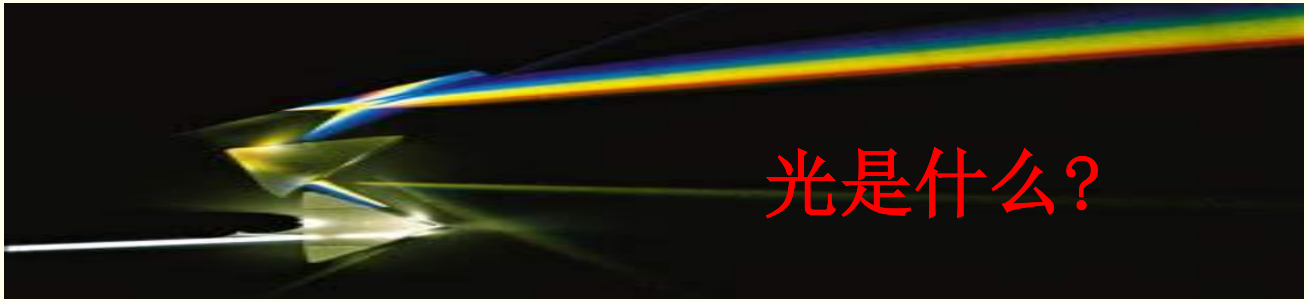
绪言

光学：研究光的本性、光的传播和光与物质相互作用等规律的学科。

光学
- 几何光学：以光的直线传播为基础，研究光在透明介质中的传播规律。
- 波动光学：以光的波动性质为基础，研究光的传播及规律。
- 量子光学：以光的粒子性为基础，研究光与物质相互作用的规律。

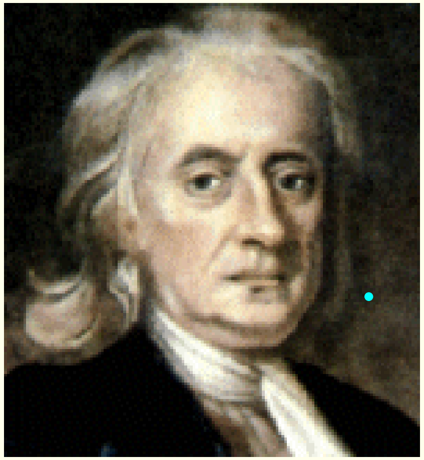
光学发展史



一、几何光学时期

早在我国先秦时代（公元前400－382年），《墨经》中就详细论述了光的直线传播、光的反射以及平面镜、凹面镜和凸面镜的成像规律。而在之后约一百年，古希腊的欧几里德也专门著书《光学》，对人眼为何能看到物体、光的反射性质、球面镜焦点等问题进行了探讨。

二、光的微粒说和波动说



牛顿(Newton)

光是一种粒子！

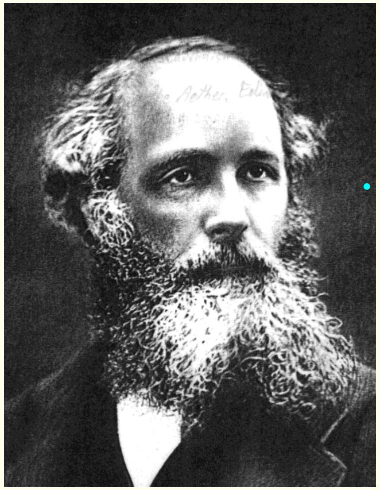
光是一种波！

惠更斯(Huygens)

1668年英国科学家牛顿（Newton）提出光的微粒说，

1678年荷兰物理学家惠更斯（Huygens）提出光的波动说。

三、光的电磁学说



光是一种电磁波。

你的预言是对的！

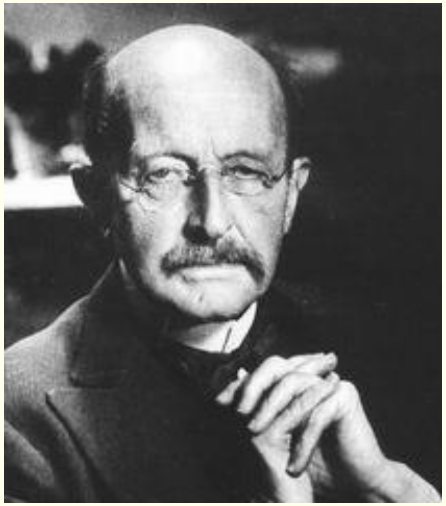
麦克斯韦（**Maxwell** ）

赫兹（**Hertz** ）

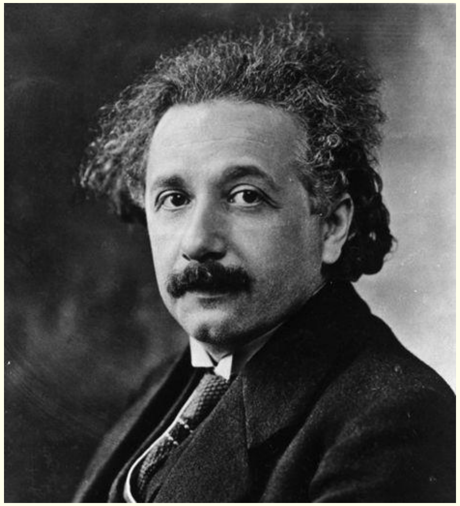
1862年，麦克斯韦总结出麦克斯韦方程组，得出电磁波在真空中传播的速度等于光速 c ，从而预言光是一种电磁波。1888年赫兹用实验证实了麦克斯韦的预言。

