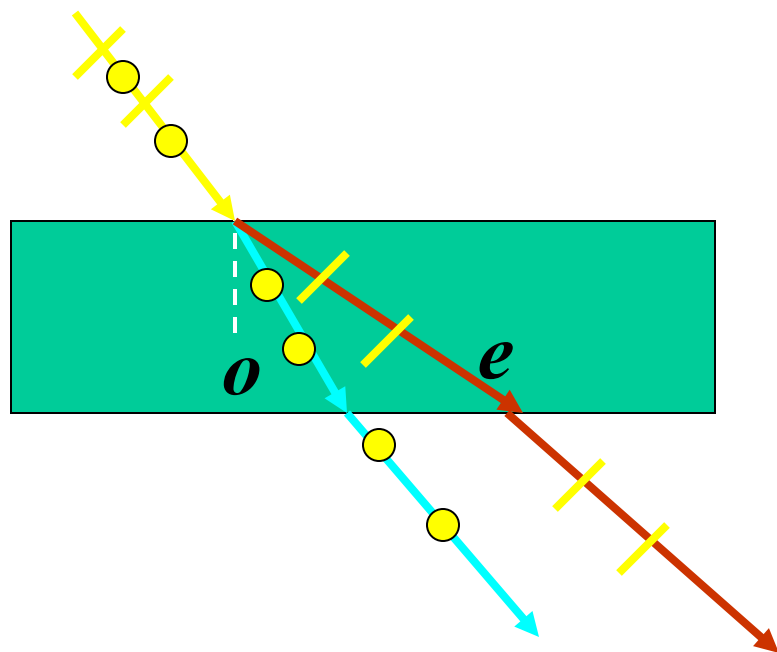


第十五章 光的偏振和晶体光学基础

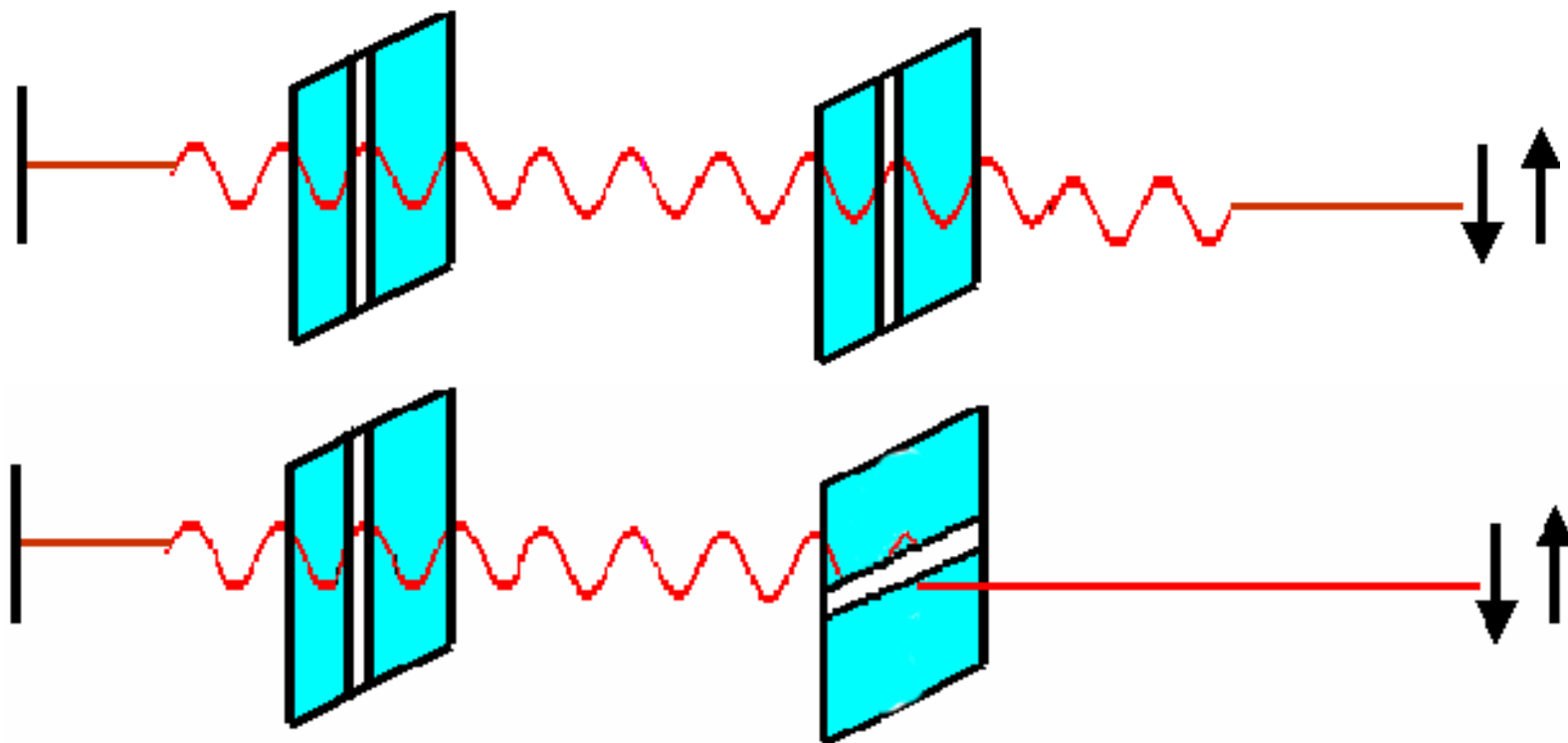


- 光的偏振现象的发现
- 偏振现象的意义（说明了光的横波性）
 - 菲涅尔和阿喇果实验
 - 杨氏假设
 - 菲涅尔的理论
- 偏振现象与晶体



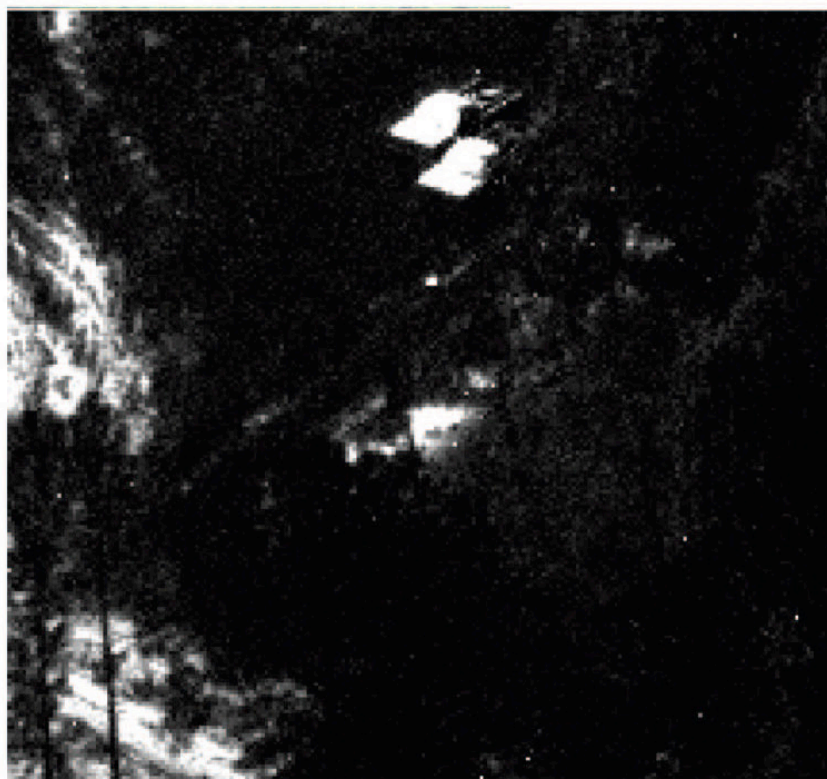
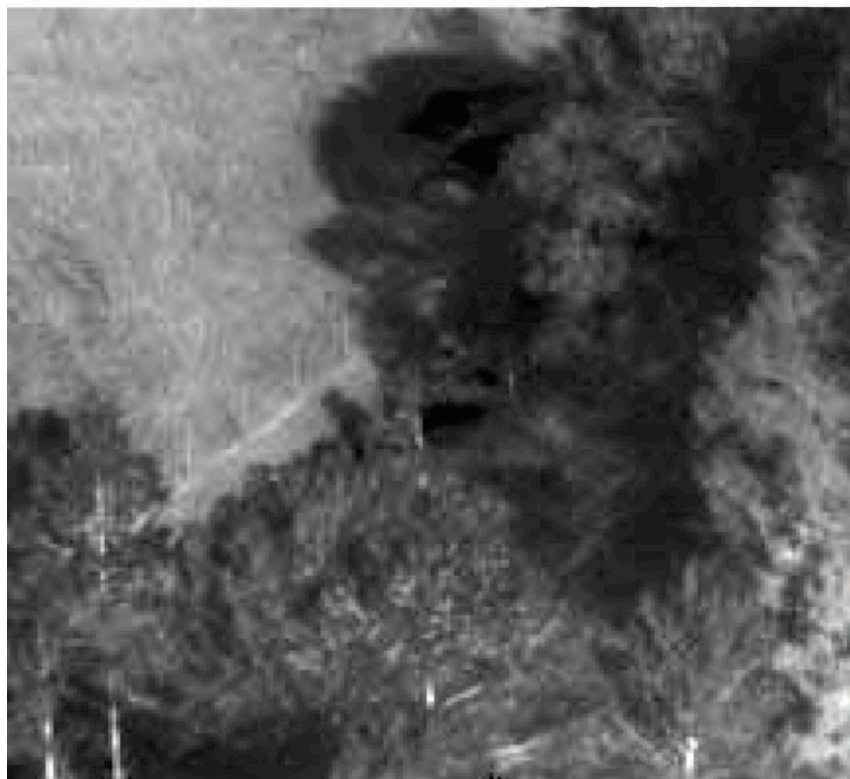
光的干涉和衍射现象：光的波动性

