

大学物理

张磊 (13072919527)

B824, Cyrus Tang Building



本学期大学物理期中考试时间
2023-10-28 15:00-17:00 (星期六)

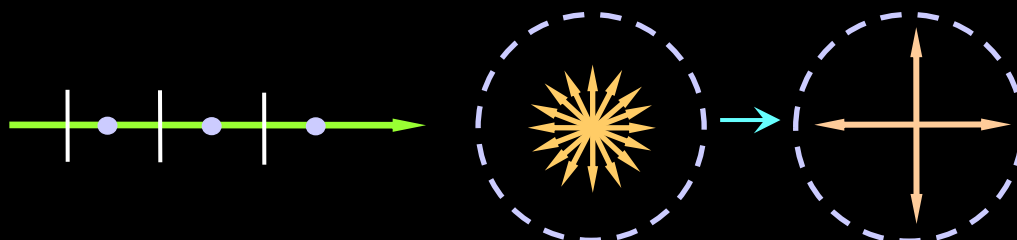
考试内容
机械振动、机械波、波动光学

大家做好复习和考试准备
预计在考试前一周左右，考试会在系统发布，
大家关注系统

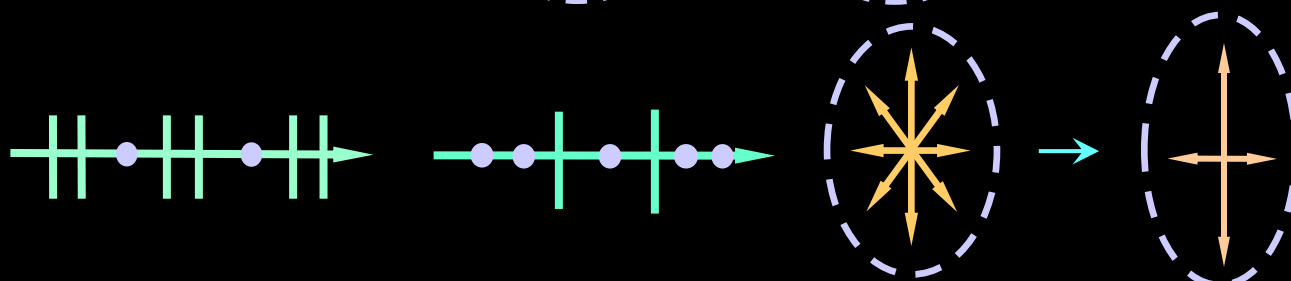
光的偏振

光矢量的振动相对于传播方向的不对称性

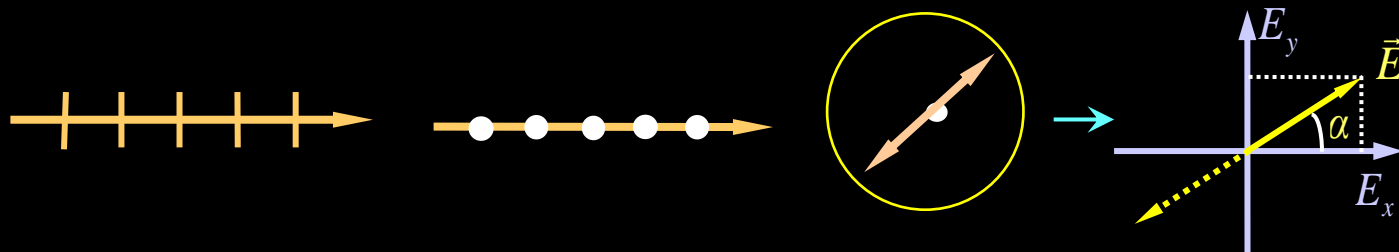
自然光



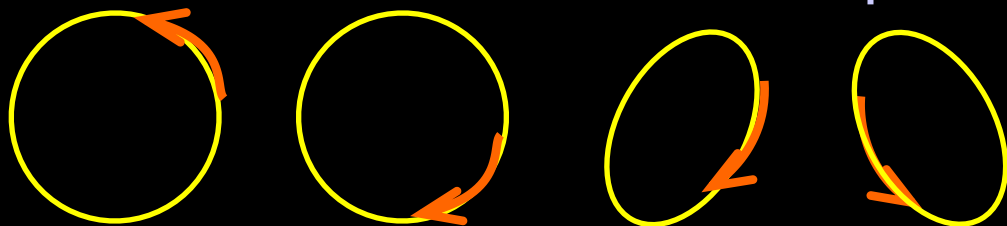
部分偏振光



线偏振光



圆偏振光和椭圆偏振光



马吕斯定律

$$I' = I \cos^2 \alpha$$

反射和折射产生的偏振 布儒斯特定律

反射和折射产生的偏振

- 自然光入射
- 反射和折射后产生 → 偏振光

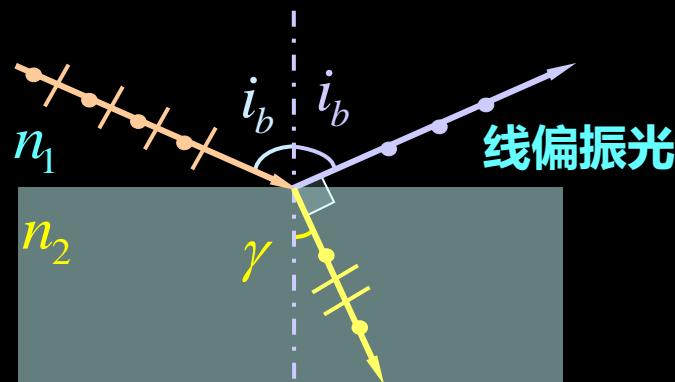
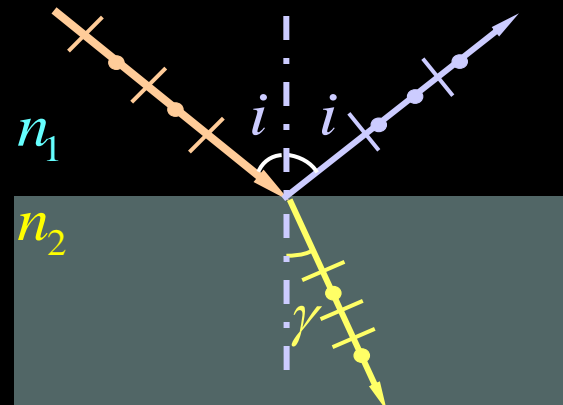
布儒斯特定律

$i_b + \gamma = 90^\circ$ 时，反射光为线偏振光

i_b — 布儒斯特角 或 起偏角

$$n_1 \sin i_b = n_2 \sin \gamma = n_2 \cos i_b$$

$$\tan i_b = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

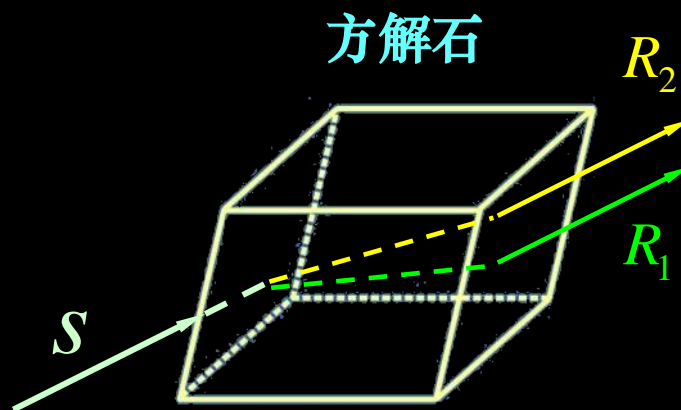


§14.13 晶体的双折射现象

一. 双折射现象

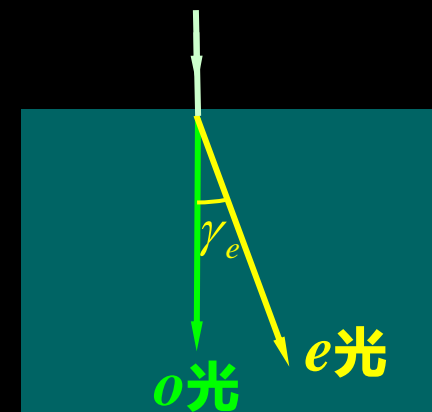
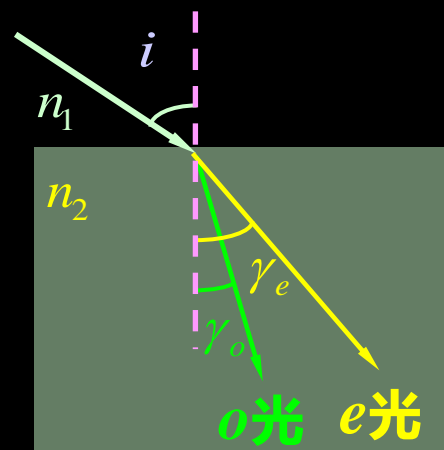
1. 双折射

