

§ 15—9 磁光、电光和声光效应

一、旋光和旋光效应

- 1、固有旋光现象
- 2、旋光现象的物理解释
- 3、旋光现象的应用
- 4、磁致旋光效应
- 5、磁光效应的应用

二、电光效应

- 1、泡克耳斯效应（一级电光效应）
- 2、克尔效应（二级电光效应）
- 3、电光效应的应用

三、声光效应

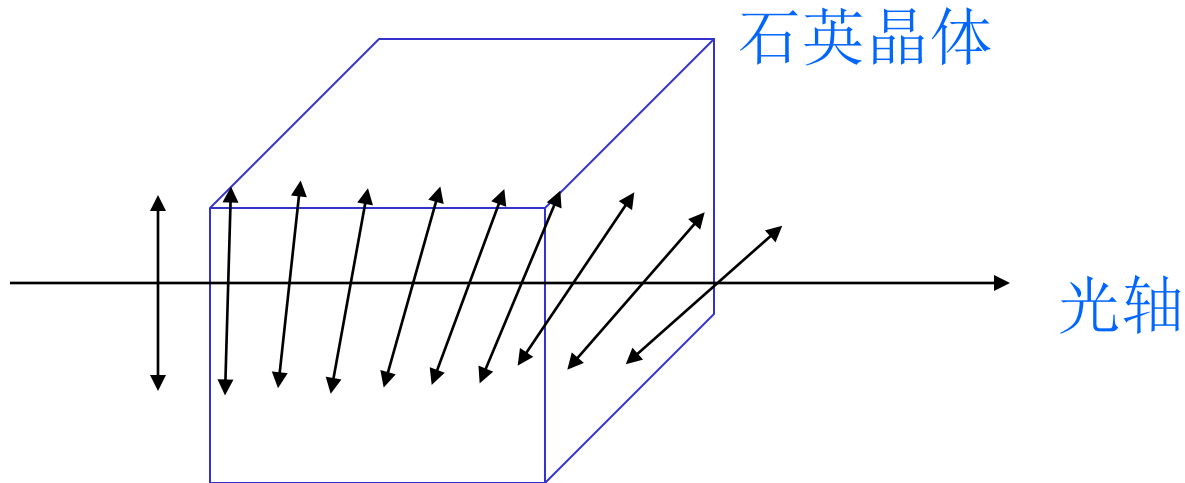
- 1、布拉格声光衍射
- 2、喇曼--奈斯声光衍射
- 3、声光效应的应用

§ 15—9 磁光、电光和声光效应

一、旋光和旋光效应

1、固有旋光现象 （1811年阿喇果）

旋光：当一束线偏振光通过某种物质时，光矢量的方向会随着传播距离而逐渐转动。



旋光物质： 双折射晶体（如石英，酒石酸等）
各向同性晶体（砂糖晶体，氯化钠晶体等）
液体（砂糖溶液，松节油等）

旋光现象的规律： $\theta = \alpha l$

旋光系数

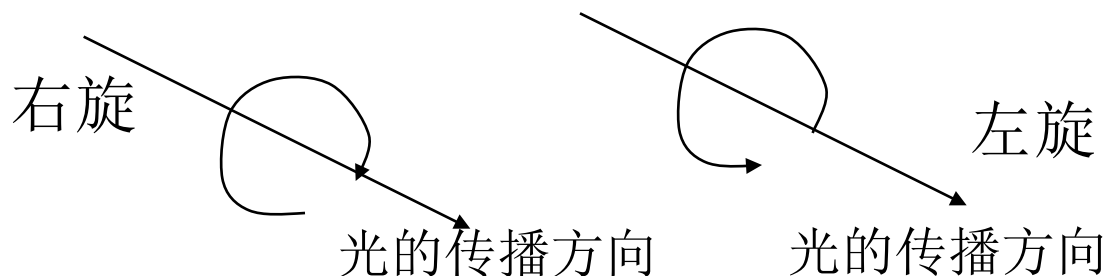
旋光色散：不同波长的光波在同一旋光物质中其光矢量旋转的角度不同。

旋光的液体：转角 θ 还与溶液的浓度成正比。

$\theta = \alpha c l$ ，式中， α 称为溶液的比旋光率； c 为溶液浓度。

旋光方向： 左旋、右旋之分。

方向的规定：



旋光性物质的旋光度的大小决定于该物质的分子结构，并与测定时溶液的浓度、盛液的长度、测定温度、所用光源波长等因素有关。

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{C \times l}$$

α —— 比旋光度，可从旋光仪中读到

C —— 旋光性物质的浓度（g/ml），若为纯液体，则为其密度

l —— 盛液管的长度（dm）

T —— 测定时溶液的温度

λ —— 光源的波长，通常用钠光为光源. 在表示测定的结果时，还需要注明所使用的溶剂。

我们可通过测定物质的旋光度来计算溶液的浓度；也可用已知浓度的化合物溶液通过测定其旋光度，计算其比旋光度，作为物质定性鉴定的依据。

2、旋光现象的物理解释（1825年菲涅尔）

1) 将入射线偏光看成是左旋、右旋圆偏光的合成

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix}$$

2) 左旋、右旋圆偏光在物质内部的折射率不同，因而从物质中出射时获得的位相差不同

$$E_L = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} e^{i \frac{2\pi}{\lambda} n_L d} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} e^{ik_L d}$$

$$E_R = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} e^{i \frac{2\pi}{\lambda} n_R d} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} e^{ik_R d}$$

3) 合成复振幅

$$\begin{aligned} E &= E_L + E_R = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} e^{ik_L d} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} e^{ik_R d} \\ &= \frac{1}{2} e^{i(k_L + k_R)d/2} \left\{ \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} e^{-i(k_R - k_L)d/2} + \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} e^{i(k_R - k_L)d/2} \right\} \end{aligned}$$

引入:

$$\psi = \frac{1}{2}(k_R + k_L)d$$

$$\theta = \frac{1}{2}(k_R - k_L)d$$

$$E = e^{i\psi} \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(e^{i\theta} + e^{-i\theta}) \\ \frac{1}{2i}(e^{i\theta} - e^{-i\theta}) \end{bmatrix} = e^{i\psi} \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}$$

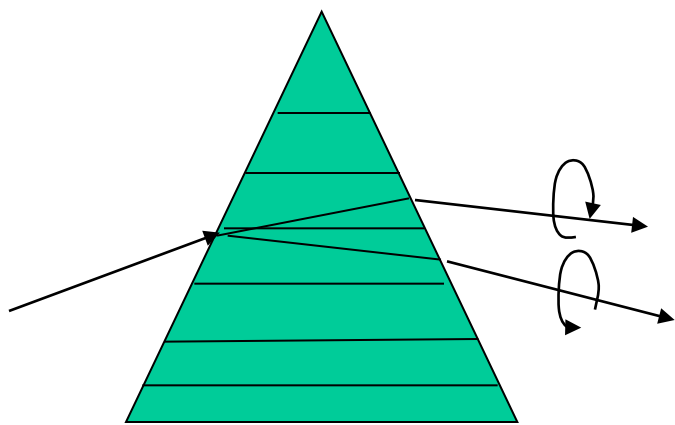
$$\theta = \frac{1}{2}(k_R - k_L)d = \frac{\pi}{\lambda}(n_R - n_L)d$$

4) 讨论:

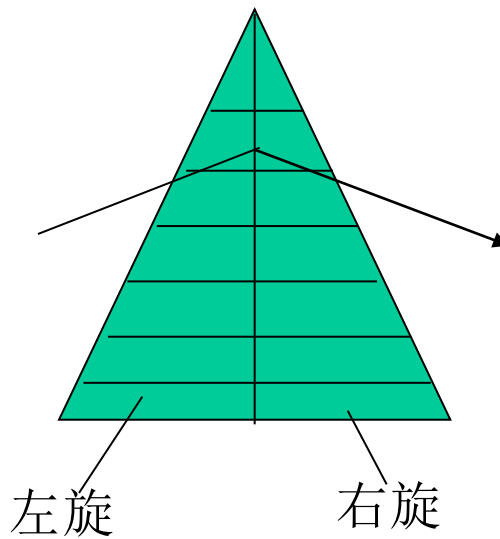
若左旋圆偏振光传播速度快, $n_L < n_R$, $v_L > v_R$, $\theta > 0$,
光矢量向逆时针方向转动;

