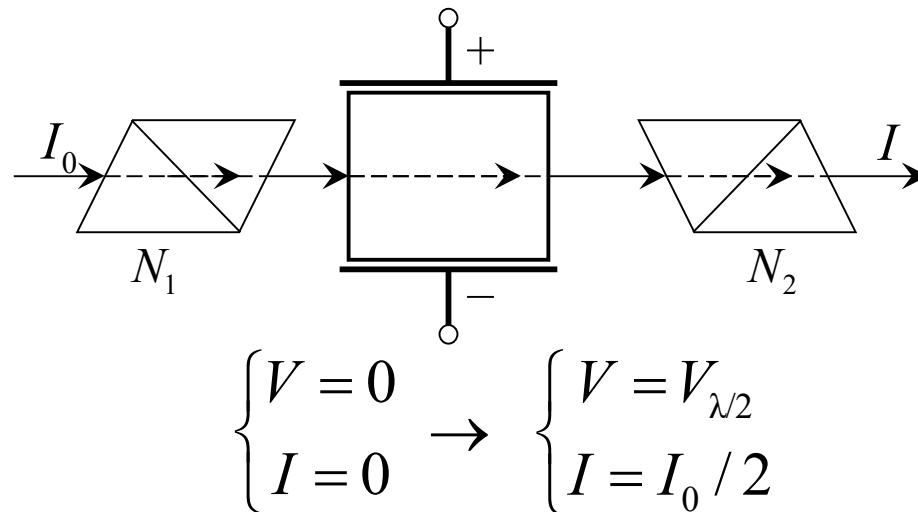
横向Pockels效应

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_c + \delta = \frac{2\pi}{\lambda} |n_e - n_o| l + \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{63} V \left(\frac{l}{h}\right)$$

6.4.2 电光效应的应用

应用例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，可以达到 $10^{-9}\text{ s} \sim 10^{-12}\text{ s}$ ，在这一时间内可以达到半波电压，可以实现高速打开或截止光路的功能。



6.4.3 旋光现象和旋光效应

旋光现象

平面偏振光在某些各向异性介质中沿光轴传播时，其振动面发生连续旋转的现象。

右旋：迎着光传播方向看，振动面顺时针方向旋转（葡萄糖、右旋石英）

左旋：迎着光传播方向看，振动面逆时针方向旋转（果糖、左旋石英）

旋光介质

能使平面偏振光振动面产生连续旋转的介质，如石英晶体、食糖溶液等。

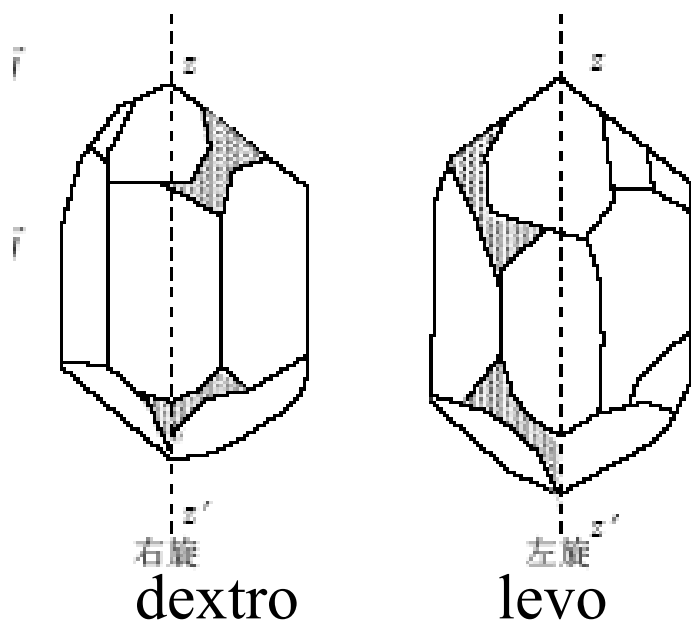
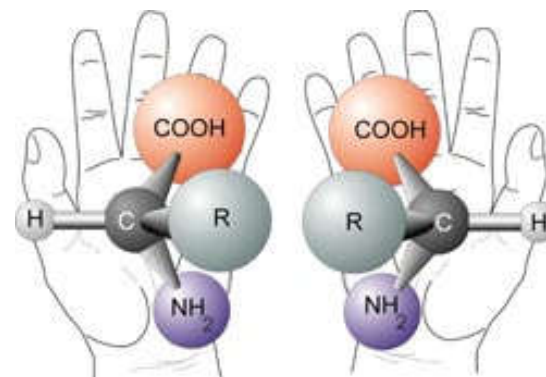
关于旋光现象的说明

- 旋光不仅存在于各向异性介质中，也存在于某些各向同性介质中；
- 所有在非晶态下具有旋光本领的物质，在结晶态下也是旋光性的；
- 有些晶体，如石英，甚至具有左旋和右旋两种性质。