双折射现象 **一束**光入射到各向异性的介质后出现**两束**线偏振折射光线的现象。



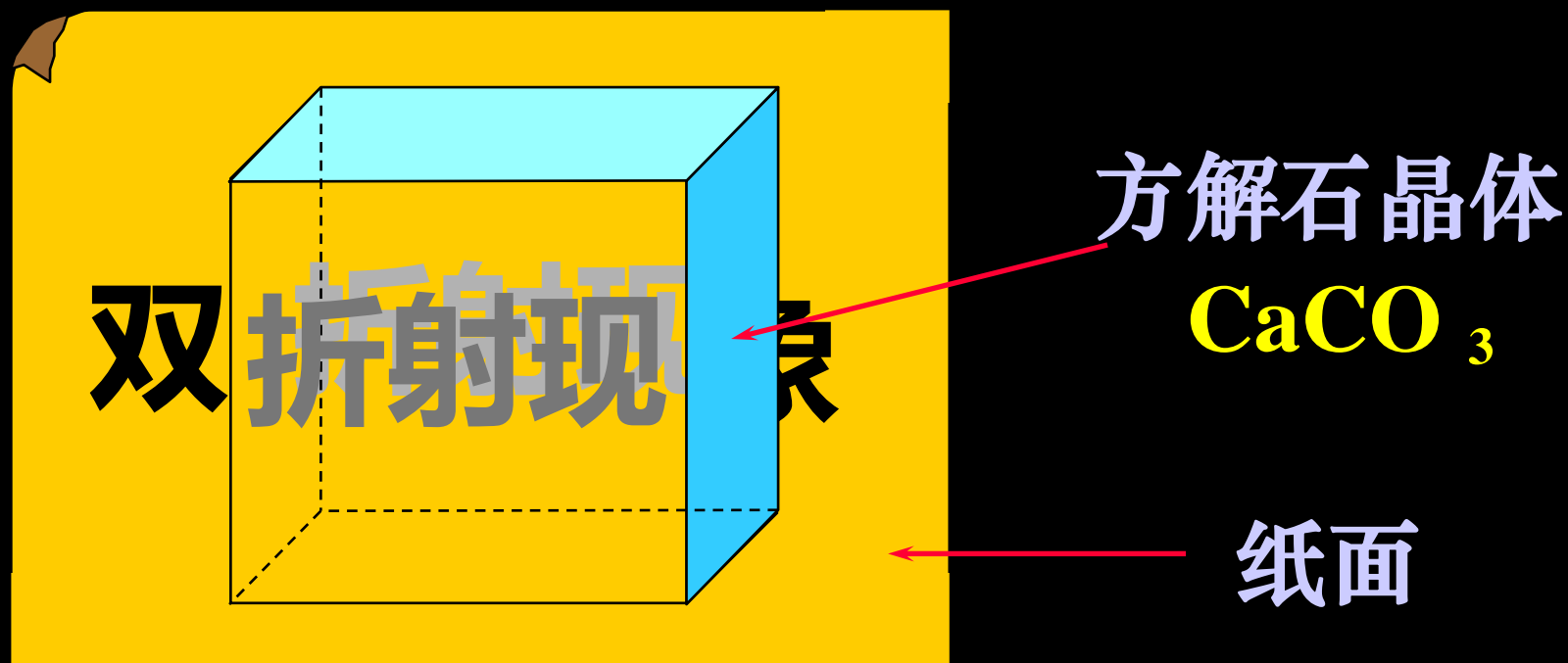
2. 寻常光和非寻常光

两折射光线中有一条始终在入射面内，并遵从折射定律，称为**寻常光**，简称 o 光

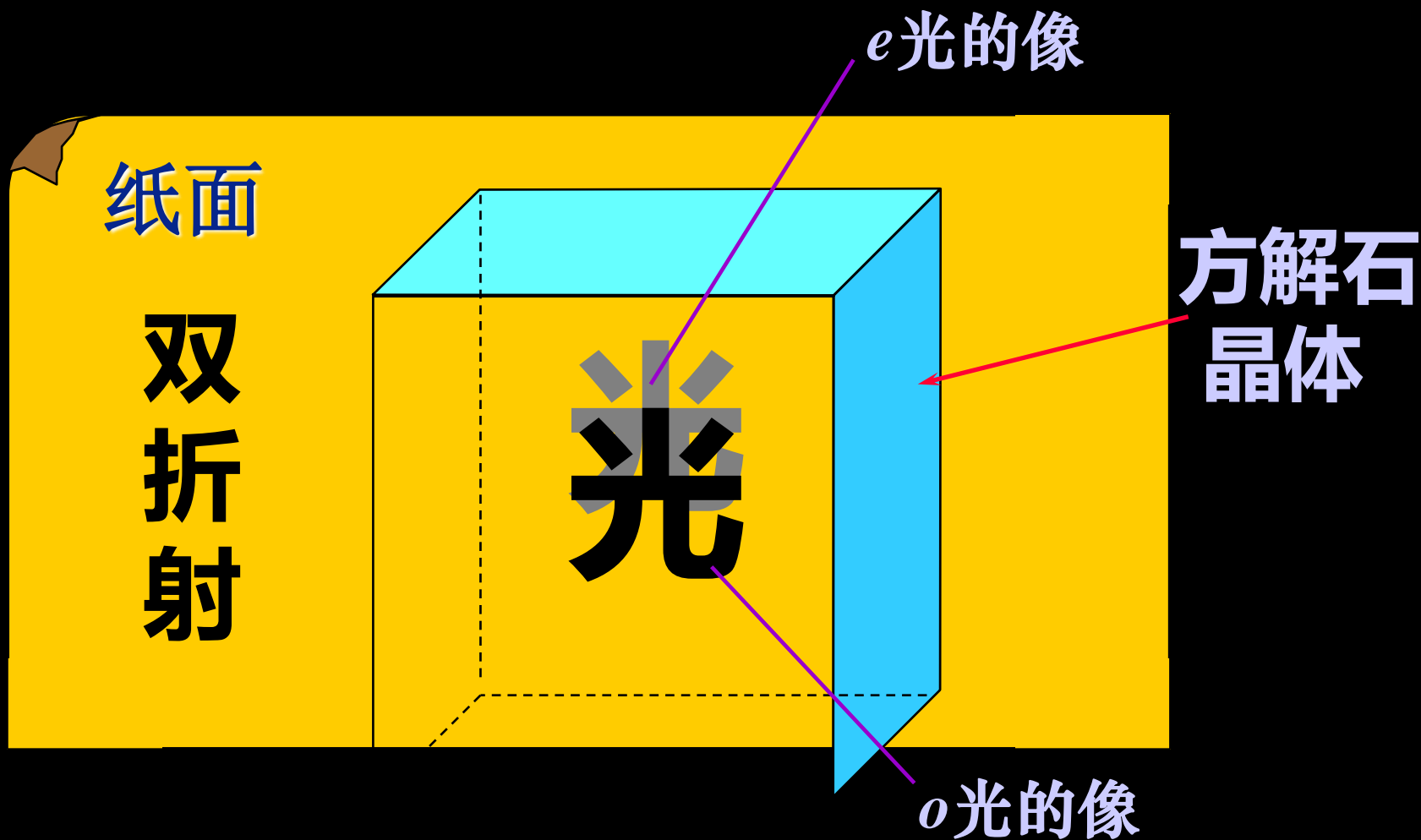


另一条光一般不遵从折射定律，称**非常光**，简称 e 光

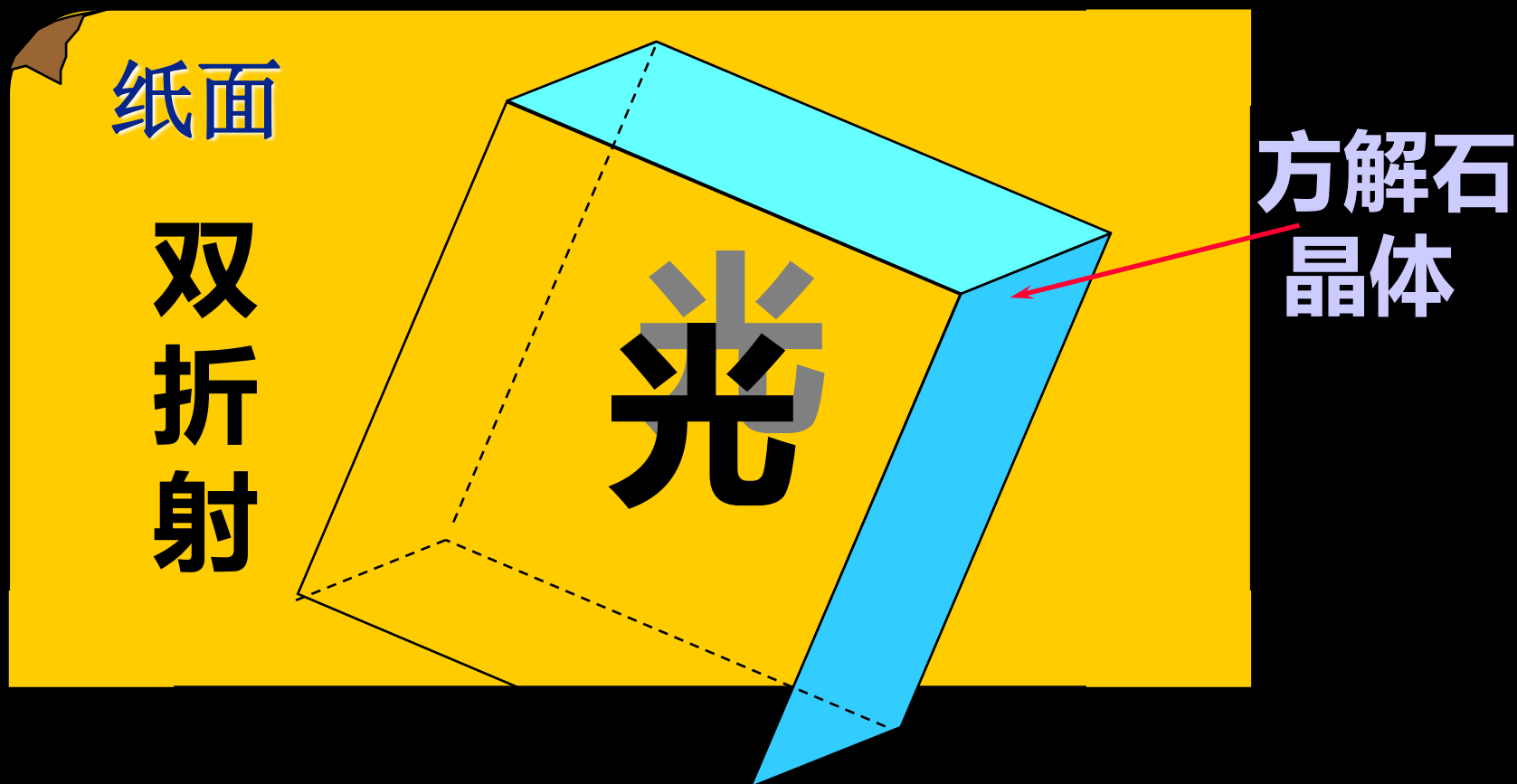
双折射会映射出双像：



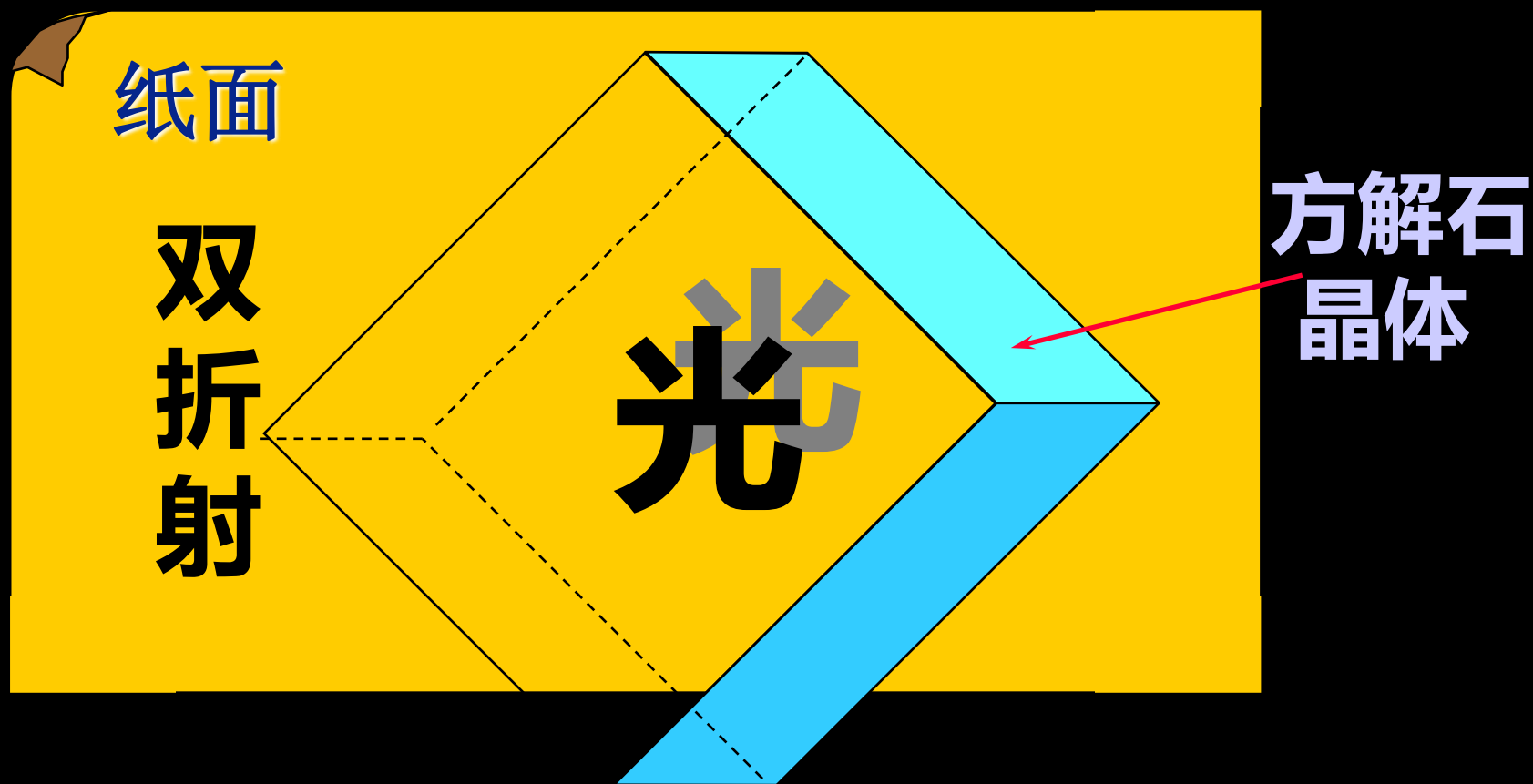
当方解石晶体旋转时， o 光的像不动， e 光的像围绕 o 光的像旋转。



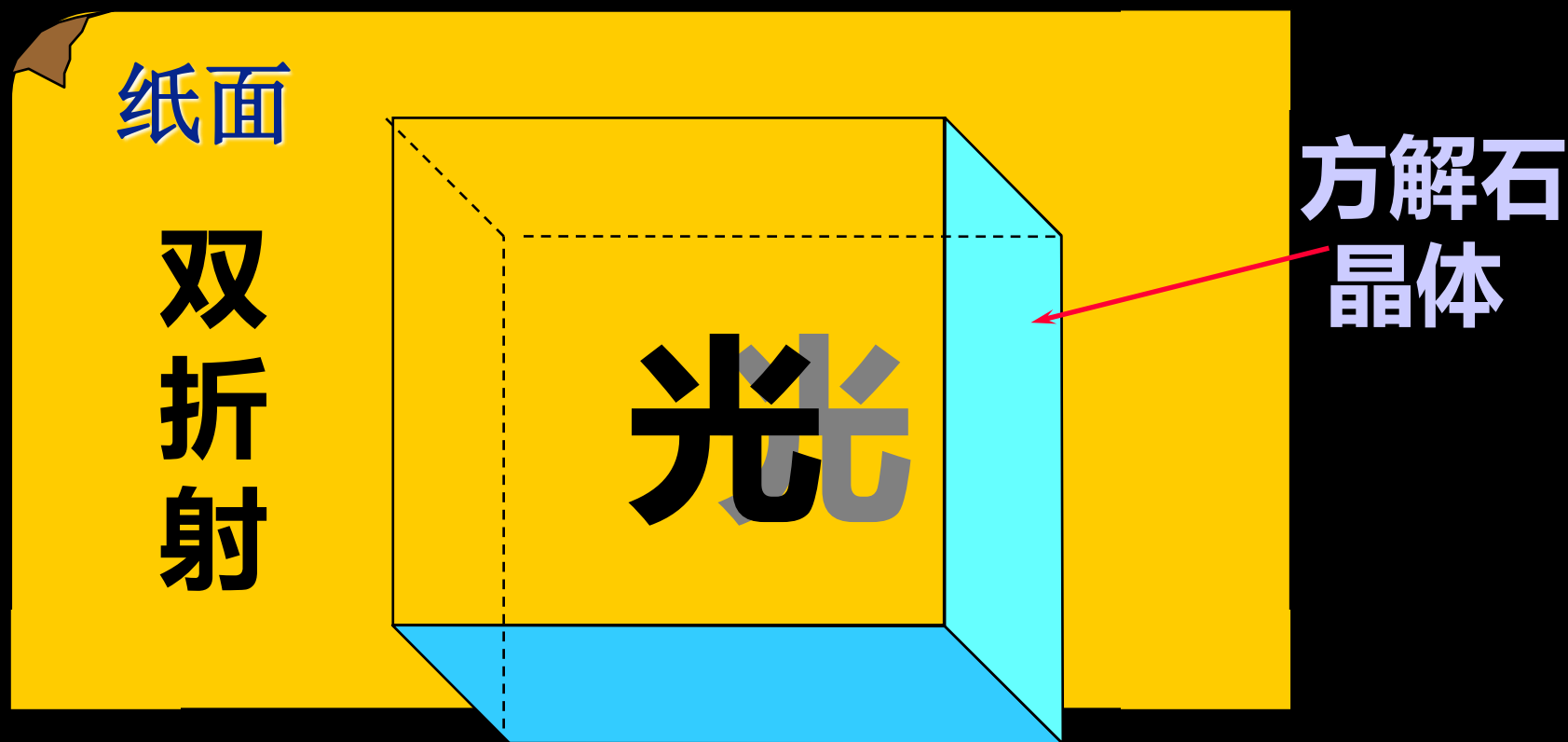
继续旋转方解石晶体：



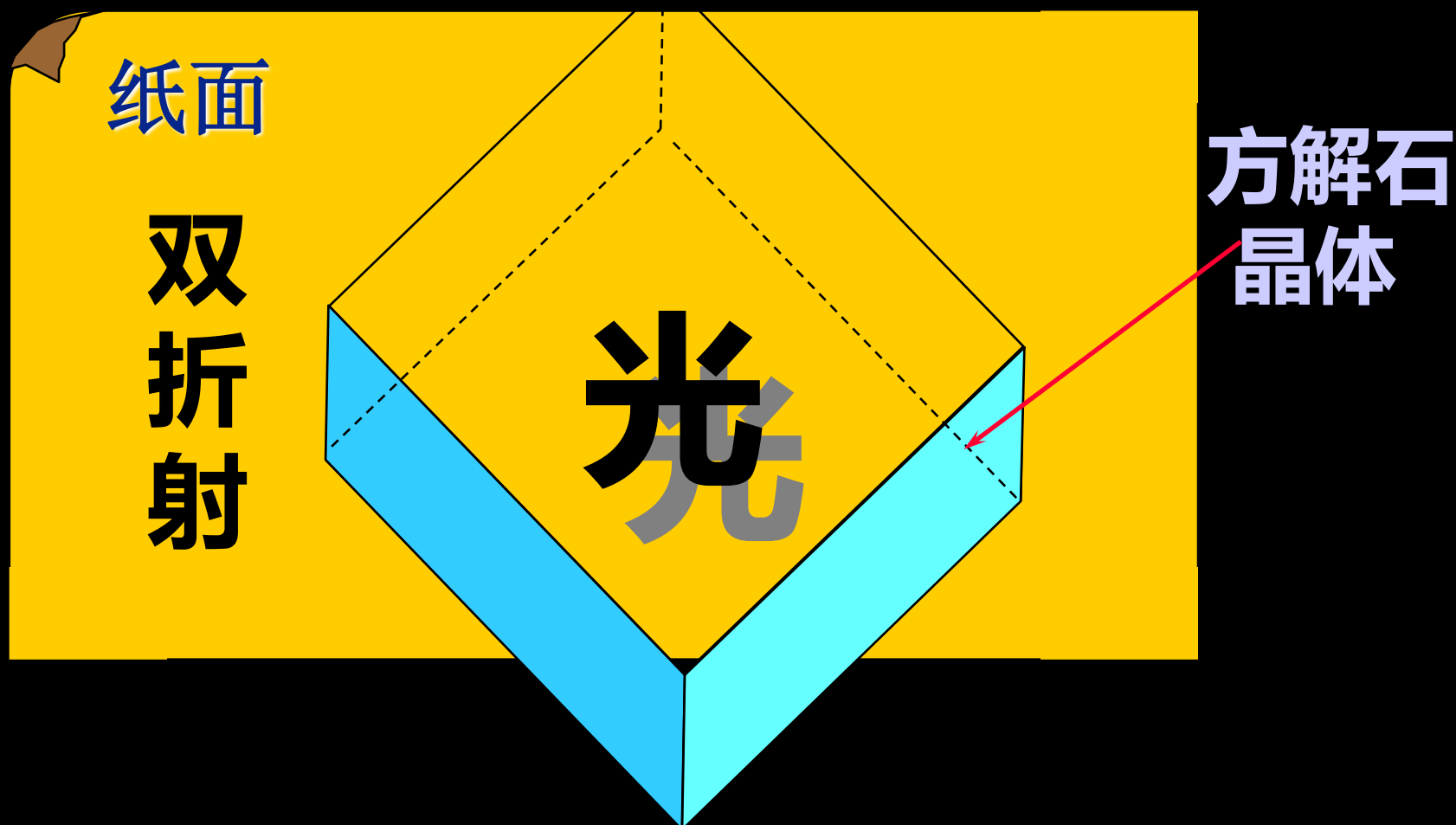
继续旋转方解石晶体：



继续旋转方解石晶体：



继续旋转方解石晶体：



3. 晶体的光轴

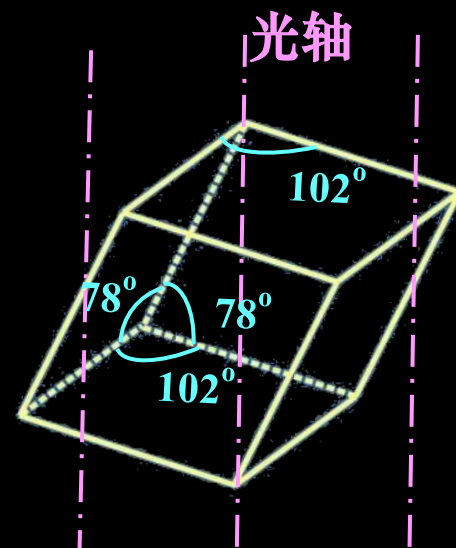
当光在晶体内沿某个特殊方向传播时不发生双折射，该方向称为晶体的光轴。例如 方解石晶体(冰洲石)

光轴是一簇特殊的方向

凡平行于此方向的直线均为光轴

单轴晶体: 只有一个光轴的晶体

双轴晶体: 有两个光轴的晶体

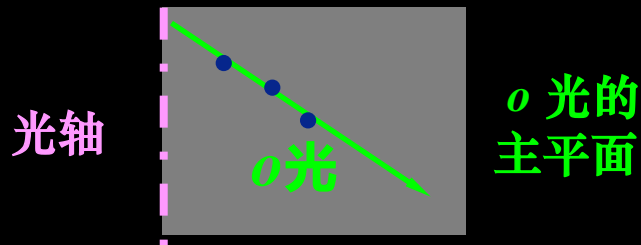


4. 主平面

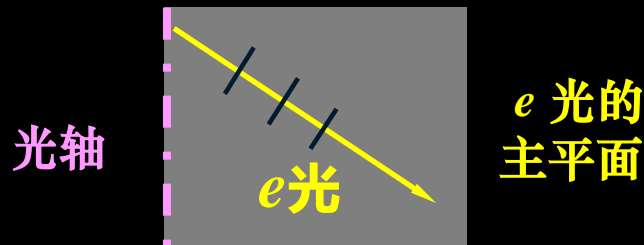
主平面 晶体中光的传播方向与晶体光轴构成的平面