若右旋圆偏振光传播速度快, $n_L > n_R$, $v_L < v_R$, $\theta < 0$,
光矢量向顺时针方向转动。

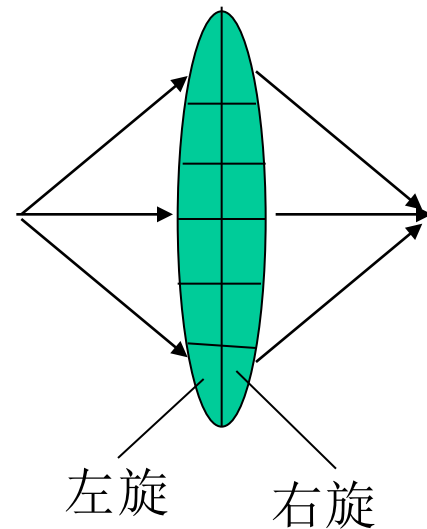
3、旋光现象的应用： 旋光光学元件



a)石英棱镜



b)科纽棱镜



c)石英透镜



旋光仪广泛用于医药、食品、有机化工等各个领域，如：

农业：农用抗菌素、家用激素、微生物农药及农产品淀粉含量等成份分析。

医药：抗菌素、维生素、葡萄糖等药物分析，中草药药理研究。

食品：食糖、味精、酱油等生产过程的控制及成品检查，食品含糖量的测定。

石油：矿物油分析、石油发酵工艺的监视。

香料：香精油分析。

医卫：医院临床糖尿病分析。

石英晶体性质：

沿光轴方向只表现旋光性而无双折射性
垂直光轴方向只表现双折射性而无旋光性

旋光晶片与半波片的区别：

旋光晶片

半波片

晶片的取向：

光轴垂直于晶面

光轴平行于晶面

对应波长：

对任何波长出射光
为线偏振光，只是
转角不同

只对特定波长出射光
为线偏振光

振动方向：

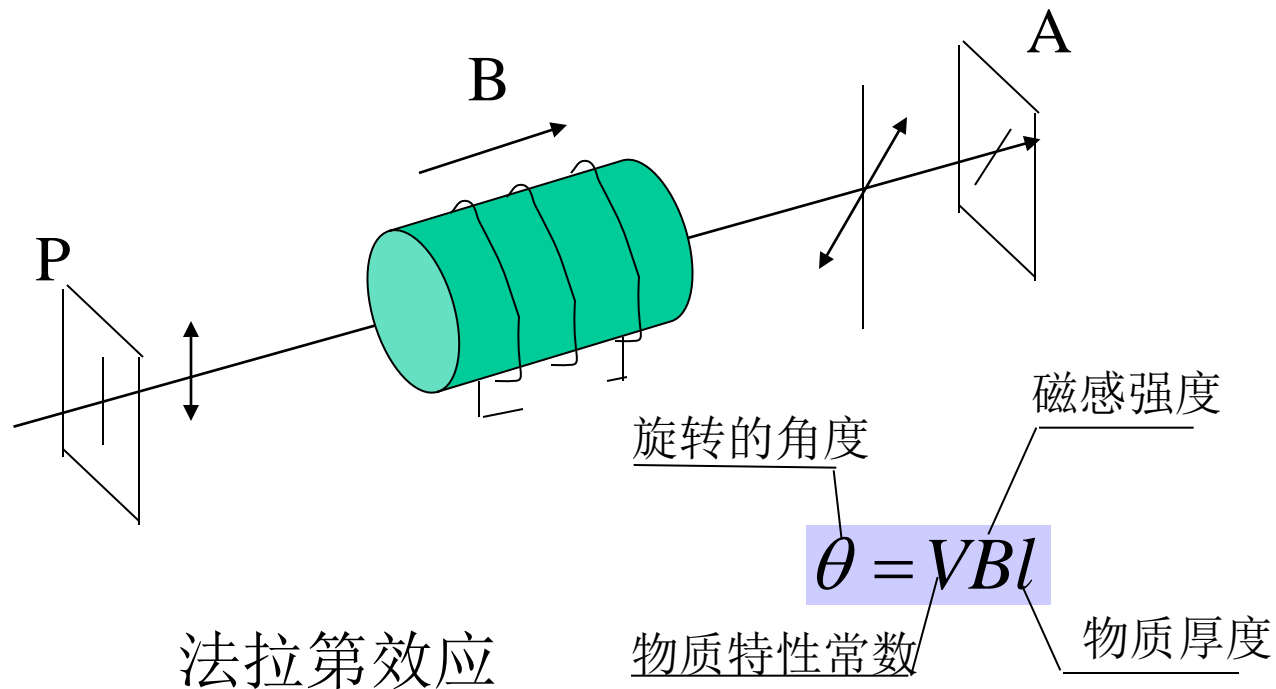
对于确定旋向的晶片，旋转角度与光的振动面
光的振动面只向一个
方向转动一定的角度