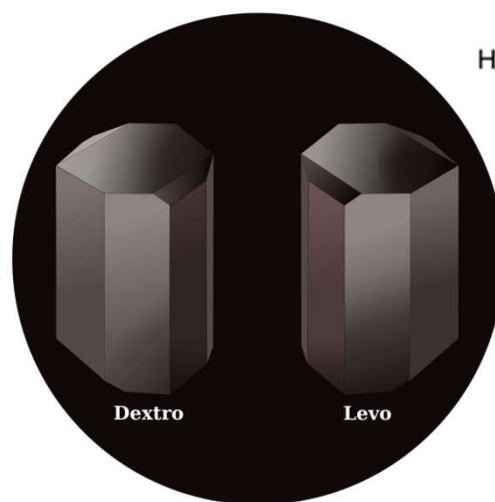
6.4.3 旋光现象和旋光效应

旋光异构体

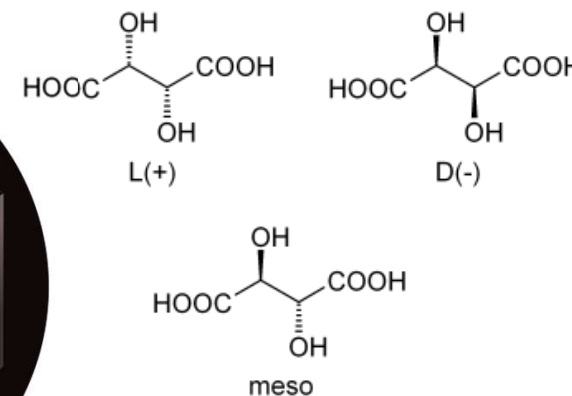
同一种晶体具有不同的旋光方向，称作旋光异构体。



石英的旋光异构体

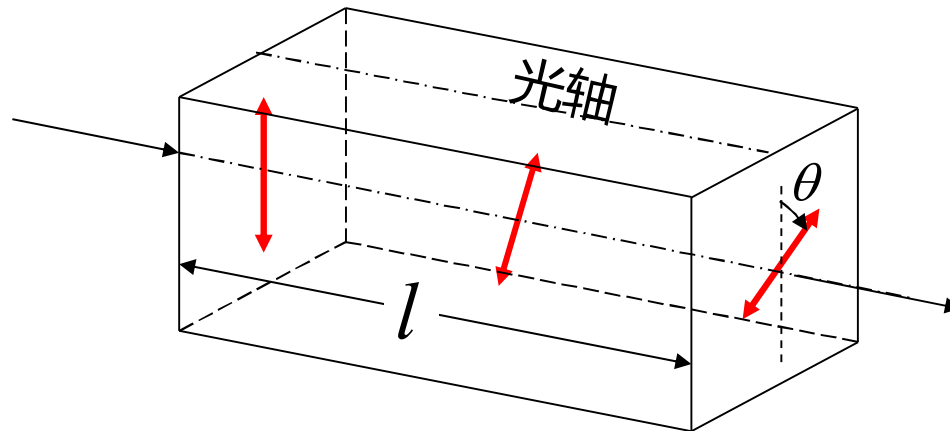


酒石酸晶体的旋光异构体



6.4.3 旋光现象和旋光效应

旋光效应的描述



$$\theta = \alpha l$$

θ : 沿旋光晶体光轴方向传播的单色平面偏振光，其偏振面相对于入射点的振动面之转角。

l : 光波在晶体中的传播距离（轴向厚度）。

$\alpha = \alpha(\lambda)$: 晶体的旋光本领，或旋光率。单位为 $^{\circ}/\text{mm}$ 。

6.4.3 旋光现象和旋光效应

蔗糖溶液的旋光效应

- 蔗糖溶液具有旋光性，与浓度有关

$$\theta = \alpha Nl$$

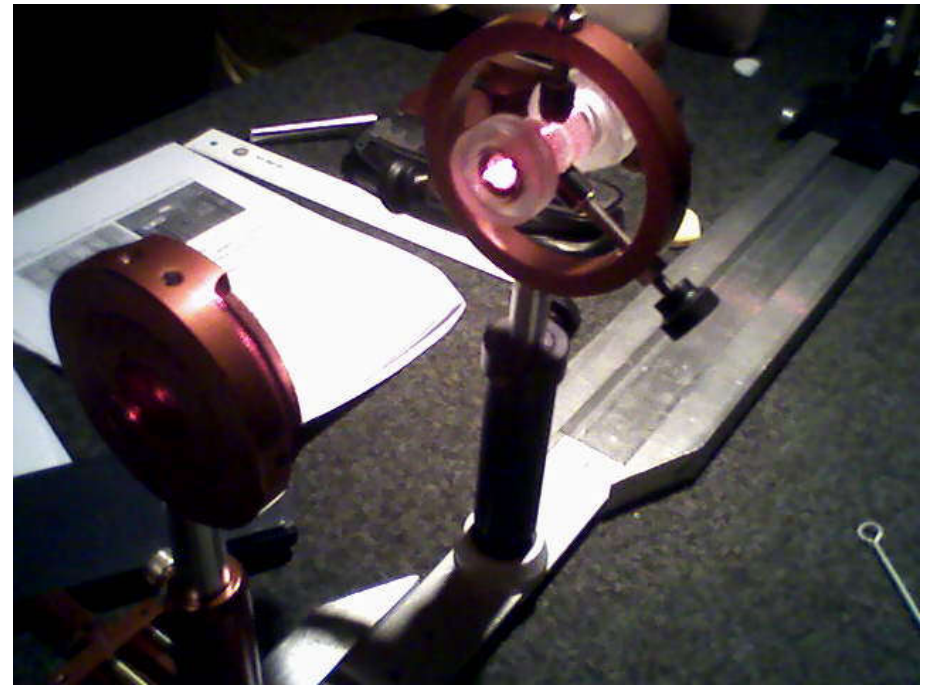
θ : 沿旋光晶体光轴方向传播的单色平面偏振光，其偏振面相对于入射点的振动面之转角。

N : 溶液浓度。

l : 光波在溶液中的传播距离；

$\alpha = \alpha(\lambda, N)$: 溶液的比旋光率。

溶液的浓度的测量: $N = \frac{\theta}{\alpha l}$



6.4.3 旋光现象和旋光效应

旋光色散效应

不同波长下石英的旋光率

波长/nm	794.76	760.4	728.1	670.8	656.2	589.0	546.1
$\alpha / [(^{\circ}) \cdot \text{mm}^{-1}]$	11.589	12.668	13.924	16.535	17.318	21.749	25.538
波长/nm	586.1	430.7	404.7	382.0	344.1	257.1	175.0
$\alpha / [(^{\circ}) \cdot \text{mm}^{-1}]$	32.773	42.604	48.945	55.625	70.587	143.266	453.5

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

问题：白光入射时，透过检偏器将可以看到什么现象？

介质的旋光率与照射光波长有关。在白光照射下，不同颜色光的振动面旋转的角度不同。透过检偏器观察时，由于各种颜色的光不能同时消光，故旋转检偏器时将观察不到消光现象，而会看到色彩的变化。

6.4.4 旋光现象的解释

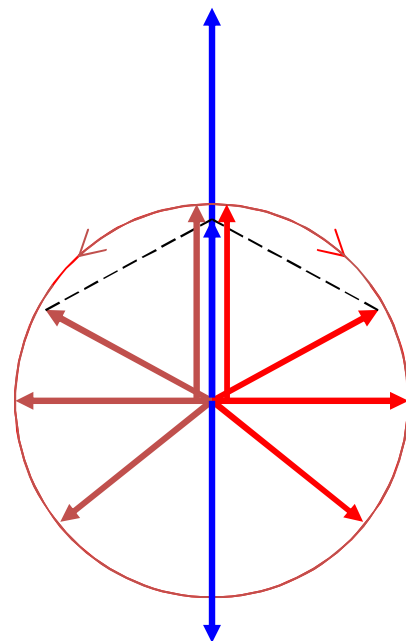
旋光效应的菲涅耳解释

(1) 线偏振光可以分解为两列反方向旋转的圆偏振光：两束同向传播的同频率、同振幅、且初相位相同的左旋和右旋圆偏振光的叠加结果，形成一束振动方向恒定的平面偏振光。平面偏振光在石英晶体中沿光轴方向传播时，分解成左旋和右旋圆偏振光。