光的偏振和在光学各向异性晶体中的双折射现象：光的横波性



说明了光波是横波。

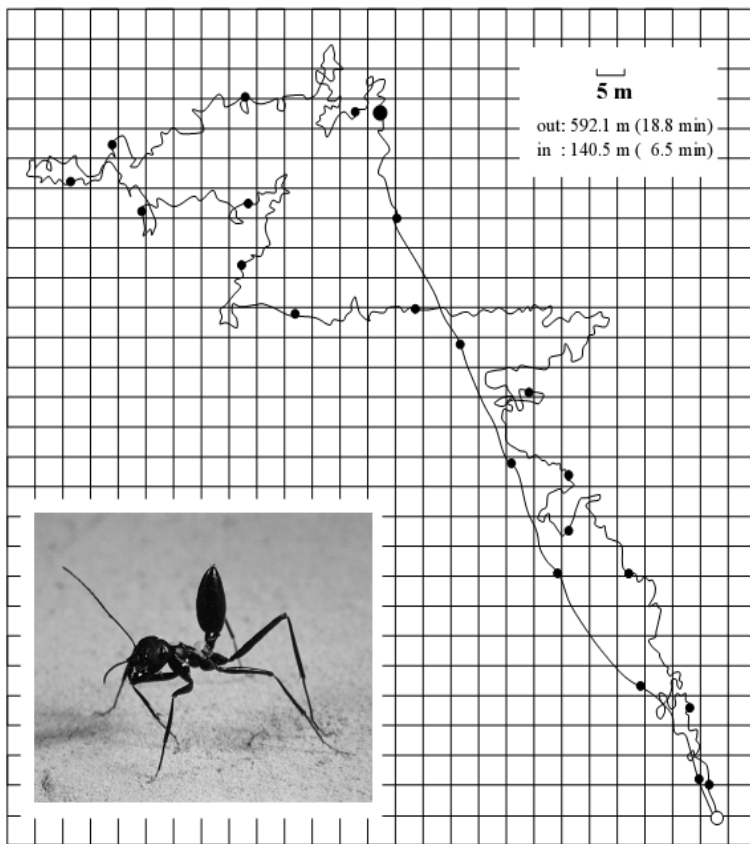
偏振光的作用



偏振光的作用

具有偏振导航功能的昆虫

- 沙蚁
- 蜜蜂
- 北美帝王蝶
- 蜘蛛（狼蛛）
- 非洲粪金龟
- 蟋蟀



撒哈拉沙漠沙蚁的觅食行为

第十五章 光的偏振和晶体光学基础

§ 15-1 偏振光概述

§ 15-2 光在晶体中的传播

§ 15-5 晶体偏振器件

§ 15-6 偏振的矩阵表示

§ 15-7 偏振光的变换和测定

§ 15-8 偏振光的干涉

§ 15-9 磁光、电光和声光效应

光的偏
振概述

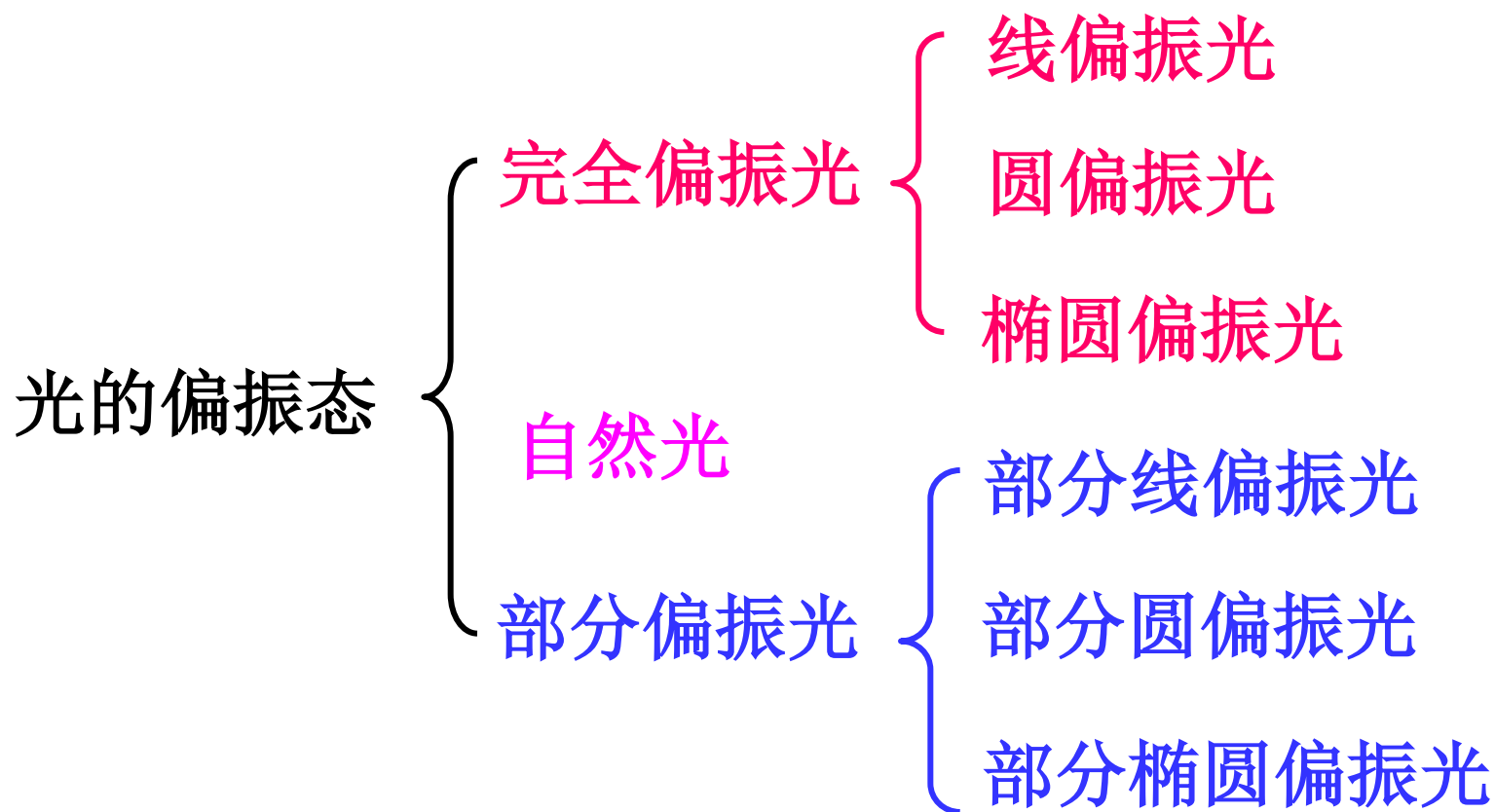
偏振光
的产生、
变换和
测定

光的偏
振应用

§ 15—1 偏振光概述

光的偏振态(Polarization of light)

光矢量 E 在垂直于传播方向的平面内的振动方式（振幅与相位随方位的分布）称为光的偏振结构或光的偏振态。



§ 15-1 偏振光概述

一、偏振光与自然光

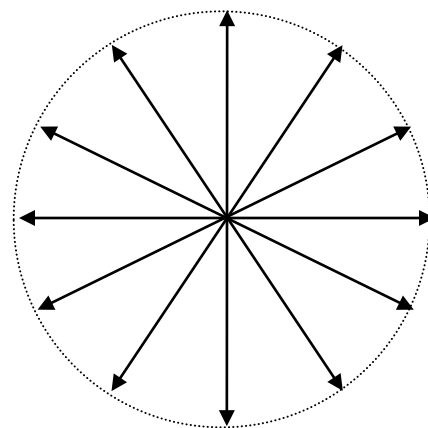
1、自然光：具有一切可能的振动方向的许多光波之和。

特点：振动方向的无规则性。

表示：可用两个振动方向垂直的、强度相等的、位相关系不确定的光矢量表示。

表示法：

自然光



2、偏振光：光矢量的方向和大小有规则变化的光

线偏振光：光矢量方向不变，其大小随位相变化。

圆偏振光：光矢量大小不变，其方向绕传播方向均匀转动，且矢量末端轨迹为圆。

椭圆偏振光：光矢量大小和方向都在有规律地变化，且矢量末端轨迹为椭圆。

偏振光方程：

$$\tilde{E} = \tilde{E}_x \bar{x}_0 + \tilde{E}_y \bar{y}_0$$

$$\tilde{E}_x = a_1 \exp[ikz]$$

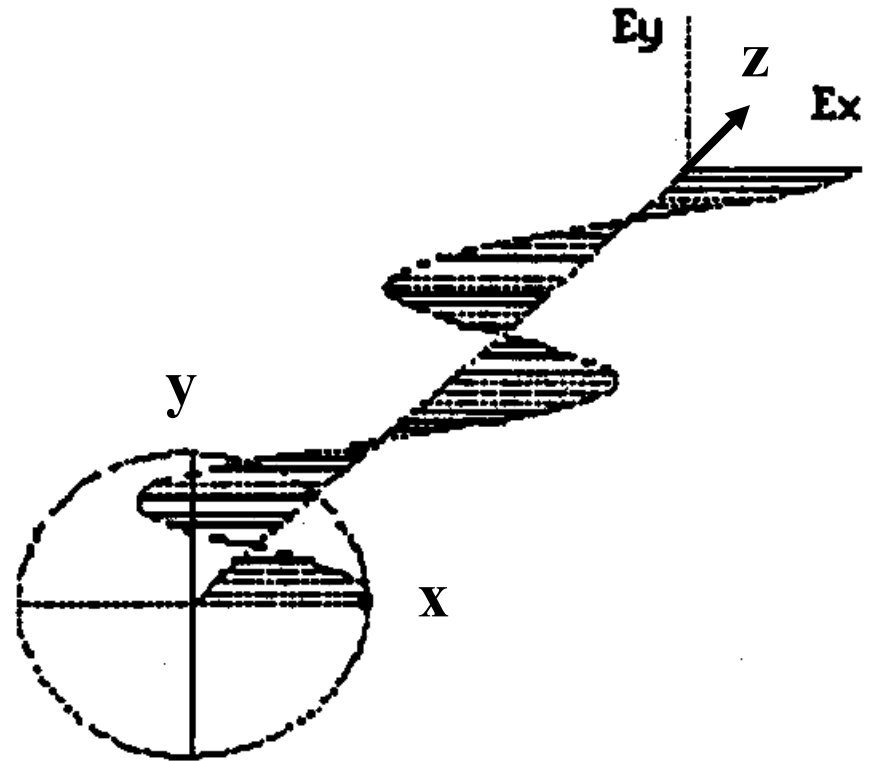
$$\tilde{E}_y = a_2 \exp[i(kz + \delta)]$$

1) 线偏振光

振动平面：
光矢量与传播方向组成的
平面称为线偏振光的
振动平面。

$$\tilde{E} = \tilde{E}_x = a_1 \exp(ikz) \bar{x}_0$$

表示法：



Horizontal
Linear
Polarization

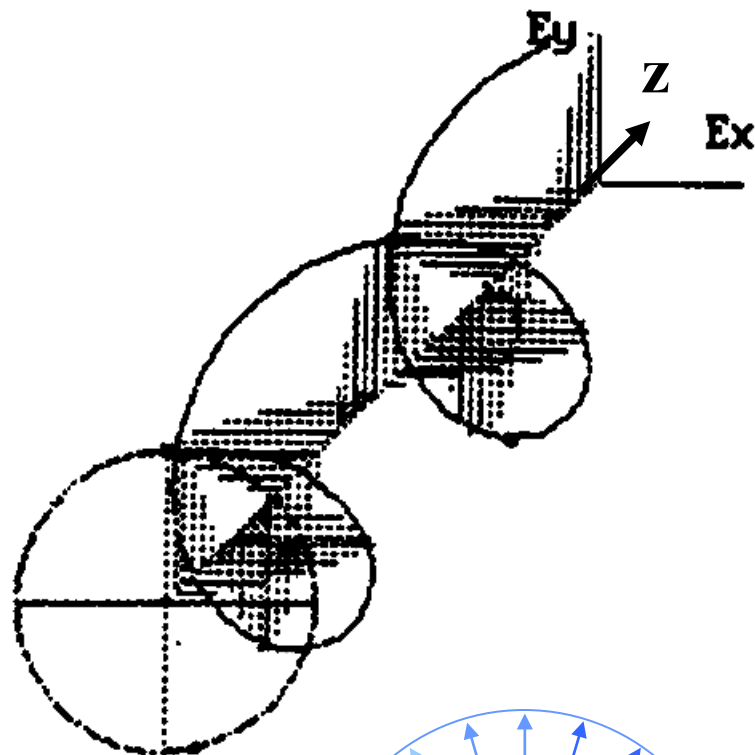
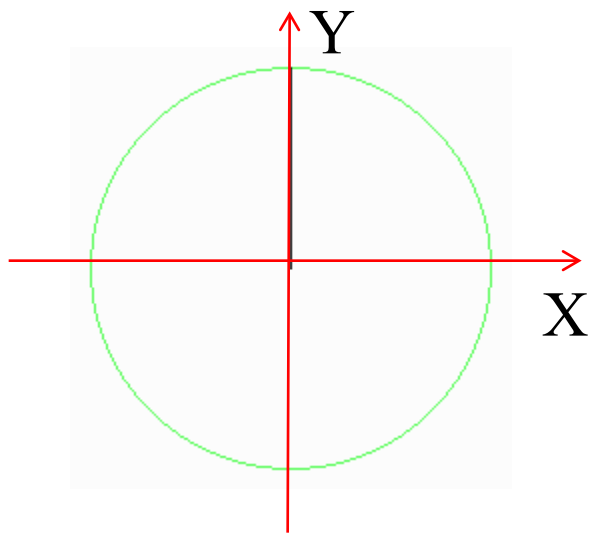