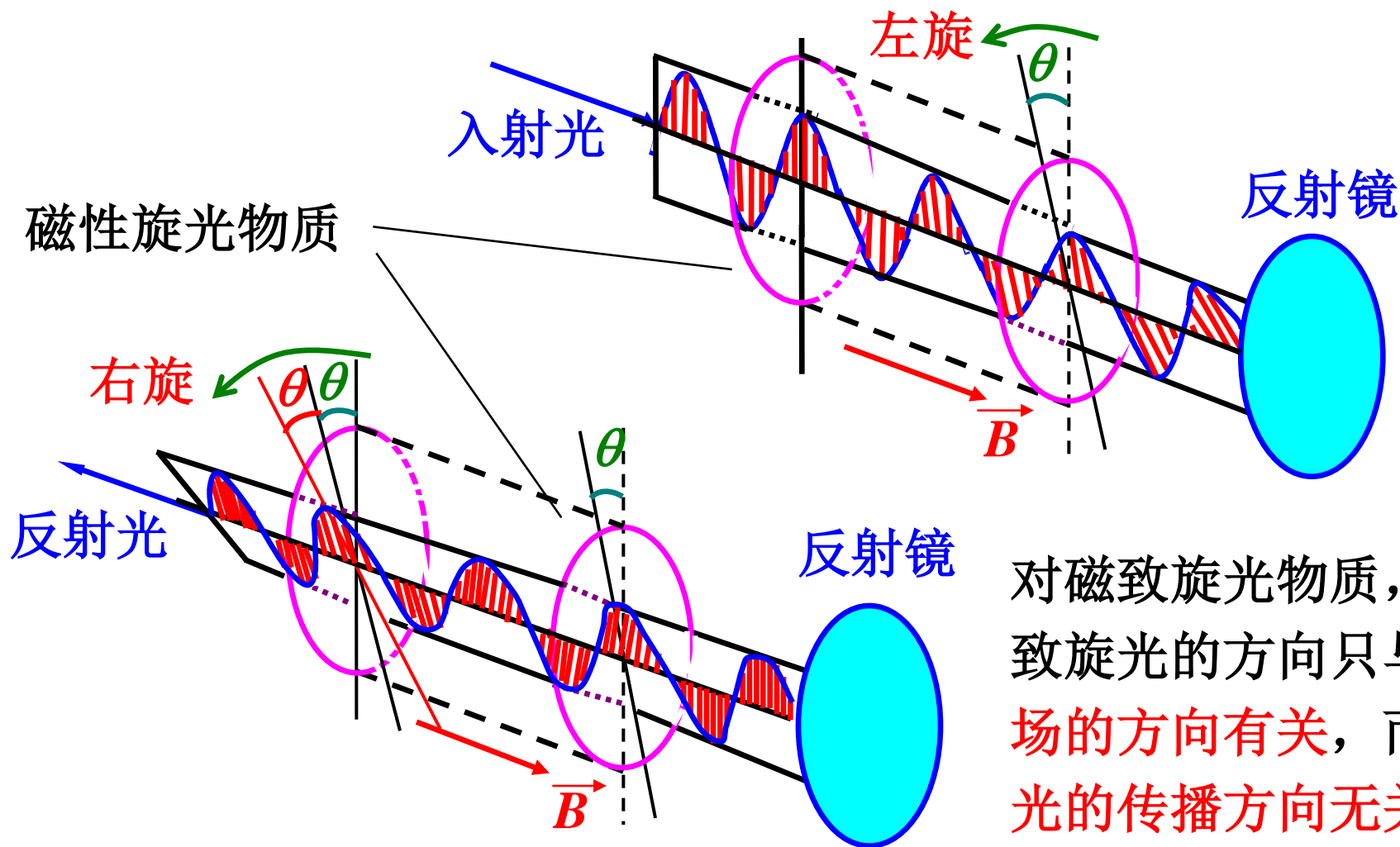
旋转角度与光的振动面
和波片快，慢轴的夹角
有关，可左转也可右转

4、磁致旋光效应：

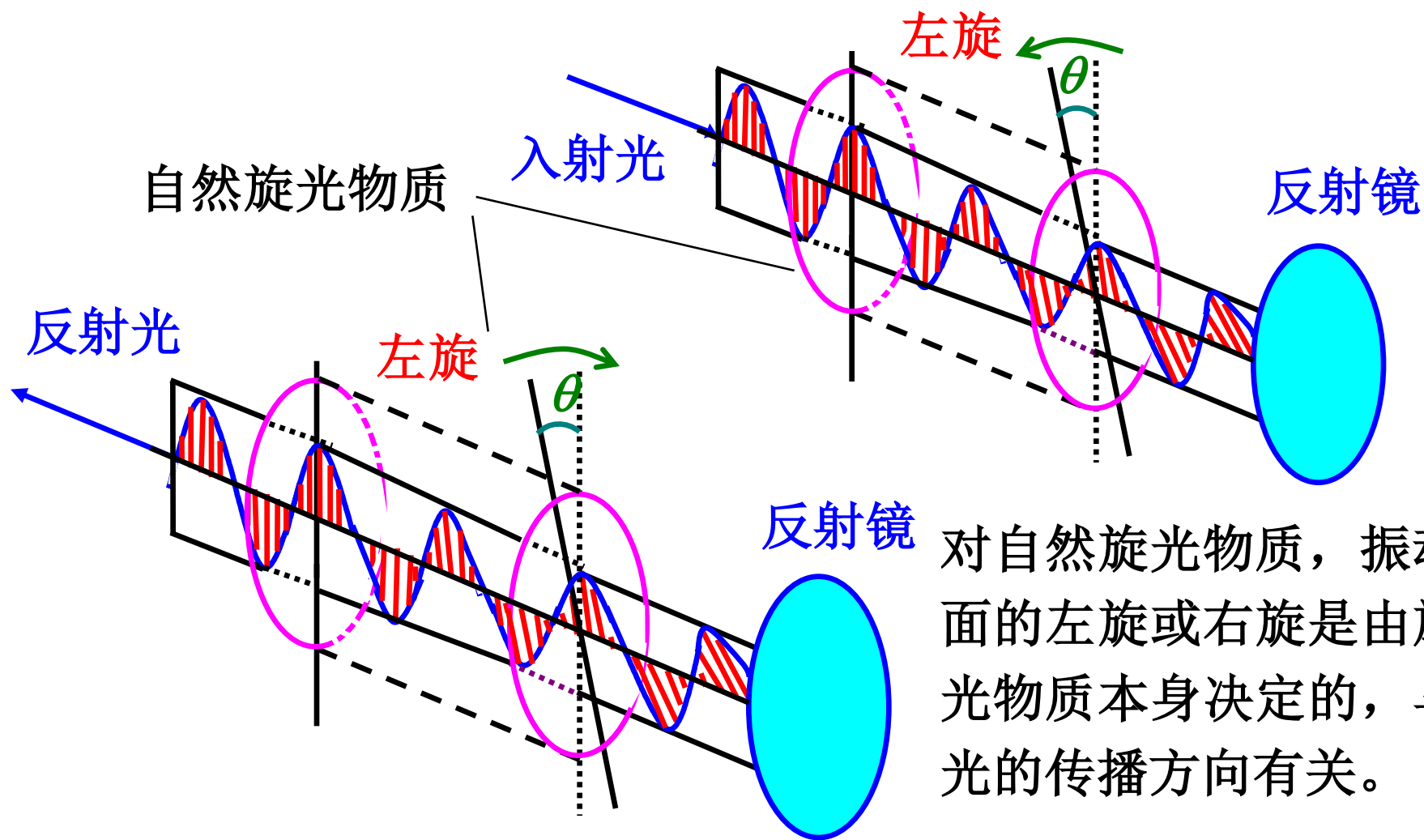
磁光效应：在强磁场的作用下，物质的光学性质发生变化。

磁致旋光效应（1864年 法拉第效应）：在强磁场的作用下，本来不具有旋光效应的物质产生了旋光性质。





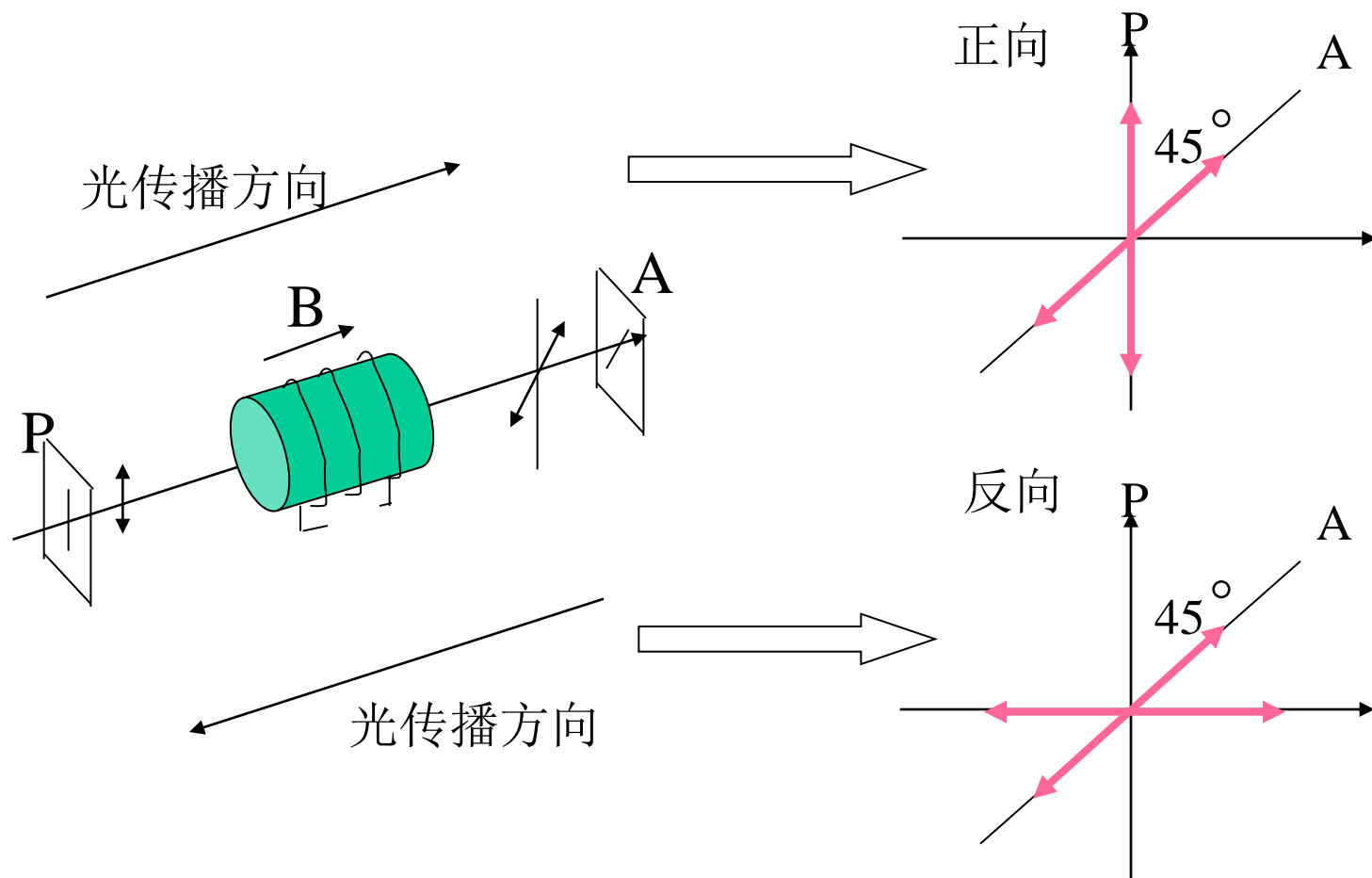
对磁致旋光物质，磁致旋光的方向只与磁场的方向有关，而与光的传播方向无关，光束往返通过磁致旋光物质时，旋转角度往同一方向累加。