(2) 两束光传播速度（或折射率）略有不同，设其分别为 v_L 和 v_R （折射率分别为 n_L 和 n_R ），穿过晶体后两光束将分别产生不同大小的相位延迟：

$$\varphi_L = \frac{2\pi}{\lambda} n_L d, \quad \varphi_R = \frac{2\pi}{\lambda} n_R d$$

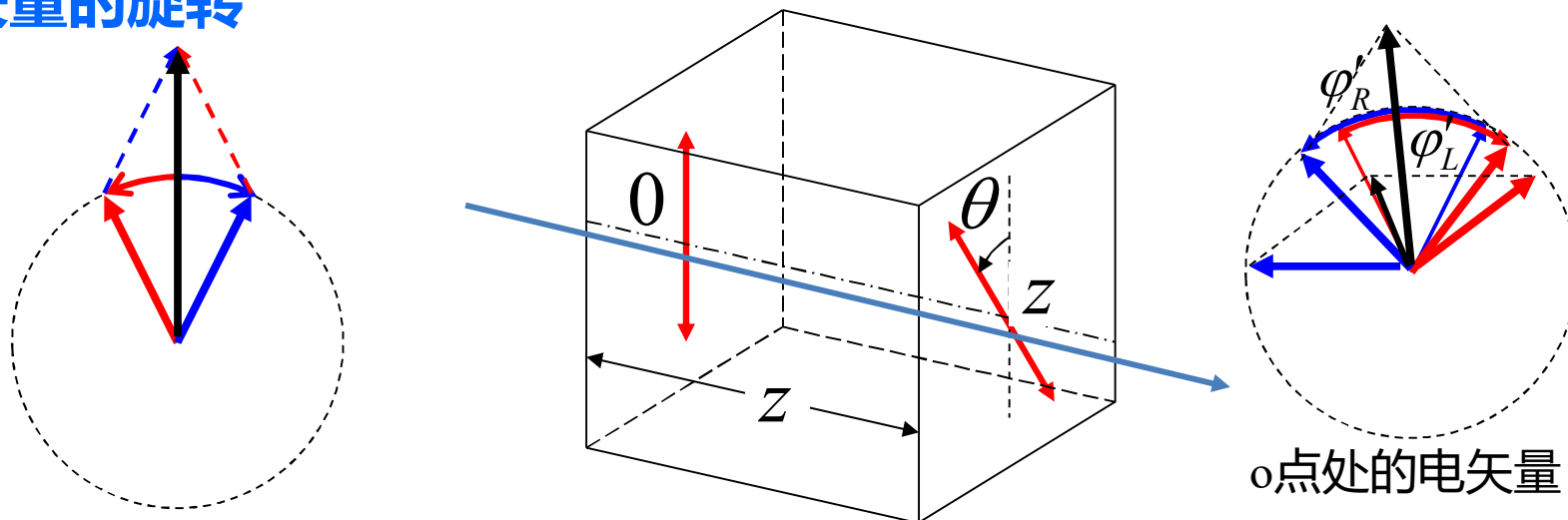
λ ：真空中波长， d ：旋光晶片厚度。 φ_L 、 φ_R ：左旋和右旋圆偏振光的旋转矢量相对于入射时的相移。



6.4.4 旋光现象的解释

旋光效应的菲涅耳解释 (续)

