

# 第十五章



# 光的偏振

# 教学基本要求

- **理解**自然光与偏振光的区别；
- **理解**布儒斯特定律和马吕斯定律；
- **了解**双折射现象；
- **了解**线偏振光的获得方法和检验方法。



应用程序

——为参考内容

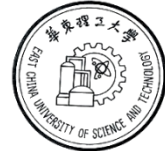




# 第十五章 光的偏振

- § 15.1 自然光 偏振光
- § 15.2 偏振片的起偏与检偏 马吕斯定律
- § 15.3 反射和折射时光的偏振
- § 15.4 光的双折射

# 15.1 自然光 光的偏振



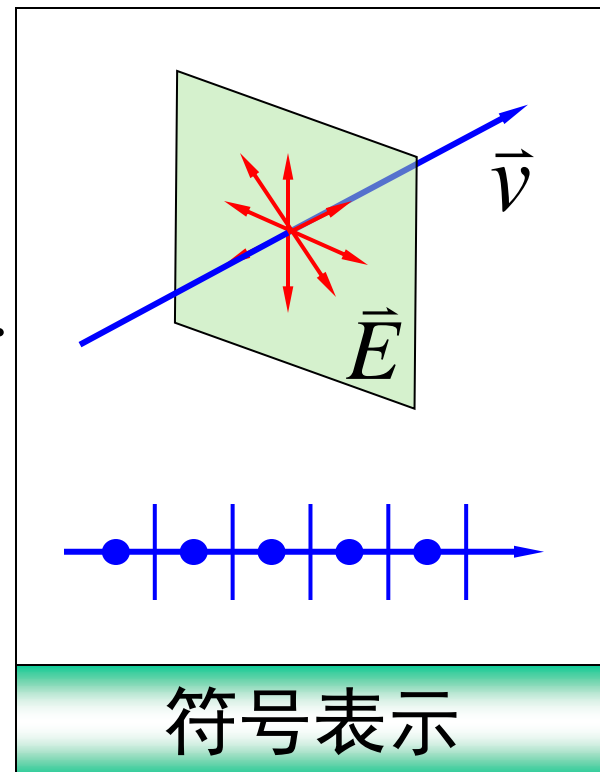
## 一、自然光

◆ **自然光**：一般光源发出的光中，包含着各个方向的光矢量，光矢量在所有可能的方向上的振幅都相等（轴对称）这样的光叫自然光。

自然光以两互相**垂直**的互为独立的  
（**无确定**的**相位**关系）振幅相等的光  
振动表示，并各具有一**半**的振动能量。

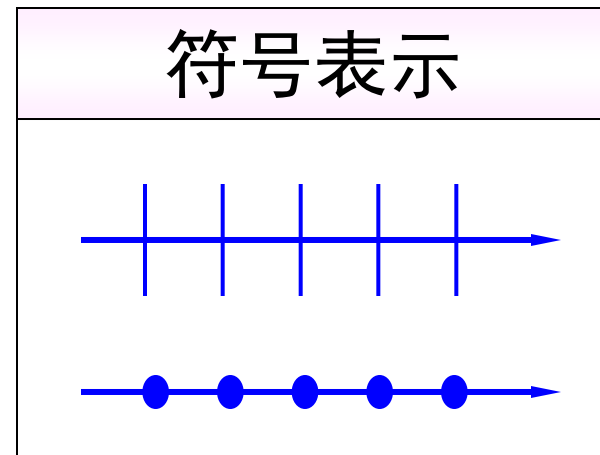
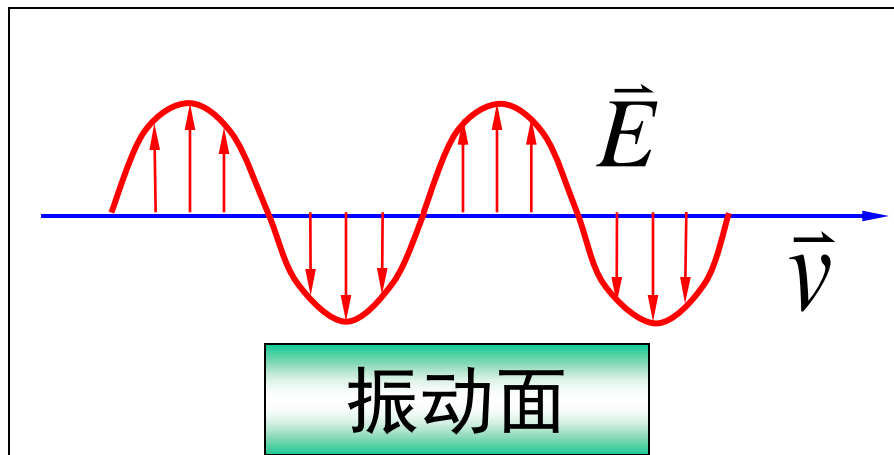
注意

- ◆ 二互相垂直方向是任选的。
- ◆ 各光矢量间无固定的相位关系。



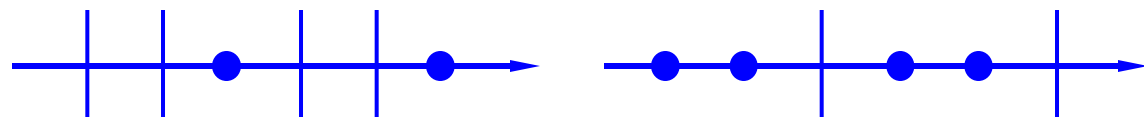
## 二、偏振光（线偏振光）

光振动只沿某一固定方向的光。



◆ **部分偏振光**：某一方向的光振动比与之垂直方向上的光振动占优势的光为部分偏振光。

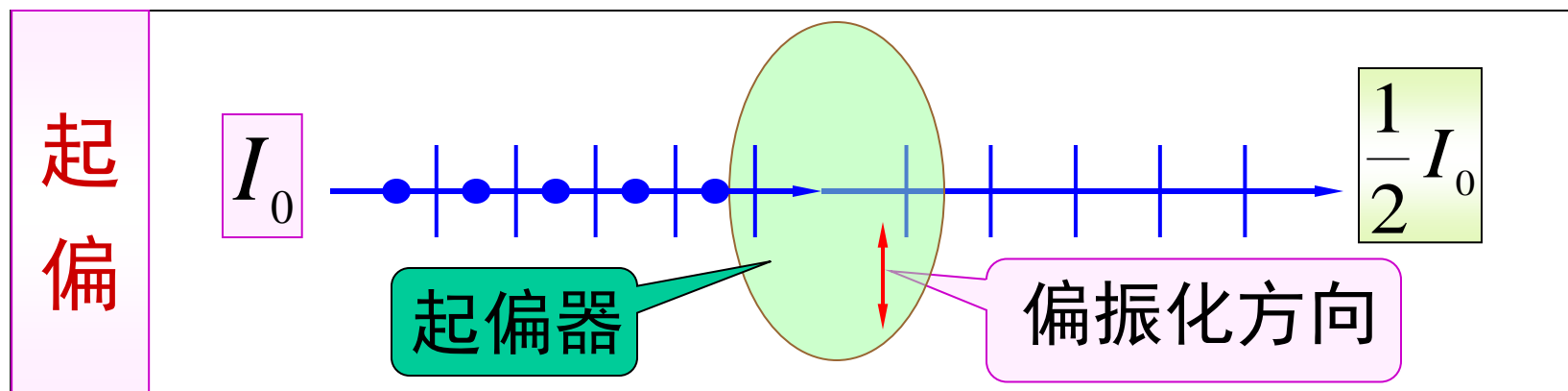
符号表示



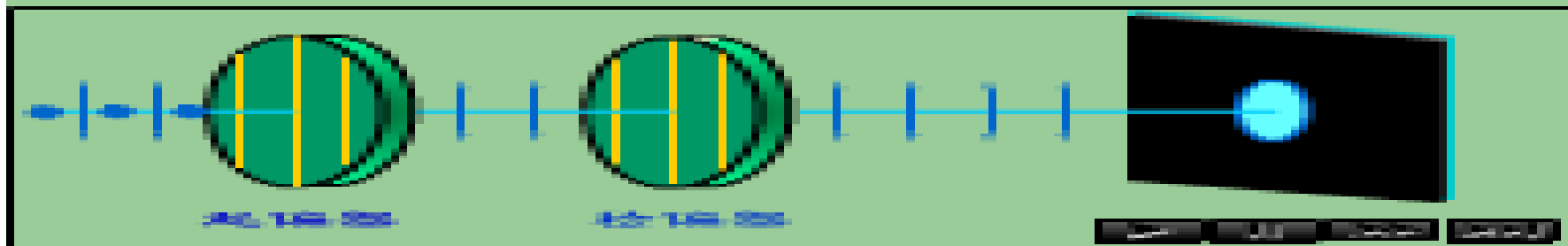
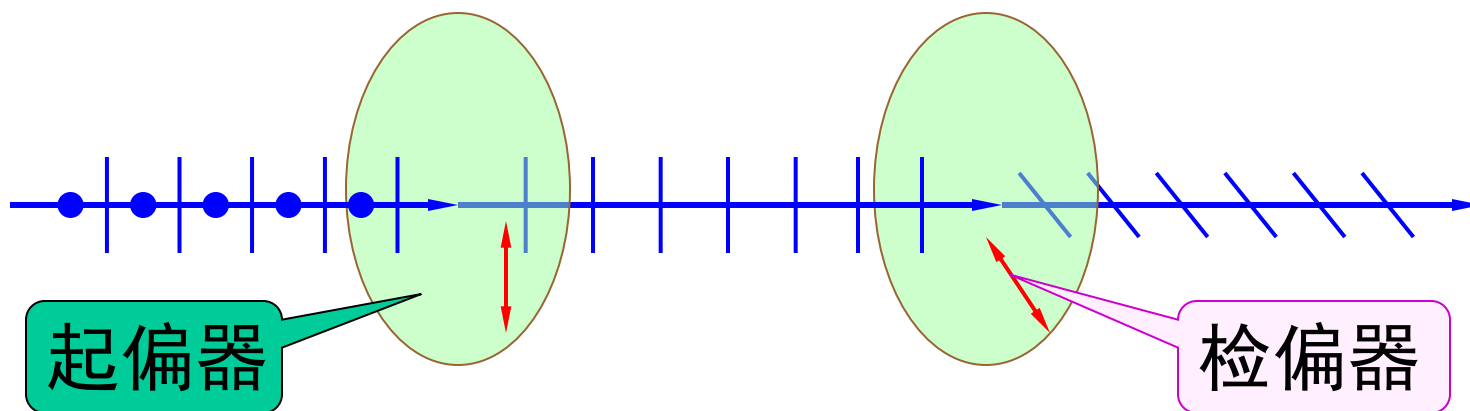
## 15.2 偏振的起偏与检偏 马吕斯定律

### 一、偏振片 起偏与检偏

- ◆ **二向色性**：某些物质能吸收某一方向的光振动，而只让与这个方向垂直的光振动通过，这种性质称二向色性。
- ◆ **偏振片**：涂有二向色性材料的透明薄片。
- ◆ **偏振化方向**：当自然光照射在偏振片上时，它只让某一特定方向的光通过，这个方向叫此偏振片的偏振化方向。



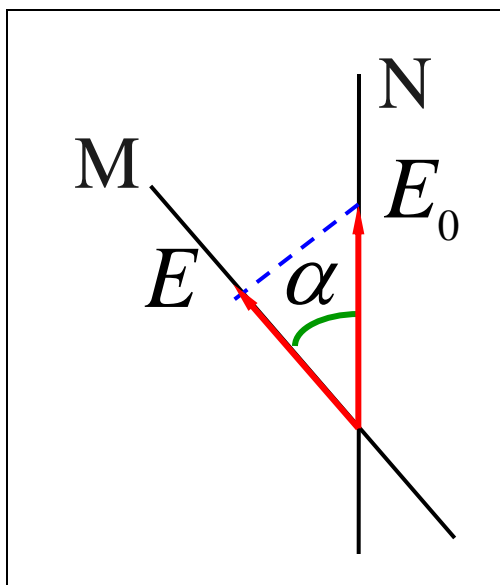
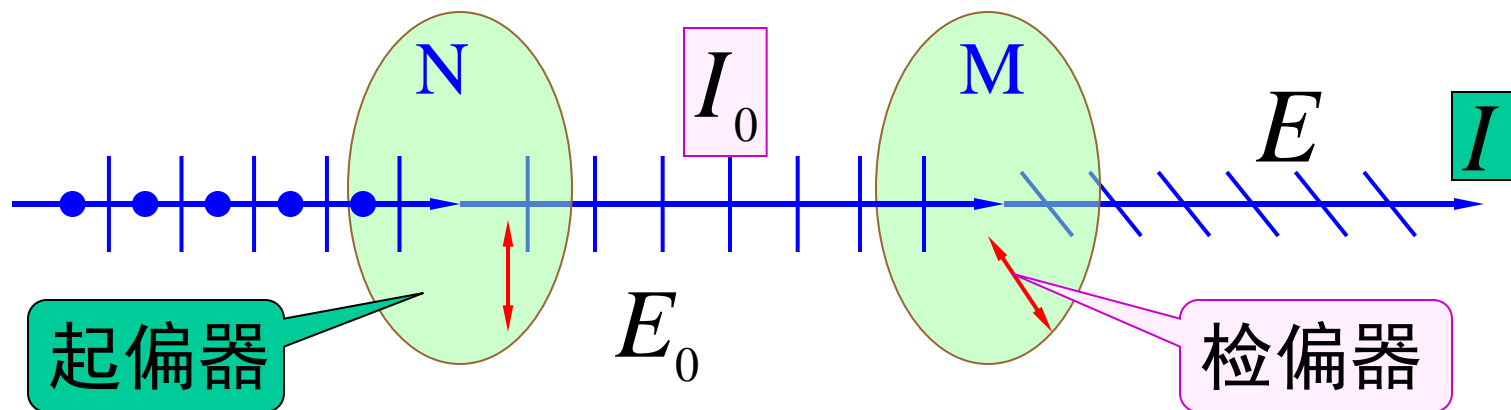
# 检偏





应用程序

## 二、马吕斯定律 (1880 年)



$$E = E_0 \cos \alpha \quad \frac{I}{I_0} = \frac{E^2}{E_0^2}$$

**马吕斯定律** 强度为  $I_0$  的偏振光通过检偏振器后，出射光的强度为

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





【例 1】有两个偏振片,一个用作起偏器,一个用作检偏器. 当它们偏振化方向间的夹角为  $30^\circ$  时, 一束单色自然光穿过它们, 出射光强为  $I_1$ ; 当它们偏振化方向间的夹角为  $60^\circ$  时, 另一束单色自然光穿过它们, 出射光强为  $I_2$ , 且  $I_1 = I_2$ . 求两束单色自然光的强度之比.