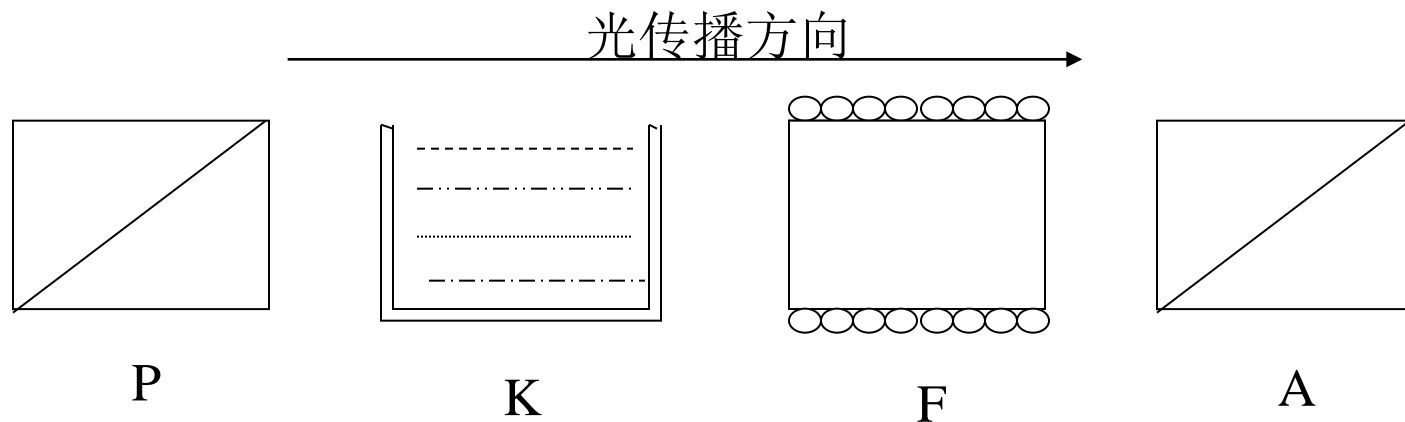
对自然旋光物质，振动面的左旋或右旋是由旋光物质本身决定的，与光的传播方向有关。

5、磁光效应的应用：

(1) 单通光闸 利用旋光方向和光的传播方向无关的特性

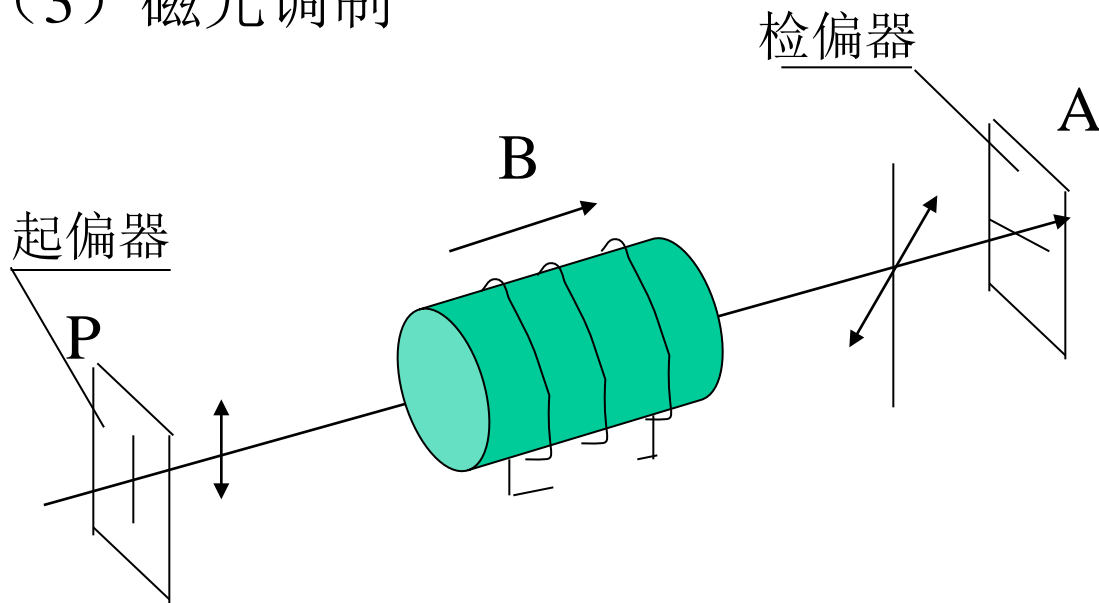


(2) 自动测量 量糖计 (用来测液体浓度)