光轴与 o 光构成的平面叫 o 光主平面

光轴与 e 光构成的平面叫 e 光主平面



(o 光振动垂直 o 光主平面)

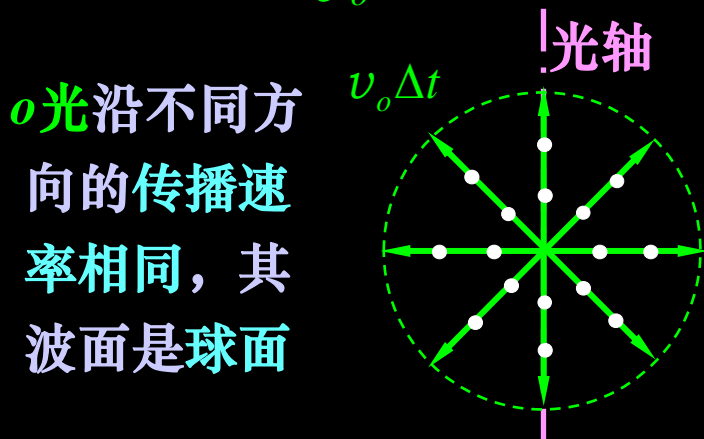


(e 光振动在 e 光主平面内)

光轴在入射面时， o 光主平面和 e 光主平面重合，此时 o 光光振动和 e 光光振动相互垂直。一般情况下，两个主平面夹角很小，故可认为 o 光振动和 e 光振动仍然相互垂直。

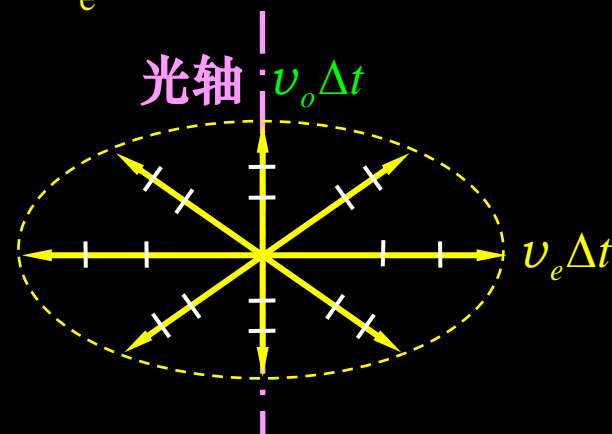
5. 正晶体、负晶体

o 光: $n_o = \frac{c}{v_o}$ (o 光主折射率)

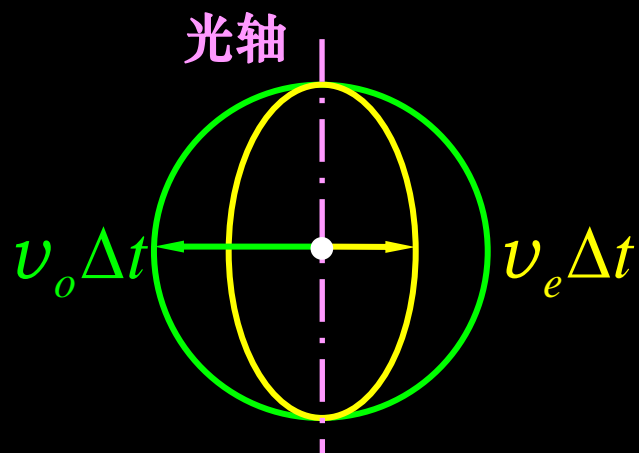


e 光: $n_e = \frac{c}{v_e}$ (e 光主折射率)

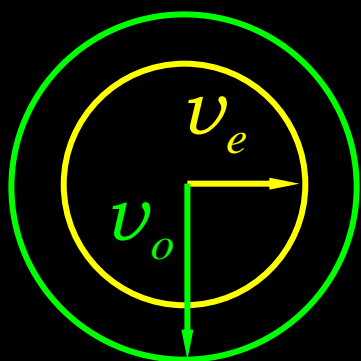
e 光沿不同方向的传播速率不相同，其波面是以光轴为轴的旋转椭球面



正晶体 $\begin{cases} v_o > v_e \\ n_o < n_e \end{cases}$

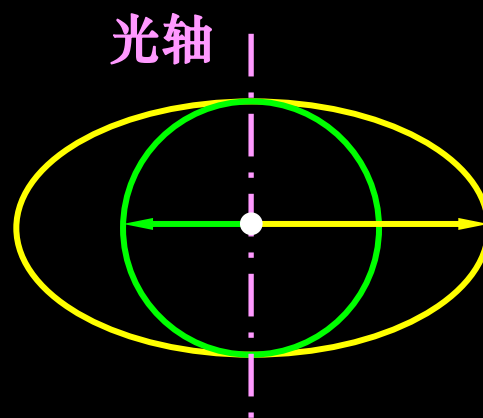


(平行光轴截面)

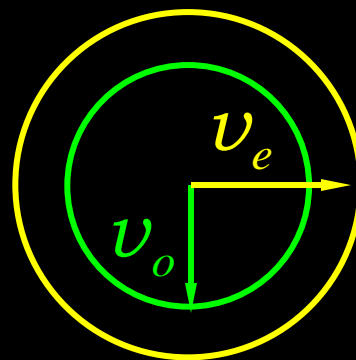


(垂直光轴截面)

负晶体 $\begin{cases} v_o < v_e \\ n_o > n_e \end{cases}$



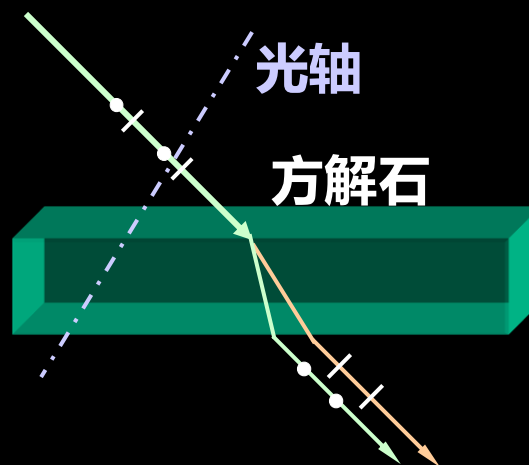
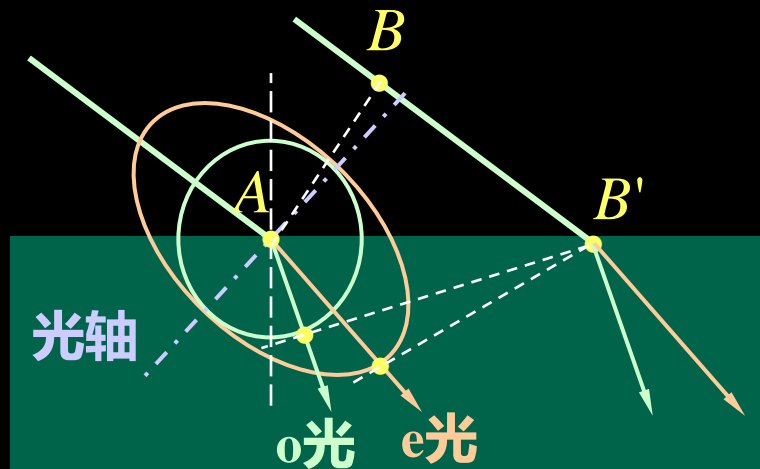
(平行光轴截面)