2) 圆偏振光

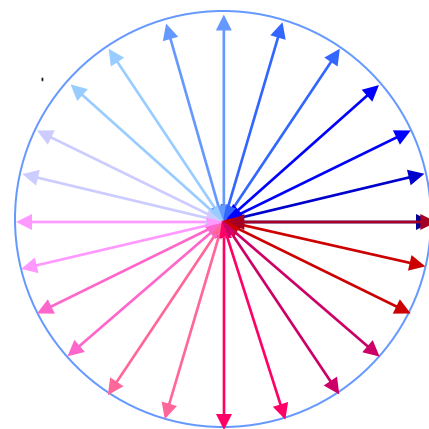
$$a_1 = a_2$$

$$\tilde{E} = a_1 \exp(ikz) \bar{x}_0 + a_2 \exp[i(kz + \delta)] \bar{y}_0$$

$$\delta = \frac{\pi}{2} \text{ 左旋}, \quad \delta = -\frac{\pi}{2} \text{ 右旋}$$



Right-hand
Circular
Polarization



3) 椭圆偏振光

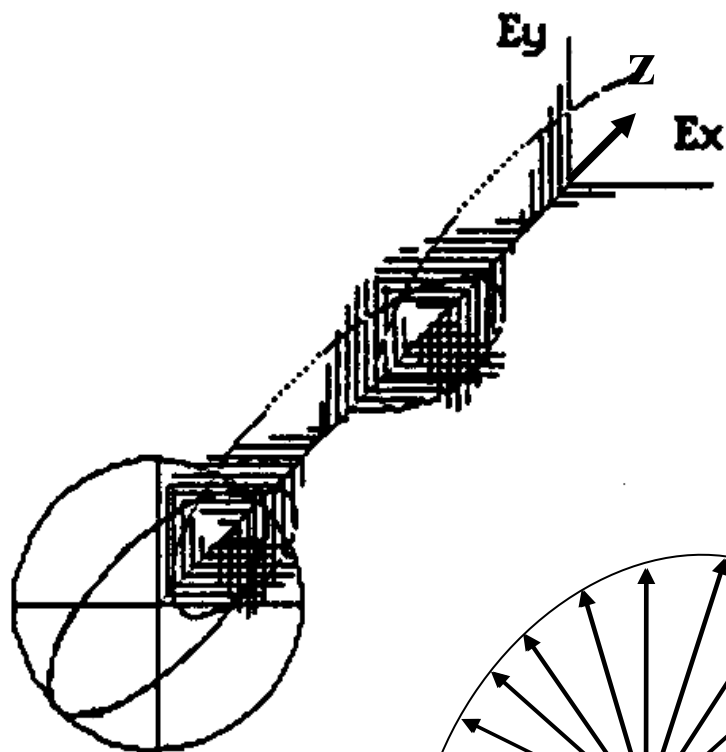
$$a_1 \neq a_2$$

$$\tilde{E} = a_1 \exp(ikz) \bar{x}_0 + a_2 \exp[i(kz + \delta)] \bar{y}_0$$

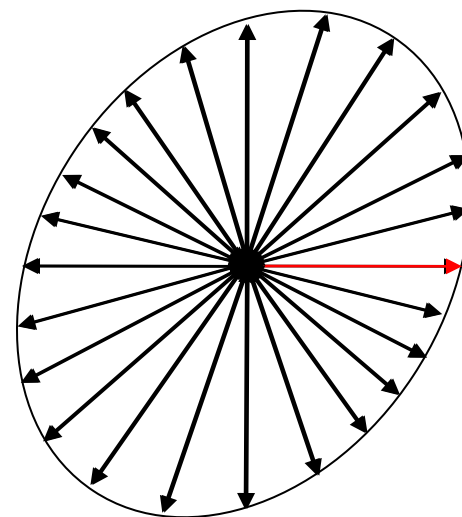
$0 < \delta < \pi$ 左旋椭圆光

$\pi < \delta < 2\pi$ 右旋椭圆光

表示法:

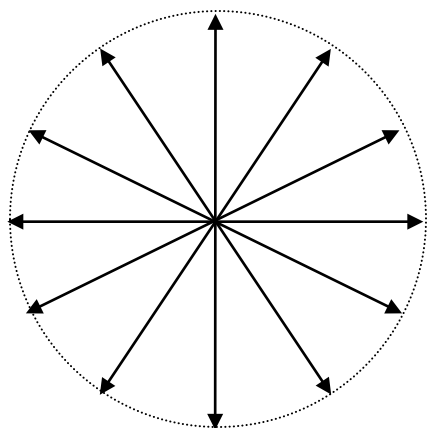


Right-hand
Elliptical
Polarization

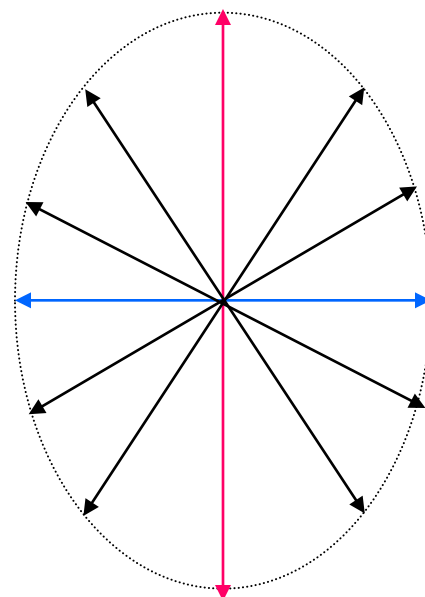


3、部分偏振光：自然光在传播过程中，由于外界的作用造成振动方向上强度不等，使某一方向上的振动比其它方向上的振动占优势。

表示：部分偏振光=完全偏振光+自然光



自然光



部分偏振光

表示法：



二、 偏振光的产生

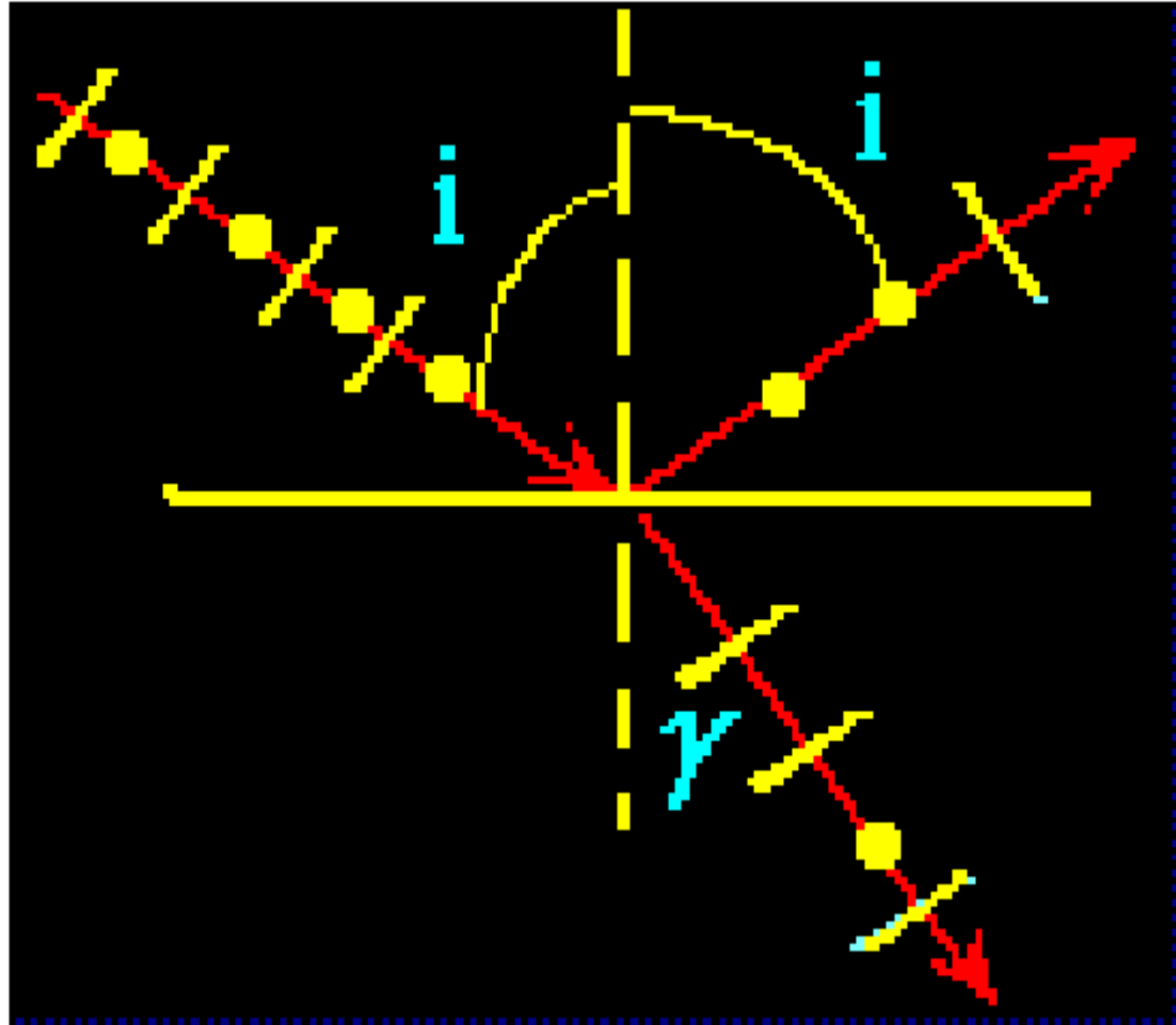
主要方法：

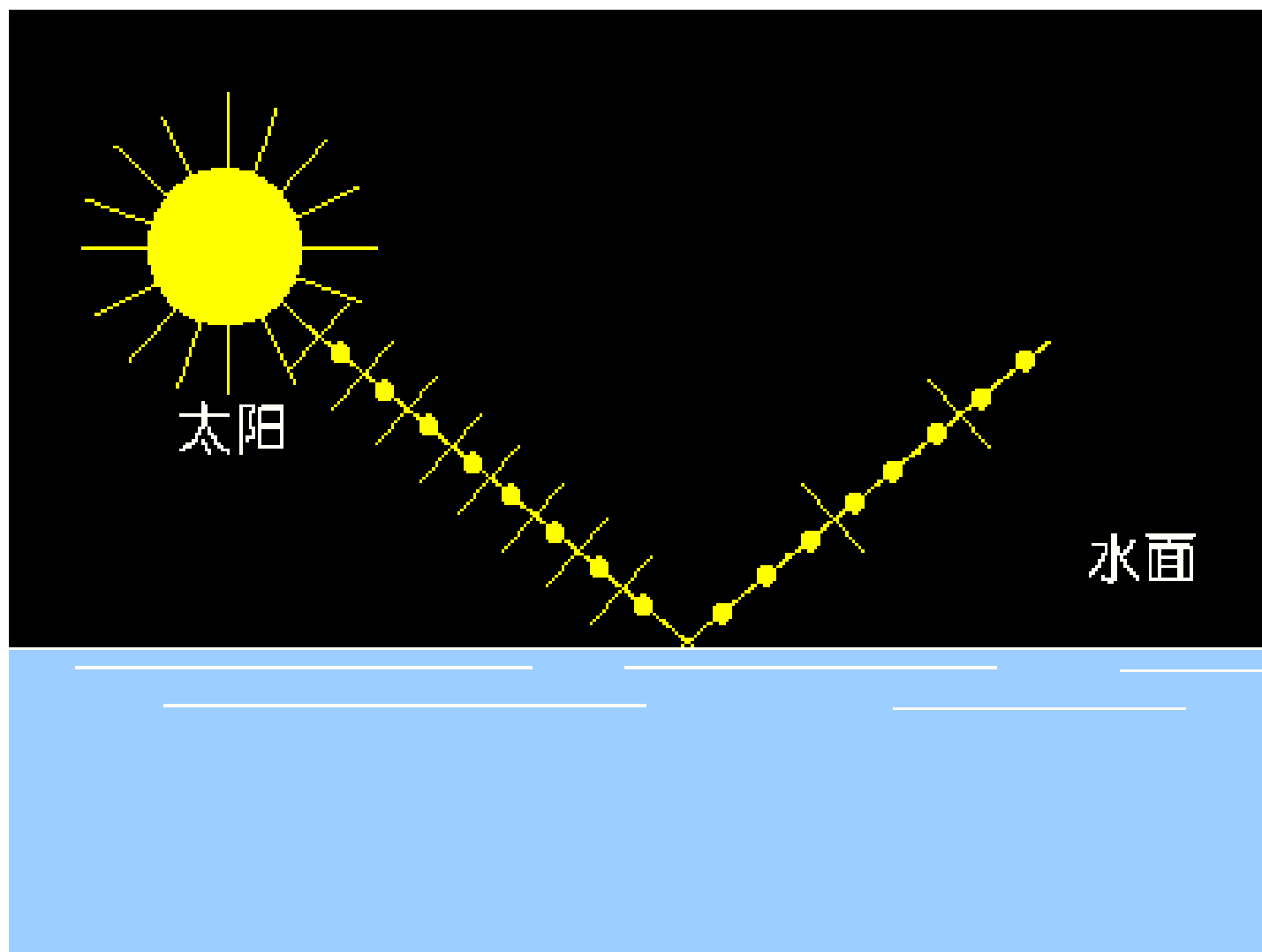
- 1、 利用反射和折射
- 2、 利用二向色性
- 3、 利用散射
- 4、 利用晶体双折射

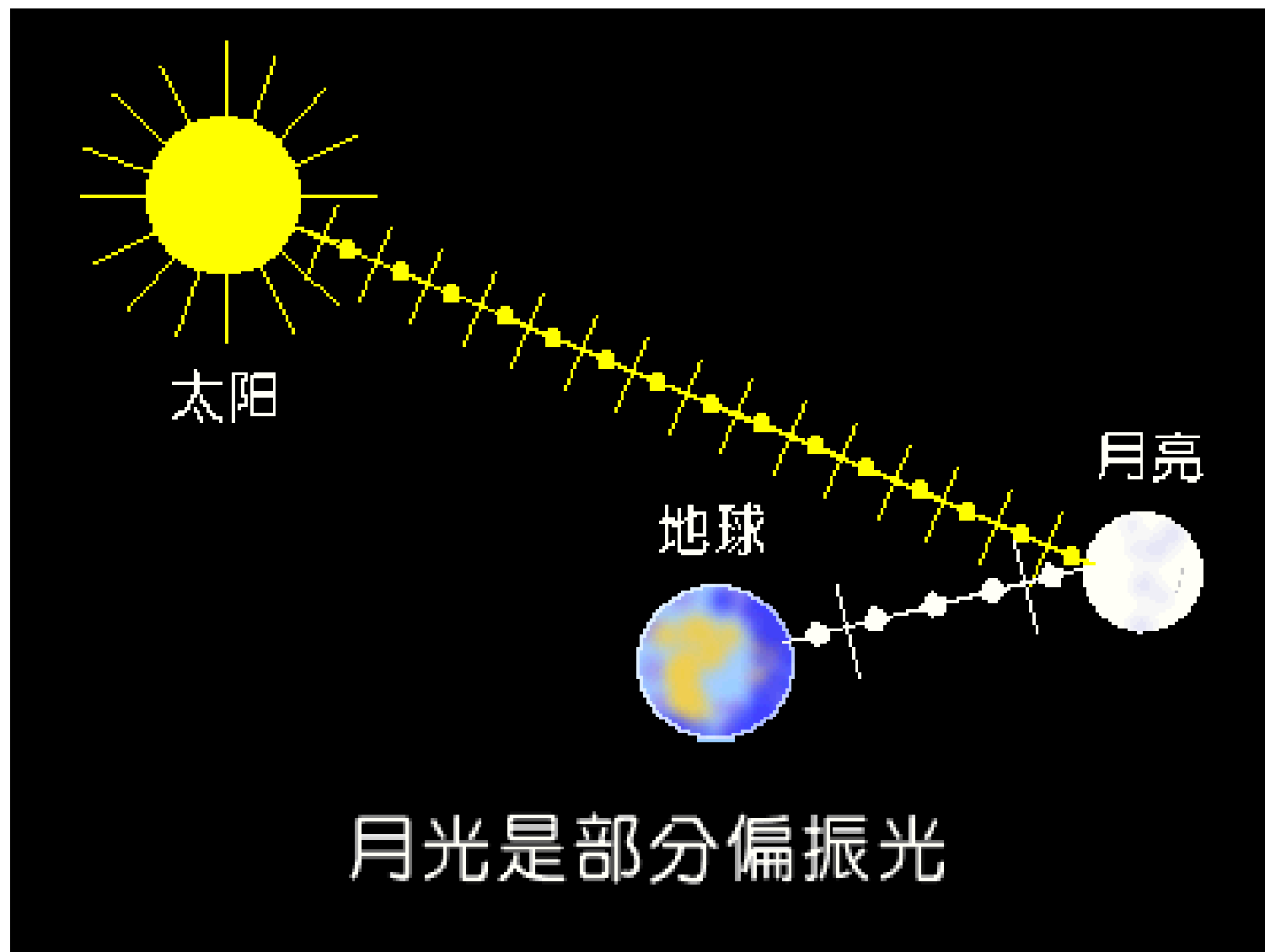
反射和折射时光的偏振

一、反射光的偏振：

马吕斯发现
自然光反射时，
可以产生
部分 偏振光或
完全偏振光



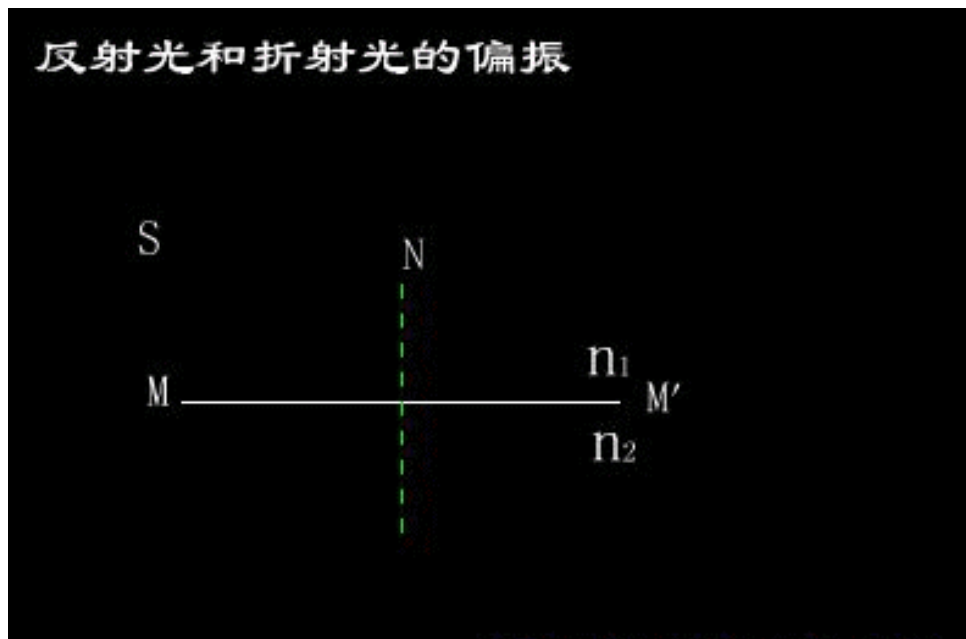




布儒斯特定律

反射光是完全偏振光时，实验证明：

$$i_0 + \gamma = \frac{\pi}{2}$$

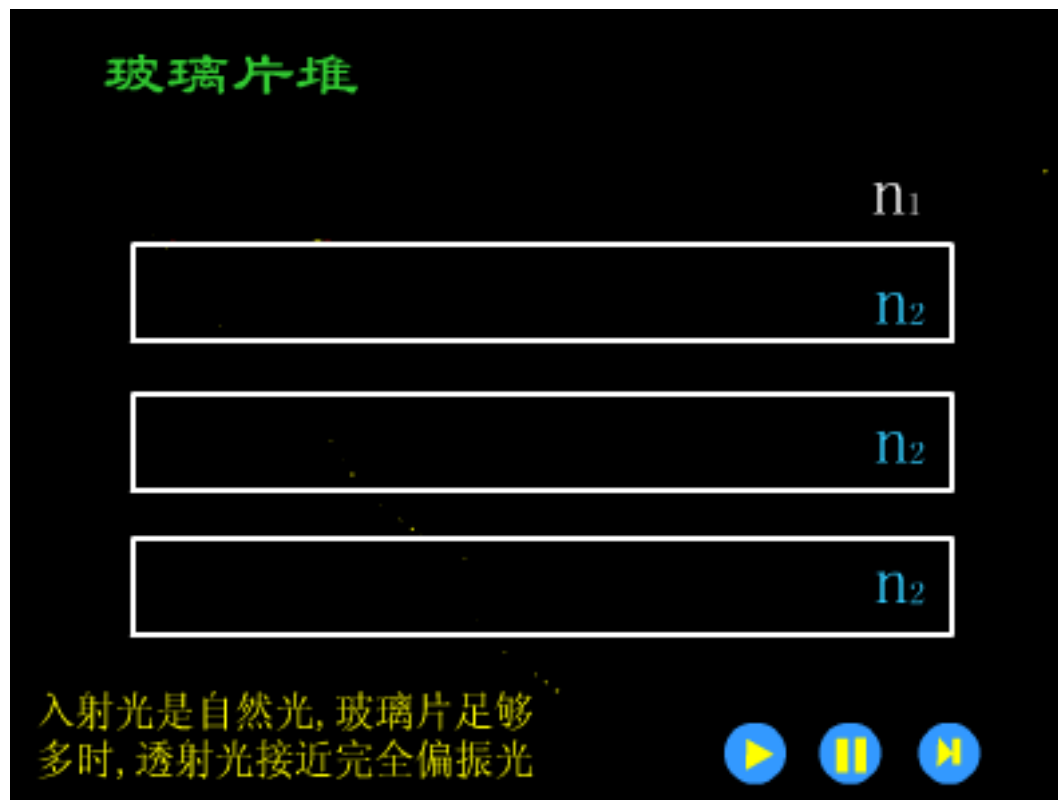


$$\underline{n_1 \sin i_0} = n_2 \sin \gamma = n_2 \sin\left(\frac{\pi}{2} - i_0\right) = \underline{n_2 \cos i_0}$$