1. P、A正交，消光
2. 放入K 线偏振光通过糖溶液后光矢量发生转动，不再消光
3. 放入F，控制F上加的电流，光矢量向相反方向转过相等角度，再次达到消光
4. 测出所加电流大小可求得光在糖溶液中得转角，实现糖溶液浓度的自动测量

(3) 磁光调制

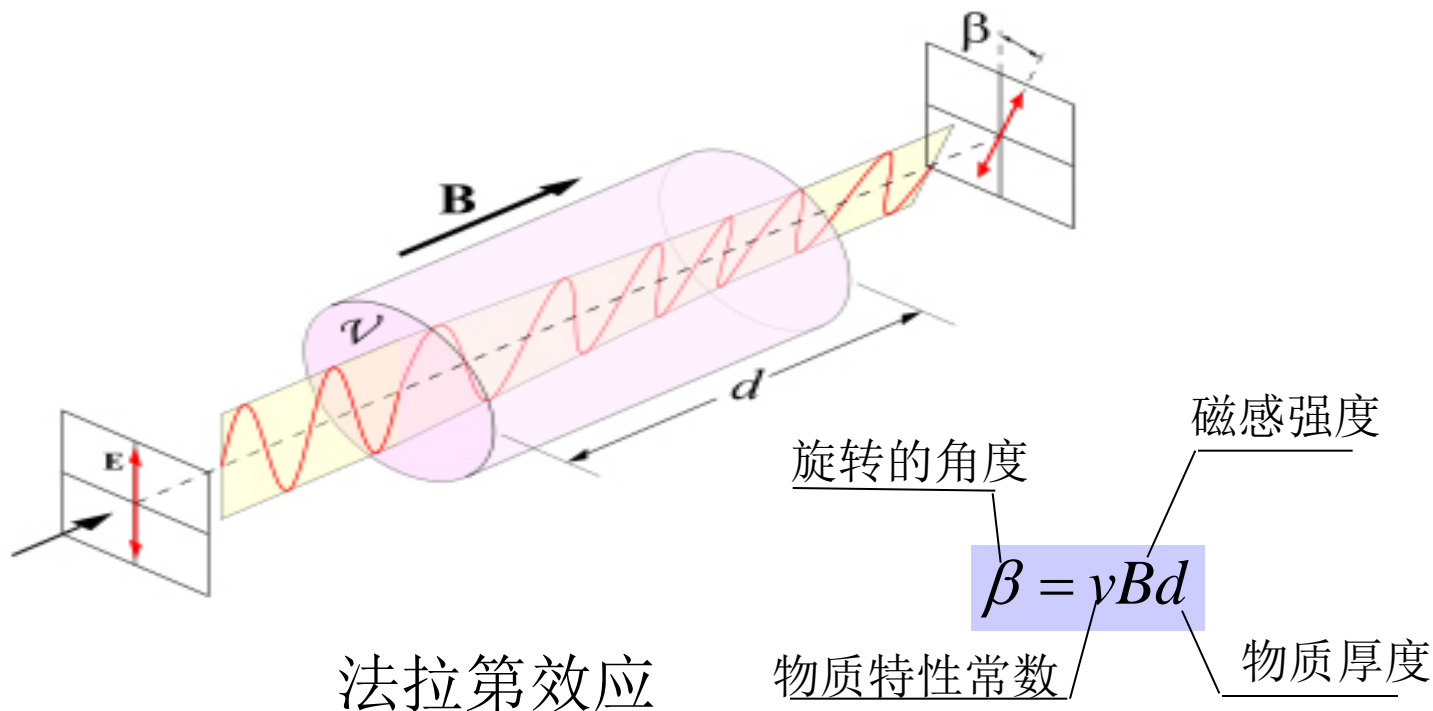


在上述装置中，让P,A的相对位置固定，按预定的方式改变螺线管中的电流，就可以改变入射到A上的光矢量的方位，因而使出射的光强按照马吕斯定律发生相应的变化。

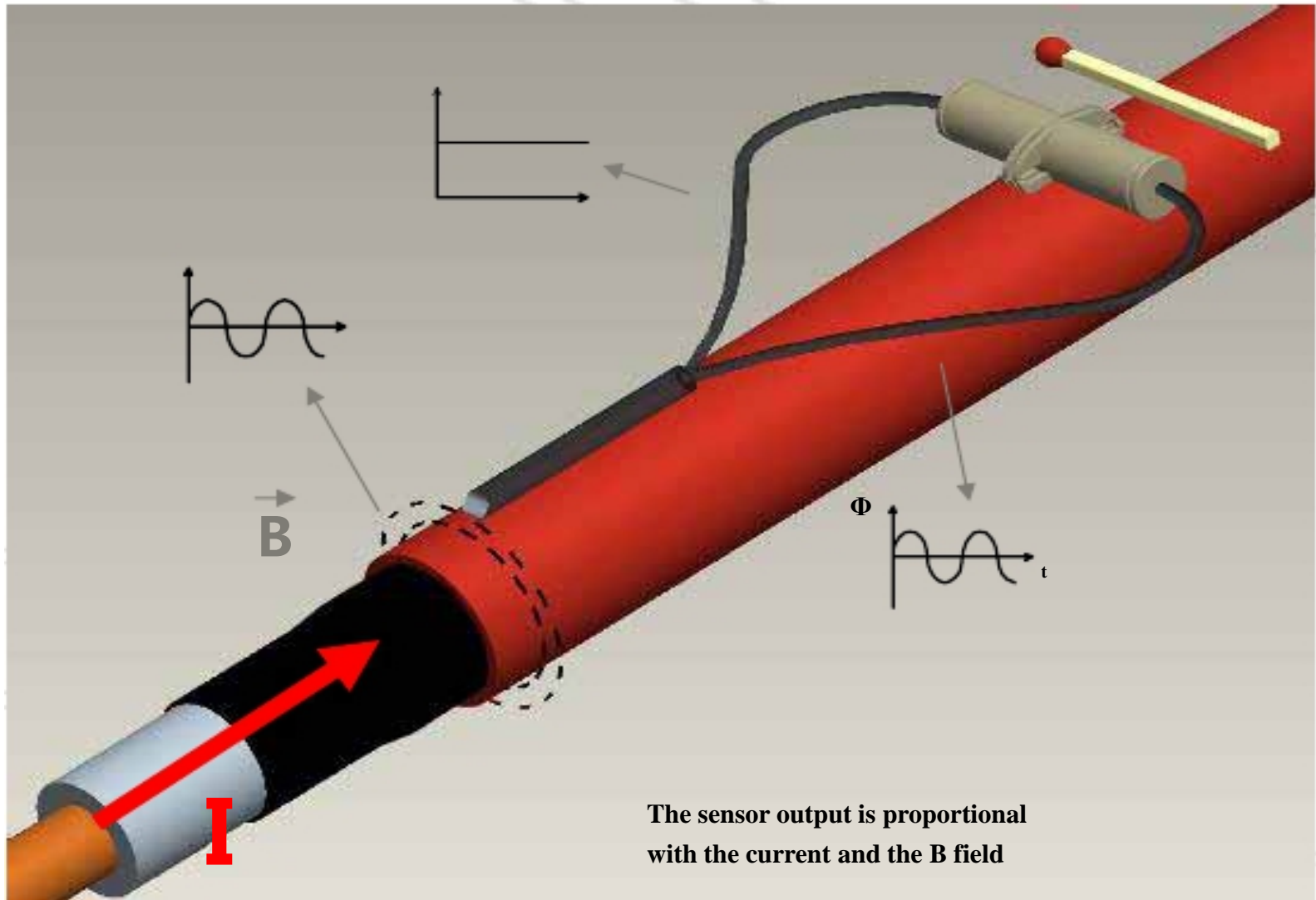
- 1) 光纤安培计
- 2) 磁光空间光调制器

光学电流传感器

利用磁致旋光效应（1864年 法拉第效应）：电流产生磁场，在磁场的作用下，与磁场方向相同的光的偏振方向发生改变。由检测出的通过玻璃棒的偏振方向的大小即可计算得到被测导电导体所传输电流的大小。



光学电流传感器



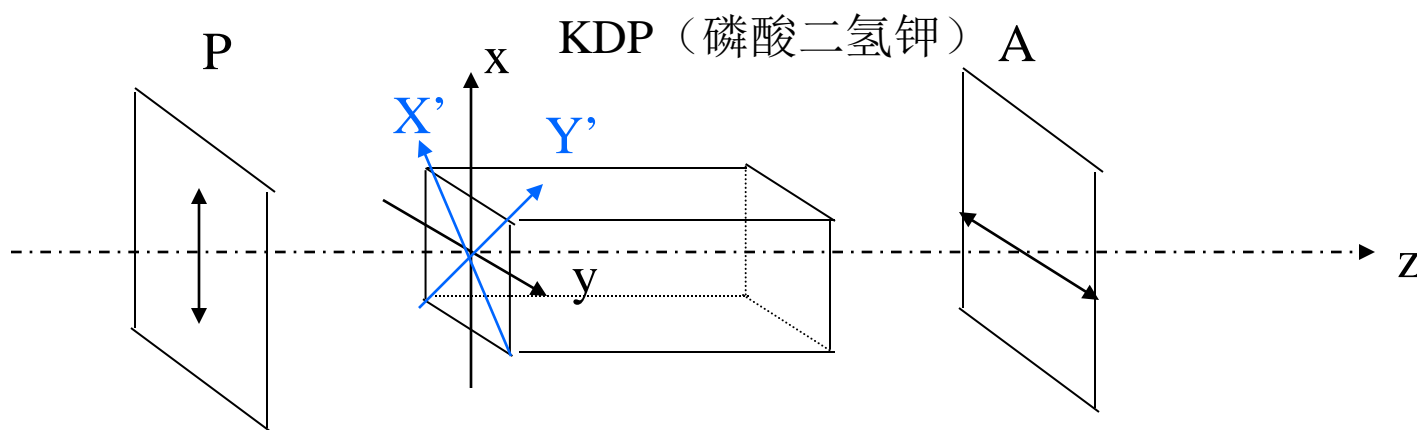
光学电流传感器现场安装照片



二、电光效应

在外界强电场的作用下，某些本来是各向同性的介质会产生双折射现象，而本来具有双折射现象的晶体，其双折射性质也会发生变化。

1、泡克耳斯效应（一级电光效应）



实验装置一：纵向电光效应

z方向电场的加入，KDP晶体由单轴晶体变成双轴晶体
三个方向的主折射率为：

$$n_{x'} = n_o - \frac{1}{2}n_o^3\gamma E_z \quad n_{y'} = n_o + \frac{1}{2}n_o^3\gamma E_z \quad n_z = n_e$$

引入位相差：
$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_{y'} - n_{x'})l = \frac{2\pi}{\lambda}n_o^3\gamma E_z l = \frac{2\pi}{\lambda}n_o^3\gamma U$$