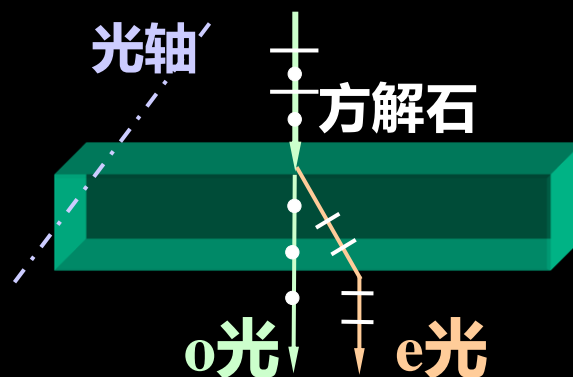
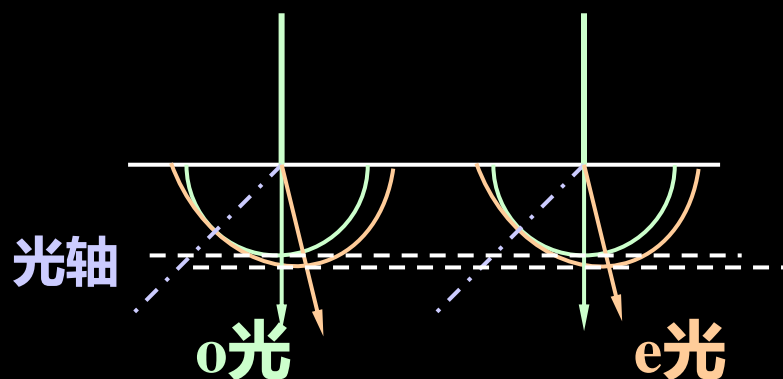
(垂直光轴截面)

二. 单轴晶体中的波面 (惠更斯作图法($v_e > v_o$))

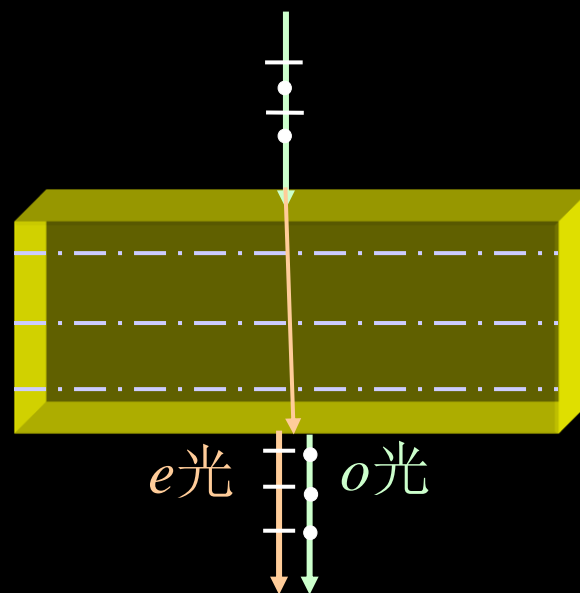
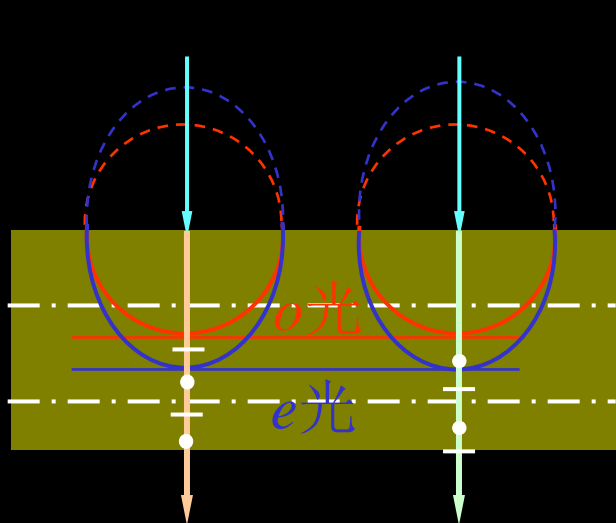
1. 光轴平行入射面, 自然光斜入射负晶体中



2. 光轴平行入射面, 自然光垂直入射负晶体中



3. 光轴平行晶体表面，自然光垂直入射



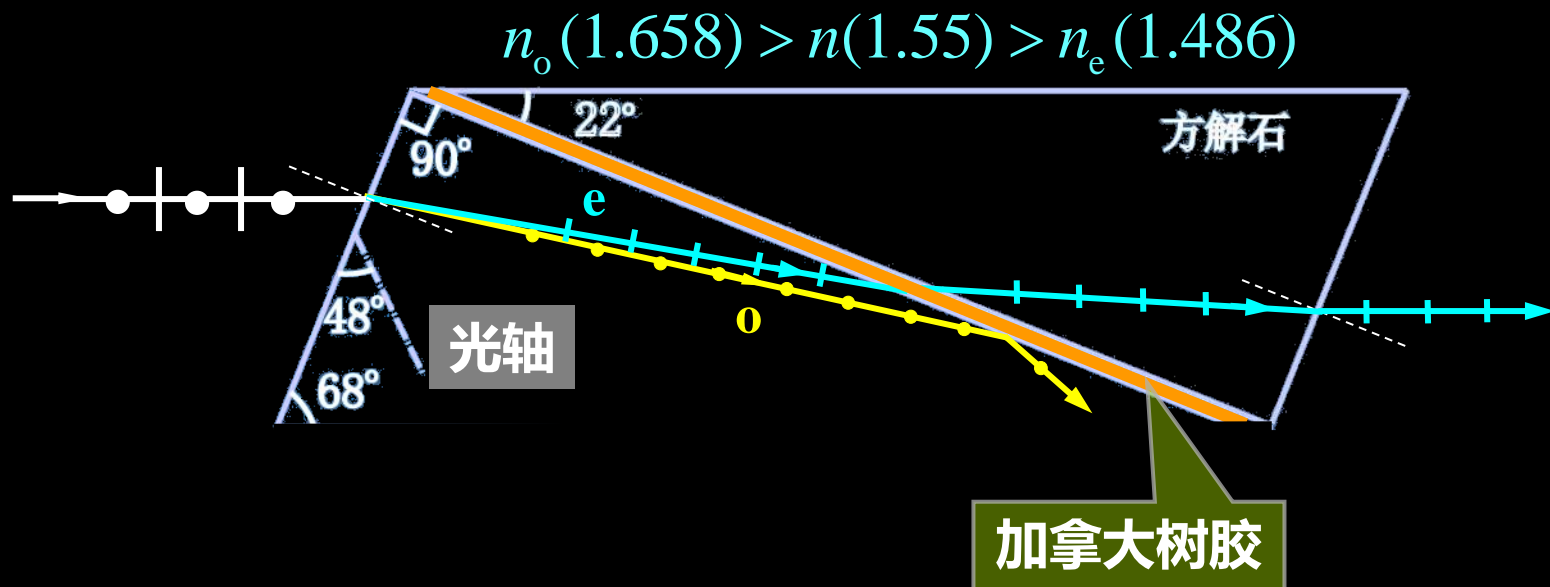
此时，**o**、**e** 光传播方向相同，但传播速度不同。从晶体射出后，二者产生相位差。

这种情况仍然属于有双折射的。

三. 晶体偏振器 （利用晶体产生偏振光）

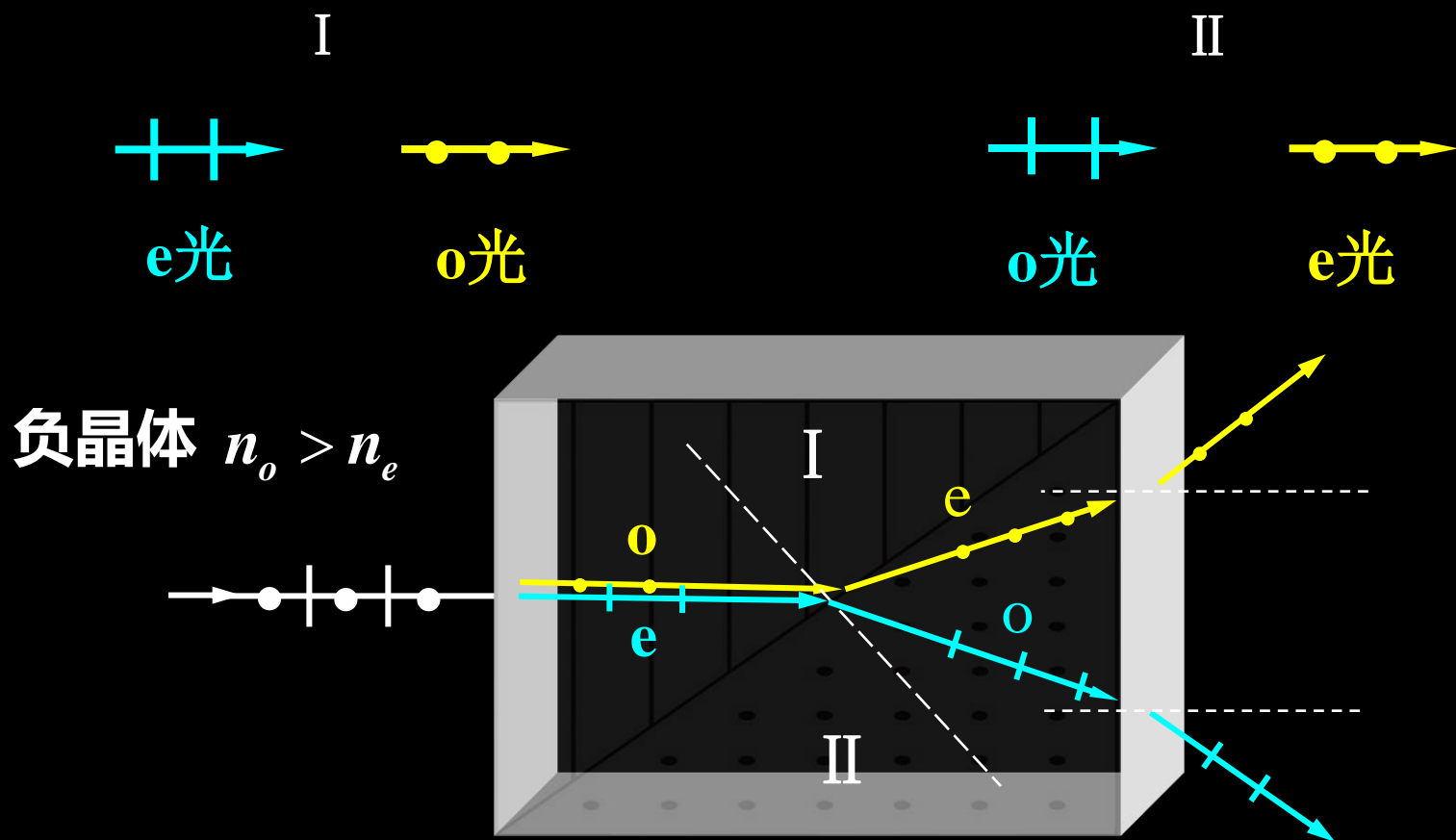
利用晶体制成一些棱镜或者器件可以从自然光中获得高质量的线偏振光.这一点比偏振片和玻璃堆等偏振器更优越.

1、 尼科耳棱镜



出射的是一束振动方向在纸面内的线偏振光.