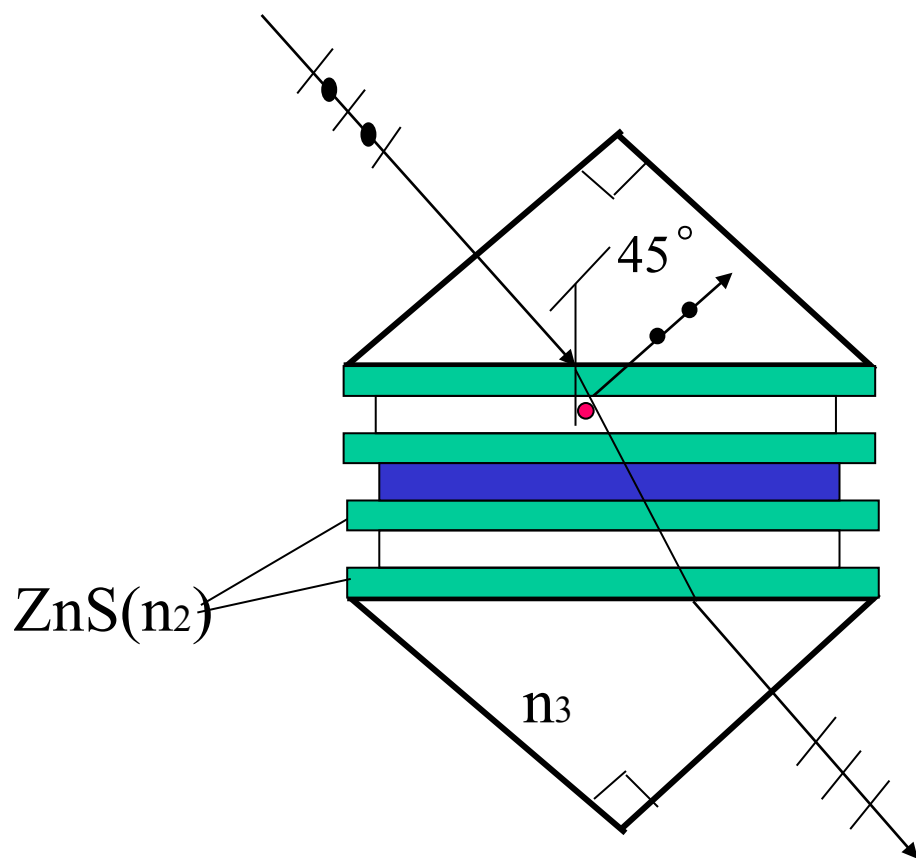
$$\operatorname{tgi}_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad \text{起偏角}$$

$$i_0 = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

1、由反射和折射产生偏振光



用玻璃片堆获得偏振光



♥ 制作

♥ 原理

♥ n_3

♥ 膜层厚度

♥ 层数

偏振分光镜

2、由二向色性产生偏振光

二向色性：各向异性的晶体对不同振动方向的偏振光有不同的吸收比。

各向异性的晶体对光的吸收本领随波长改变（选择吸收特性）外，还随光矢量相对晶体的方位而改变。

一些各向同性的介质在受到外界作用时也会产生各向异性，并具有二向色性。利用该特性获取偏振光的器件叫做人造偏振片。

H偏振片

聚乙烯醇薄膜

碘溶液

拉伸、烘干

偏振度高，透明度低，对各色可见光有选择吸收，可做得薄而大，价廉，广泛应用

K偏振片

聚乙烯醇薄膜

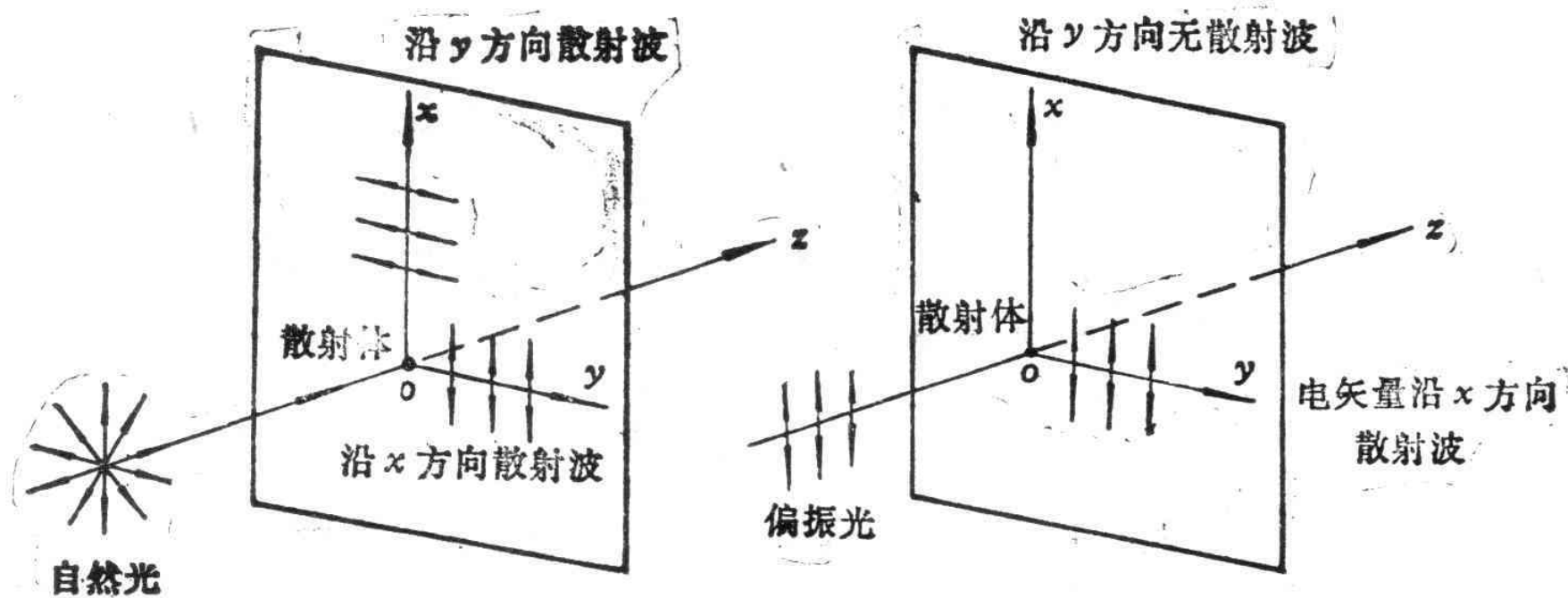
氯化氢中加热脱水

极强的二向色性，光化学性质稳定，强光照射不会褪色，但膜片略变黑，透明度低



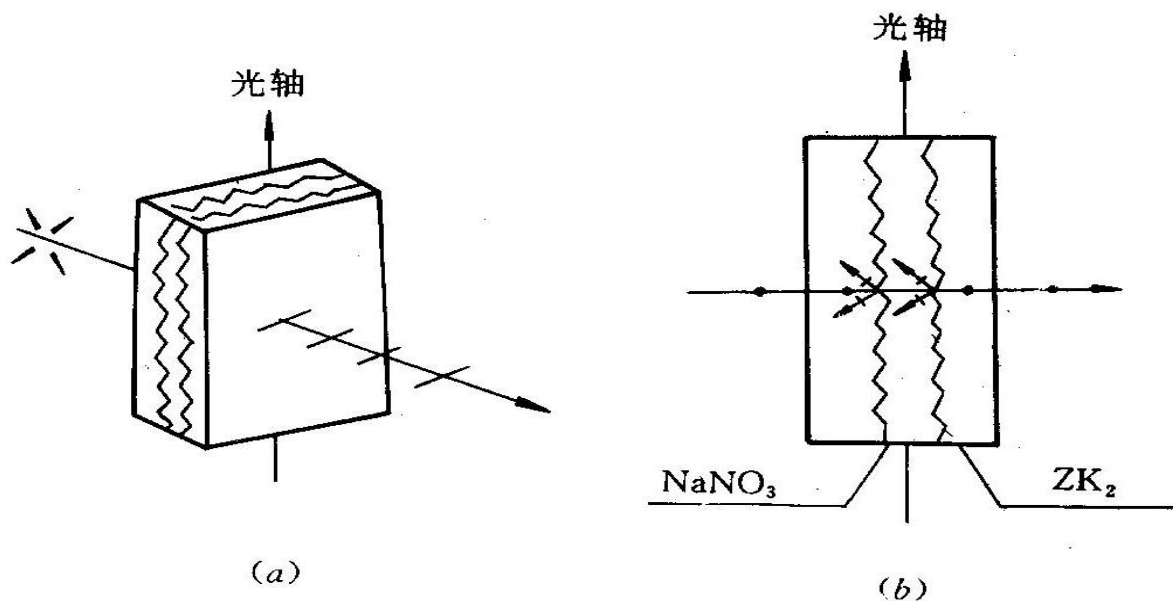
3、由散射产生偏振光

一束非偏振光入射到气体上，那么在与入射光束垂直的方向上被散射的光是线偏振光。散射光的振动方向在光线传播方向的垂直平面内。



3、由散射产生偏振光

利用双折射晶体的散射起偏，结构如图所示：两片具有特定折射率的光学玻璃 (ZK_2) 夹着一层双折射性很强的硝酸钠 ($NaNO_3$) 晶体。制作过程大致是：把两片光学玻璃的相对面打毛，竖立在云母片上，将硝酸钠溶液倒入两毛面形成的缝隙中，压紧二毛玻璃，挤出气泡，使得很窄的缝隙为硝酸钠填满，并使溶液从云母片一边缓慢冷却，形成单晶，其光轴恰好垂直云母片，进行退火处理后，即可截成所需要的尺寸。



3、由散射产生偏振光

由于硝酸钠晶体对于垂直其光轴入射的黄绿光主折射率为 $n_o=1.5854$ ， $n_e=1.3369$ ，而光学玻璃(ZK₂)对这一段光的折射率为 $n=1.5831$ ，与 n_o 非常接近，而与 n_e 相差很大，所以，当光通过玻璃与晶体间的粗糙界面时，o光将无阻地通过，而e光则因受到界面强烈散射以致无法通过。

散射型偏振片本身是无色的，而且它对可见光范围的各种色光的透过率几乎相同，又能做成较大的通光面积，因此，特别适用于需要真实地反映自然光中各种色光成分的彩色电影、彩色电视中。

4、晶体偏振器件

1) 尼科耳棱镜 (W.Nicol)