电矢量的旋转



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 (对于本例, 滞后意味着角度倒转)。

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

对于左旋晶体, $v_L > v_R$, $n_L < n_R$; 对于右旋晶体, $v_L < v_R$, $n_L > n_R$ 。

6.4.4 旋光现象的解释

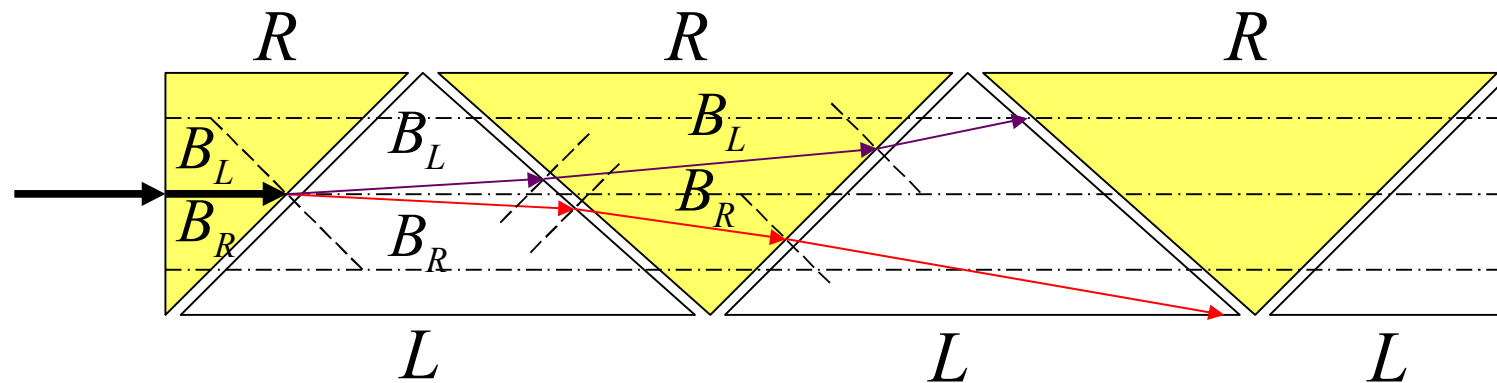
菲涅耳解释的实验验证

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，组成菲涅耳复合棱镜。

左旋晶体中， $n_L < n_R$ ；右旋晶体， $n'_L > n'_R$ 。

对于旋光异构体来说，折射率 $n'_L = n_R$ ， $n'_R = n_L$ 。



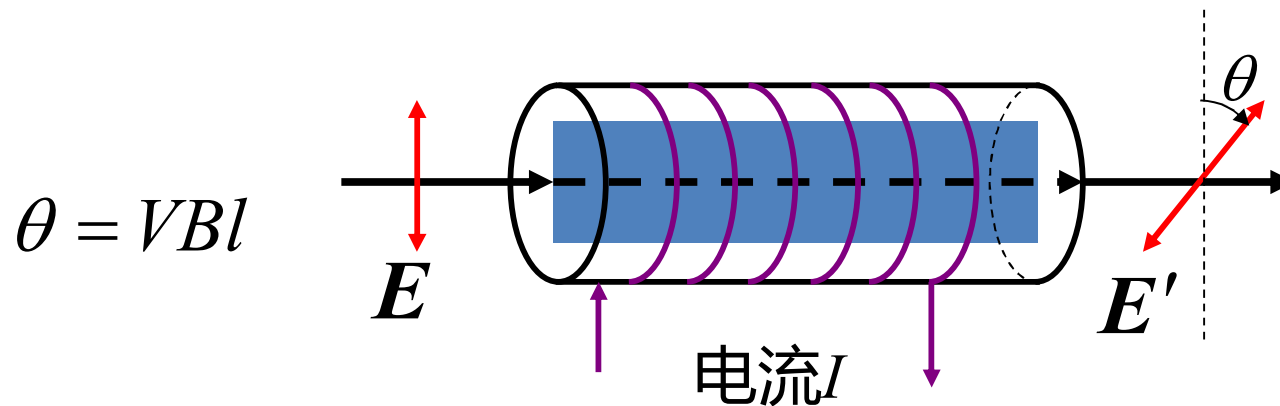
从右旋晶体进入左旋晶体的过程中，右（左）旋光的折射率由小（大）变大（小），折射角小（大）于入射角；

6.4.5 磁致旋光效应的原理

磁致旋光效应的描述

线偏光通过处于磁场中的非旋光介质时，若传播方向沿磁场作用方向，则光波的电矢量振动面旋转，这被称为磁致旋光效应。

典型的磁致旋光效应是法拉第效应（Faraday effect、Faraday rotation）。



θ : 旋转角度; B : 磁感应强度; l : 介质长度。

V : 菲尔德 (Verdet) 常数, 与介质、波长、温度有关。光沿磁场作用方向传播时, 一般规定正值表示左旋。

6.4.5 磁致旋光效应的原理

一些介质的菲尔德常数

介质	温度/°C	波长/nm	$V/(^{\circ}) \cdot T^{-1} \cdot m^{-1}$
锆酸铋 (BGO) 晶体	室温	632.8	1.797×10^3
磁光玻璃SF-57	室温	632.8	1.115×10^3
磁光玻璃SF-6	室温	632.8	1.017×10^3
轻火石玻璃	18	589.3	5.28×10^2
石英晶体 (垂直光轴)	20	589.3	2.77×10^2
食盐	16	589.3	5.98×10^2
水	20	589.3	2.18×10^2
二硫化碳	20	589.3	7.05×10^2