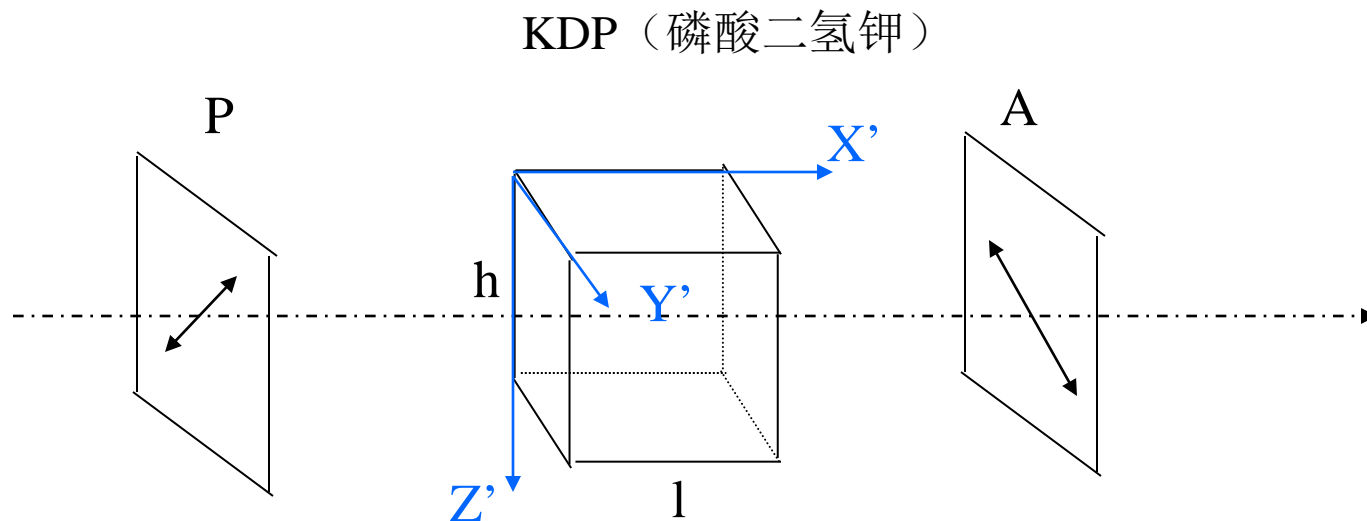
— γ KDP晶体的电光系数 λ 真空中的波长

l 光在晶体中通过的长度 U 外加电压

出射光强：
$$I = I_0 \sin^2 \frac{\delta}{2} = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma U \right)$$

结论： 电场引起的相位差与晶体的长度无关，仅由外加电压U和晶体的性质决定

— **半波电压：** 使相位差达到 π 所施加的电压



实验装置二：横向电光效应（垂直光的传播方向）

引入位相差：
$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (n_{y'} - n_e) l = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| l + \frac{\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma E_z l$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| l + \frac{\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma \left(\frac{l}{h} \right) U$$

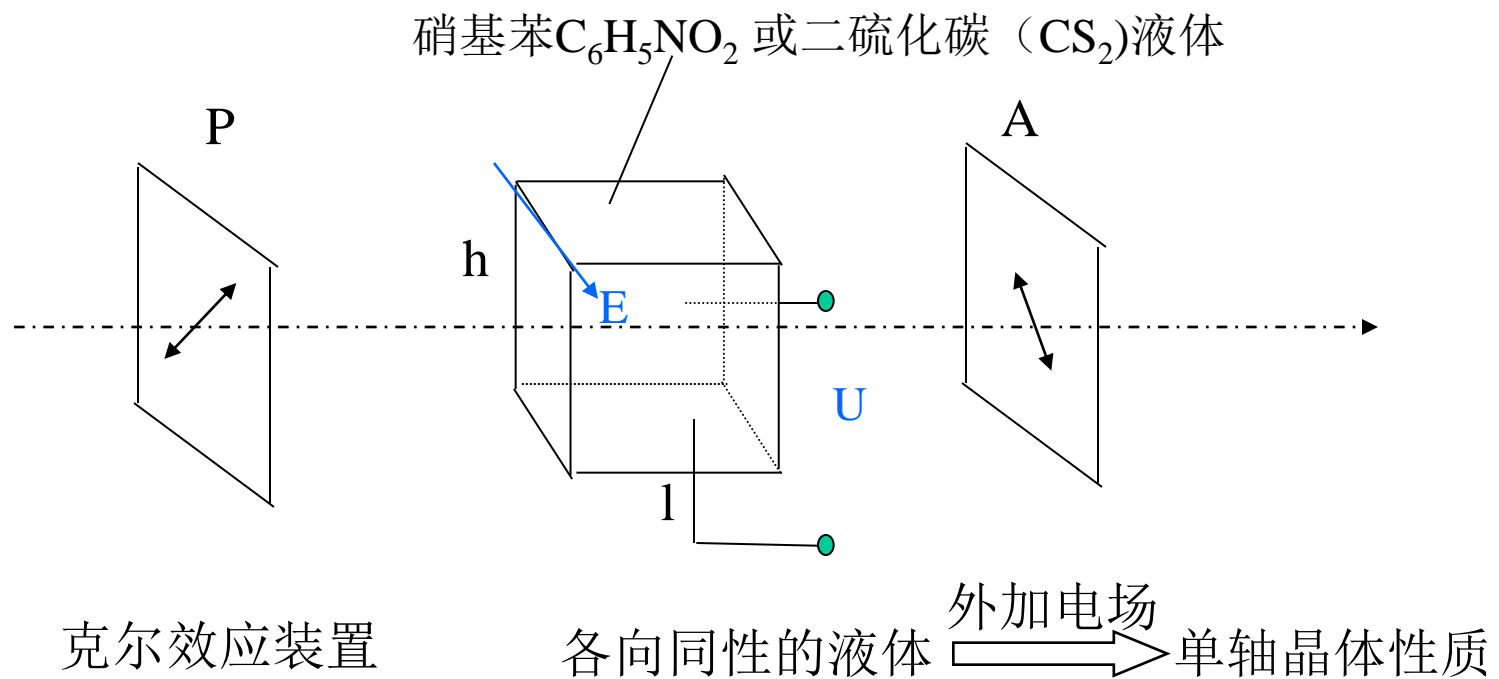
自然双折射

外加电场引起的双折射

结论：

电场引起的相位差与外加电压成正比，同时与晶体的长度和厚度有关

2、克尔效应（二级电光效应）



$$\Delta n = n_{//} - n_{\perp} = k\lambda E^2$$

引入位相差：

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n \cdot l = 2\pi k E^2 l = 2\pi k l \frac{U^2}{h^2}$$

克尔系数

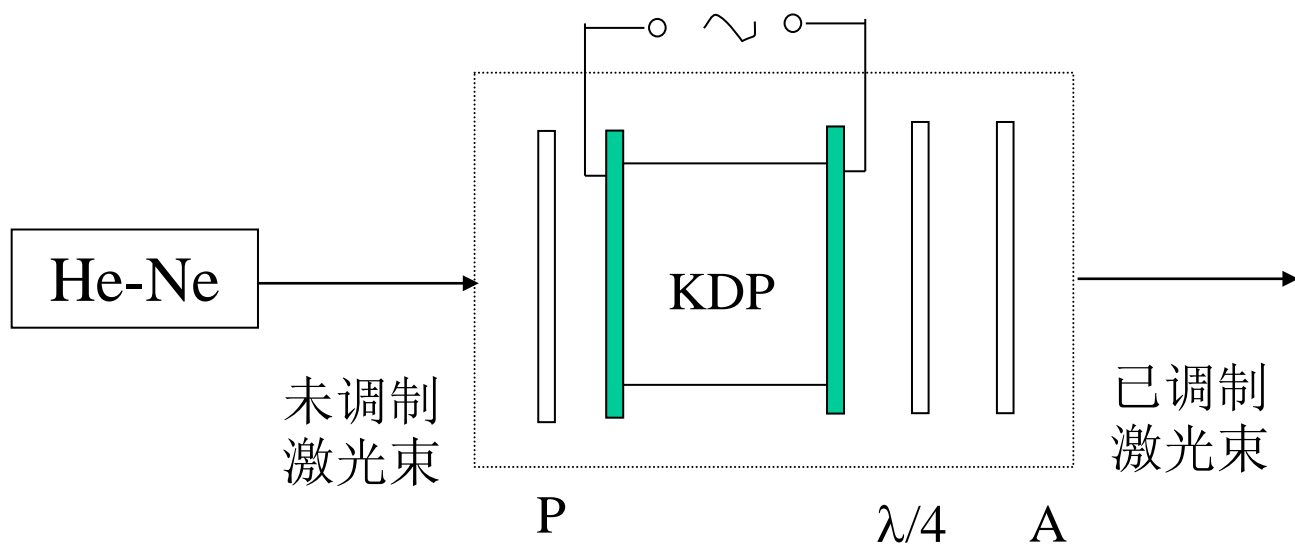
出射光强：

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\delta}{2} = I_0 \sin^2 (\pi k l U^2 / h^2)$$