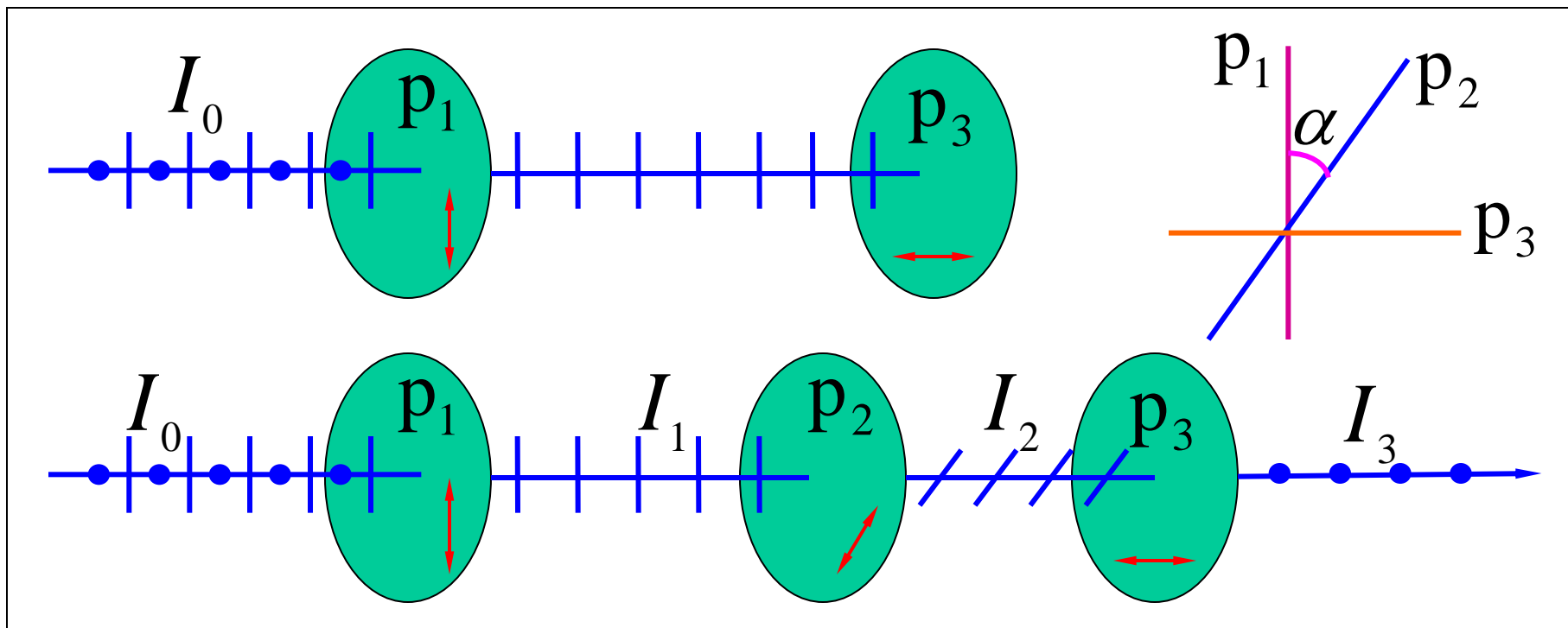
解 设两束单色自然光的强度分别为  $I_{10}$  和  $I_{20}$ .

经过起偏器后光强分别为  $\frac{I_{10}}{2}$  和  $\frac{I_{20}}{2}$ .

$$\text{经过检偏器后} \quad I_1 = \frac{I_{10}}{2} \cos^2 30^\circ \quad I_2 = \frac{I_{20}}{2} \cos^2 60^\circ$$

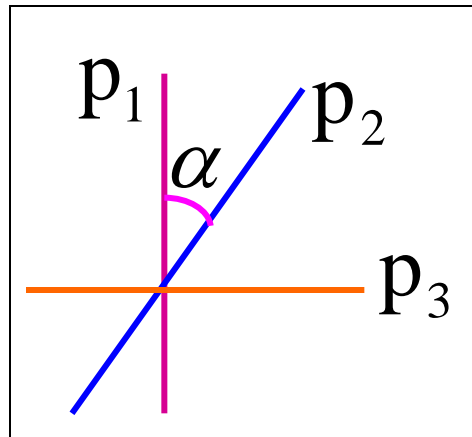
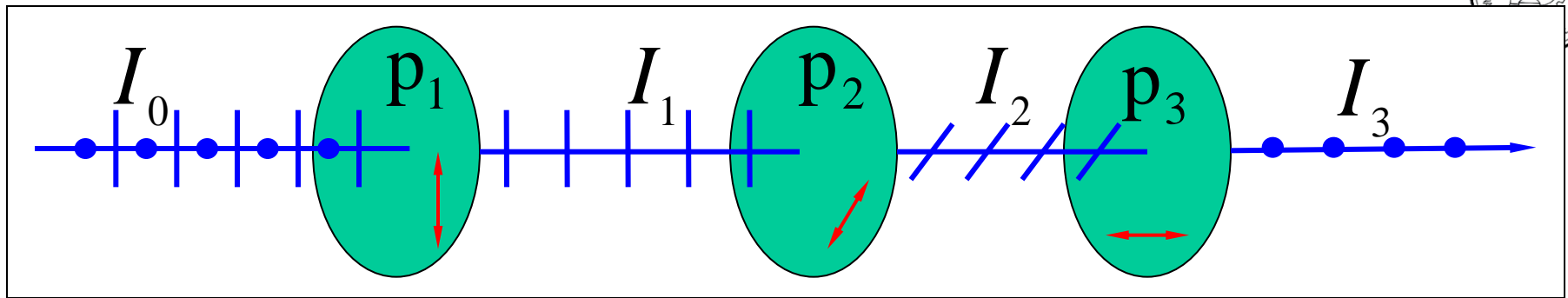
$$\because I_1 = I_2 \quad \therefore \frac{I_{10}}{I_{20}} = \frac{\cos^2 30^\circ}{\cos^2 60^\circ} = \frac{1}{3}$$

**【例 2】** 在两块正交偏振片  $p_1, p_3$  之间插入另一块偏振片  $p_2$ ，光强为  $I_0$  的自然光垂直入射于偏振片  $p_1$ ，讨论转动  $p_2$  透过  $p_3$  的光强  $I$  与转角的关系。



$$I_1 = \frac{1}{2} I_0$$

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha = \frac{I_0}{2} \cos^2 \alpha$$



$$I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2 \alpha \quad I_3 = I_2 \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right)$$

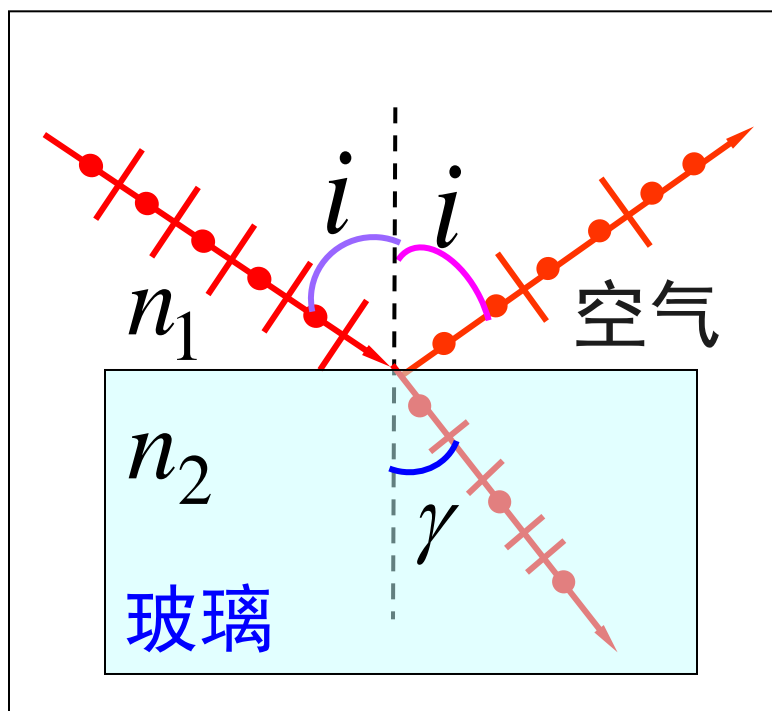
$$I_3 = I_2 \sin^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha$$

$$I_3 = \frac{1}{8} I_0 \sin^2 2\alpha$$

若  $\alpha$  在  $0 \sim 2\pi$  间变化,  $I_3$  如何变化?

$$\alpha = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}, \quad I_3 = 0 \quad \alpha = \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}, \quad I_3 = \frac{I_0}{8}$$

## 15.3 反射光和折射光的偏振

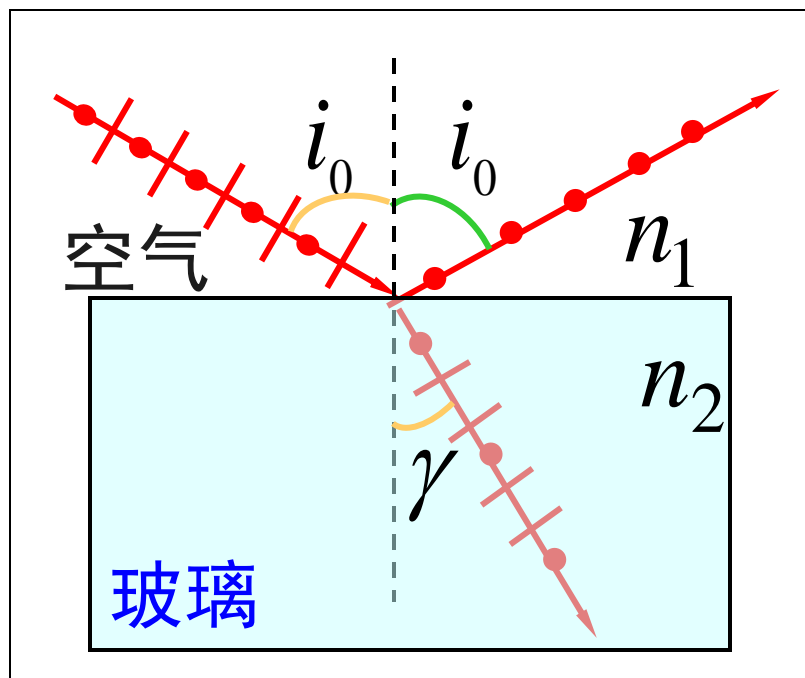


**入射面** 入射光线和法线所成的平面。

◆ **反射光** 部分偏振光，垂直于入射面的振动大于平行于入射面的振动。

◆ **折射光** 部分偏振光，平行于入射面的振动大于垂直于入射面的振动。

**理论和实验证明：** 反射光的偏振化程度与入射角有关。



## 布儒斯特定律 (1812年)

当  $\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$  时,

反射光为完全偏振光, 且  
振动面垂直入射面, 折射  
光为部分偏振光。

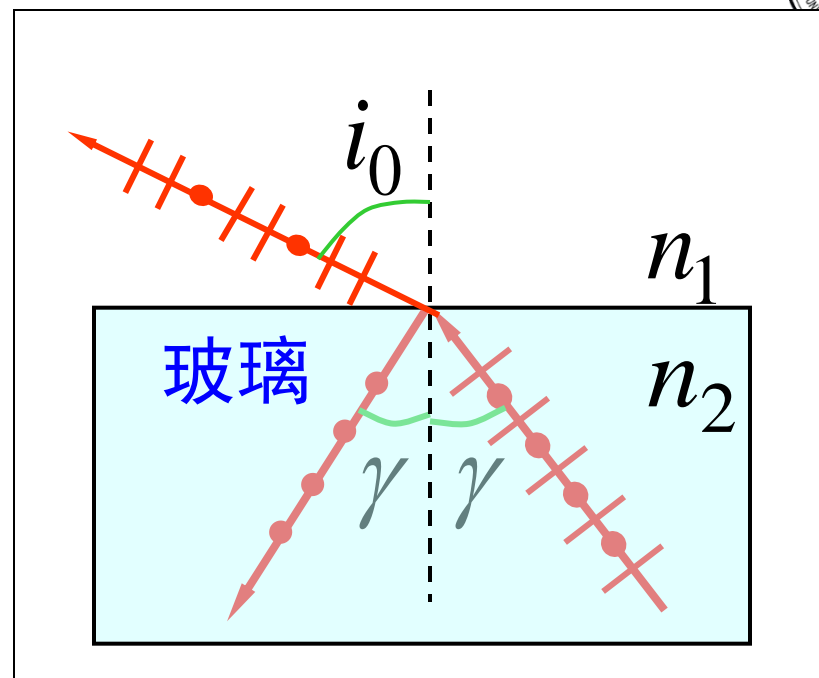
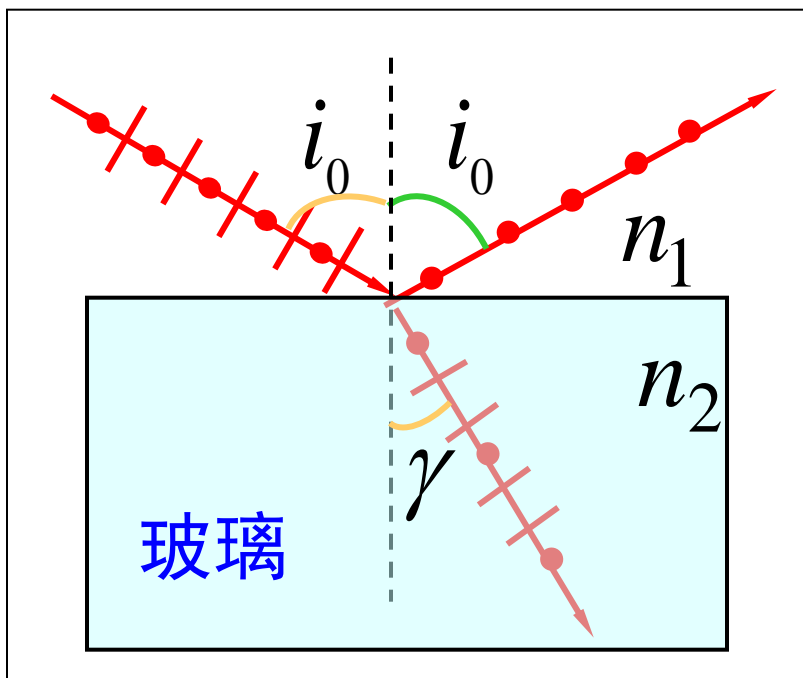
### 讨论

1) 反射光和折射光互相垂直.

$$\frac{\sin i_0}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} \quad \tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i_0}{\cos i_0}$$

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

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



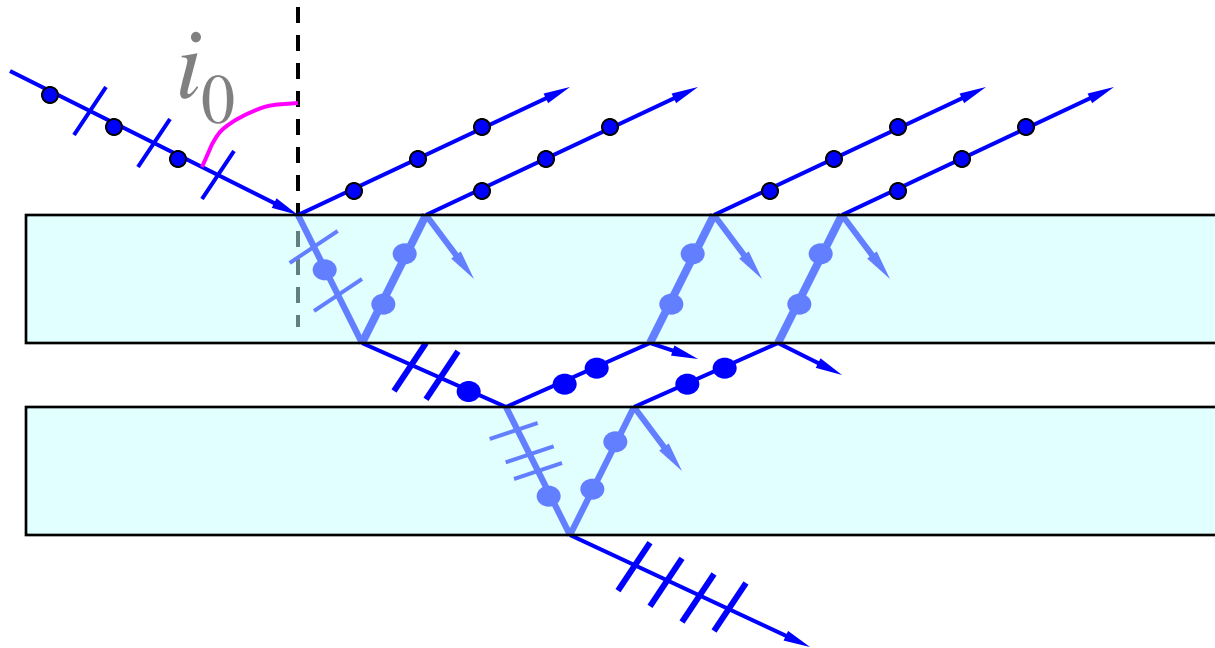
2) 根据光的**可逆性**，当入射光以  $\gamma$  角从  $n_2$  介质入射于界面时，此  $\gamma$  角即为布儒斯特角。