2) 格兰—汤姆逊 (Glan-Thompson) 棱镜

3) 格兰—付科 (Glan-foucault) 棱镜

偏振光产生方法比较

- 反射（片堆）产生线偏振光

宽光谱、制作简单、消光比（1000倍）、透过率和消光比成反比

- 二向色性产生线偏振光

很薄、面积可以做到很大、孔径角几乎达180度，消光比（国内水平100倍）

- 散射产生线偏振光

本身无色，对各波长可见光透过率几乎相同，可作较大通光面积

双折射晶体产生线偏振光

消光比高（100000倍）、口径小（20mm）、成本高

消光比：最小透射光强和最大透射光强之比。

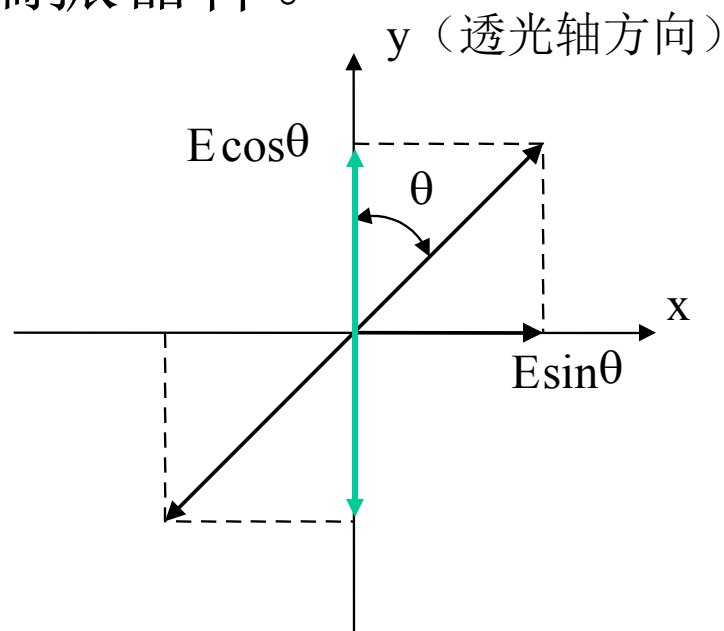
三、 马吕斯定律和消光比

起偏器：用来产生偏振光的偏振器件。

检偏器：用来检验偏振光的偏振器件。

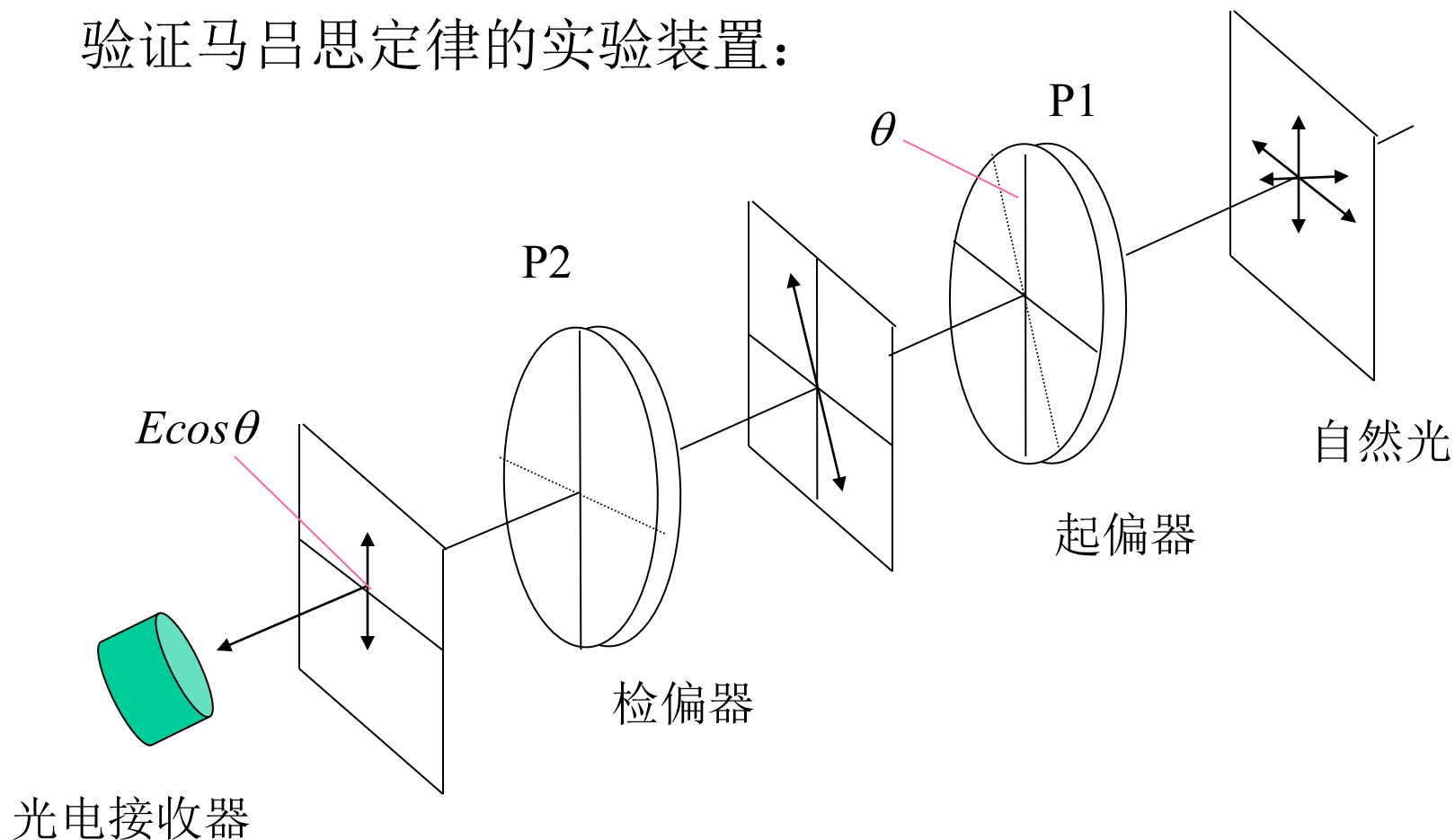
如果一入射线偏振光的电矢量振动方向和检偏器的透光轴成 θ 角，则通过检偏器之后的光强 I 为：

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$



偏振片既可用作起偏器，又可用作检偏器。

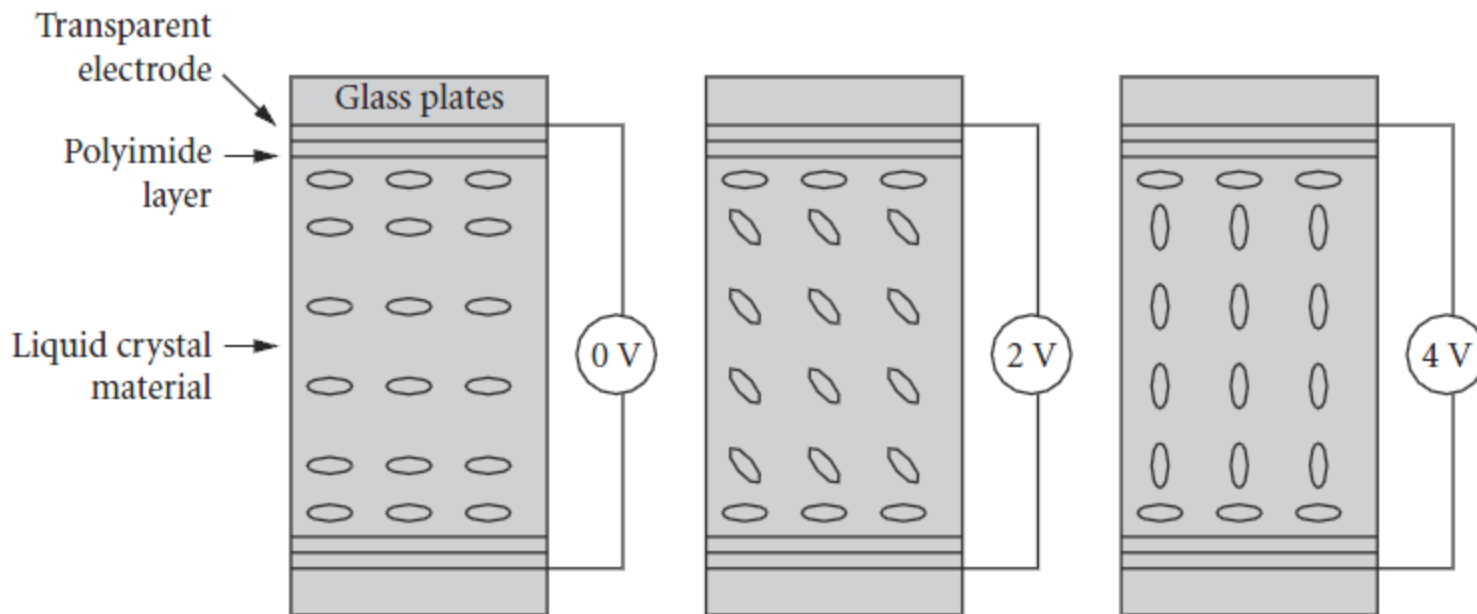
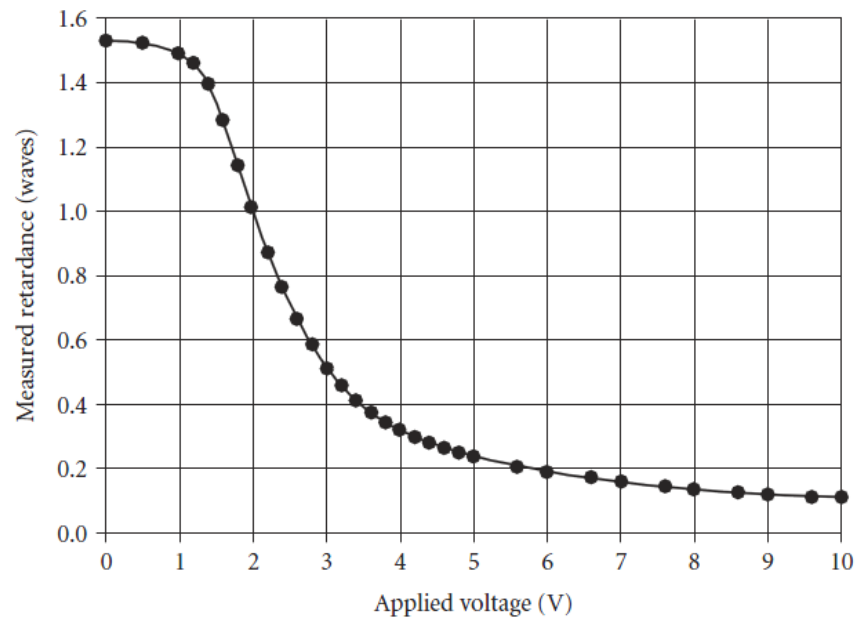
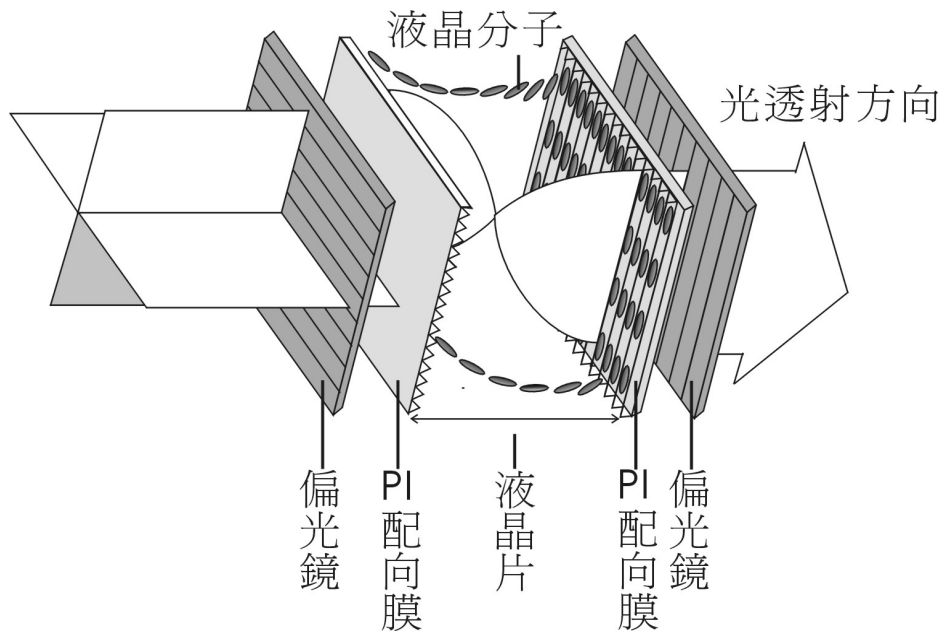
验证马吕思定律的实验装置：