克尔效应的特点：驰豫时间极短，是理想的高速电光开关
加上调制信号后能改变光的强度—也作为
电光调制器
半波电压高达万伏，使用不便

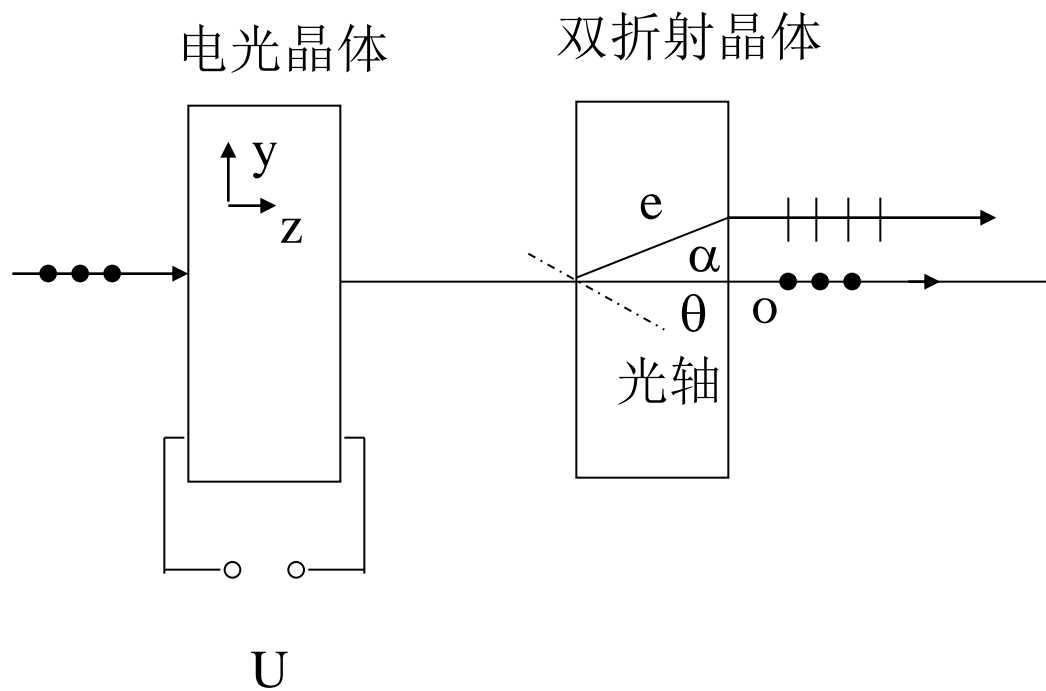
3、电光效应的应用

- 1) 电光调制 外加电场作用下的电光晶体犹如一块波片，它的相位延迟随外加电场的大小而变，随之引起偏振态的变化，从而使得检偏器出射光的振幅或强度受到调制。



电光光强调制器

2) 电光偏转 利用电光效应实现光束偏转的技术

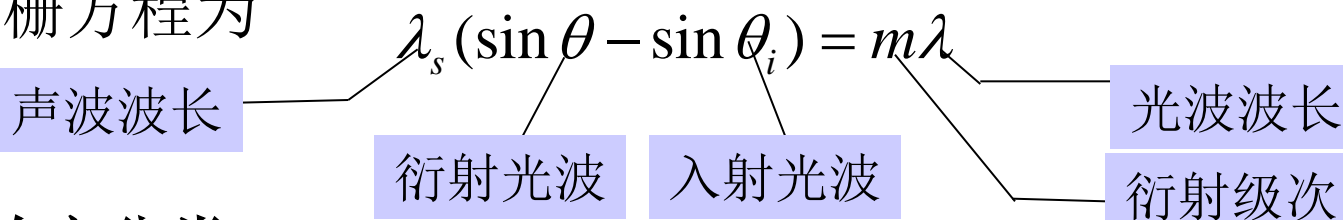


数字式电光偏转器

三、声光效应

声波在媒质中传播时，由于应变缘故，使介质折射率随空间和时间发生周期性变化。光通过这种媒质时会发生衍射现象，称为声光效应。

光波通过声光栅的衍射类似于一般的光学光栅的衍射，其光栅方程为

$$\lambda_s (\sin \theta - \sin \theta_i) = m \lambda$$


声波波长 衍射光波 入射光波 光波波长 衍射级次

声光效应分类：

根据声波波长、光波波长和声光作用长度分两种声光衍射现象：

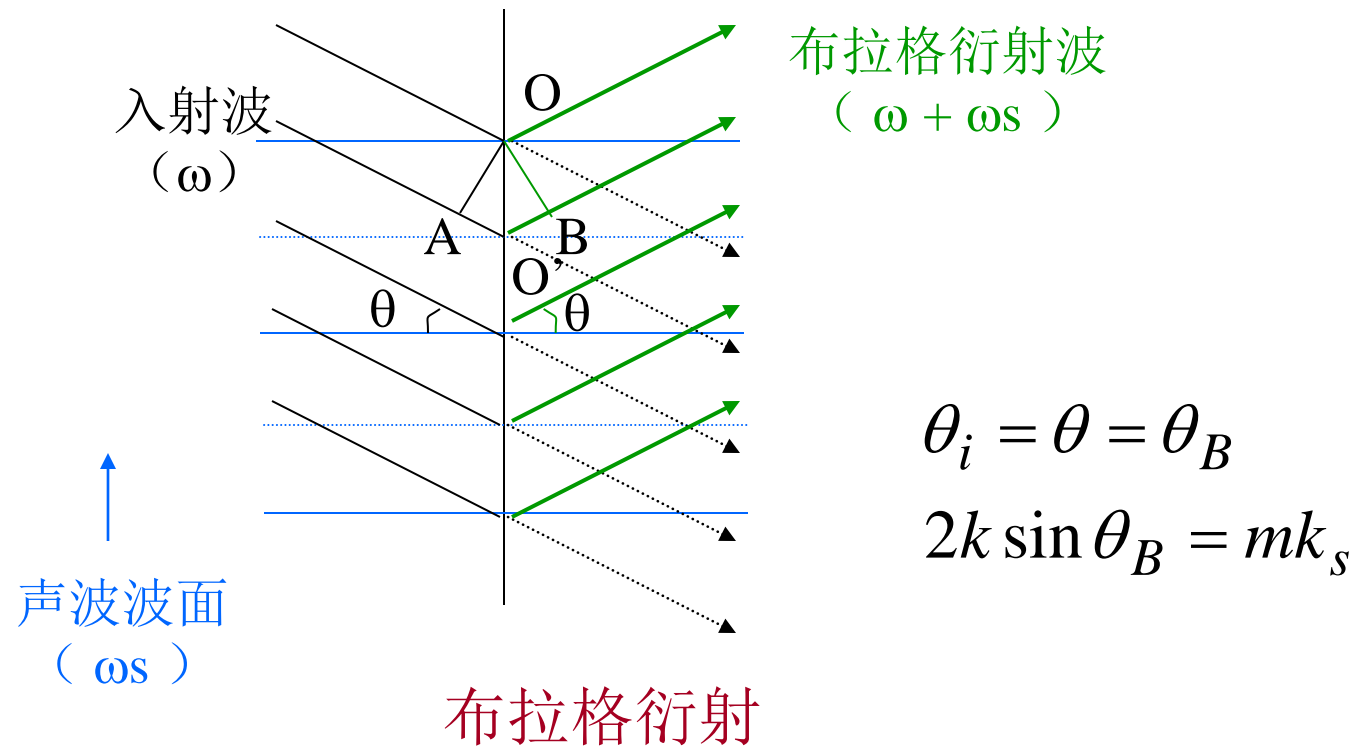
布拉格声光衍射

$$\theta_i \neq 0, \lambda_s \text{ 较小}, 2\pi L \lambda / n \lambda_s^2 \gg 1$$