2、渥拉斯顿棱镜

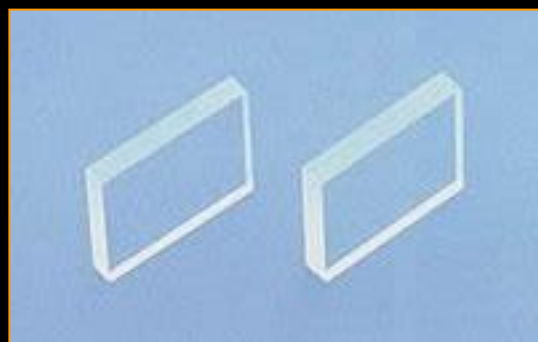
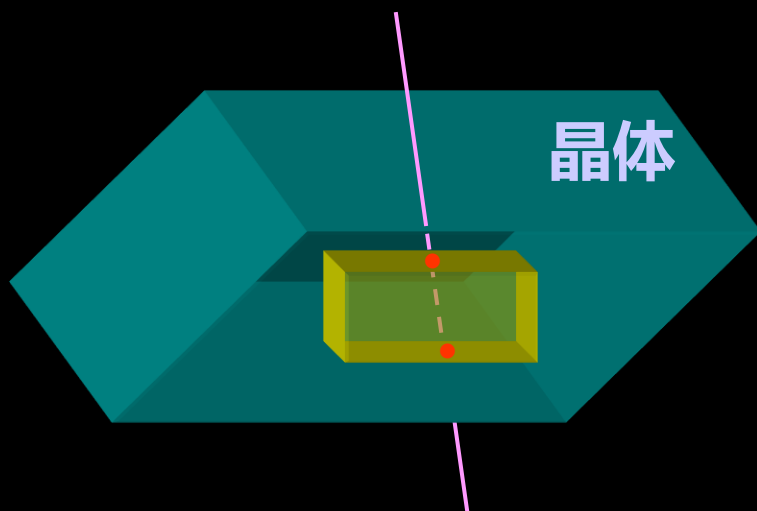


出射的是两束相互分开的、振动方向相互垂直的线偏振光。

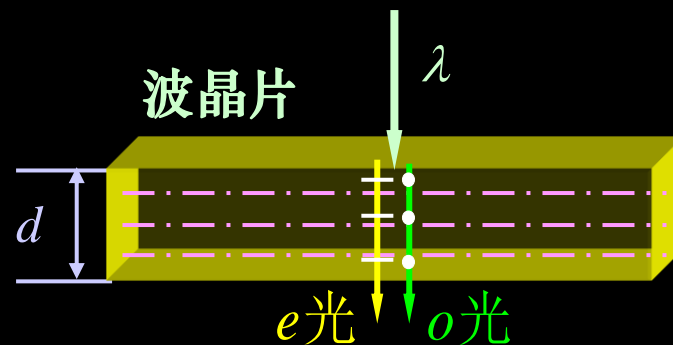
这两种棱镜得到的偏振光质量非常好，但棱镜本身价格很高，因而使用较少。

3. 波晶片

- 一种由双折射晶体制造的光学器件
- 由单轴晶体上切割下来的平行薄片，其表面与晶体的光轴平行

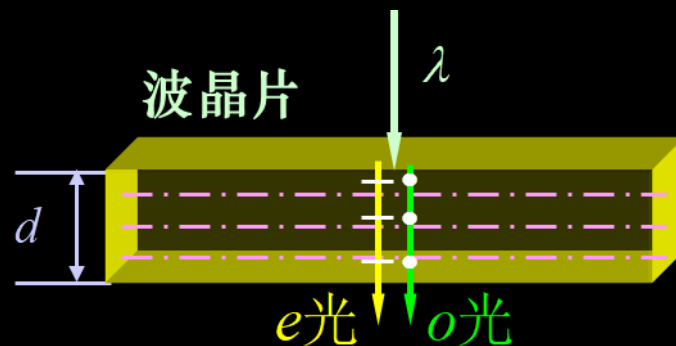


自然光垂直入射波晶片后， o 光， e 光传播速度不同，产生的相位不同。



出射 o 光 e 光的相差为

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$$



波晶片分类

$$(n_o - n_e)d = \lambda / 4$$

$$\Delta\varphi = \pi / 2$$

1/4 波片

$$(n_o - n_e)d = \lambda / 2$$

$$\Delta\varphi = \pi$$

半波片

$$(n_o - n_e)d = \lambda$$

$$\Delta\varphi = 2\pi$$

全波片

➤说明：一定的波晶片是针对某一特定波长而言的

四. 圆偏振光 椭圆偏振光

两相互垂直、同频、相差恒定的线偏振光

$$x = A_1 \cos \omega t$$

$$y = A_2 \cos(\omega t + \varphi)$$

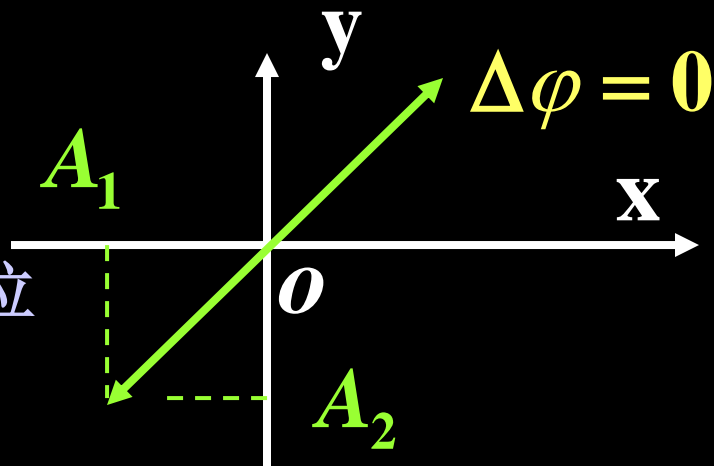
$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos \Delta\varphi = \sin^2 \Delta\varphi$$

轨迹一般为椭圆

1. 当 $\Delta\varphi = 0$ 时

$$\frac{x}{A_1} - \frac{y}{A_2} = 0 \quad x \quad y \quad \text{振动同相位}$$

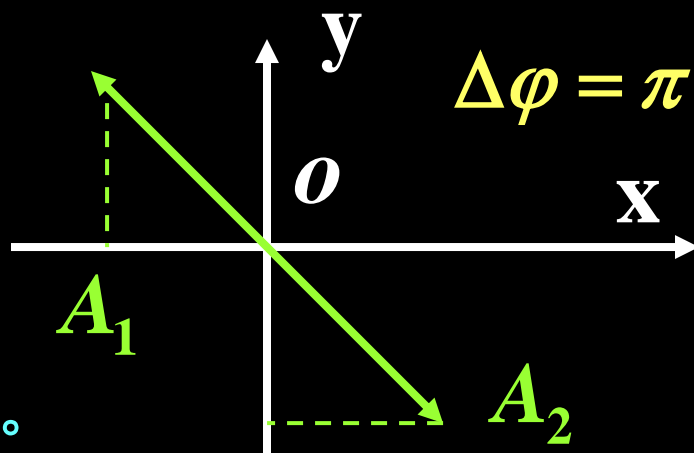
➡ 为一，三象限的线偏振光。



2. 当 $\Delta\varphi = \pi$ 时

$$\frac{x}{A_1} + \frac{y}{A_2} = 0 \quad x \quad y \quad \text{振动反相位}$$

➡ 为二，四象限的线偏振光。



3. 当 $\Delta\varphi = \pi/2$ 时

x 滞后 y $\pi/2$

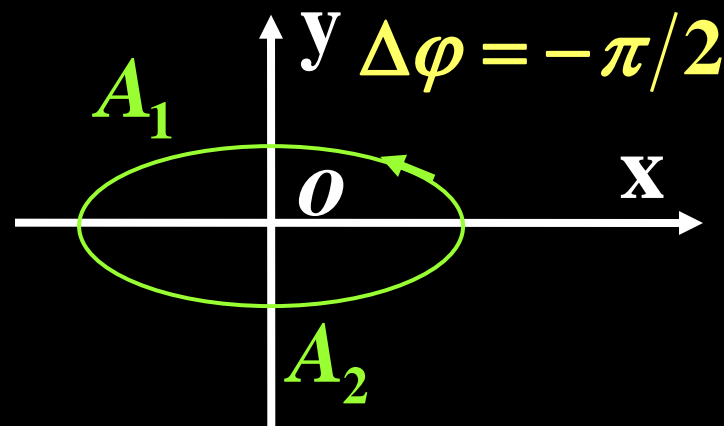
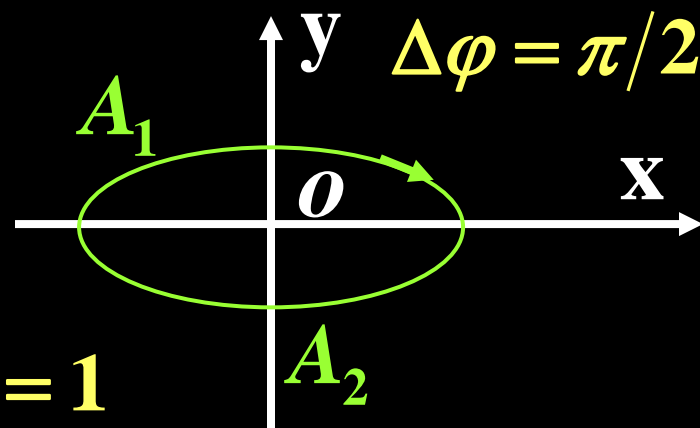
右旋正椭圆偏振光

4. 当 $\Delta\varphi = -\pi/2$ 时

y 滞后 x $\pi/2$

左旋正椭圆偏振光

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$$



5. 当 $\Delta\varphi$ 为其它值时

为斜椭圆偏振光

当 $0 < \Delta\varphi < \pi$ 时, 为顺时针方向椭圆

当 $\pi < \Delta\varphi < 2\pi$ 时, 为逆时针方向椭圆

• 垂直方向同频线偏振光的合成, 依赖于相位差的取值。

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos \Delta\varphi = \sin^2 \Delta\varphi$$

$$\Delta\varphi = 0 \quad \Delta\varphi = \frac{\pi}{2} \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi}{3} \quad \Delta\varphi = \frac{5\pi}{6} \quad \Delta\varphi = \pi$$



$$\Delta\varphi = -\frac{5\pi}{6} \quad \Delta\varphi = -\frac{2\pi}{3} \quad \Delta\varphi = -\frac{\pi}{2} \quad \Delta\varphi = -\frac{\pi}{3} \quad \Delta\varphi = -\frac{\pi}{6}$$



波晶片可用于改变 光的偏振态

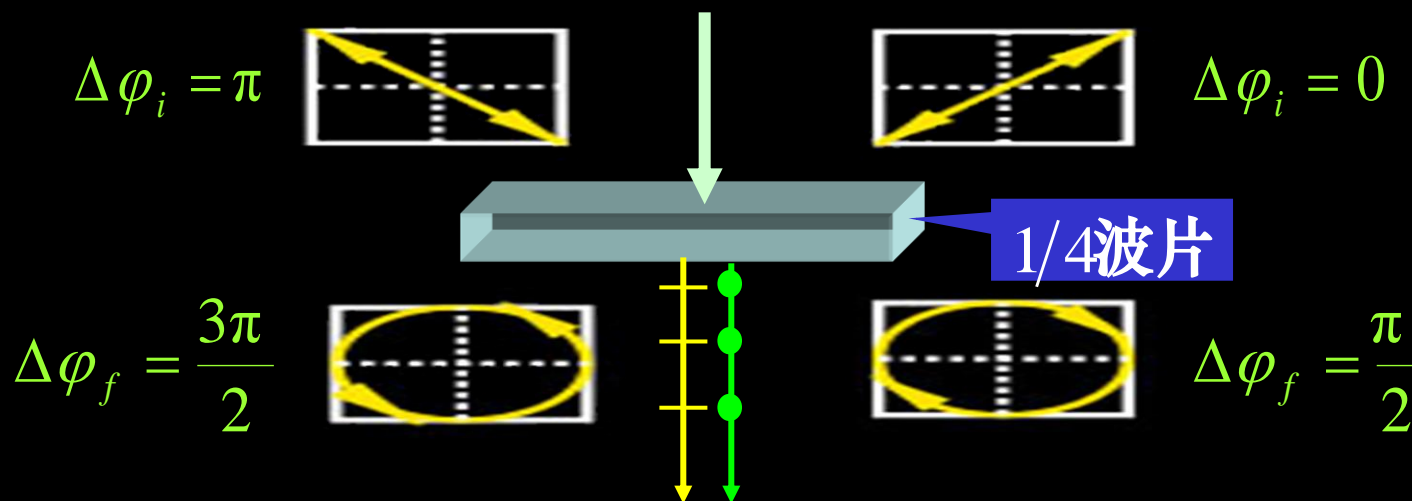
如 线偏振光经 $1/4$ 波片后变为 ? 椭圆偏振光

线偏振光、圆偏振光和椭圆偏振光的光振动均可分解为两个相互垂直同频率相差恒定的线偏振光振动 $x = A_1 \cos \omega t$ $y = A_2 \cos(\omega t + \Delta \varphi)$

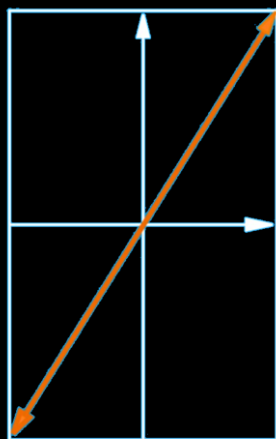
对线偏振光，刚入射时相位差为 $\Delta \varphi_i = \pi$ 或 0

垂直入射波晶片后，分解为振动方向相互垂直的 o 光和 e 光，取 x 轴方向为 o 光振动方向， y 轴方向为 e 光振动方向

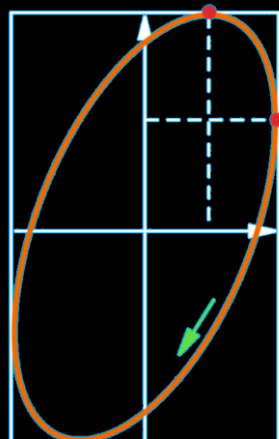
出波片后相位差为 $\Delta \varphi_f = \Delta \varphi_i + \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d = \Delta \varphi_i + \frac{\pi}{2}$



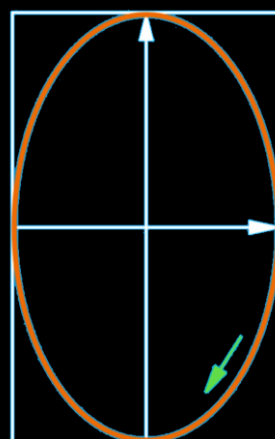
$\Delta\varphi = 0$



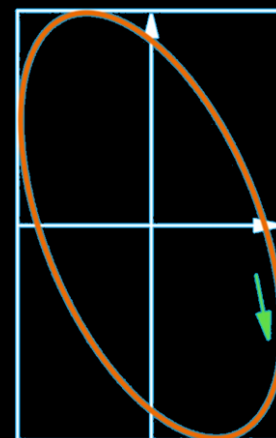
(第一象限)