6.4.5 磁致旋光效应的原理

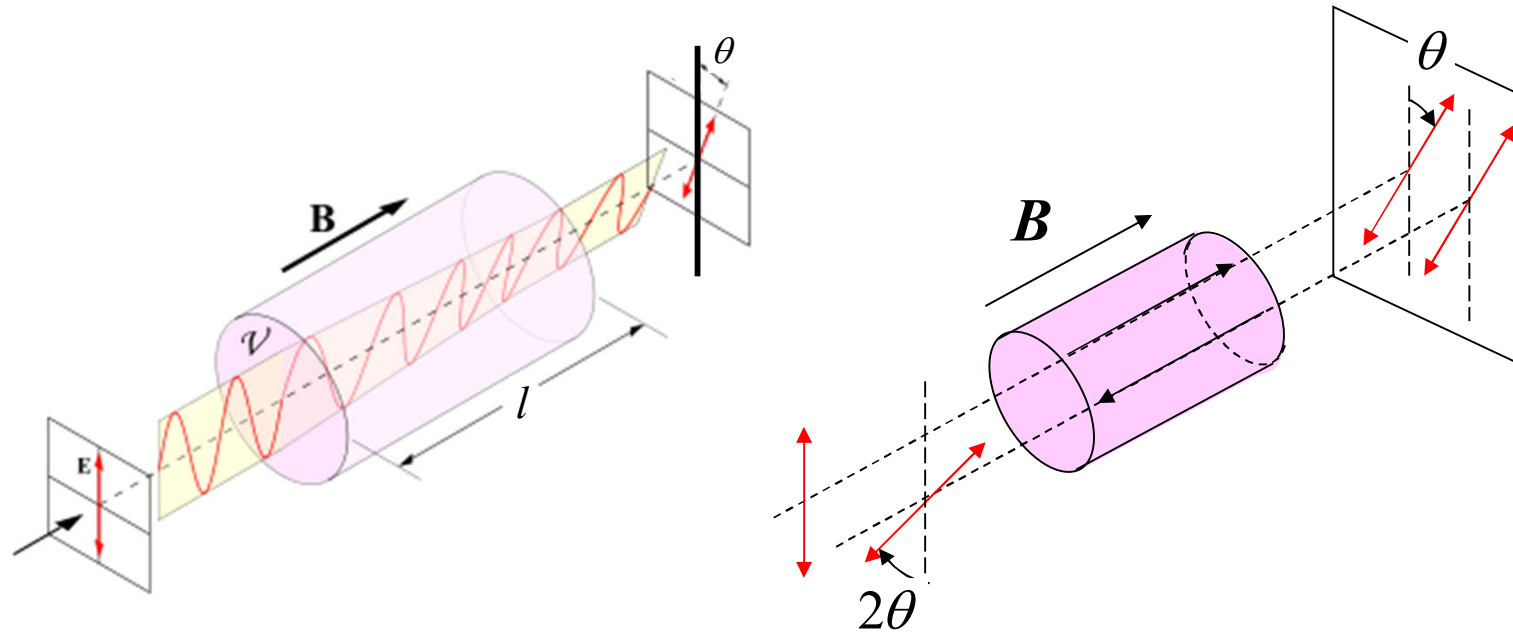
旋光效应的总结

1. 旋光效应导致一束平面偏振光被分解为两束圆偏振光，因而也是一种双折射效应——圆双折射效应。
2. 旋光性源于物质中原子排列的螺旋结构。旋光性的严格解释需考虑物质的微观结构。菲涅耳关于旋光现象的解释仅仅是一种惟象描述，并未涉及其微观机制，它不能回答为何在旋光介质中两圆偏振光的速度不同。
3. 自然旋光介质具有互易性（服从可逆性原理），入射平面偏振光的偏振面旋转方向与光的传播方向无关。迎着光看，左旋介质总使光的偏振面逆时针旋转，右旋介质总使光的偏振面总是顺时针旋转。
4. 磁光介质具有非互易性（不服从可逆性原理），入射平面偏振光的偏振面旋转方向与磁场的正方向有关。迎着光看，当光波沿磁场的正方向传播时，偏振面顺时针旋转；当光波沿磁场的负方向传播时，偏振面逆时针旋转。因此，当透射光波由于反射而再次反向穿过磁光介质时，其偏振面将相对于初始方向旋转 2θ 角。