$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} \quad \cot i_0 = \frac{n_1}{n_2} = \tan\left(\frac{\pi}{2} - i_0\right) = \tan \gamma$$

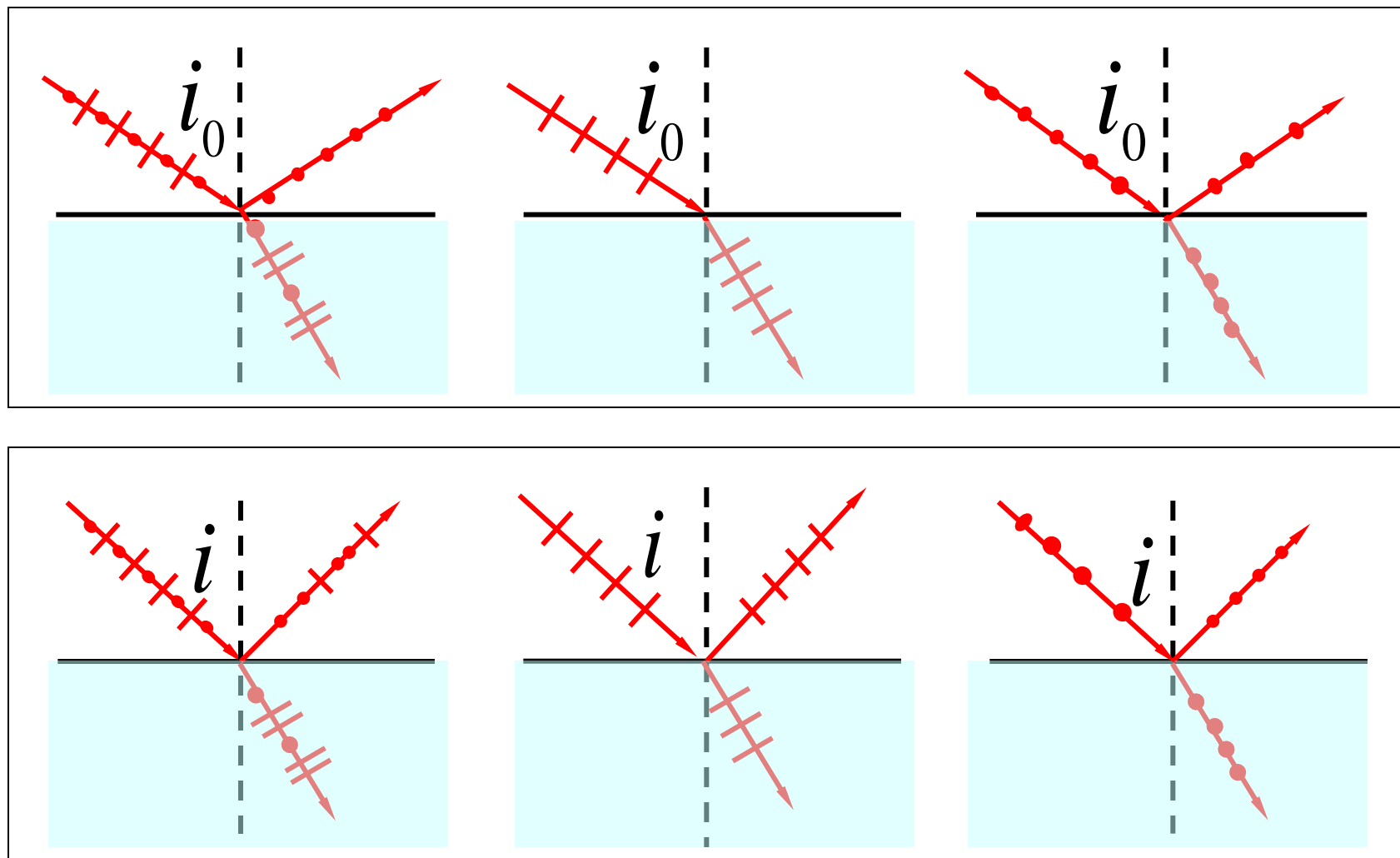
注意

对于一般的光学玻璃，反射光的强度约占入射光强度的7.5%，大部分光将透过玻璃。

## 利用玻璃片堆产生线偏振光

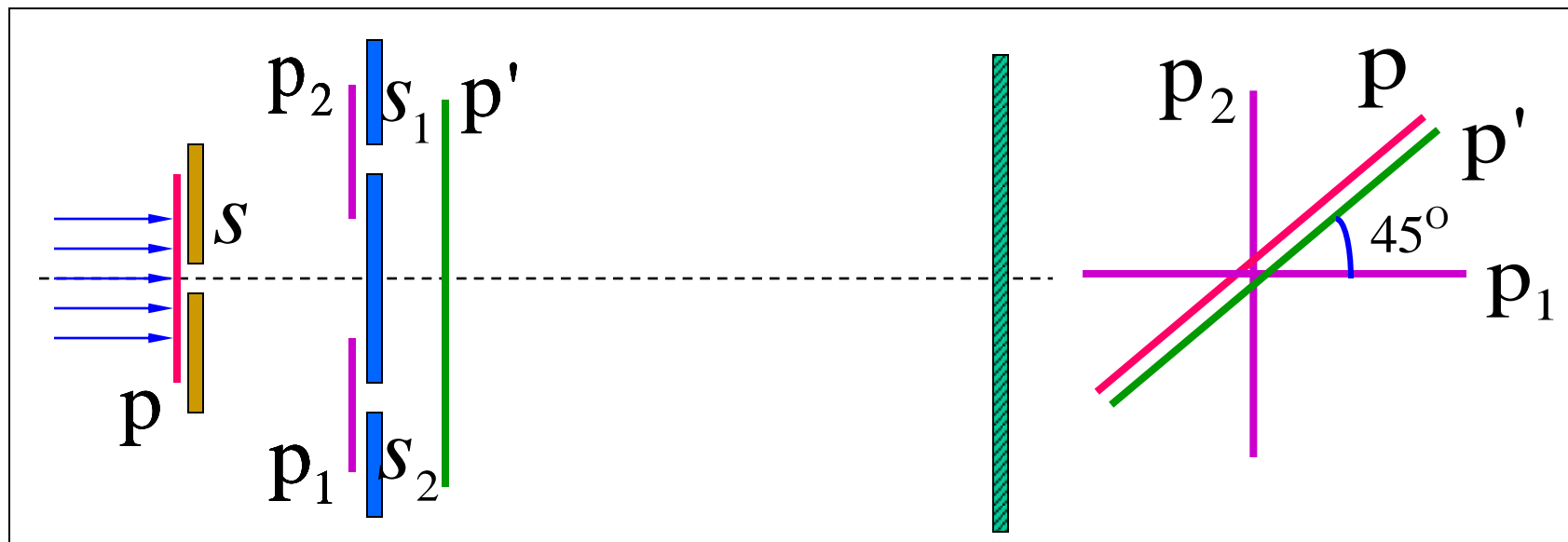


【例 3】 讨论下列光线的反射和折射（起偏角  $i_0$ ）。





**【例 4】** 如图的装置  $p_1, p_2, p, p'$  为偏振片，问下列四种情况，屏上有无干涉条纹？



- 1) 去掉  $p, p'$  保留  $p_1, p_2$
- 2) 去掉  $p'$  保留  $p, p_1, p_2$
- 3) 去掉  $p$  保留  $p', p_1, p_2$
- 4)  $p_1, p_2, p, p'$  都保留.

无（两振动互相垂直）  
 无（两振动互相垂直）  
 无（无恒定相位差）  
 有



## § 15.4 光的双折射

### 一、光的双折射现象

1) 光线入射到各向异性晶体表面时→二束折射光

- 一束光始终遵守折射定律——o 光（寻常光）
- 一束光不遵守折射定律——e 光（非常光）

o 光在晶体内各个方向上折射率相同，传播速度相同

e 光在晶体内各个方向上折射率不同，传播速度不同

2) o光、e光都是线偏振光



### 3) 双折射晶体中存在一**特定方向**——**光轴**

光线沿这一方向入射时，不发生双折射

单轴晶体：方解石、石英、红宝石

双轴晶体：云母、蓝宝石

### 4) 光轴与某光线组成的平面——该**光线的主平面**

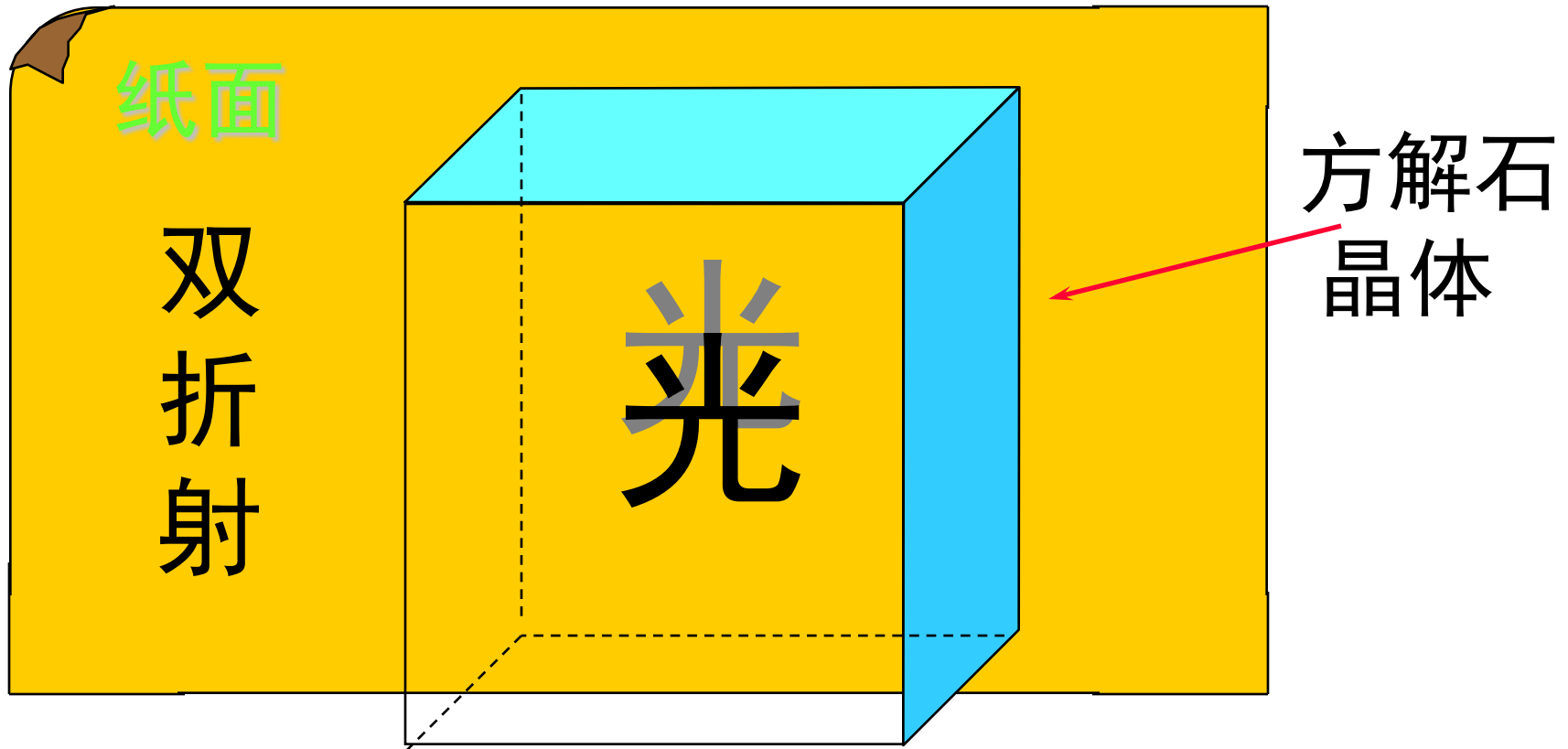
o光：振动方向垂直于o光的主平面

e光：振动方向平行于e光的主平面

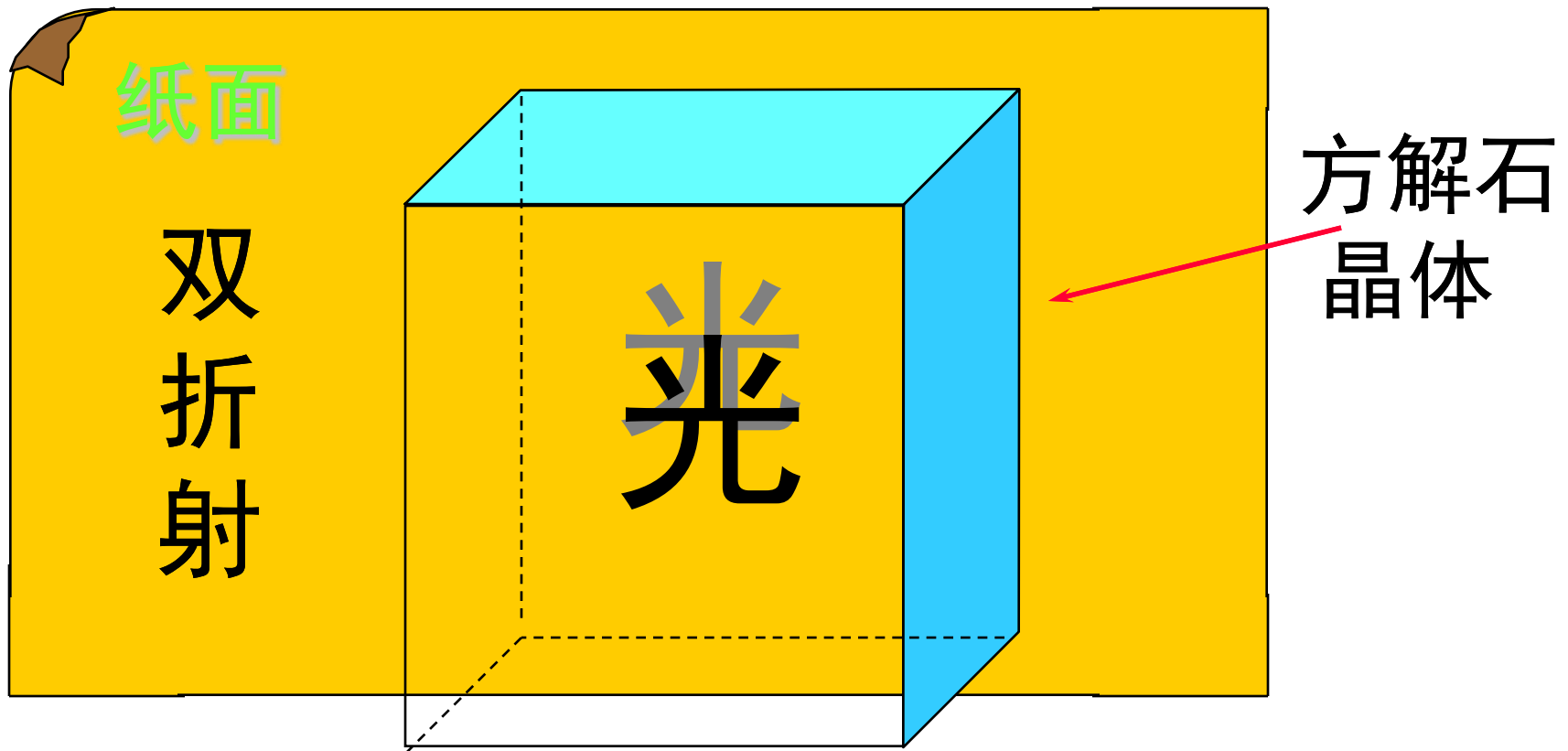
一般来说，o光主平面和e光主平面不重合，只有当光轴位于入射面内时，两主平面重合。此时o光、e光是两个振动方向互相垂直的偏振光。