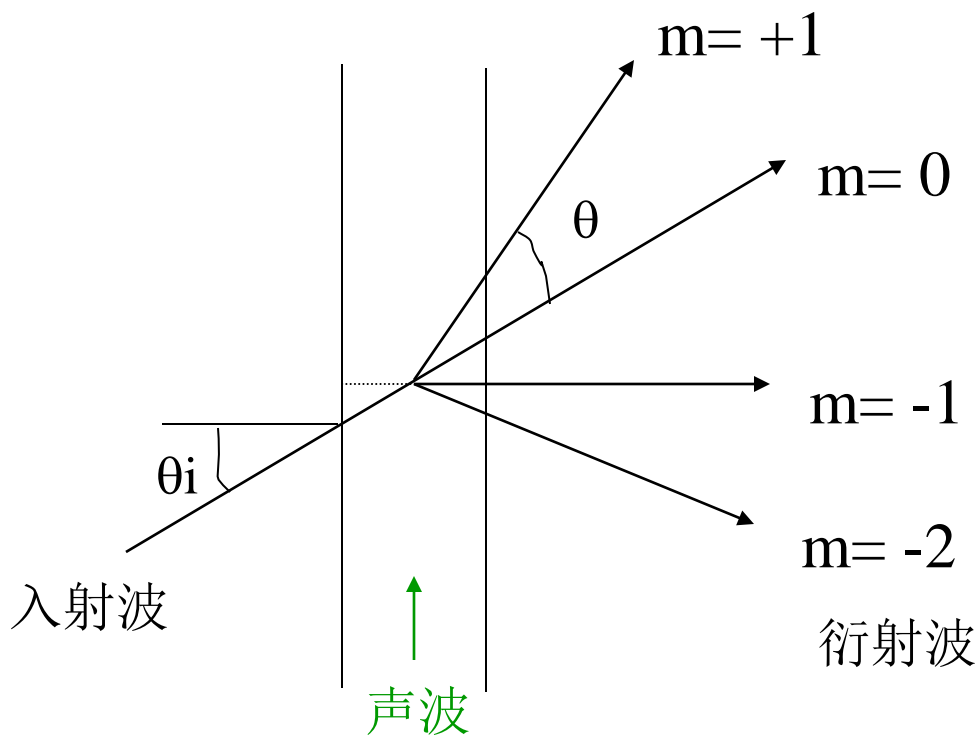
喇曼—奈斯声光衍射

$$\theta_i \approx 0, \lambda_s \text{ 大}, 2\pi L \lambda / n \lambda_s^2 \ll 1$$

1、布拉格声光衍射



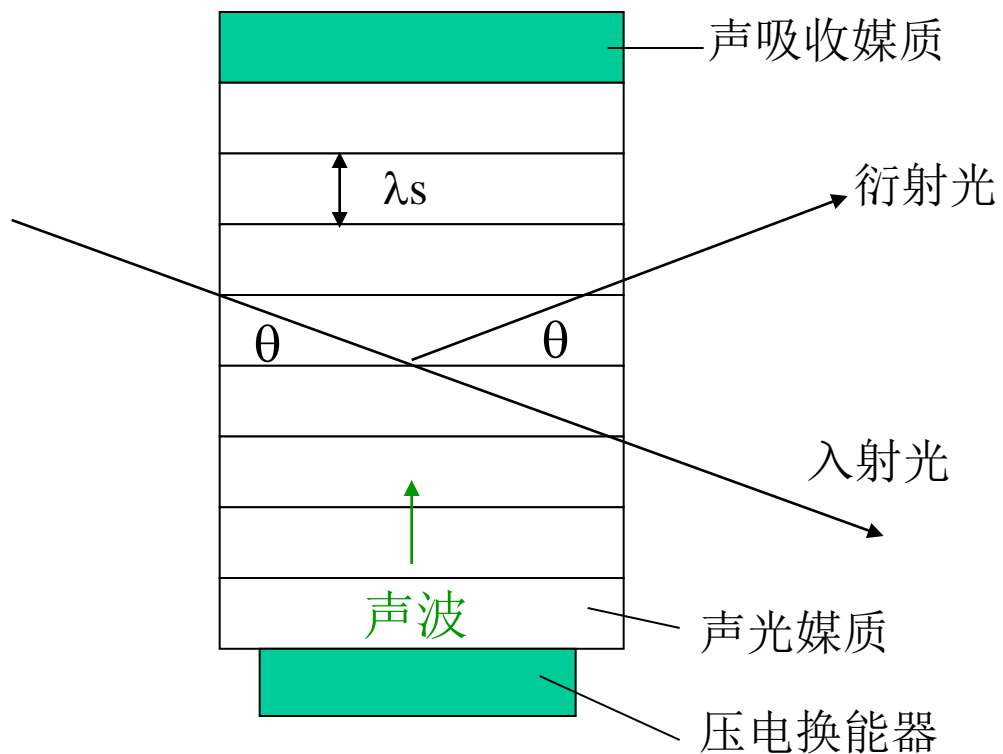
2、喇曼--奈斯声光衍射



喇曼--奈斯声光衍射

$$\sin \theta - \sin \theta_i = \frac{m\lambda}{\lambda_s} = m \frac{k_s}{k}$$

3、声光效应的应用

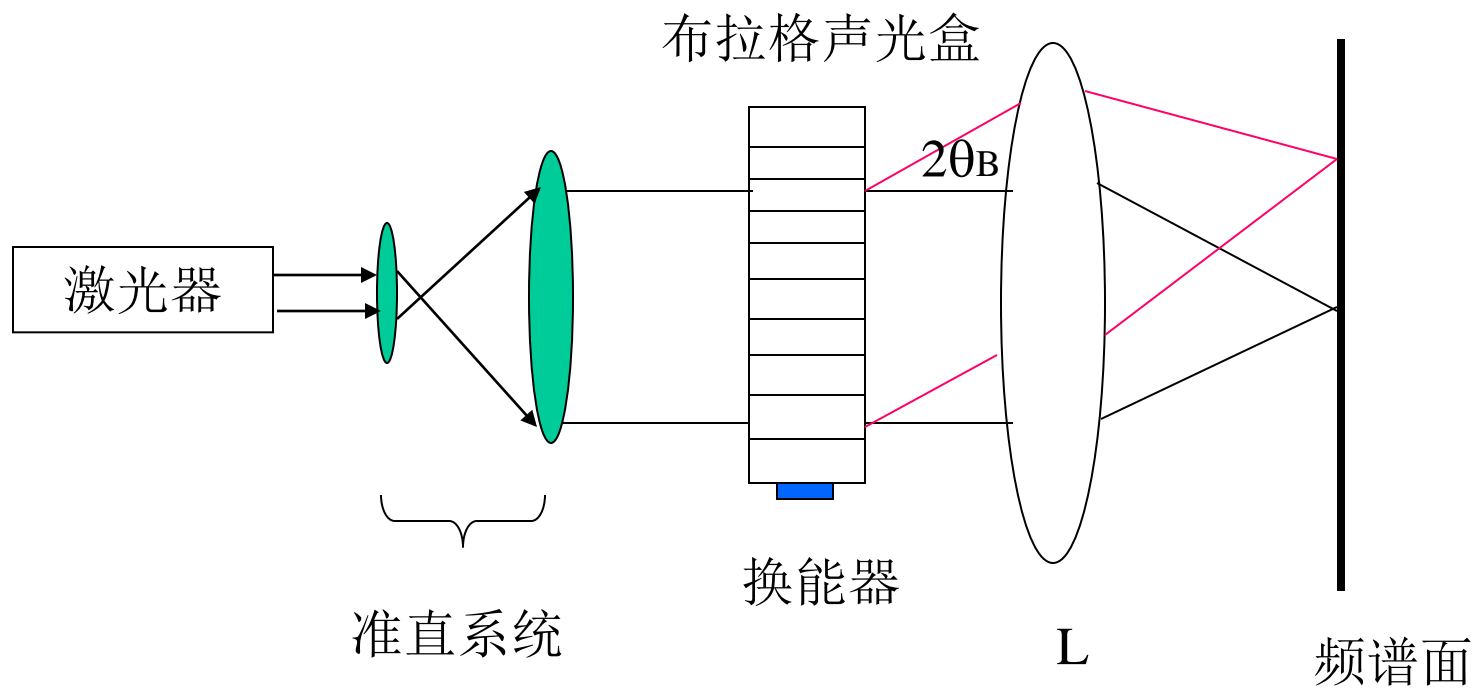


1) 声光调制器

2) 声光偏转器

3) 可调谐声光滤波器

声光器件结构示意图



声光频谱分析器

本节内容总结

一、旋光和旋光效应

- 1、固有旋光现象
- 2、旋光现象的物理解释
- 3、旋光现象的应用
- 4、磁致旋光效应
- 5、磁光效应的应用

二、电光效应

- 1、泡克耳斯效应（一级电光效应）
- 2、克尔效应（二级电光效应）
- 3、电光效应的应用

三、声光效应

- 1、布拉格声光衍射
- 2、喇曼--奈斯声光衍射
- 3、声光效应的应用