6.4.5 磁致旋光效应的原理

磁致旋光效应的旋转方向与光的传播方向有关

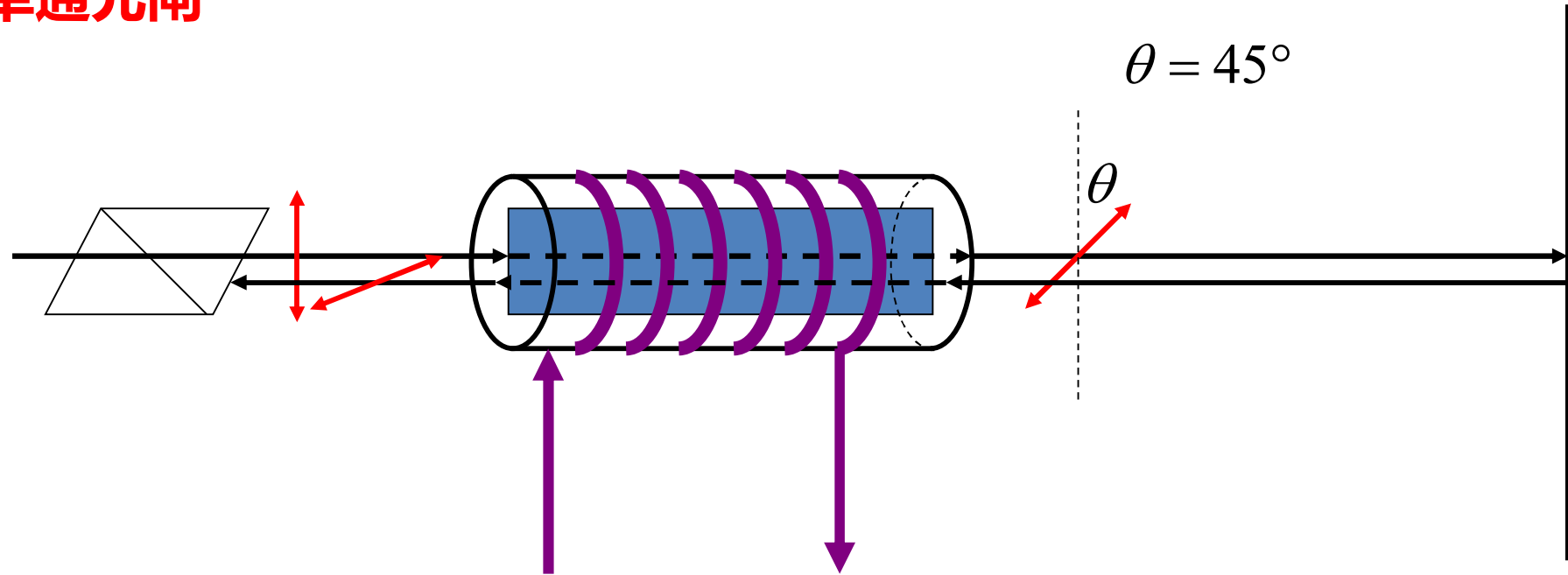
- 如果光**沿着磁场方向**传播电矢量**左旋**，则**逆着磁场传播**电矢量**右旋**。
- 光经过介质左旋 θ ，被反射回来再经过介质，右旋 θ ，共转过 2θ 。



对于不同介质，振动面旋转反向不同，习惯上规定：振动面旋转绕向与磁场方向满足右（左）手螺旋关系的称为右（左）旋介质， $V_d > 0$ （ $V_d < 0$ ）。

6.4.6 磁致旋光效应的应用

单通光闸

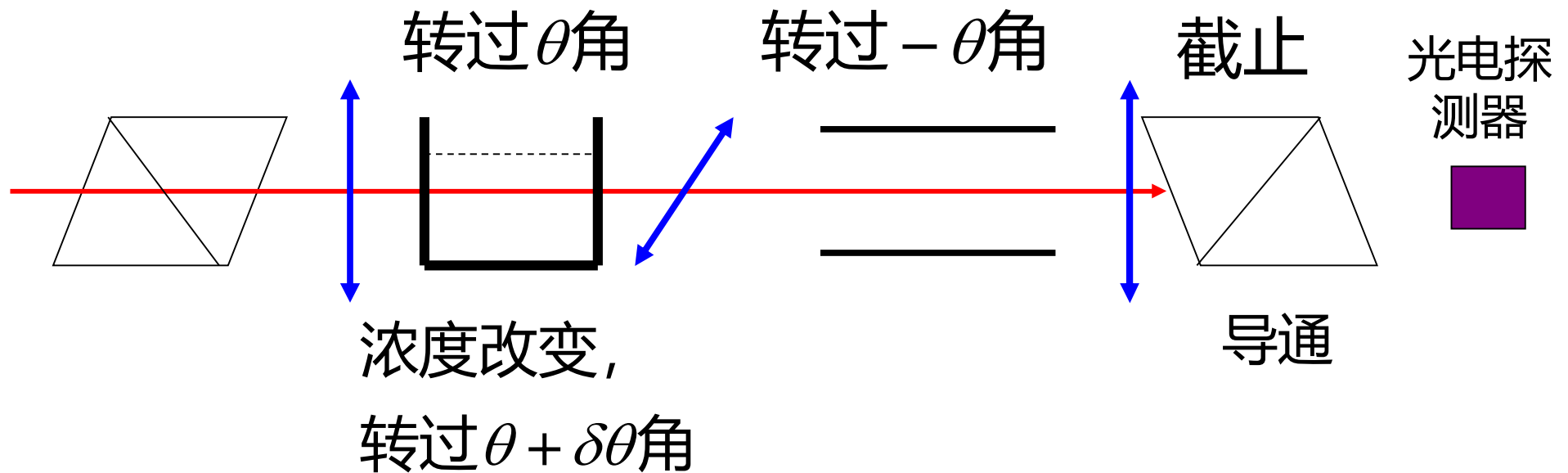


旋转方向与磁场方向有关

在激光打靶核聚变实验装置中，有多级光放大单元，用以获得高功率密度的定向强光束，其每个单元均为一个能产生光放大的晶体棒，如钇钕石榴石晶体（YAG）。利用磁光效应隔离器而已避免前后级之间因端面反射引起的光束反馈震荡自激。