方解石晶体旋转时：

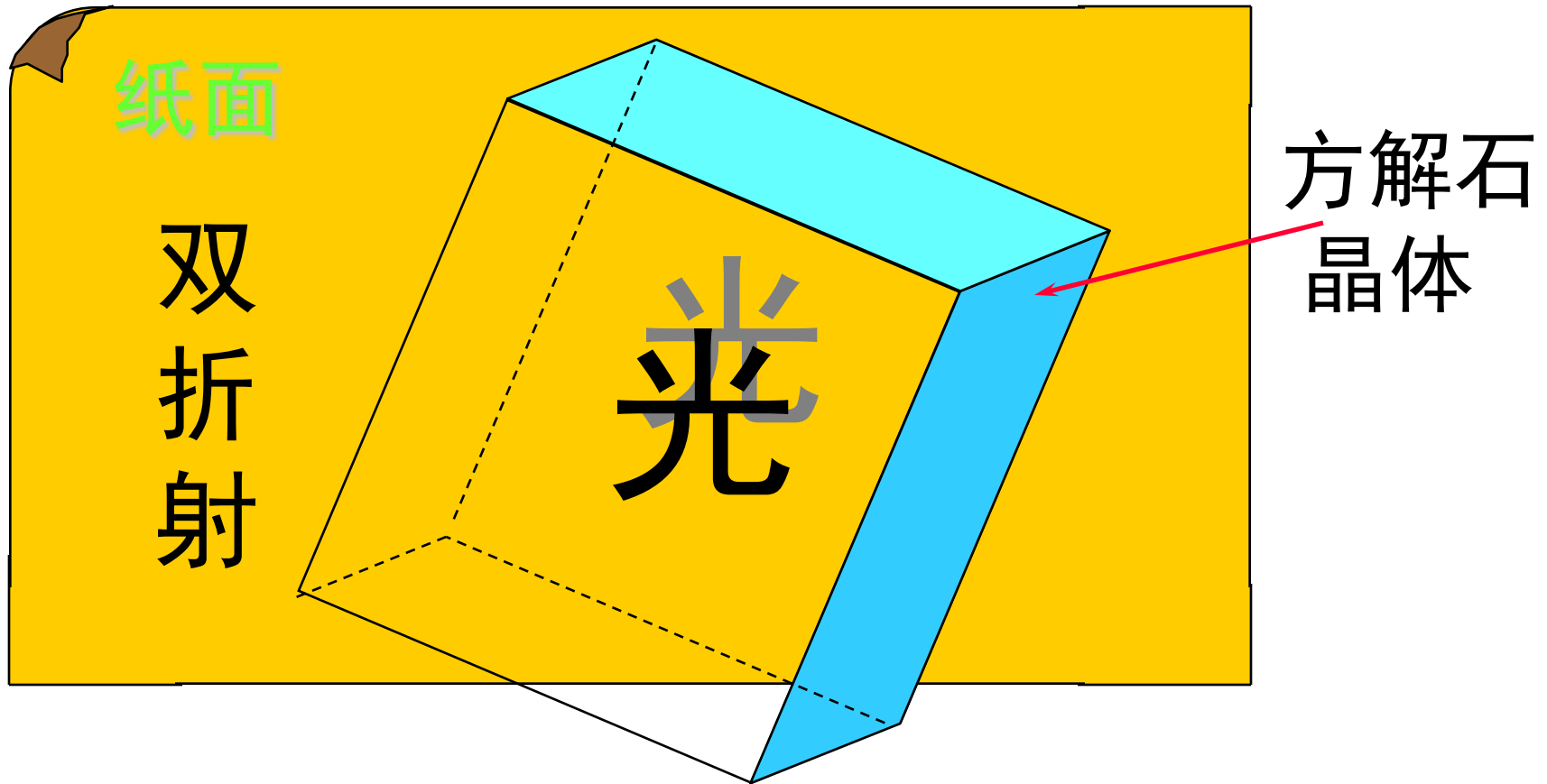
o光不动，e光围绕o光旋转



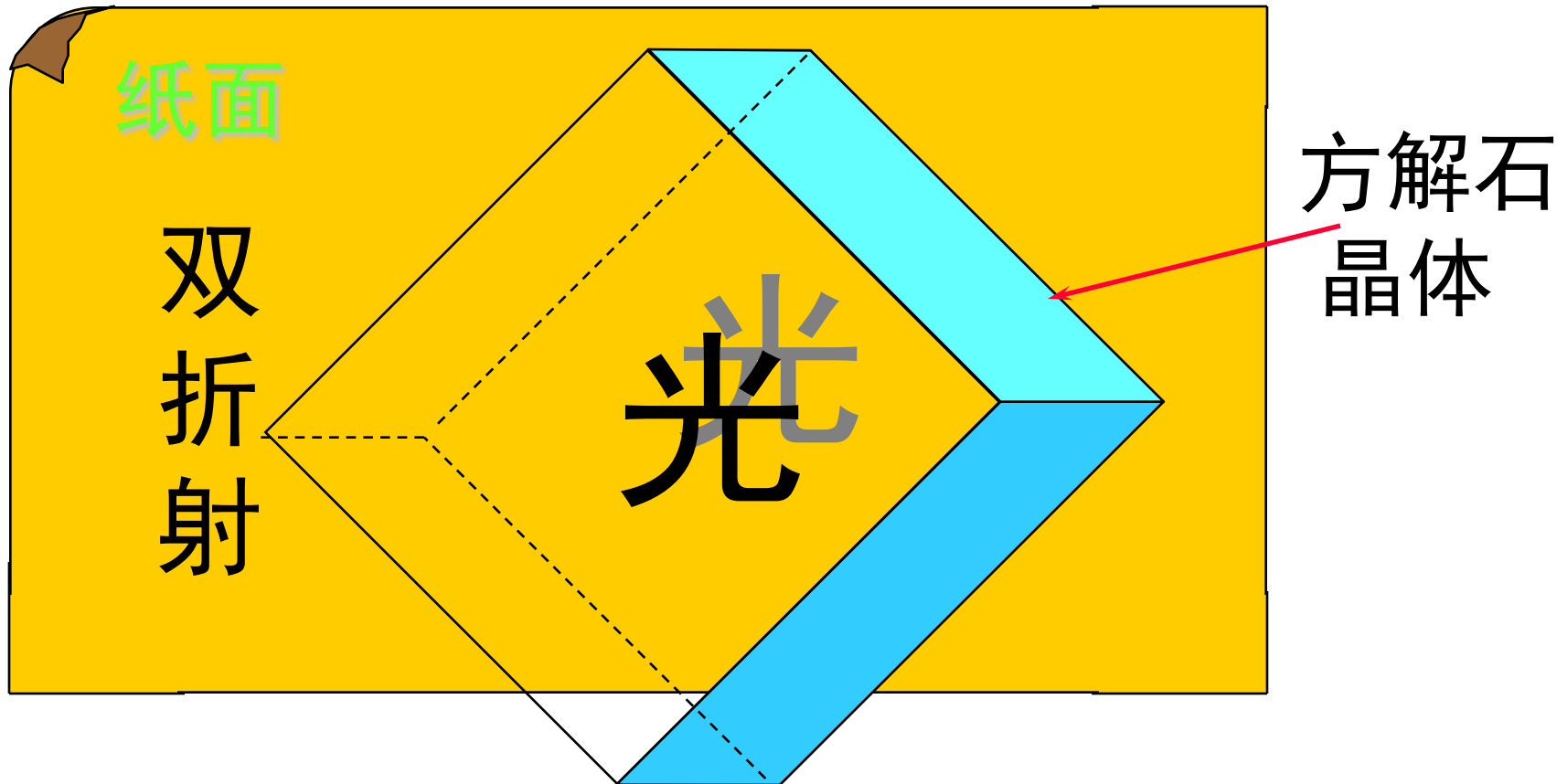
方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转



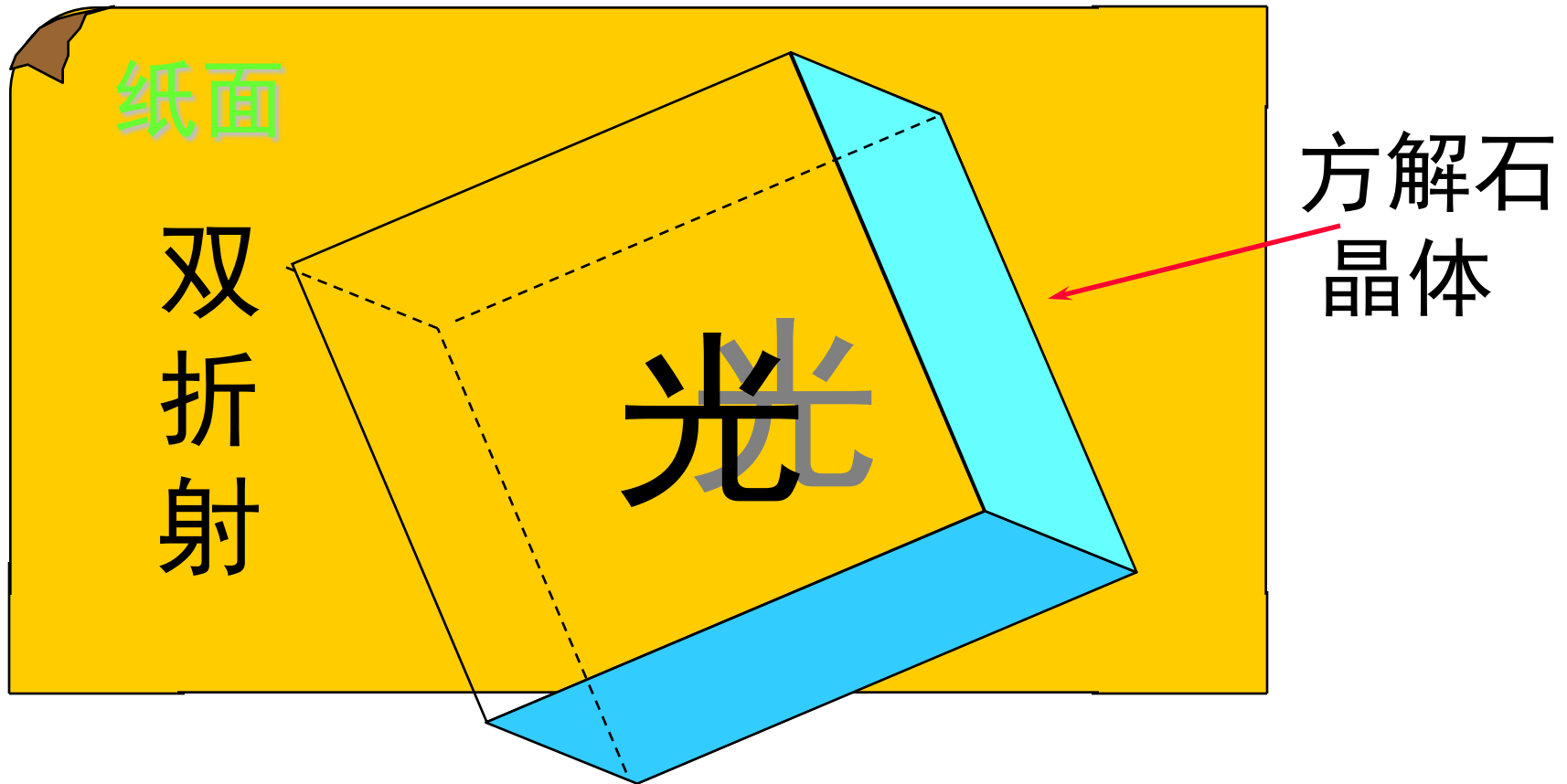
方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转