$\Delta\varphi = \pi/2$

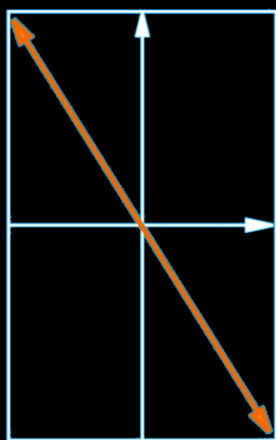


(第二象限)

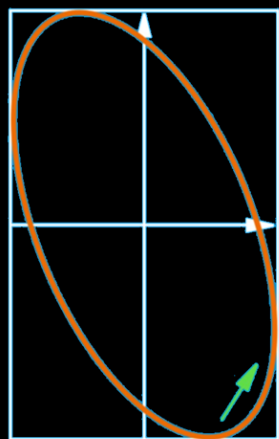


$$\begin{cases} E_x = E_1 \cos \omega t \\ E_y = E_2 \cos(\omega t + \Delta\varphi) \end{cases}$$

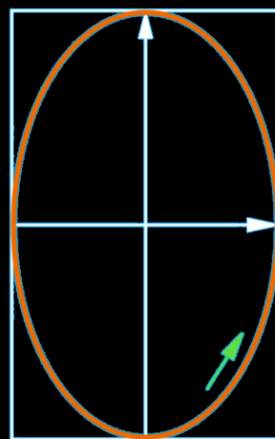
两相互垂直、同频、
相差恒定的线偏振光



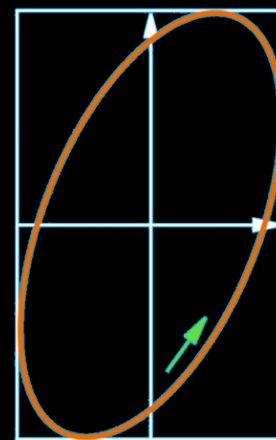
$\Delta\varphi = \pi$



(第三象限)



$\Delta\varphi = 3\pi/2$



(第四象限)

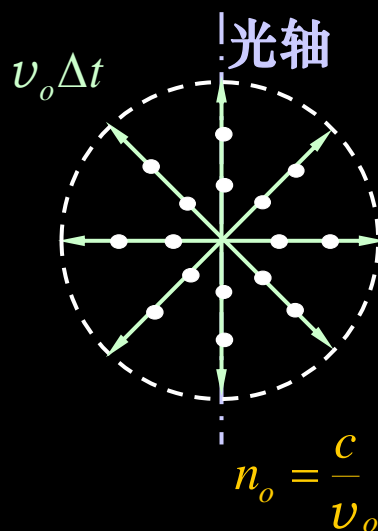
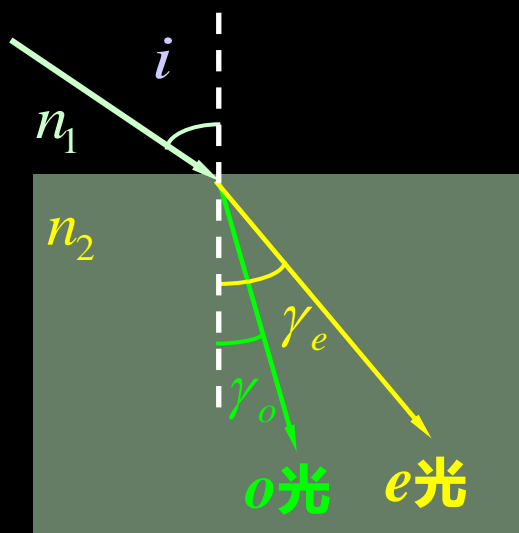
• 波晶片对光偏振的影响:

入射光	波晶片	透射光
线偏振光 ($\Delta\varphi_0 = 0, \pi$)	1/4 波片	椭圆偏振光($\Delta\varphi' = \pi/2, -\pi/2$)
圆偏振光 ($\Delta\varphi_0 = \pi/2, -\pi/2$)	1/4 波片	线偏振光
自然光	1/4 波片	自然光
一般椭圆偏振光	1/4 波片	一般椭圆偏振光
线偏振光 ($\Delta\varphi_0 = 0, \pi$)	1/2 波片	线偏振光 ($\Delta\varphi' = \pi, 0$)
圆偏振光 (左、右旋)	1/2 波片	圆偏振光 (右、左旋)
椭圆偏振光 (左、右旋)	1/2 波片	椭圆偏振光 (右、左旋)
自然光	1/2 波片	自然光

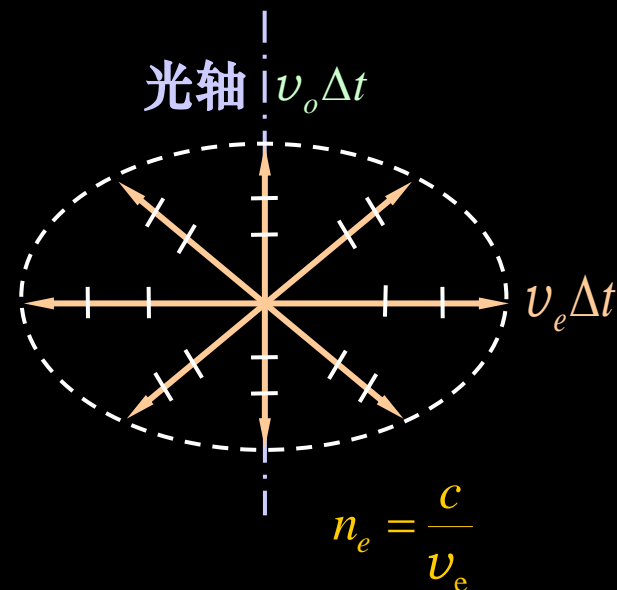
小结: $\frac{1}{4}$ 波片用于改变光的偏振态,

$\frac{1}{2}$ 波片用于改变光的旋向

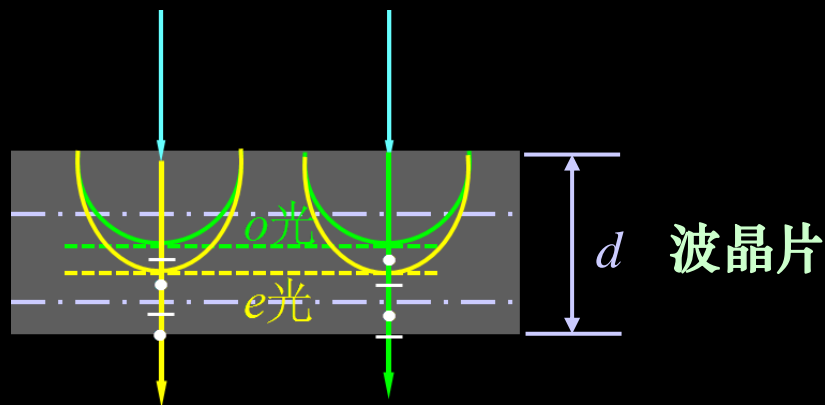
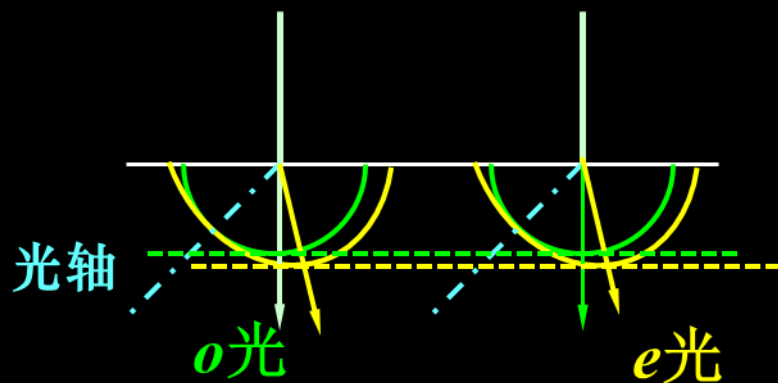
晶体的双折射现象



(o 光主折射率)



(e 光主折射率)