6.4.6 磁致旋光效应的应用

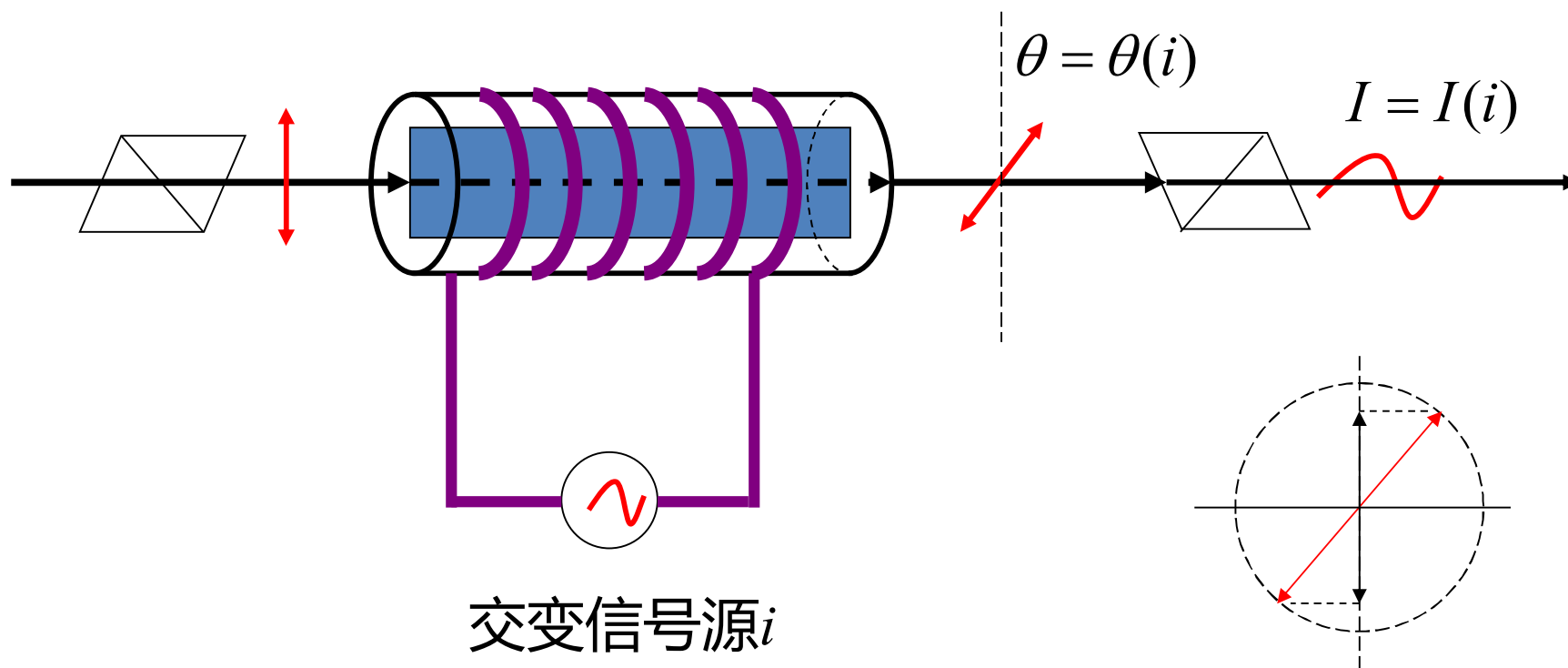
自动控制溶液浓度—量糖术



6.4.6 磁致旋光效应的应用

光通信—调制技术

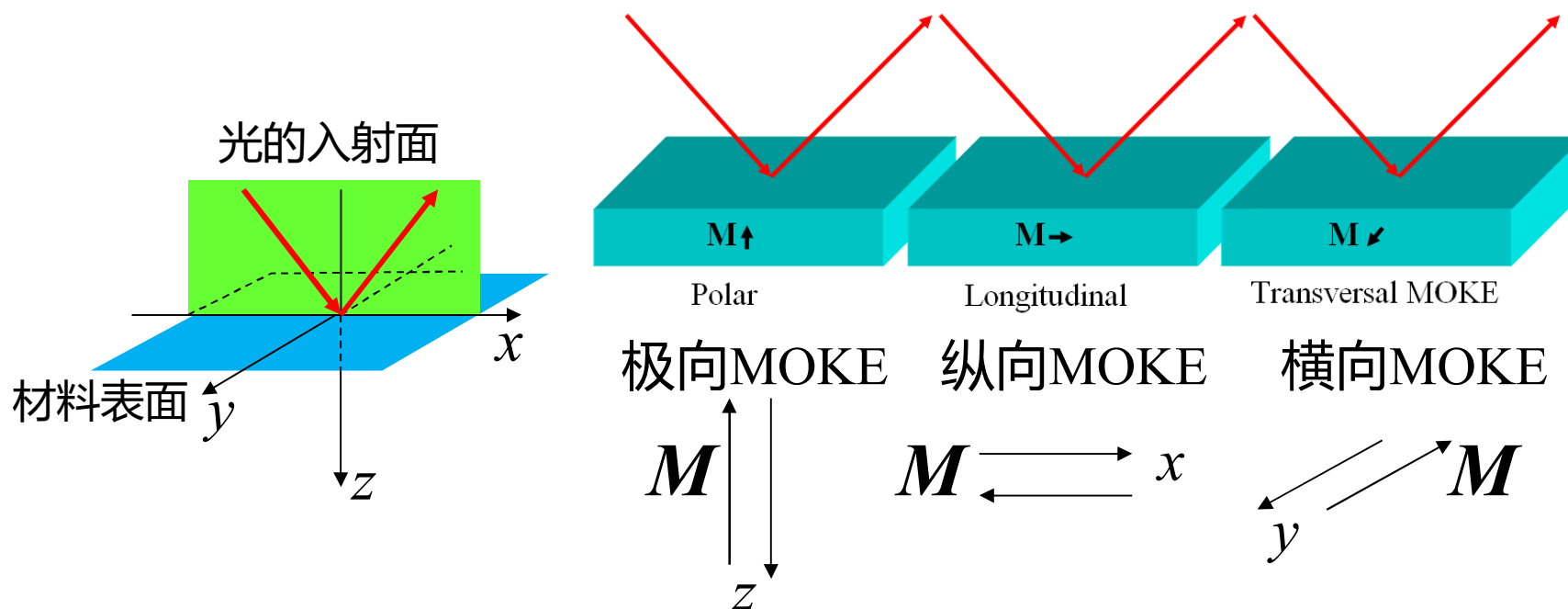
使激光电矢量振动面偏转，再通过偏振片对光强进行调制。



6.4.6 磁致旋光效应的应用

磁光克尔 (Kerr) 效应—Magneto-optic Kerr effect (MOKE)

- 被磁性介质反射的光，其偏振态会发生变化
- 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：极向和纵向克尔磁光效应的磁致旋光都正比于磁化强度，一般极向的效应最强，纵向次之，横向则无明显的磁致旋光。

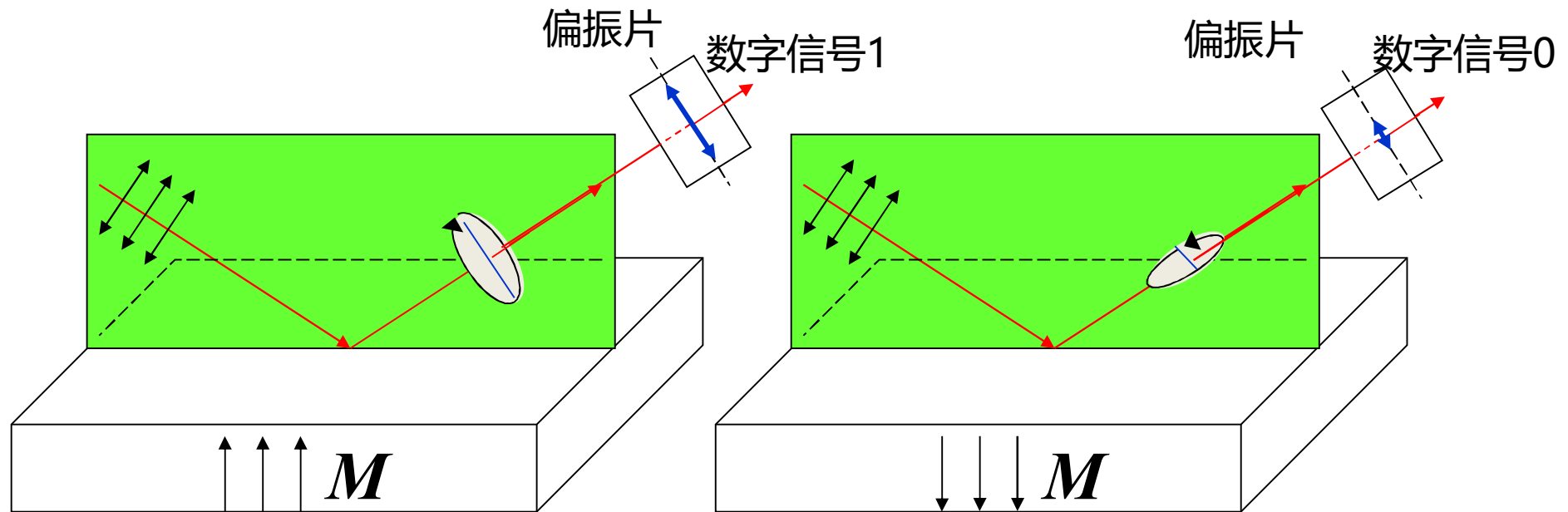


6.4.6 磁致旋光效应的应用

磁光克尔 (Kerr) 效应 (续)

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，介质磁化方向改变会引起光的偏振态改变，让反射光通过偏振片透射光强亦会相应改变。