方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转

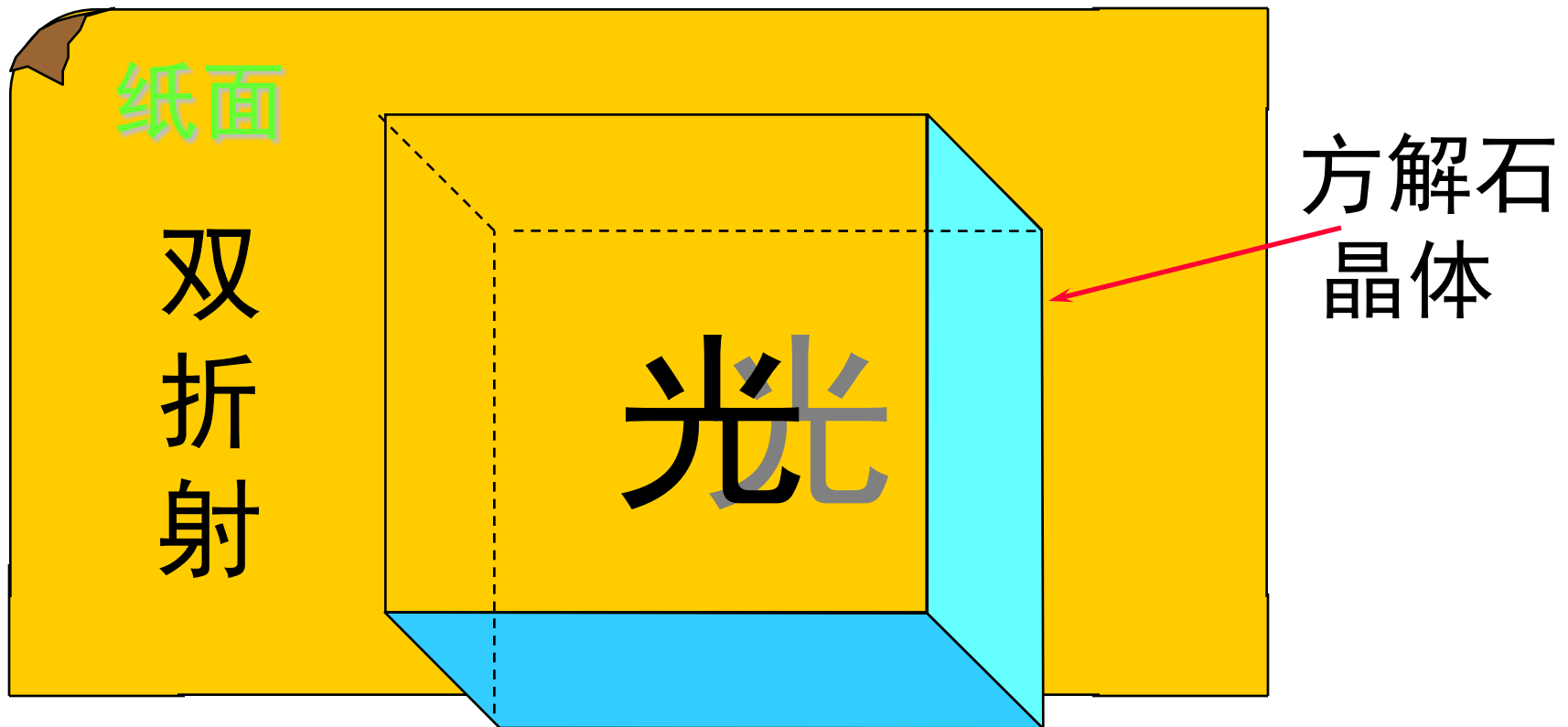


方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转

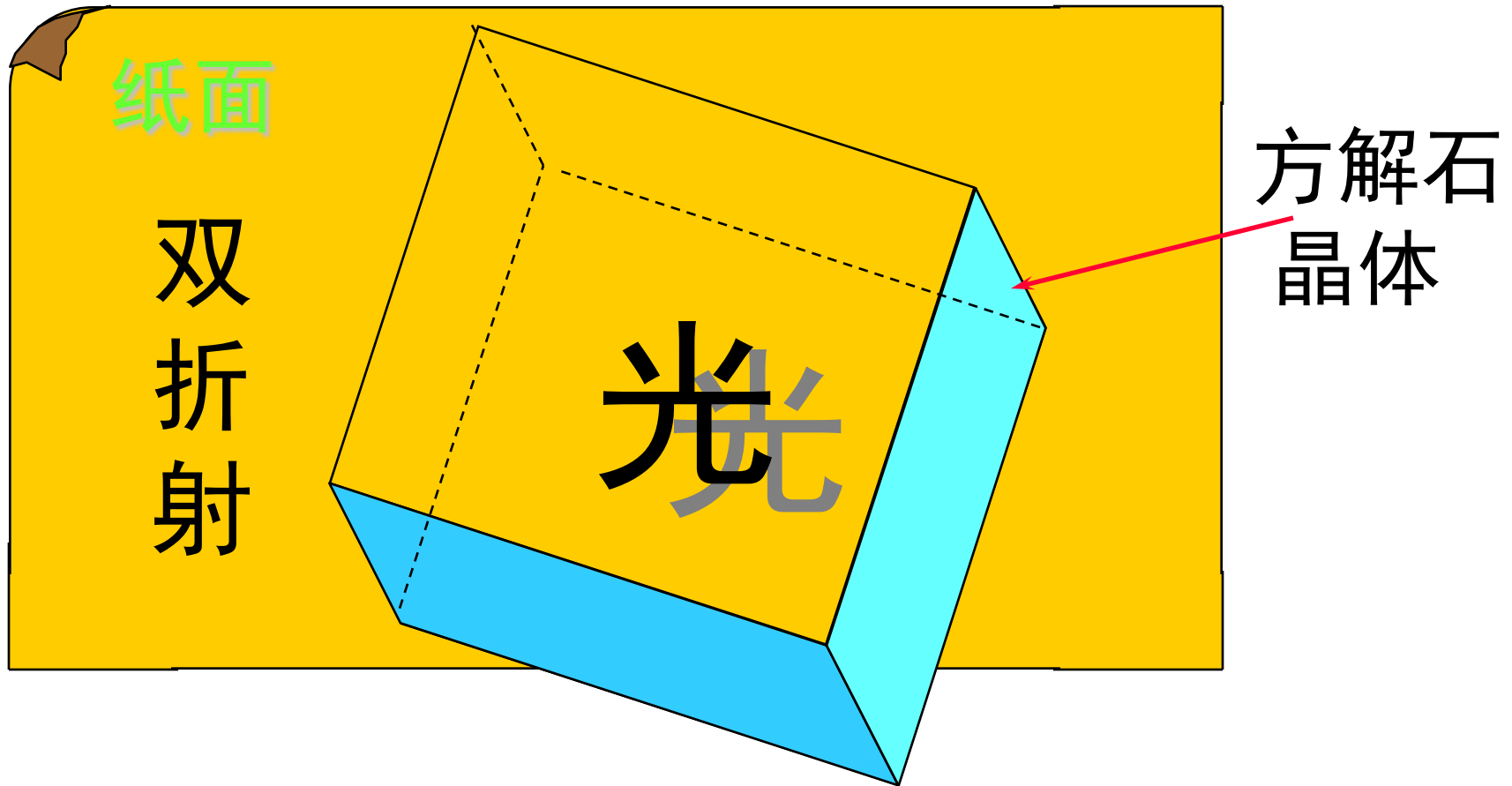




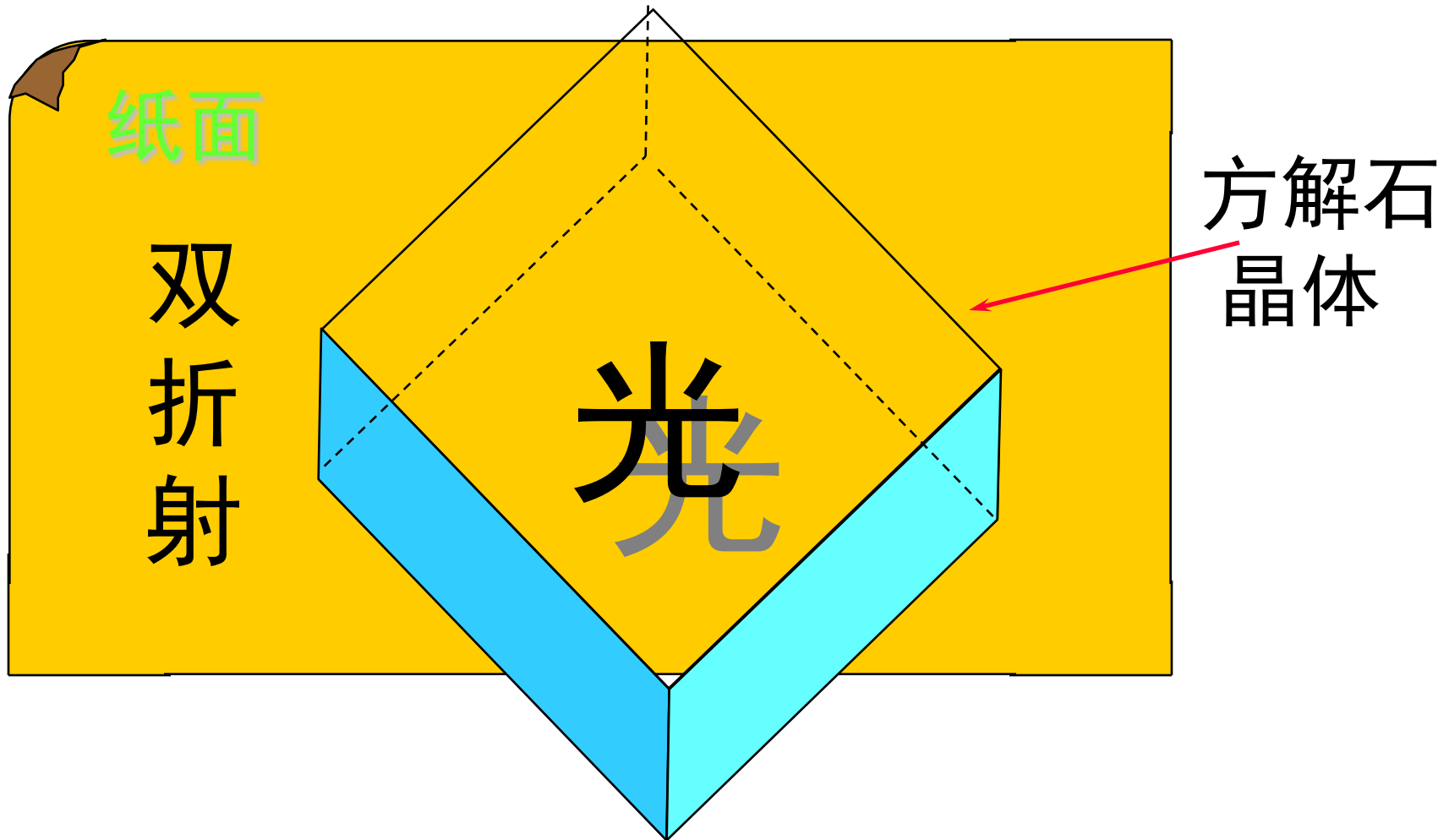
方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转



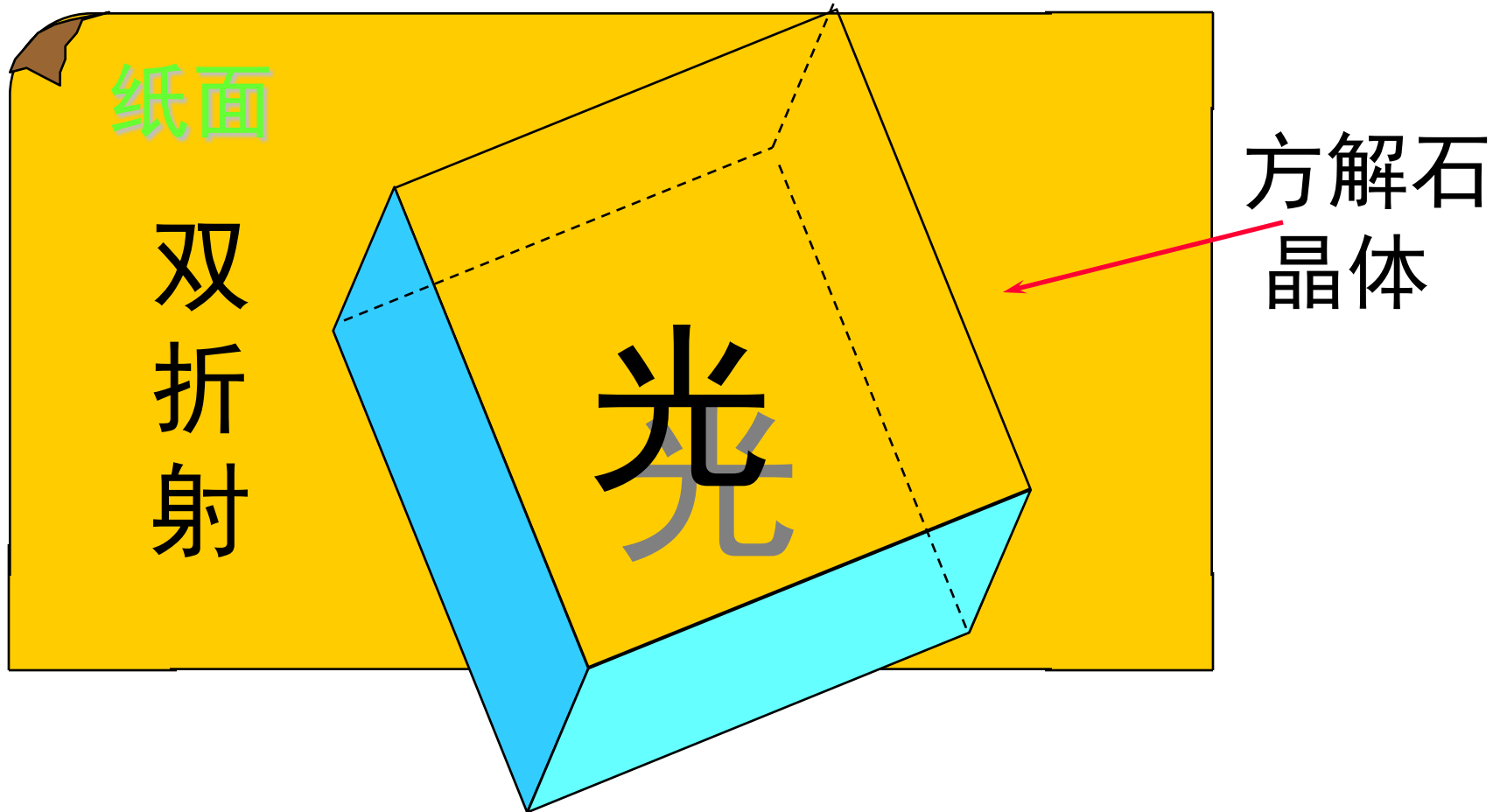
方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转



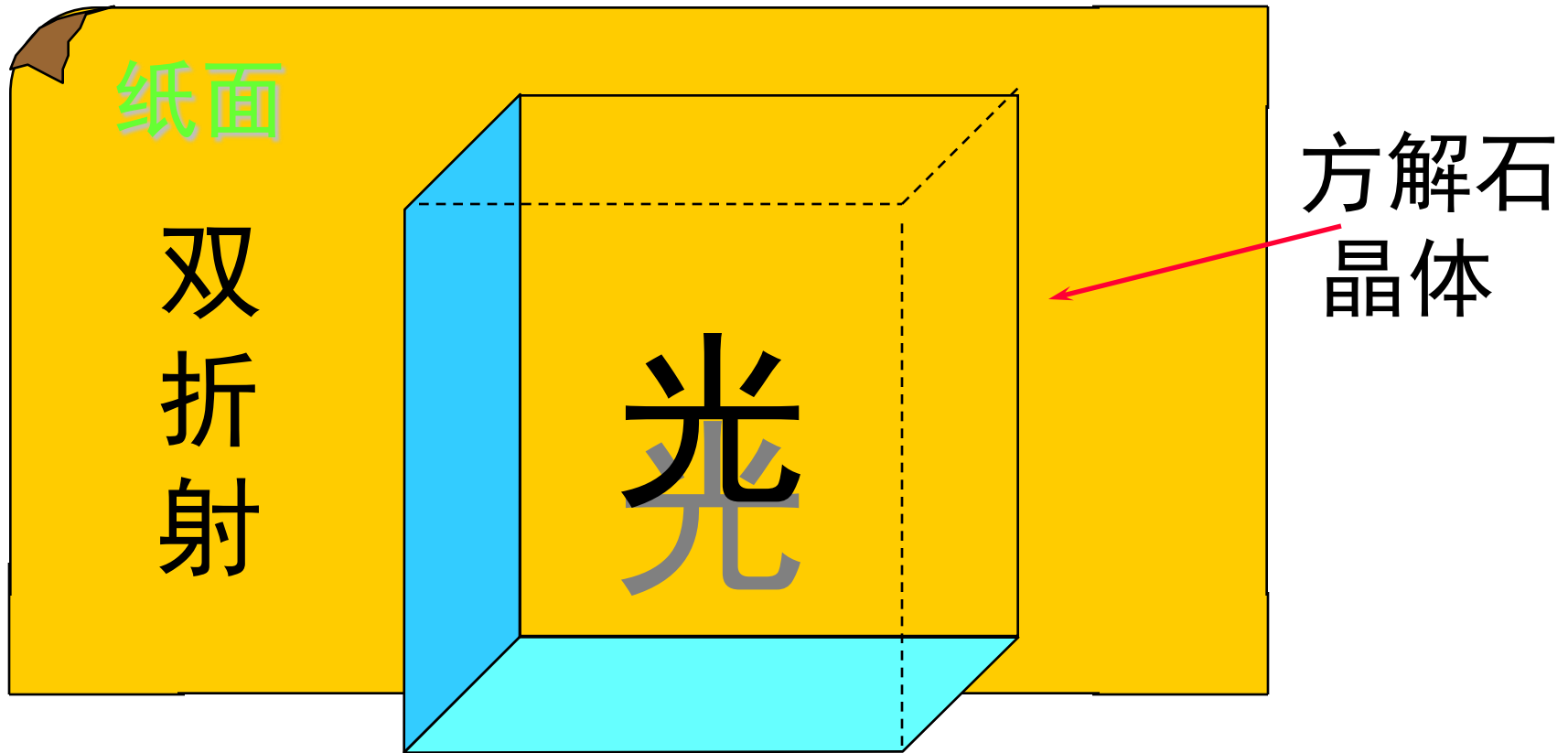
方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转