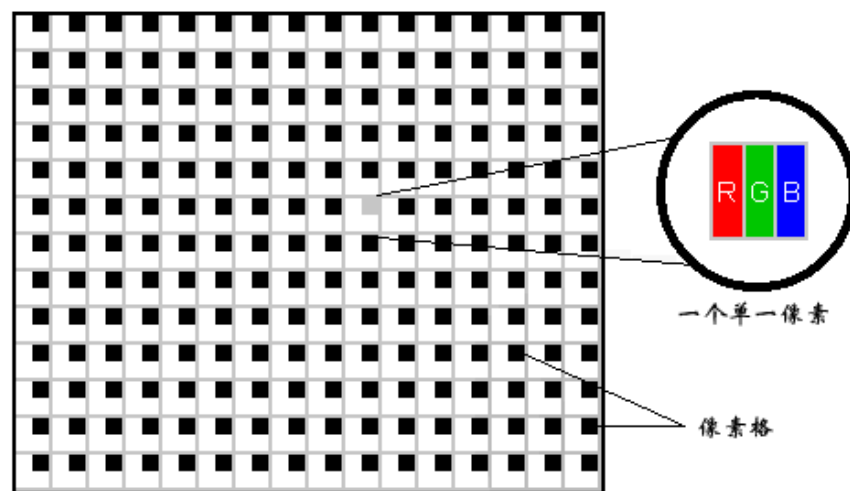
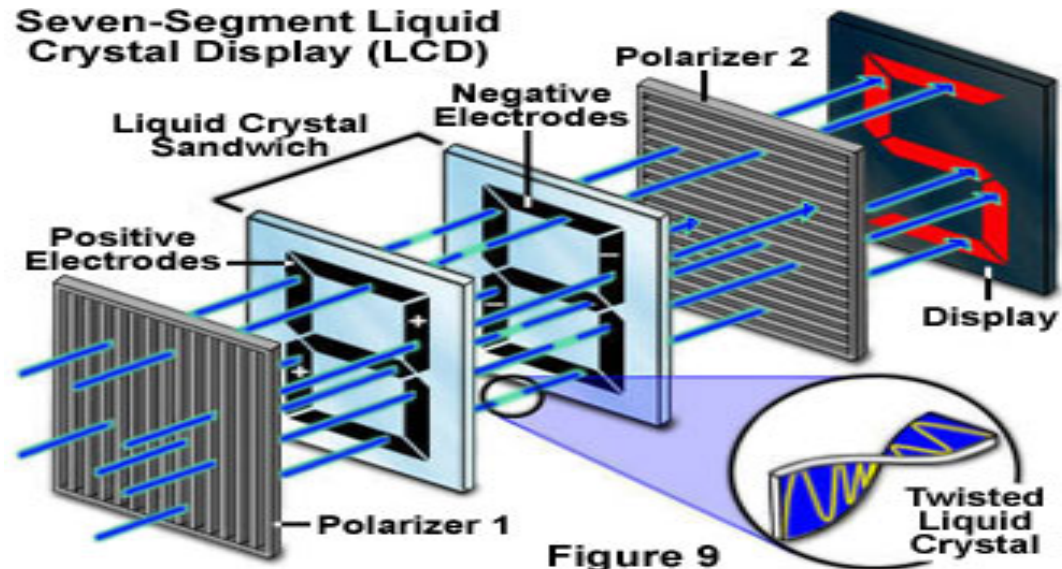
消光比：最小透射光强和最大透射光强之比。

消光比与最大透射比（透过的最大光强之比）——评价偏振器性能的主要参数。消光比小，最大透射比大，偏振器质量高

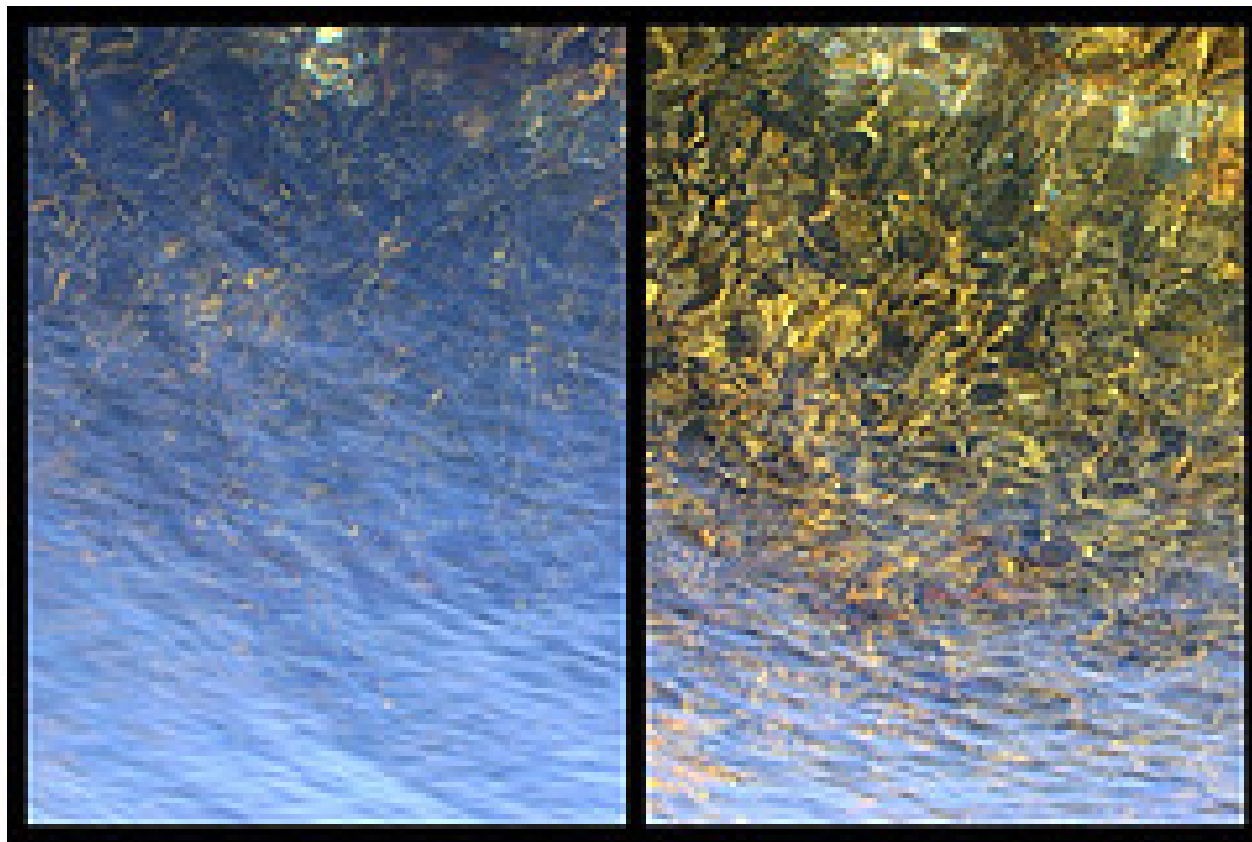
偏振片在液晶显示上应用



Seven-Segment Liquid Crystal Display (LCD)