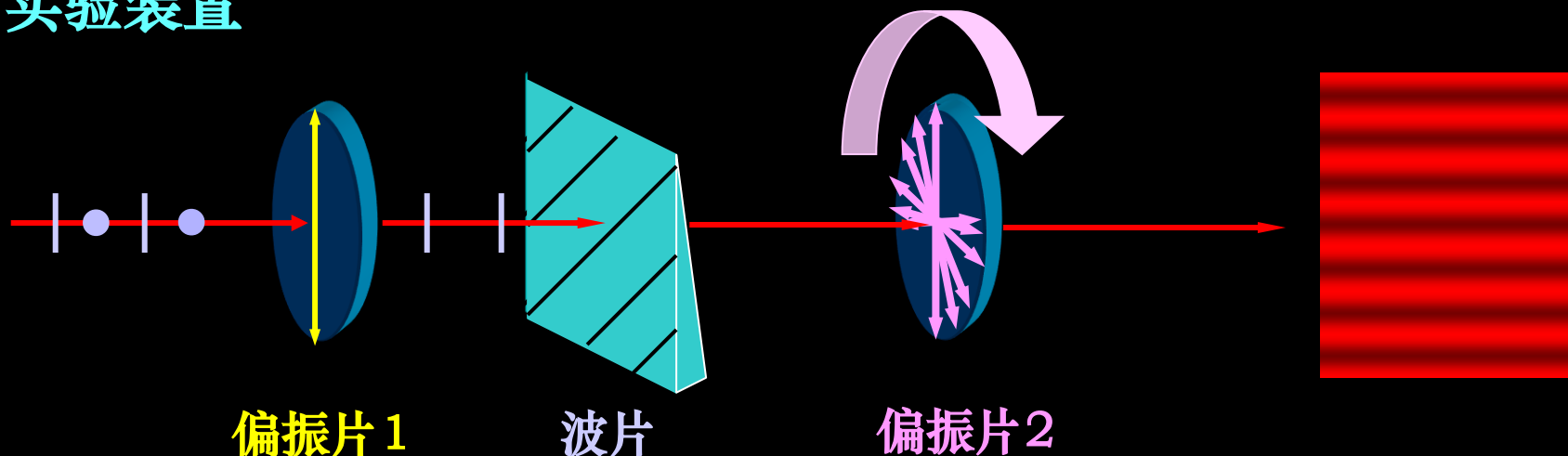


$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$$

§14.14 偏振光的干涉

一. 偏振光干涉实验

1. 实验装置

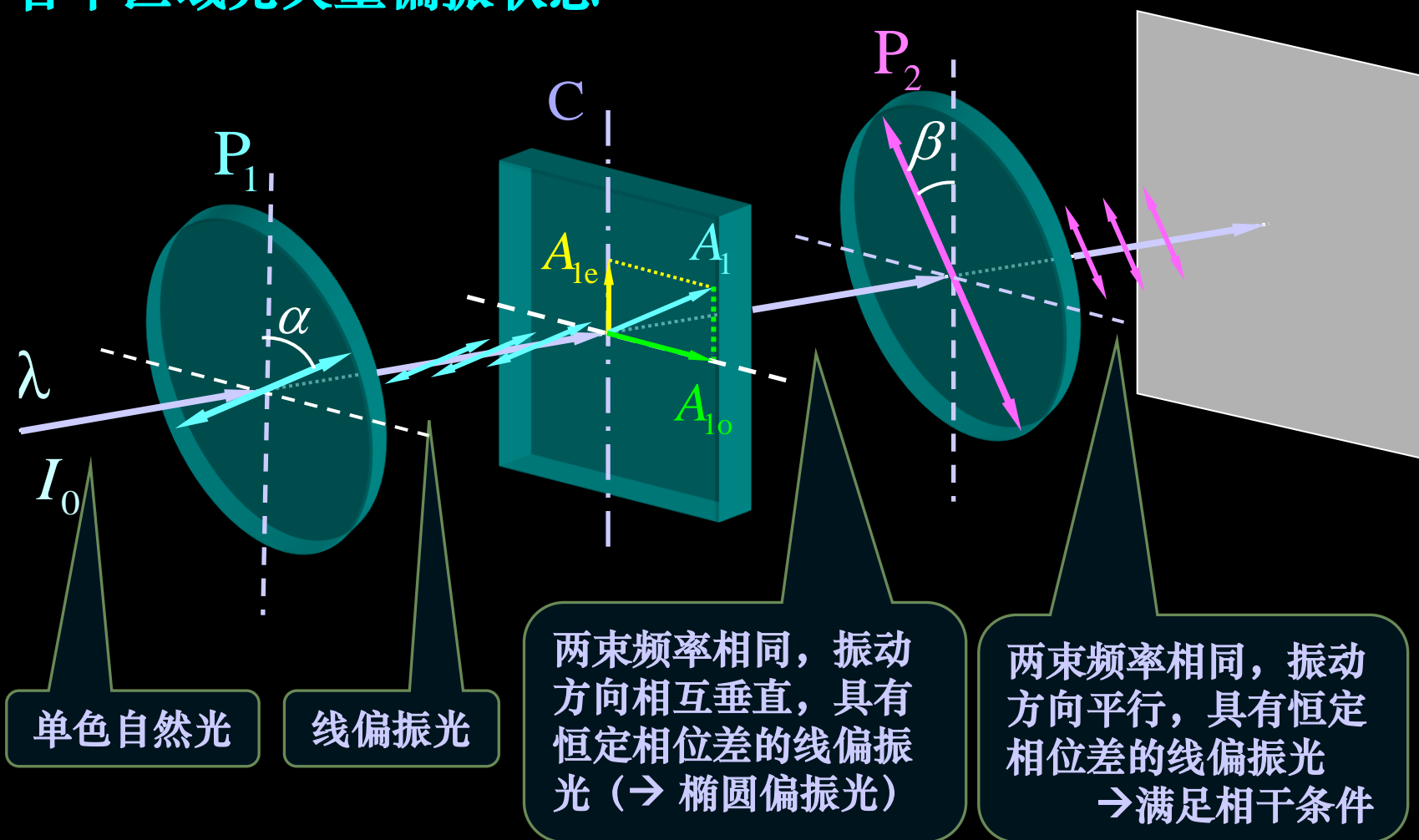


2. 实验现象

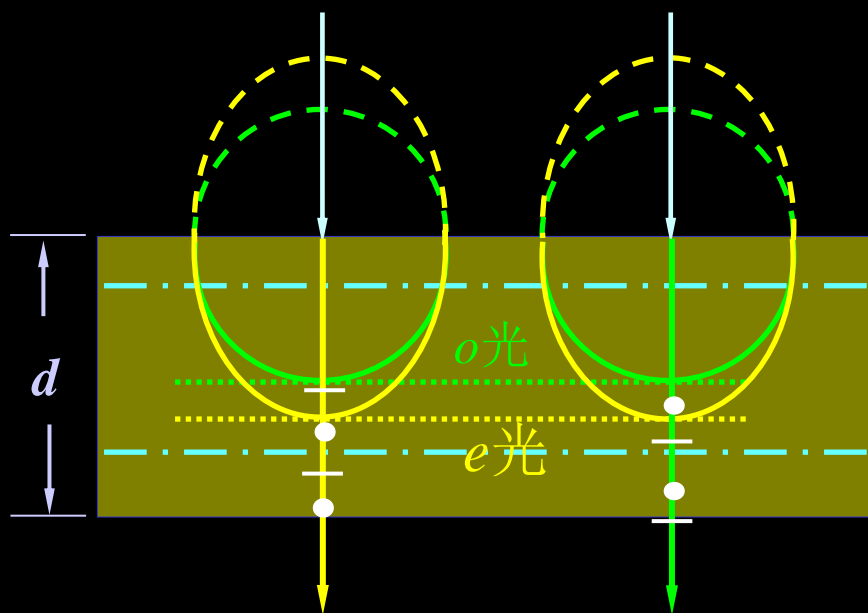
- 单色光入射，波片厚度均匀，屏上光强均匀分布。
- 白光入射，屏上出现彩色，转动偏振片或波片，色彩变化。
- 波片厚度不均匀时，出现干涉条纹。

二. 偏振光干涉的分析

1. 各个区域光矢量偏振状态



2. 光线通过波片的传播情况



o 光和 e 光传播方向相同，但速度不同。

o 光和 e 光通过波片后产生的相位差为：

$$|\Delta\varphi_c| = \frac{2\pi d}{\lambda} |n_o - n_e|$$

n_o —— o 光主折射率

n_e —— e 光主折射率

3. 光线通过 偏振片2 的传播情况及光强分析

(1)单色自然光通过 偏振片 P_1 后振幅为 A_1

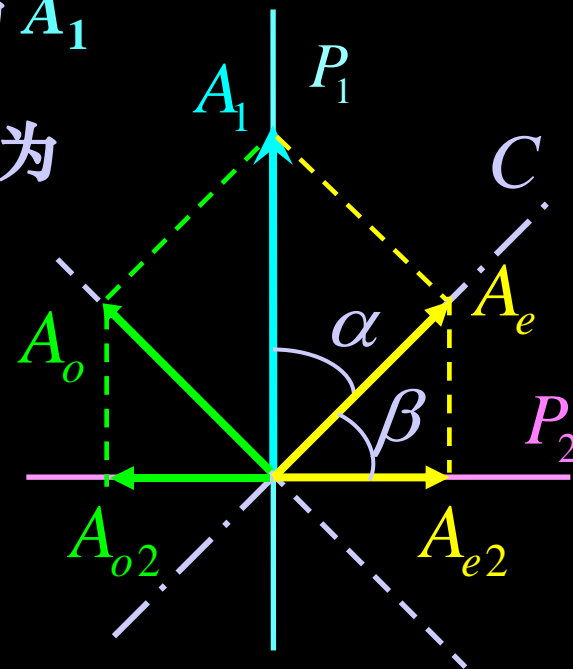
(2)在晶体中 \rightarrow o 光和 e 光，振幅分别为

$$A_o = A_1 \sin \alpha \quad A_e = A_1 \cos \alpha$$

(3)通过 偏振片2 后两分振动振幅

$$A_{o2} = A_o \sin \beta = A_1 \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

$$A_{e2} = A_e \cos \beta = A_1 \cos \alpha \cdot \cos \beta$$



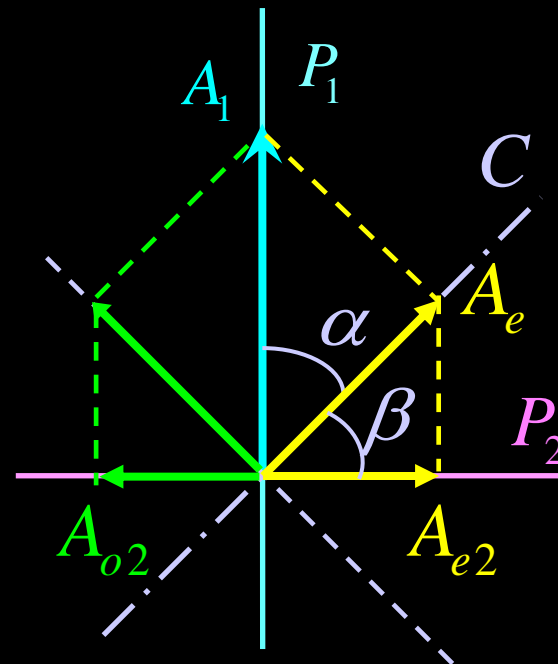
经过 偏振片2 出射的两束光：**振动方向平行，频率相同，相位差恒定**，满足干涉条件。

$\alpha=\beta=45^\circ \rightarrow A_{o2}, A_{e2}$ 的振幅相等且最大，干涉效果最好

(4)考虑 A_{o2} , A_{e2} 反向, 附加相位差

$$|\Delta\varphi| = |\Delta\varphi_c| + \pi = \frac{2\pi d}{\lambda} |n_o - n_e| + \pi$$

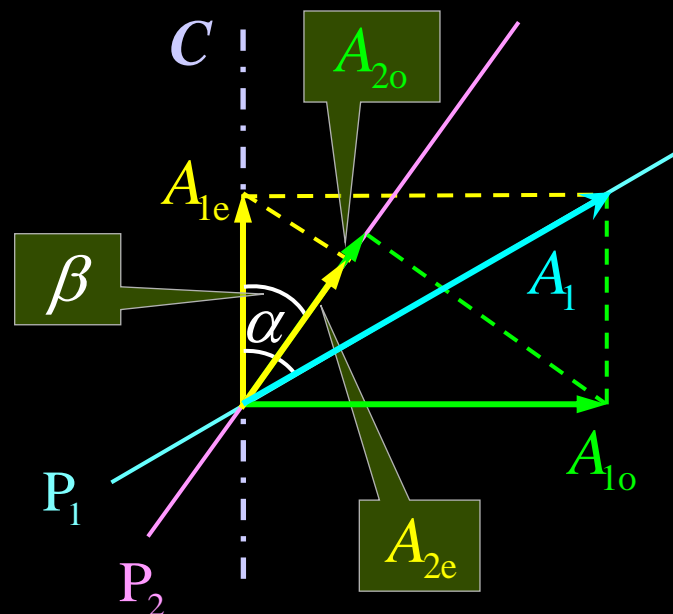
式中 π 为投影引入的
附加相位差



➤ 说明

是否存在附加相位差要具体考虑

该情况 **无需** 附加相位差 π



合振动强度为：

$$I_2 \propto A^2 = A_{o2}^2 + A_{e2}^2 + 2A_{o2}A_{e2} \cos \Delta \varphi$$

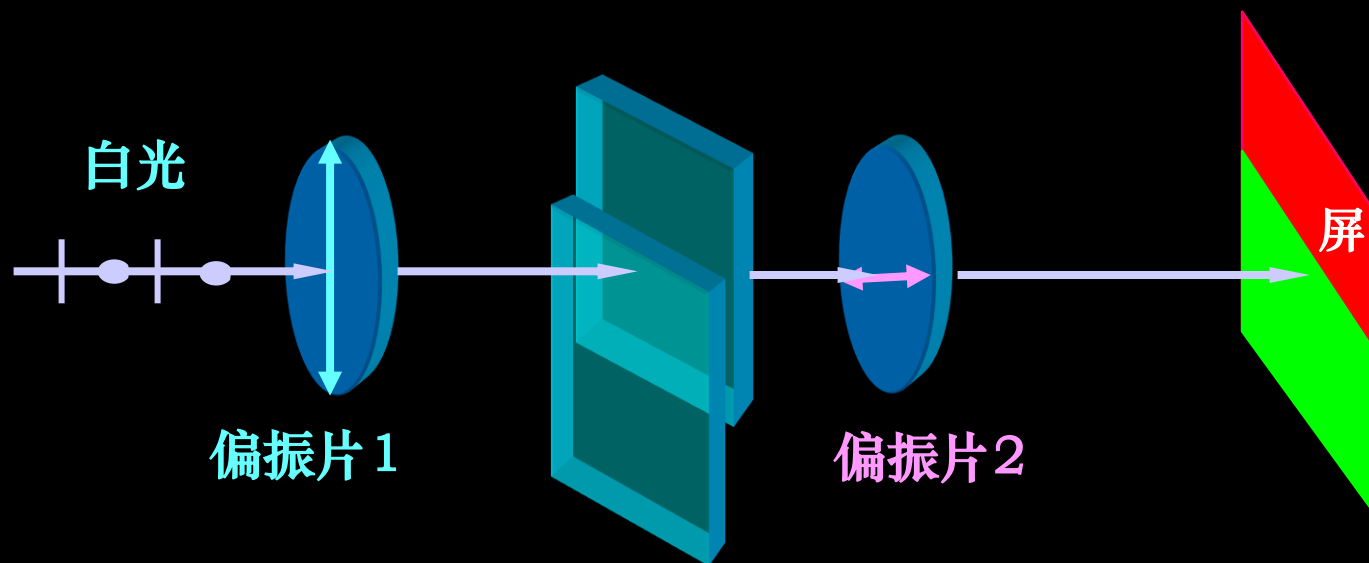
$$|\Delta \varphi| = \frac{2\pi d}{\lambda} |n_o - n_e| + \pi = 2k\pi \quad \text{— 干涉相长}$$

$$|\Delta \varphi| = \frac{2\pi d}{\lambda} |n_o - n_e| + \pi = (2k + 1)\pi \quad \text{— 干涉相消}$$

★ 讨论

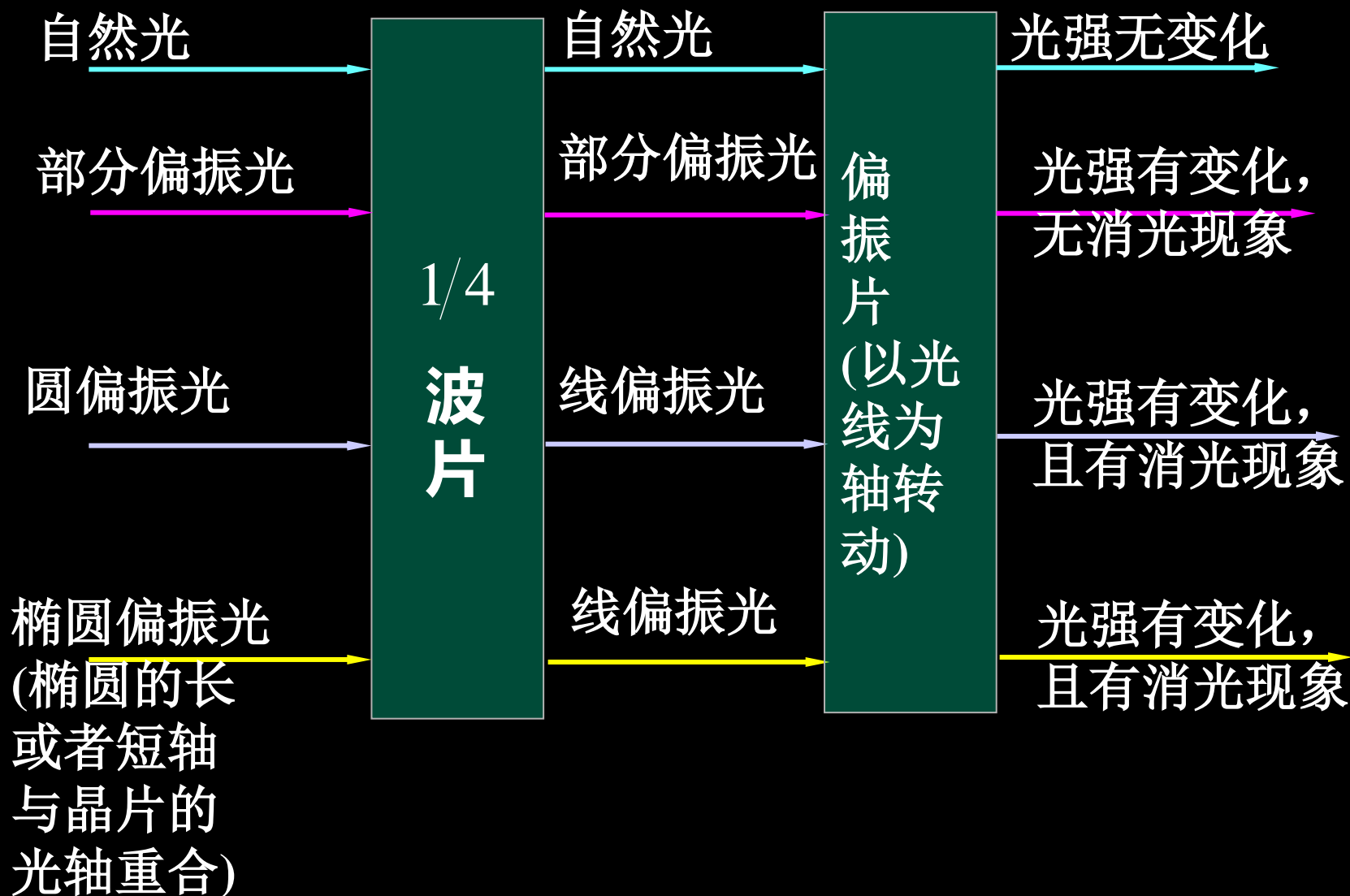
(1) 波片厚度相同时，各处相位差相同，单色光照射时屏上光强均匀分布。

- (2) 波片厚度不均匀时，各处相位差不同，单色光入射出现等厚干涉条纹。
- (3) 白光照射时，屏上由于某种颜色干涉相消，而呈现它的互补色，这叫(显)色偏振。