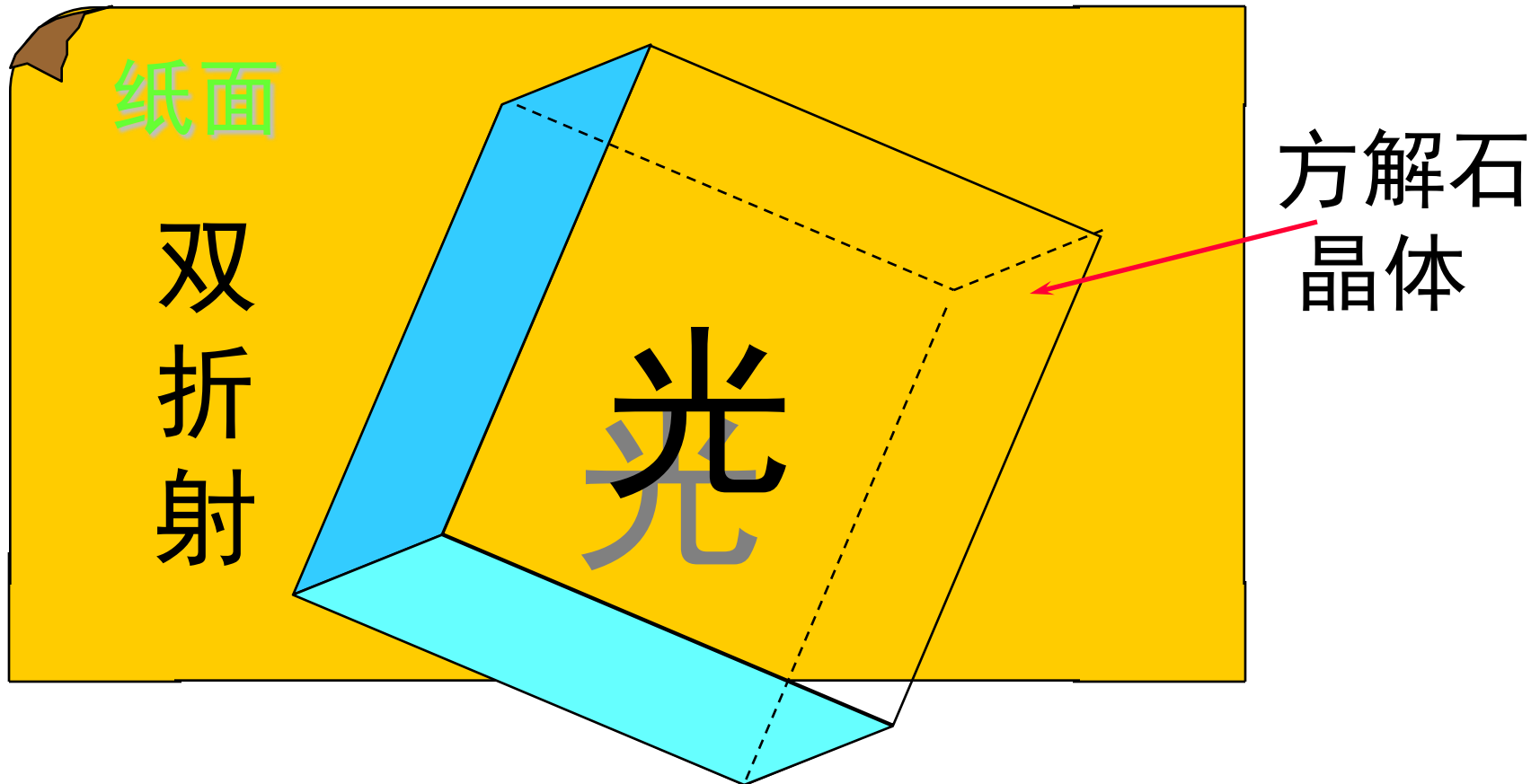
方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转