在拍摄玻璃窗内的物体时，去掉反射光的干扰

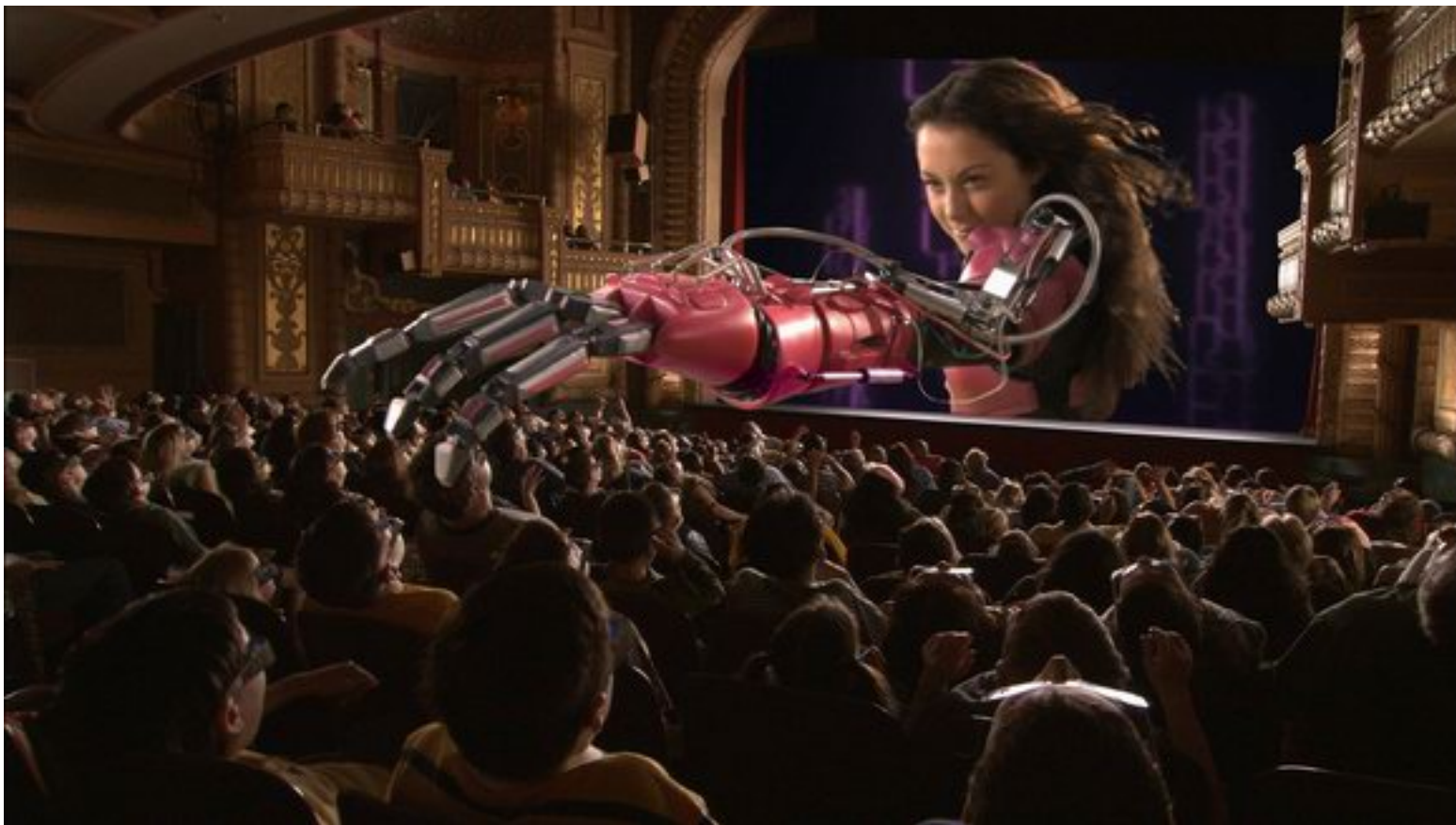


(a)
未装偏振片

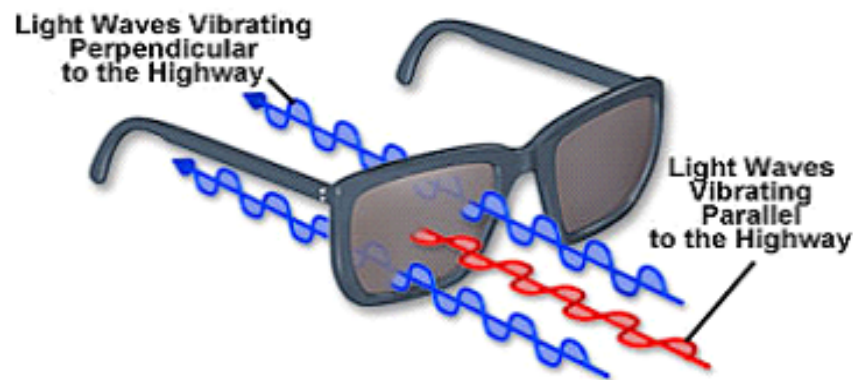
装偏振片



立体电影

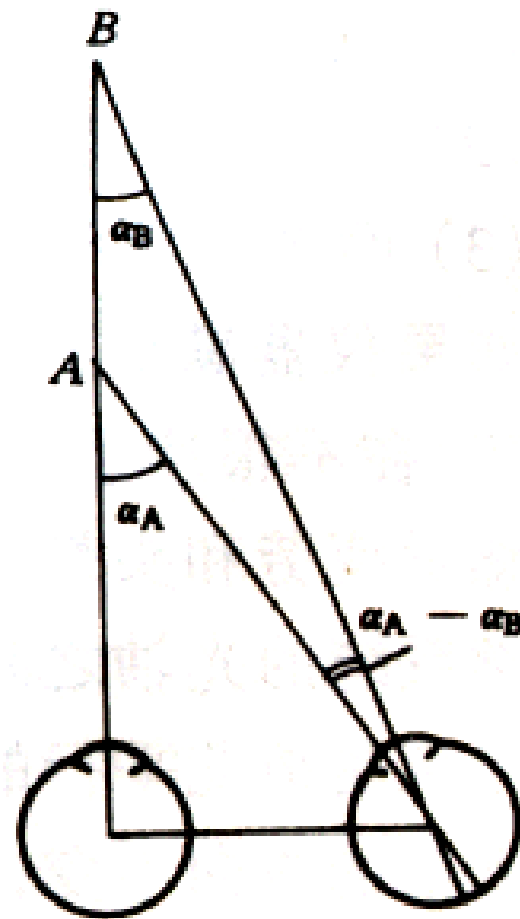


立体电影



在观看立体电影时, 观众要戴上一副特制的眼镜, 这副眼镜就是一对透振方向互相垂直的偏振片。这样, 从银幕上看到的景象才有立体感。如果不戴这副眼镜看, 银幕上的图像就模糊不清了。

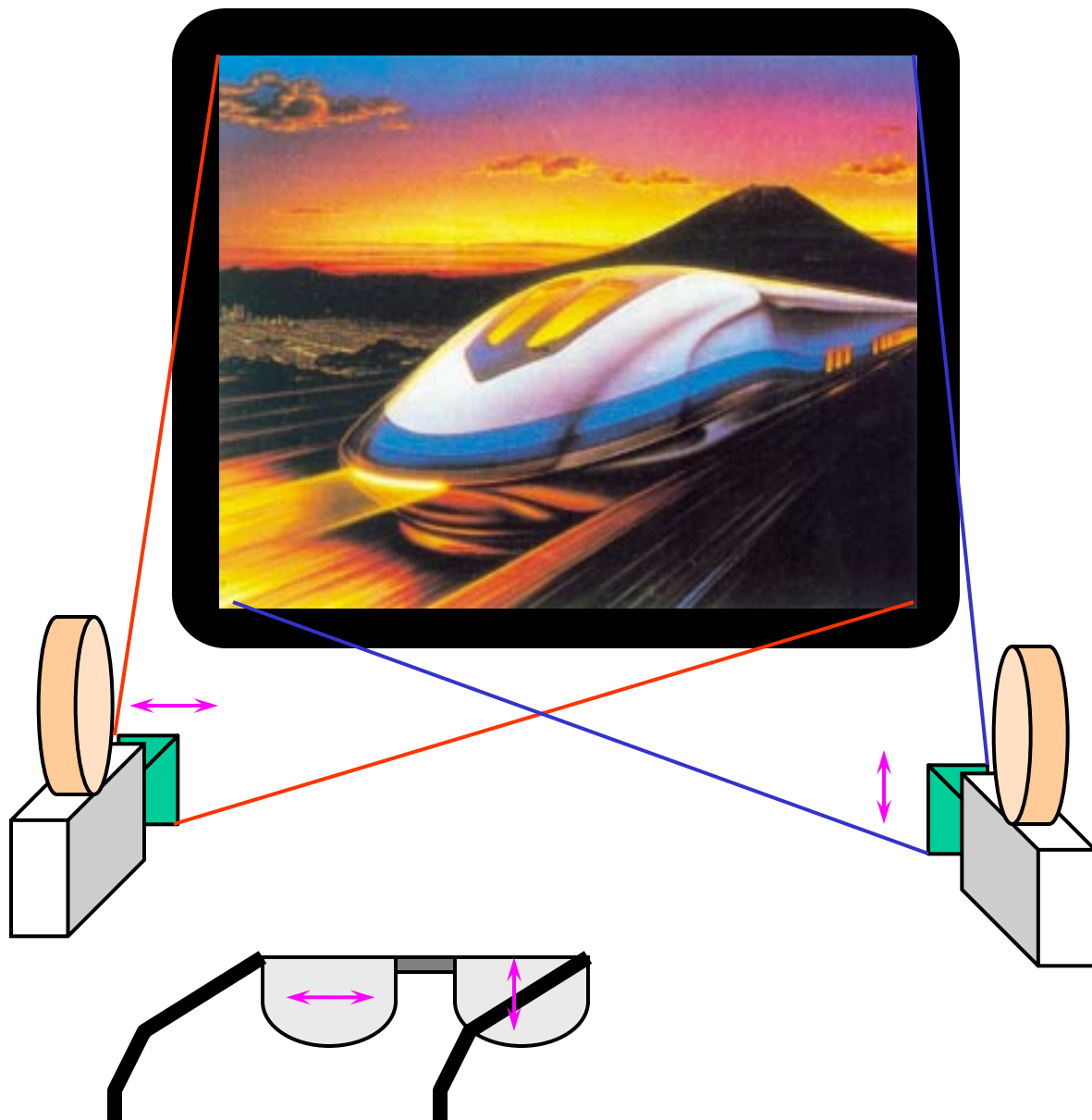
人的两只眼睛同时观察物体，能判断物体的远近，产生立体感。这是由于人的两只眼睛同时观察物体时，在视网膜上形成的像并不完全相同，左眼看到物体的左侧面较多，右眼看到物体的右侧面较多，这两个像经过大脑综合以后就能区分物体的前后、远近，从而产生立体视觉。





立体电影是用两个镜头如人眼那样从两个不同方向同时拍摄下景物的像，制成电影胶片。在放映时，通过两个放映机，把用两个摄影机拍下的两组胶片同步放映，使这略有差别的两幅图像重叠在银幕上。

立体电影



如果用眼睛直接观看，看到的画面模糊不清，要看到立体电影，就要在每架电影机前装一块偏振片。从两架放映机射出的光，通过偏振片后，就成了偏振光。左右两架放映机前的偏振片的偏振化方向互相垂直，因而产生的两束偏振光的偏振方向也互相垂直。

观众用上述的偏振眼镜观看，每只眼睛只看到相应的偏振光图象，即左眼只能看到左机映出的画面，右眼只能看到右机映出的画面，这样就会像直接观看那样产生立体感觉。这就是立体电影的原理。

实际放映立体电影是用一个镜头，两套图象交替地印在同一电影胶片上，还需要一套复杂的装置。

偏振光有广泛的应用：

1) 机械工业：利用偏振光的干涉分析机件内部的应力分布——光测弹性力学；

2) 化工、制药：利用振动面的旋转（旋光效应），测量溶液浓度；

3) 航海、航空：使用偏光天文罗盘；

4) 地质、生物、医学：广泛使用偏振光干涉仪、偏振光显微镜；

偏光显微镜(polarizing microscope)

研究对象：具有双折射性质的旋光物质。

特点：在镜筒中加了两块偏振片。

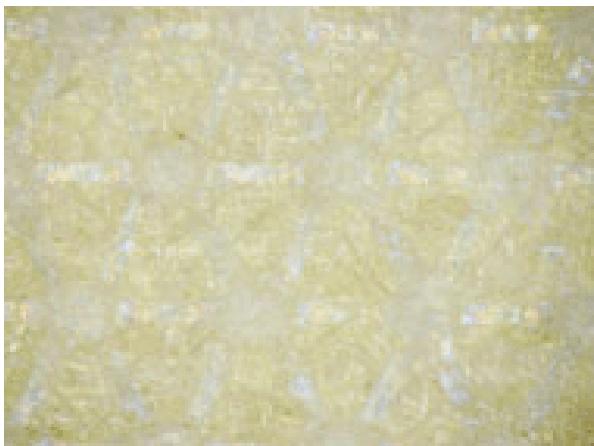
原理：无样品时，两偏振片互相垂直，视野是暗的。

有双折射性的生物组织：纤维、染色体、淀粉粒、细胞壁

区别肿瘤细胞：正常细胞对偏振光是左旋，而肿瘤细胞对偏振光是右旋。



普通显微镜



偏光显微镜



本课内容回顾

- 1、自然光、部分偏振光、偏振光
- 2、产生偏振光的方法：反射和折射（布儒斯特定律）、二向色性、散射、晶体
- 3、马吕斯定律 $I = I_0 \cos^2 \theta$
- 4、消光比 $PER = \frac{I_{\text{透min}}}{I_{\text{透max}}}$
- 5、最大透射比 $P_\tau = \frac{I_{\text{透max}}}{I_0}$
- 6、应用：光弹性力学、旋光效应、偏光天文罗盘偏振光干涉仪、偏振光显微镜

$$i_0 = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

作 业

- P529第1题