- (4) 旋转偏振片，使两偏振片偏振化方向平行，相位差产生 π 的变化，屏上颜色发生变化。

★ 各种偏振光经过 $1/4$ 波晶片, 偏振片后的光强变化



例 两正交尼科尔棱镜之间放一块 $1/4$ 波片，其光轴与第一块尼科尔棱镜的起偏方向成 30° 角，光强为 I_0 的单色自然光通过该系统。

求 出射光的光强。

解 自然光通过第一块尼科尔棱镜后的光强为 $I_1 = I_0/2$ ，振幅为 A ，经过波片后

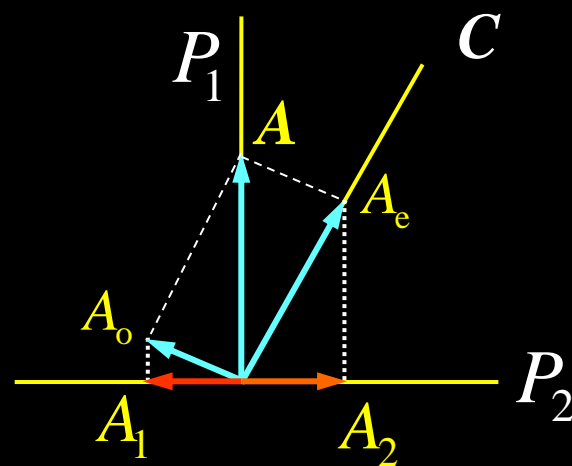
$$A_o = A \sin 30^\circ = \frac{A}{2}$$

$$A_e = A \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}A}{2}$$

通过第二块尼科尔棱镜

$$A_1 = A_o \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4} A$$

$$A_2 = A_e \sin 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4} A$$



$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} + \pi = \frac{3}{2}\pi$$

出射光的光强为

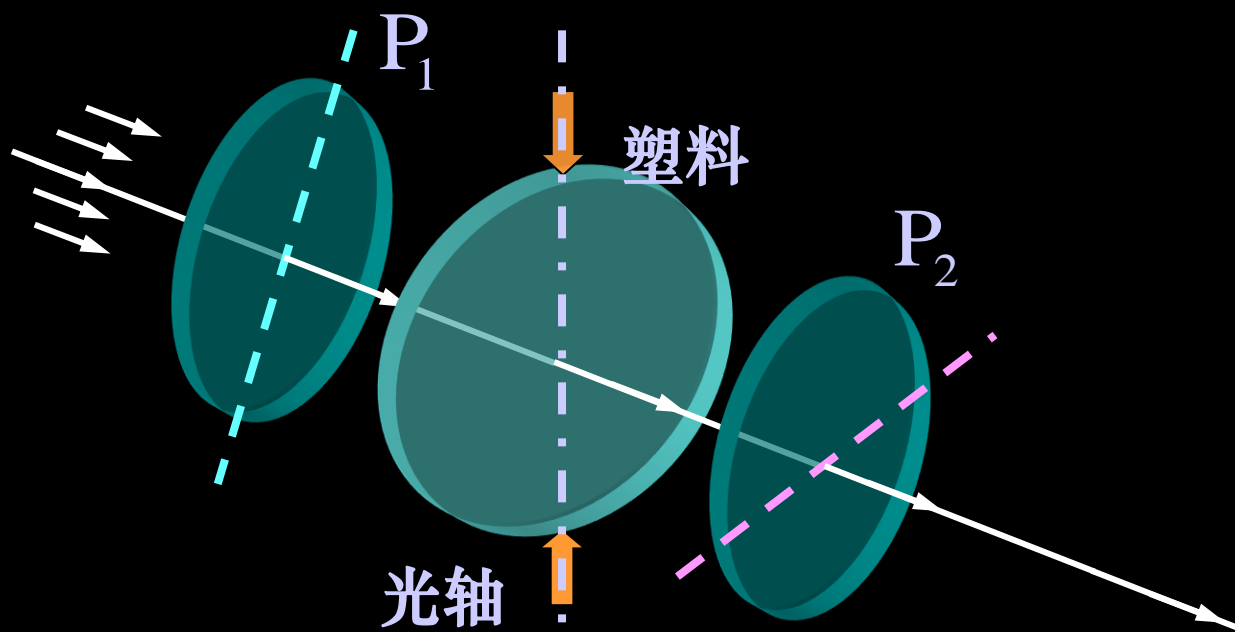
$$A_0^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta\varphi$$

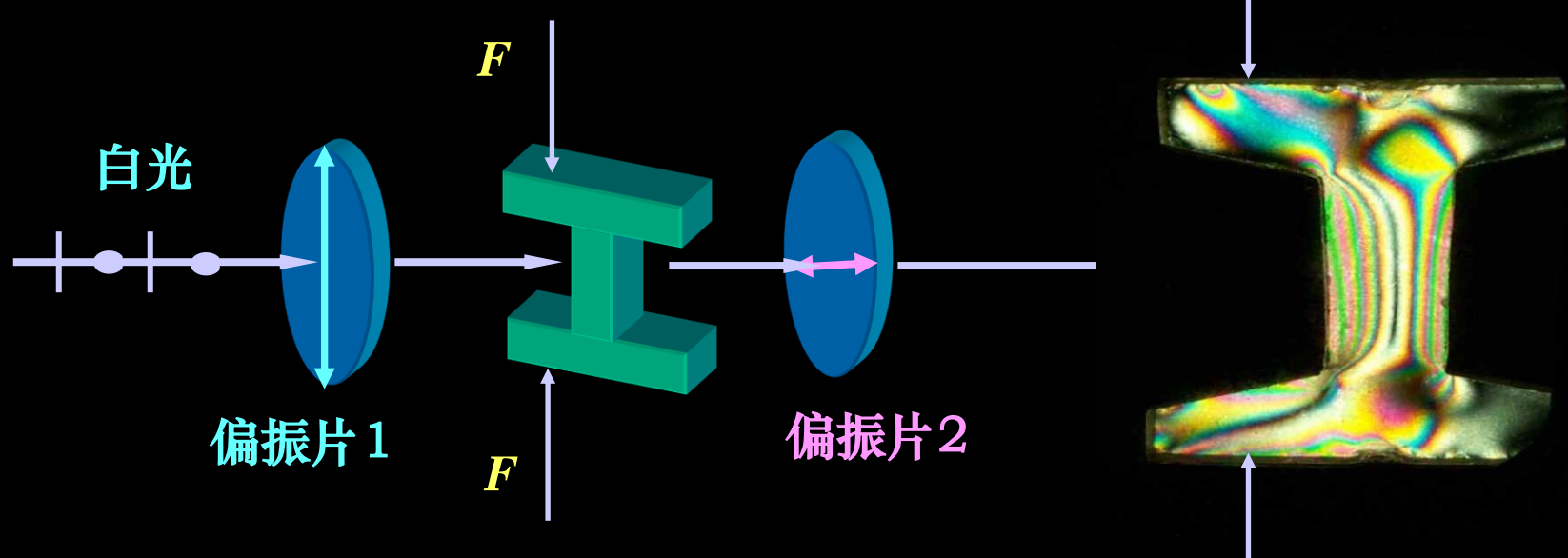
$$= \frac{3}{16}A^2 + \frac{3}{16}A^2 + 2\frac{3}{16}A^2 \cos \frac{3}{2}\pi = \frac{3}{8}A^2$$

$$I = \frac{3}{8}I_1 = \frac{3}{16}I_0$$

三. 光弹效应(应力双折射效应)

双折射现象不仅仅是天然晶体所具有，许多各向同性透明介质(包括固体，液体和气体)在某些外加条件的影响下，也会变成对光的**各向异性体**，而出现**双折射现象**。





$$|n_o - n_e| = cp \quad (c \text{ 是与材料有关的常数, } p \text{ 为样品材料中的应力})$$

$$o \text{ 光和 } e \text{ 光的相位差: } |\Delta\varphi| = \frac{2\pi d}{\lambda} |n_o - n_e| = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot cpd$$

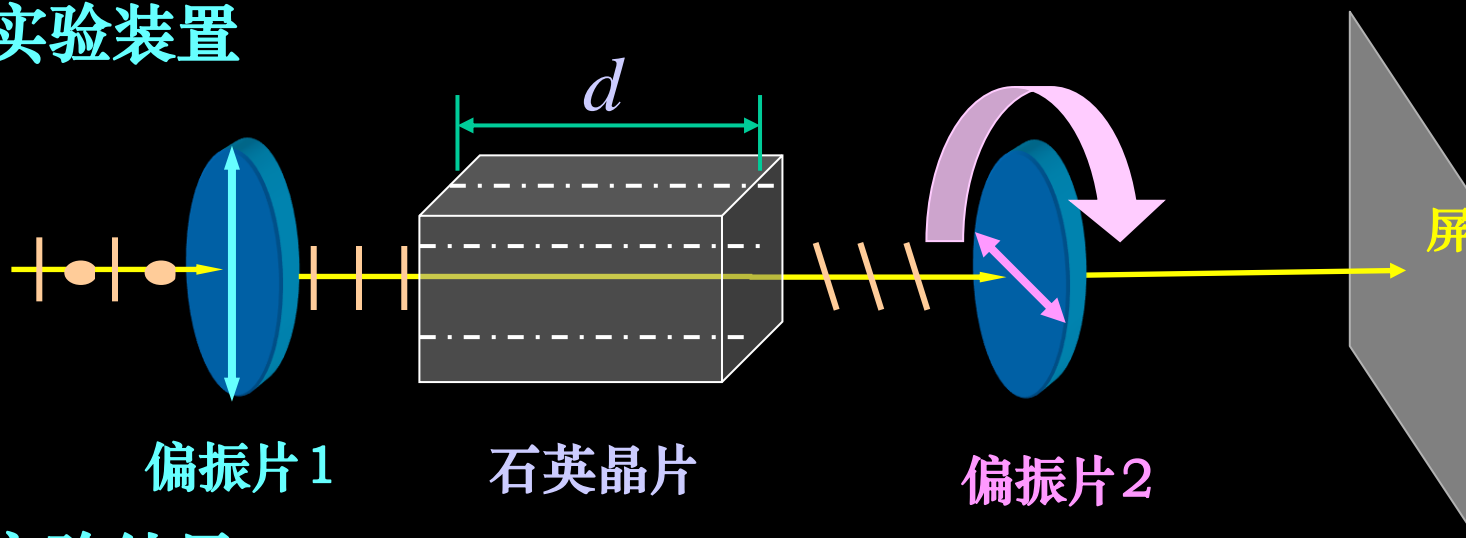
★ 说明

- (1) 各处 p 不同 $\longrightarrow \Delta\varphi$ 不同 \longrightarrow 出现干涉条纹
- (2) 应力分布越集中的地方条纹越细密

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1716551960055014178&wfr=spider&for=pc>
 想了解物体内部受力情况？给它点“颜色”看看！

§14.15 旋光效应简介

1. 实验装置



2. 实验结果

- 从石英晶片出射的是偏振光，振动面旋转了一个角度。
石英晶片具有**旋光性**。

线偏振光通过某些物质后，其偏振面将以光传播方向为轴线转过一定角度，这种现象称为**旋光现象**

- 能够产生旋光现象的物质称为旋光物质

左旋物质：迎着光的传播方向观看，使振动面按逆时针方向转动的物质，如果糖、石英

右旋物质：迎着光的传播方向观看，使振动面按顺时针方向转动的物质，如葡萄糖、石英

- 天然旋光物质中，光的振动面旋转的角度 φ 与光经过旋光物质的厚度 d 成正比

$$\varphi = \alpha d$$

- 对于有旋光性的溶液， φ 还与溶液的浓度 c 成正比

$$\varphi = \alpha c d$$

其中 α 称为旋光率，与旋光物质的性质、温度及入射光波长有关。

α : 旋光率 (与旋光物质的性质、温度及入射光波长有关)

波长/nm	794.76	728.1	656.2	546.1	430.7	382.0	257.1
$\alpha /(^{\circ}) / \text{mm}$	11.589	13.294	17.318	25.538	42.604	55.625	143.266

石英的旋光率与波长关系

4. 旋光色散: 物质的旋光率与光波波长有关的性质.

5. 旋光效应应用

- ◆制糖业测定糖液浓度; 医院测定血糖.
- ◆旋光效应在化学、药物学、生物学都有重要意义.