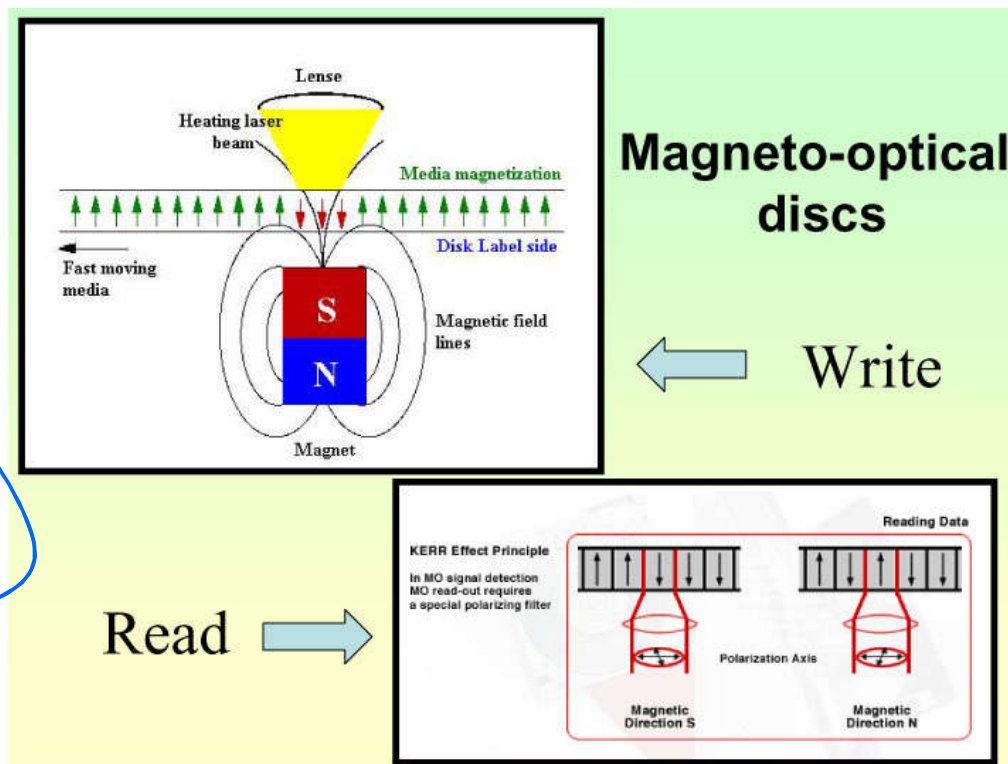
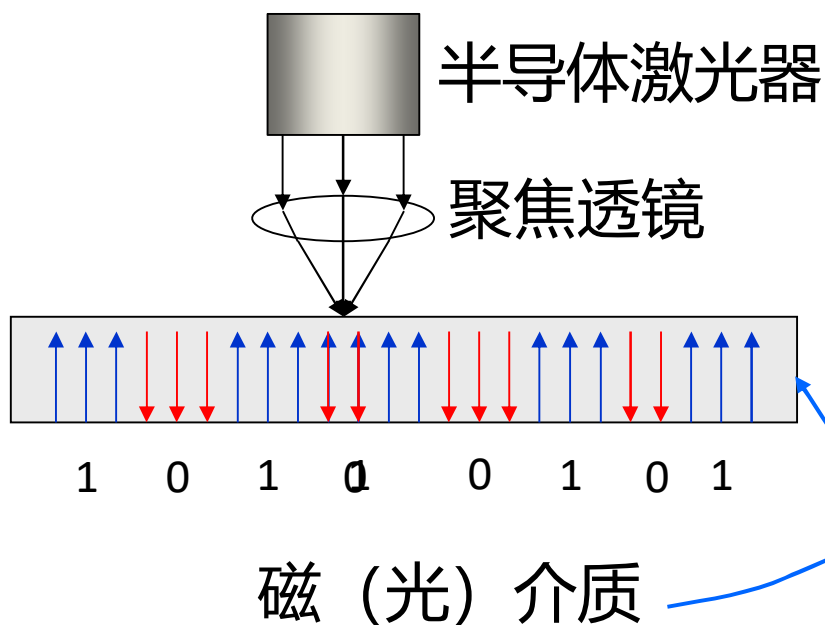


6.4.6 磁致旋光效应的应用

磁光 (MO) 存储和记录技术

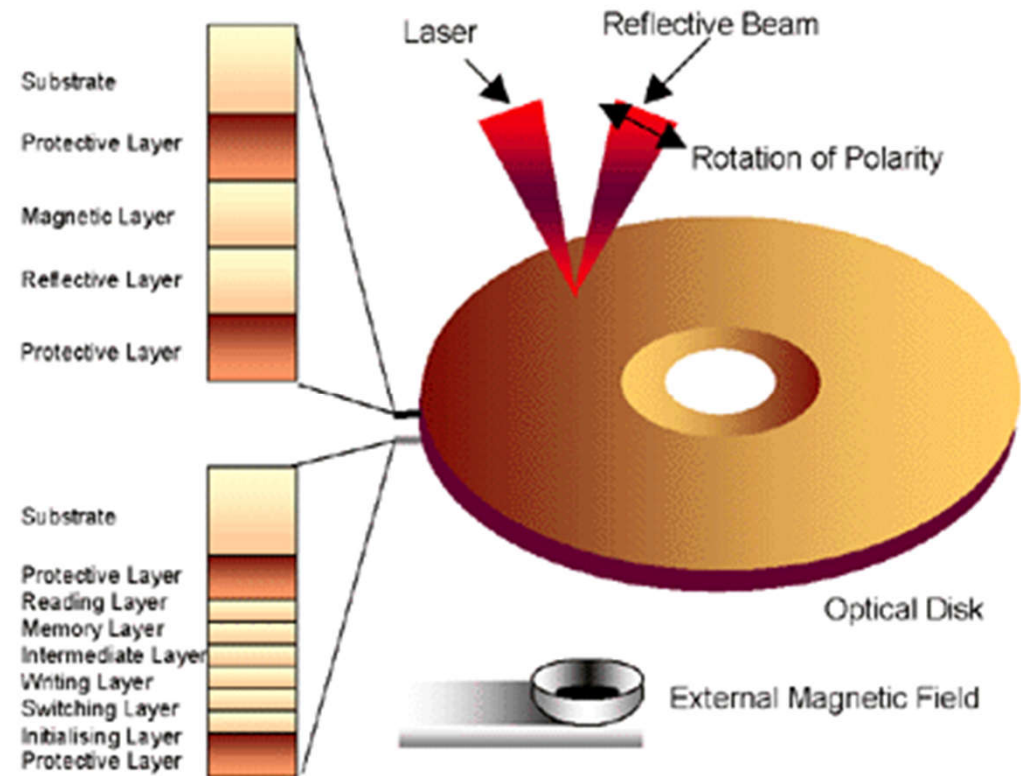
入射光对磁场进行极化

- 光是电磁场，光强足够大时，可以改变介质的磁化方向。
- 由于激光束可以细聚焦，且强度较大，可用作磁光记录。



6.4.6 磁致旋光效应的应用

磁光存储和记录技术 (续)



Sony公司的MD播放器—存储介质为微型磁光盘，历经20年后，于2013年3月正式停产。索尼MD机在2000年前后成为了世界主流的便携式音乐播放器，之后随着美国苹果公司推出iPod音乐播放器，MD人气度逐渐下降，截止目前，索尼MD在全球累计销量已经突破2700万部。

本节重点

1. 电光效应的基本原理（理解）。
2. 一阶电光效应和二阶电光效应（了解）。
3. 旋光效应及其菲涅耳解释（理解）。
4. 磁致旋光效应的原理及应用（理解）。

作业

P226-1, 2, 6 (重排p424)

思考题：石英晶体在短波和紫外波段比玻璃具有更好的透过率和色散性能，因此常用于作为紫外波段光谱仪的分光元件，但由于石英具有旋光特性，因此即使单色光入射，也会对其左旋和右旋分量产生旋光效应，使光线发生分离。虽然分离的角度很小，但是在光谱仪等高精度应用中也是不允许的。

请设计一种石英材料的棱镜结构，使其对同时包含左旋和右旋分量的单色入射光不再产生分光效应，并试进行分析。