方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转

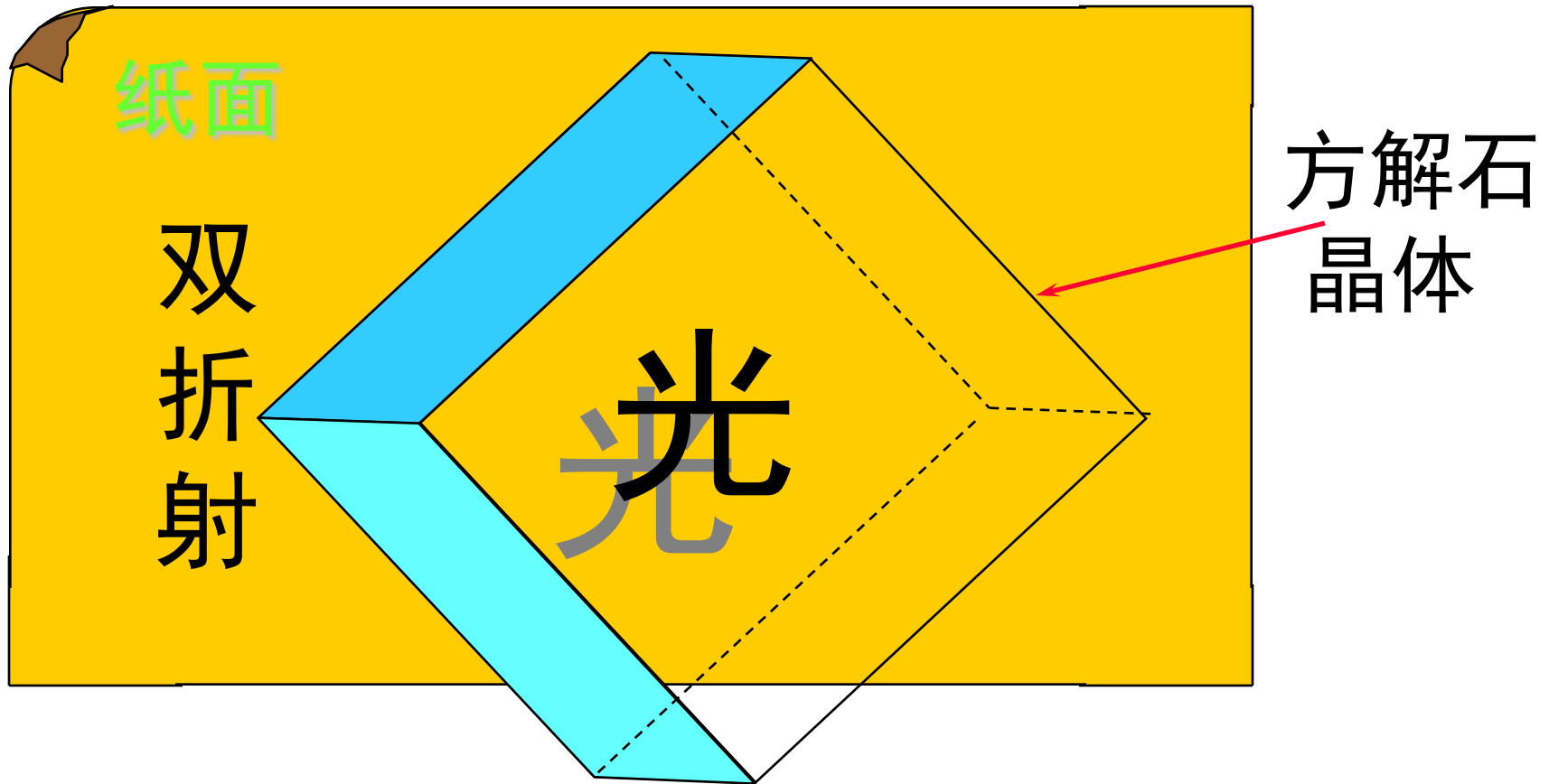


方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转

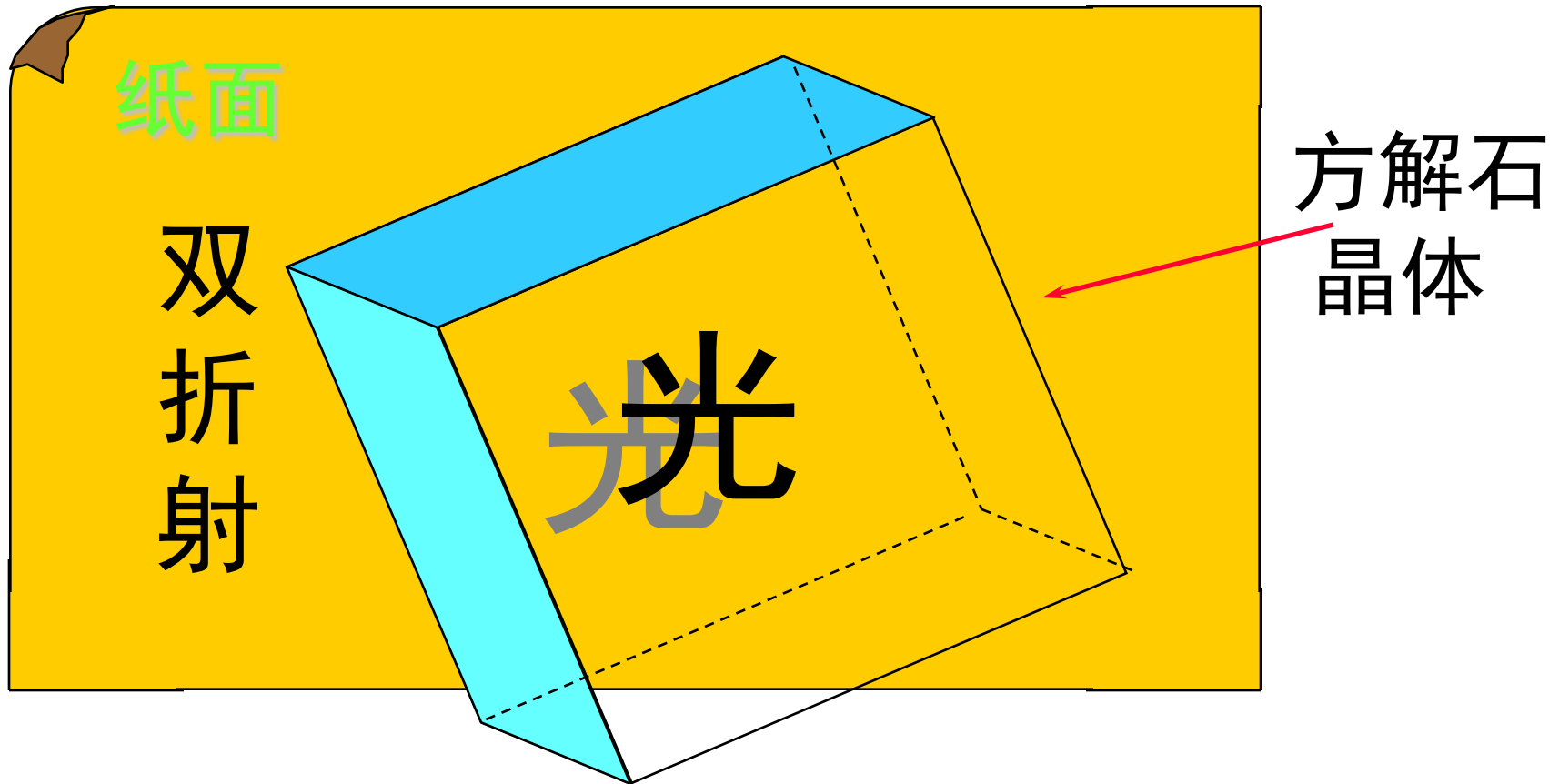


方解石晶体旋转时：

o光不动，e光围绕o光旋转

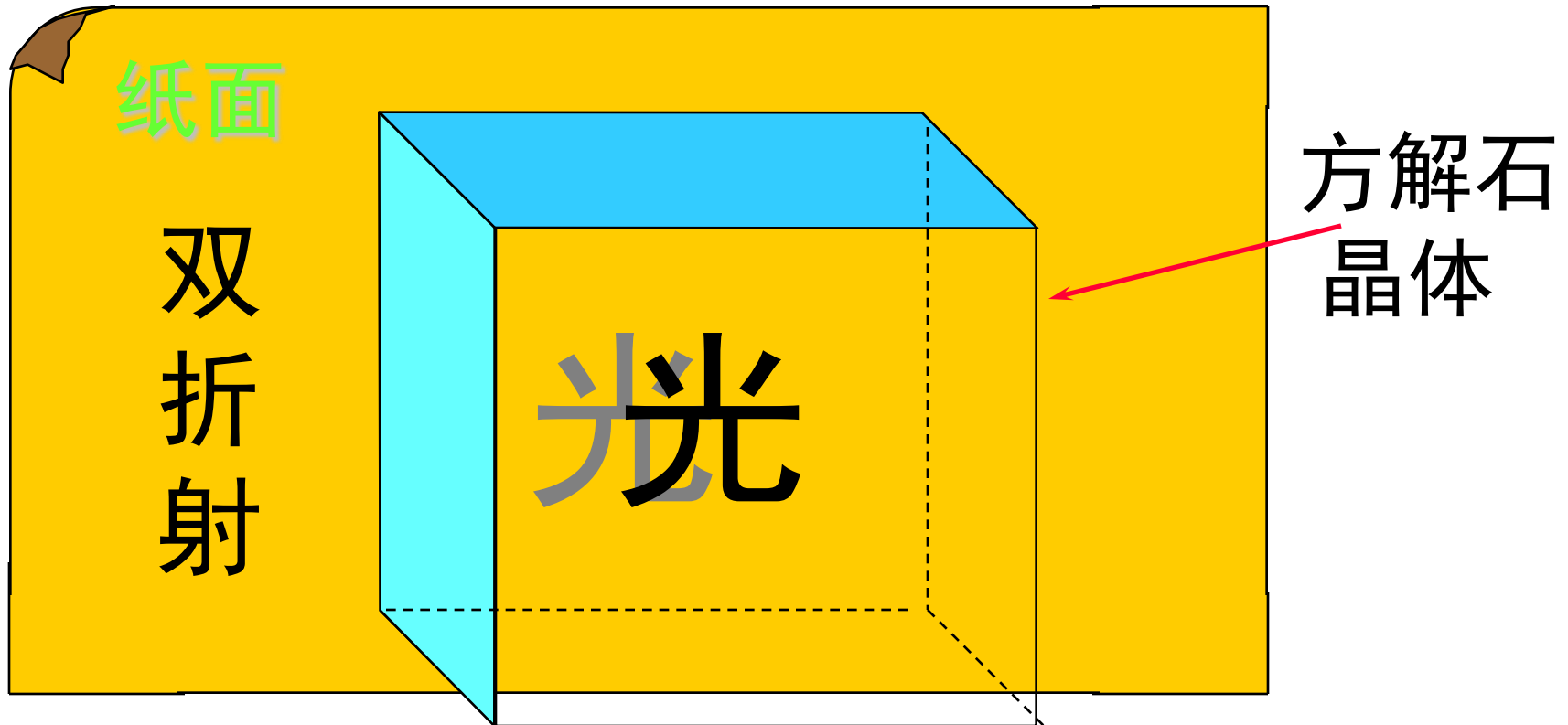


方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转



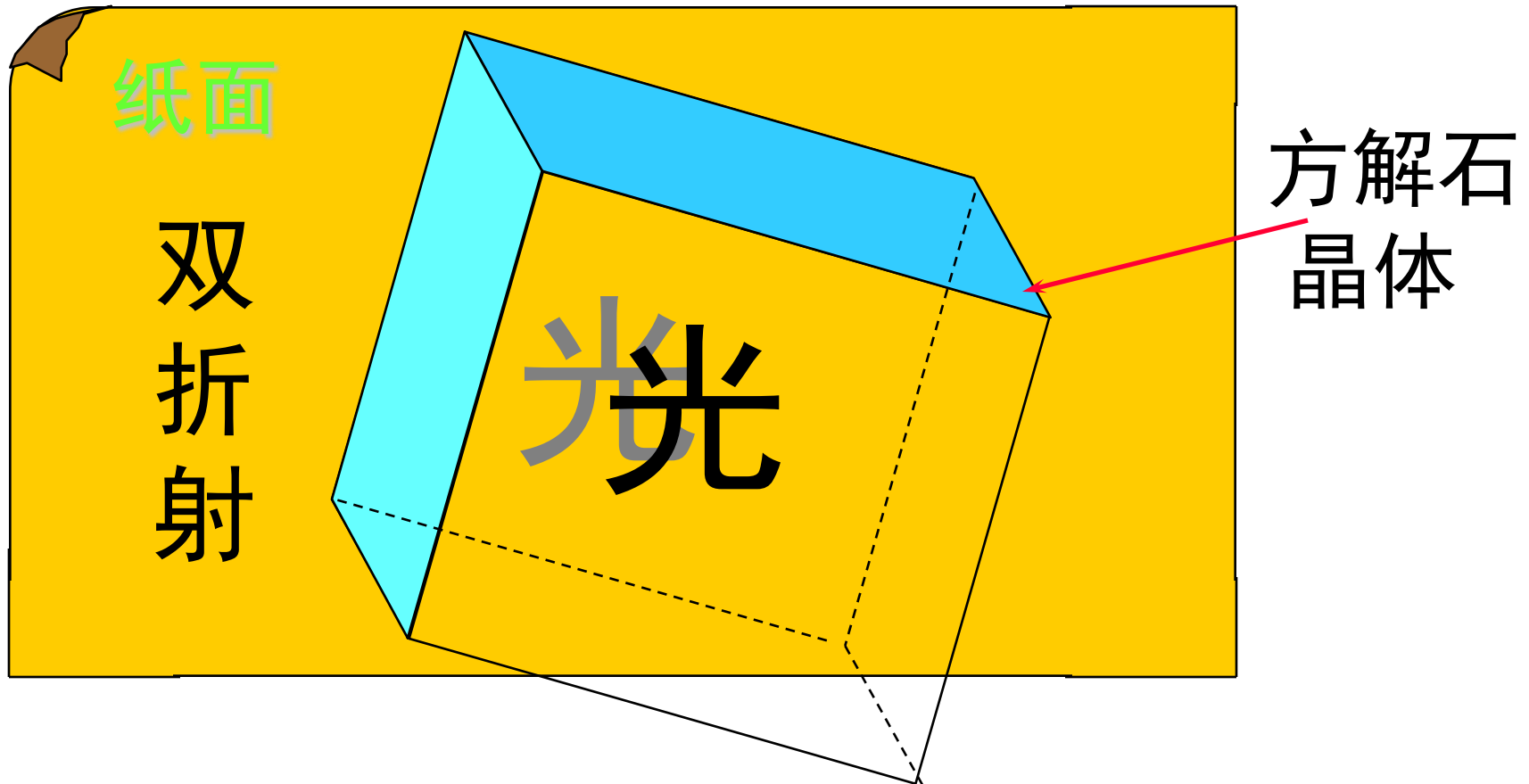


方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转

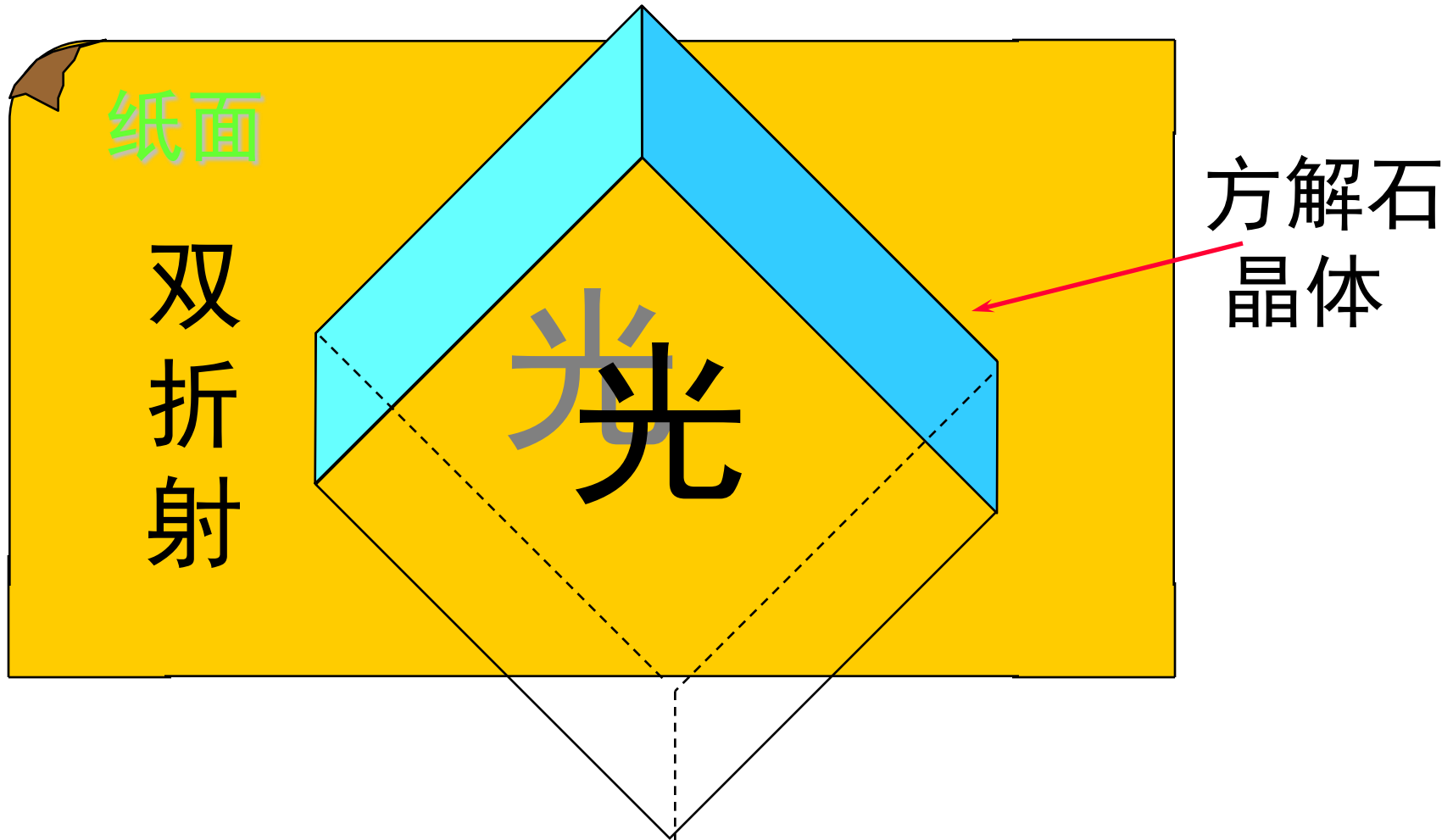


方解石晶体旋转时：

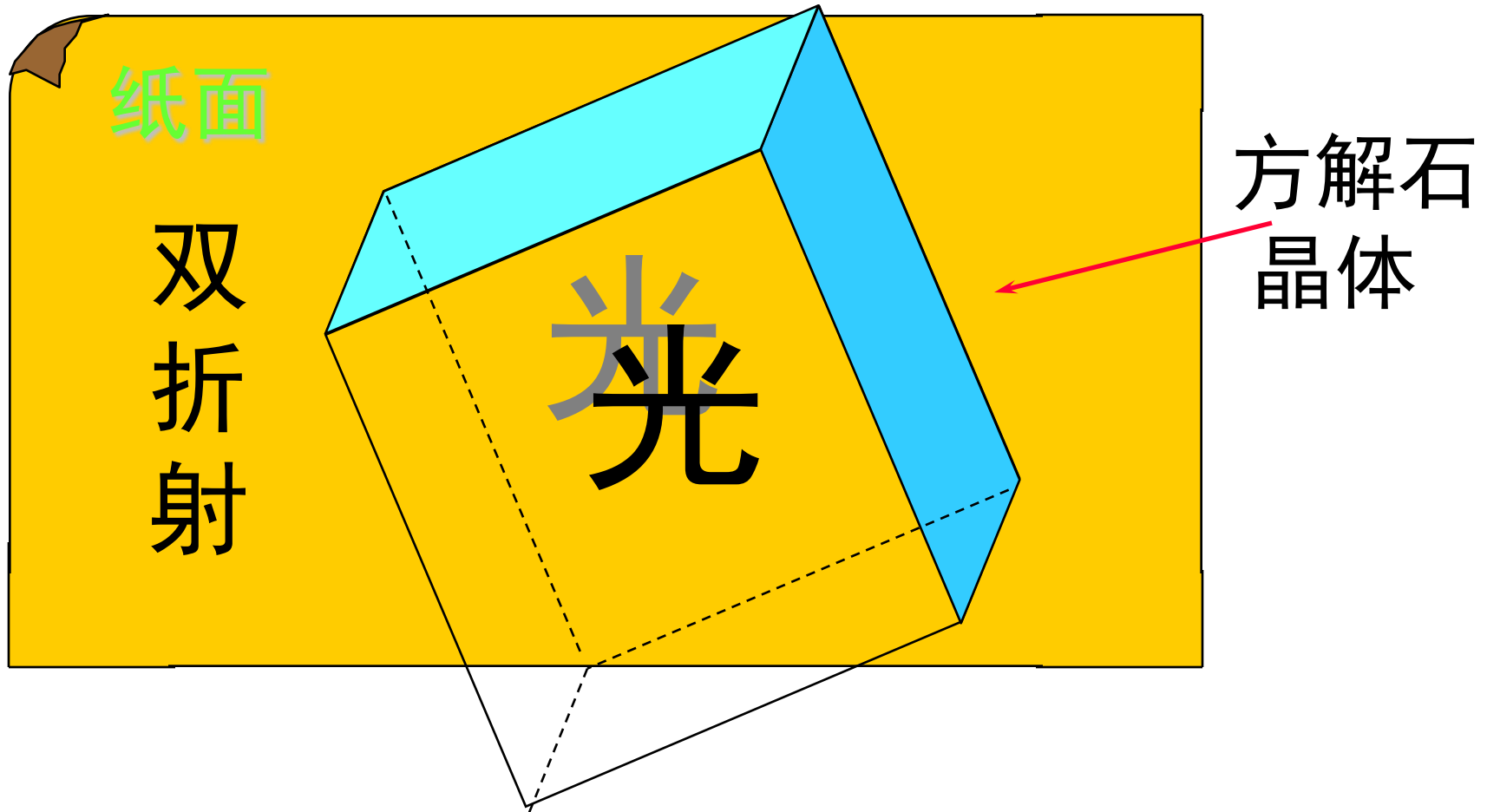
o光不动，e光围绕o光旋转



方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转

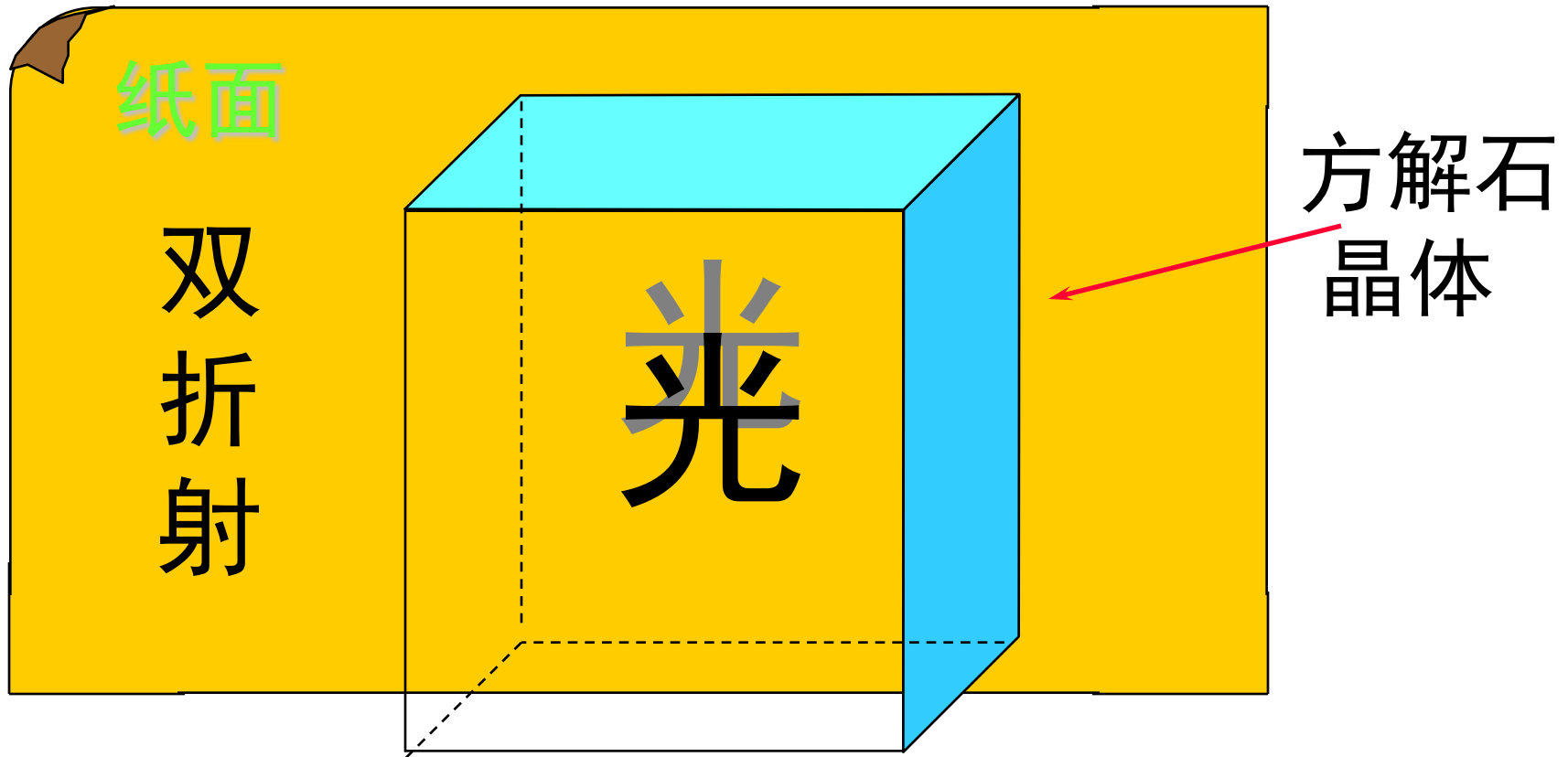


方解石晶体旋转时：  
o光不动，e光围绕o光旋转



方解石晶体旋转时：

o光不动，e光围绕o光旋转





## 二、惠更斯原理对双折射现象的解释

由于**各向异性介质**在不同方向上的物理性能不同，因而它的电磁学特性（ $\varepsilon$ ， $\mu$ ）随方向不同而不同。

由于 $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$ ， $n = \frac{c}{v}$ ，所以光在晶体内传播速度 $v$ 以及晶体的折射率 $n$ 随方向不同而不同

### 1. 单轴晶体中光波的波面：

$$\left. \begin{aligned} o\text{光: } \frac{\sin i}{\sin r_o} &= n_o (\text{常数}) \\ n_o &= \frac{c}{v_o} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} v_o \text{ 为一常数} \\ \text{(波阵面是球面)} \end{array}$$

$$e\text{光: } \frac{\sin i}{\sin r_e} = n \quad (\text{不是常数})$$

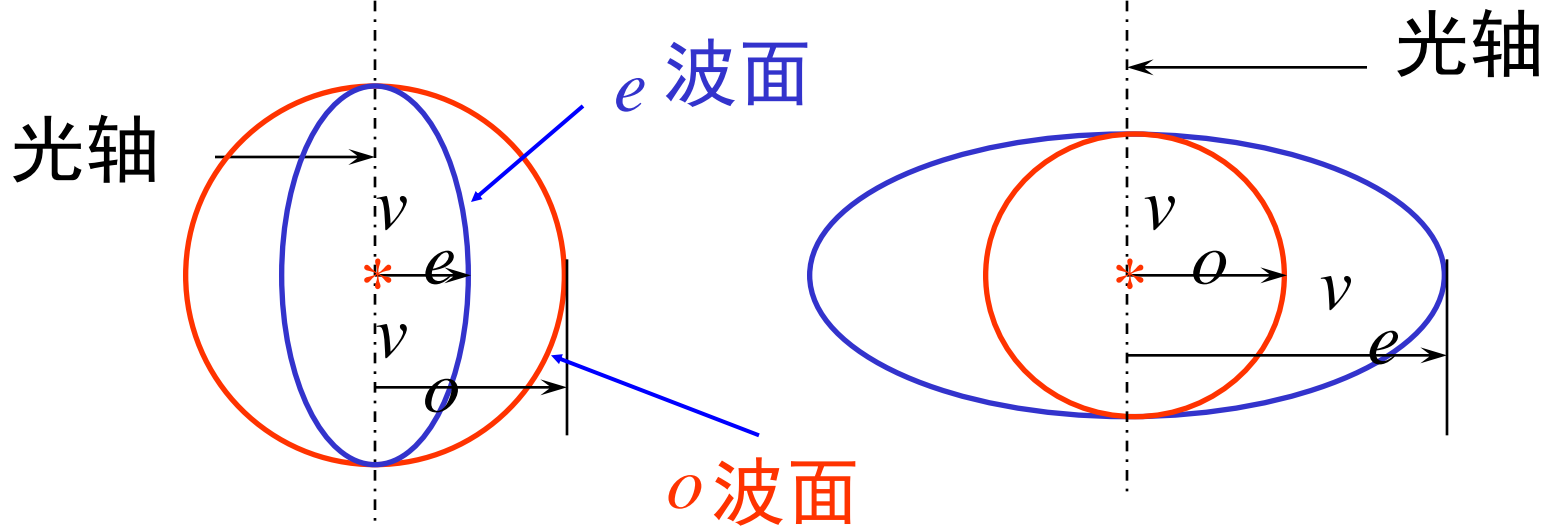
$$n = \frac{c}{v}$$

$v$  不为常数 波阵面是旋转椭球面

垂直于光轴方向的传播速度  $v_e \rightarrow n_e = \frac{c}{v_e}$  **e 光的主折射率**

沿光轴方向:  $v_o = v_e$ , o光、e光波面在光轴方向相切

**垂直光轴方向: 两束光传播速度相差最大**



$$v_e < v_o, n_e > n_o$$

正晶体: 石英  $\text{SiO}_2$

$$v_e > v_o, n_e < n_o$$

负晶体: 方解石  $\text{CaCO}_3$



## 2. 晶体中 o 光与 e 光的传播

\*光线入射到晶体表面时，**波阵面上每一个子波波源**都向晶体内分别**发出球面子波**（o光）和**椭球面子波**（e光）

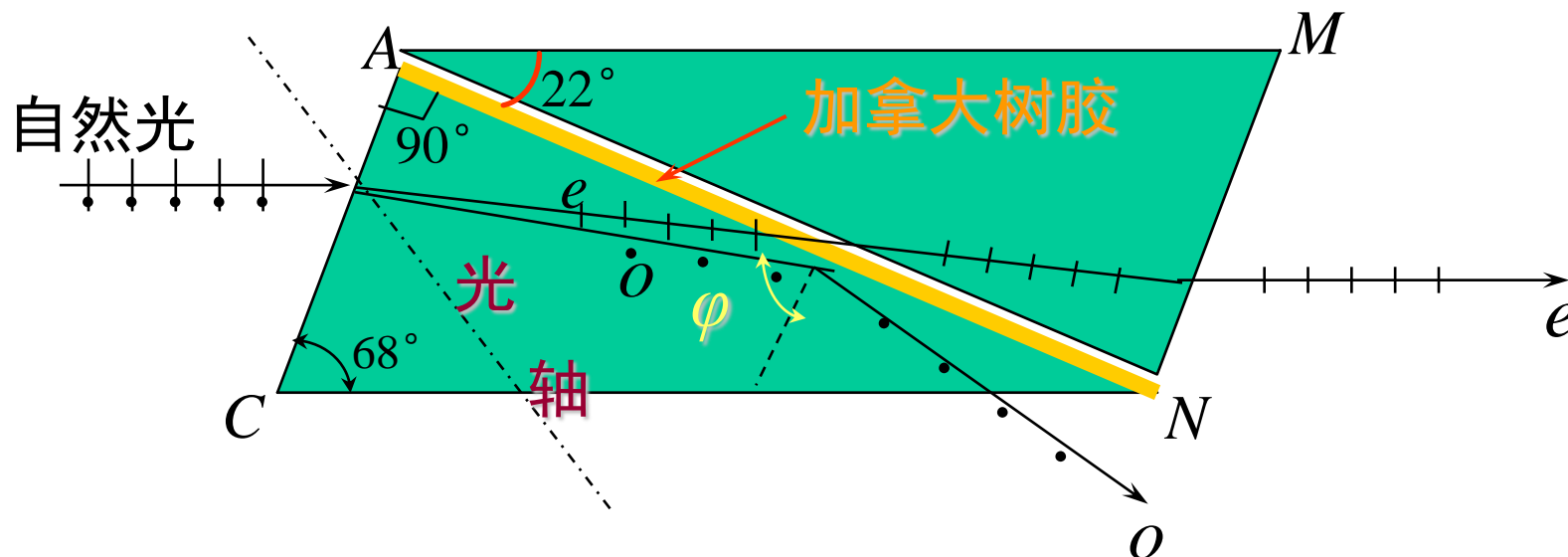
\*同一时刻，**各子波包络面**就是光线传播的波面

\*从**入射点引向相应波阵面切点的连线**方向就是晶体中o光和e光的传播方向



# 三、偏振棱镜

## 1. 尼科尔棱镜 ——起偏和检偏

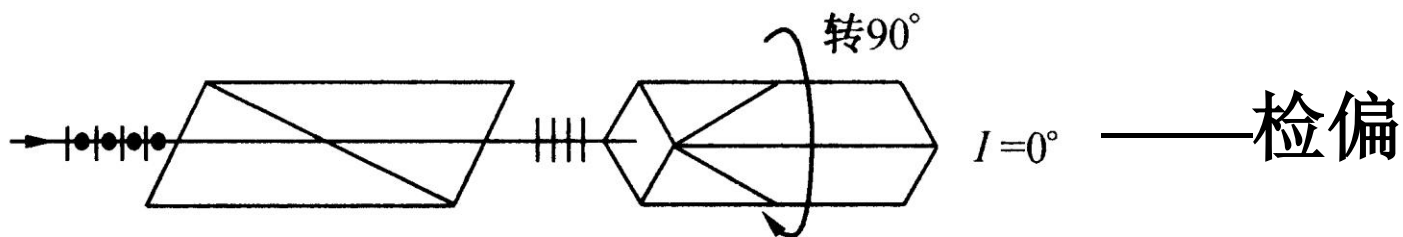
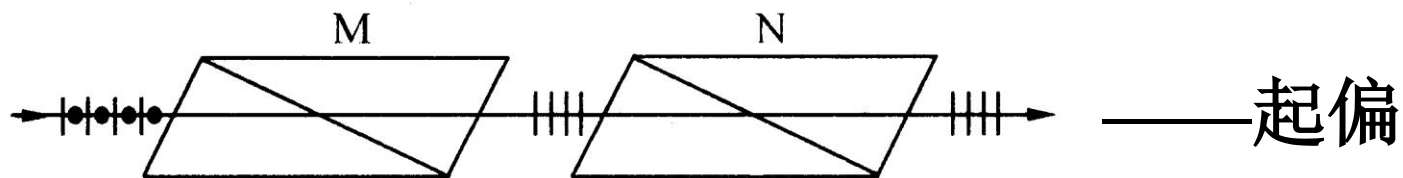


$$n_e = 1.4864 \quad 1.6584$$

$$n_{\text{加}} = 1.55 \quad n_e = 1.516 \quad n_o = 1.6584$$

且  $\varphi = 77^\circ >$  临界角, o光发生全反射

因为  $n_{\text{加}} > n_o$  所以 e光不会发生全反射



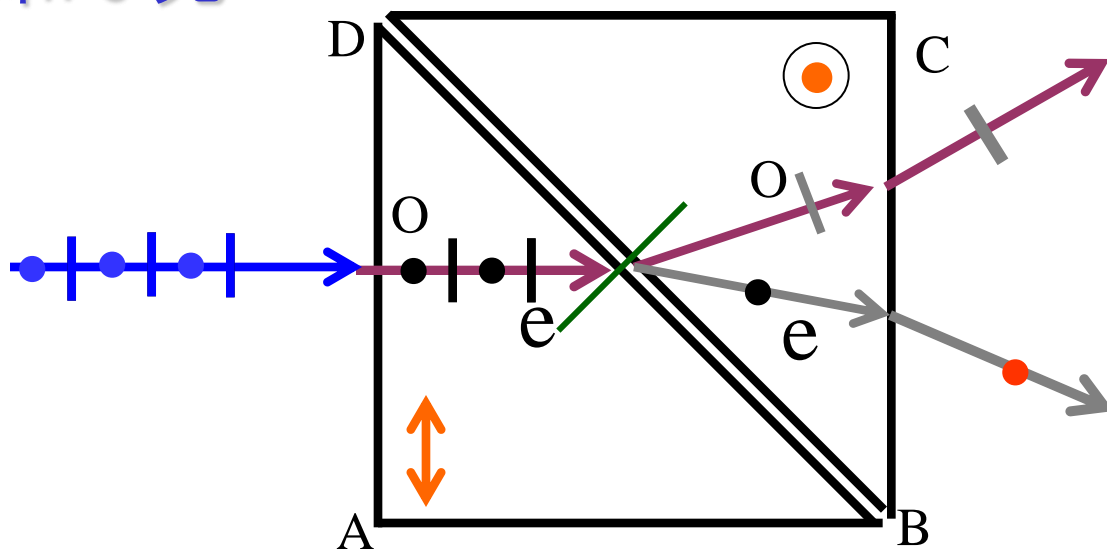
2. 渥拉斯顿棱镜：由两块光轴相互垂直的直角方解石棱镜组成——分开 o 光和 e 光

方解石：

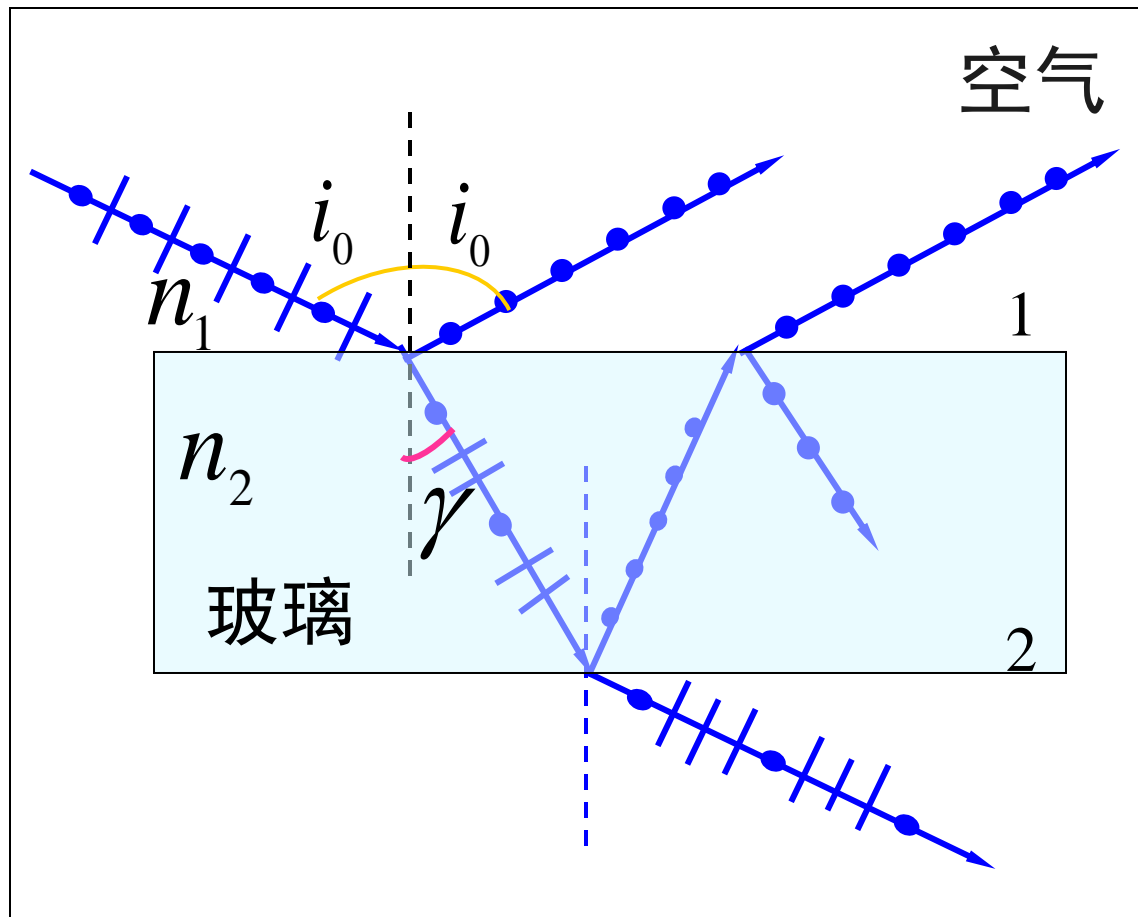
$$n_e = 1.486$$

$$n_o = 1.658$$

$$V_{e\text{主}} > V_o$$



【例 4】一自然光自空气射向一块平板玻璃，入射角为布儒斯特角  $i_0$  问在界面 2 的反射光是什么光？



**注意：**一次起偏垂直入射面的振动仅很小部分被反射（约 15%）所以**反射偏振光很弱**。一般应用**玻璃片堆**产生偏振光