四、量子光学时期

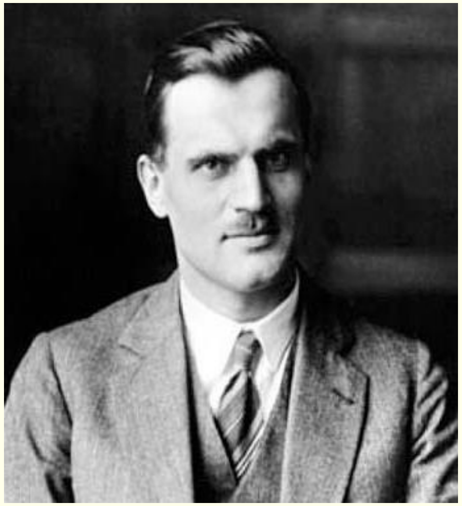
19世纪末到20世纪初，一些新的实验，如热辐射、光电效应和康普顿效应等，用经典电磁波理论都无法解释。



普朗克（Planck）



爱因斯坦（Einstein）



康普顿（Compton）

1900年普朗克提出辐射能量的量子化理论，成功地解释了黑体辐射问题。1905年爱因斯坦提出光量子理论，圆满地解释了光电效应。爱因斯坦的结论于1923年被康普顿的散射实验所证实。

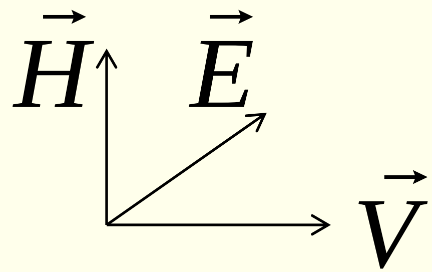
从光学发展史可以看出，光的干涉、衍射、偏振等现象证实了光的波动性，而黑体辐射、光电效应和康普顿效应等又证实了光的微粒性，光具有“波粒二相性”。（**Wave-particle duality**）。

本部分讨论光的波动性。即主要研究光的干涉、衍射、偏振等问题。

第 19 章 光的偏振

第19章 光的偏振

19–1 原子发光模型



$\vec{E}$: 光矢量

一、光源和光谱

光源: 用作发射光的物体

一般光的频率不是单一的

可见光的波长 4000 Å——7600 Å

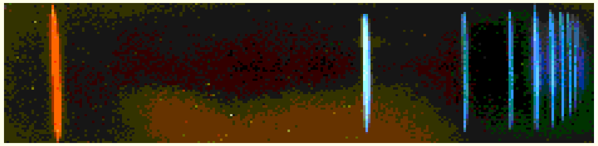
Å: 长度单位

纪念瑞典物理学家埃斯特朗(1814–1874)而定

其频率范围： $7.7\times10^{14}-3.9\times10^{14}\,\text{Hz}$

光谱: 光的强度按频率（或波长）的分布

光源种类：1、线谱光源，如气体放电管、钠光灯、水银灯、日光灯等；

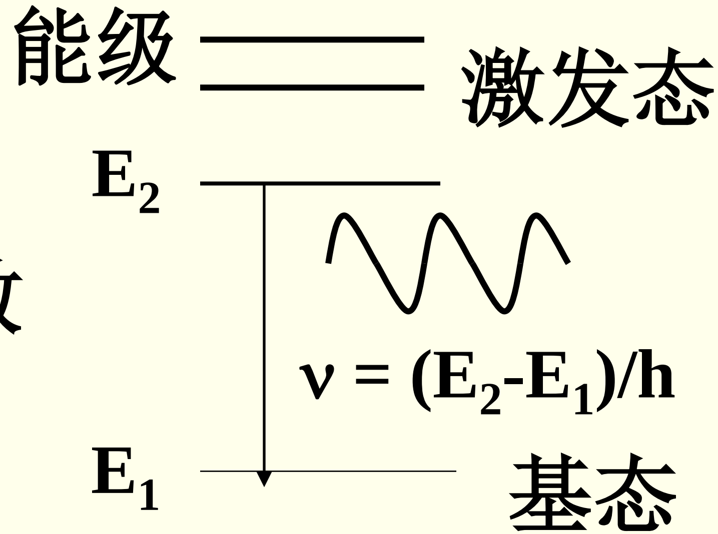


2、连续谱光源（或热辐射光源）如白炽灯、弧光灯、太阳等。

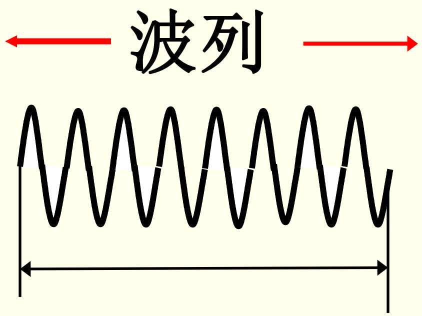
二、原子的发光模型

经典电磁理论：阻尼振荡偶极子，不对。

近代物理：

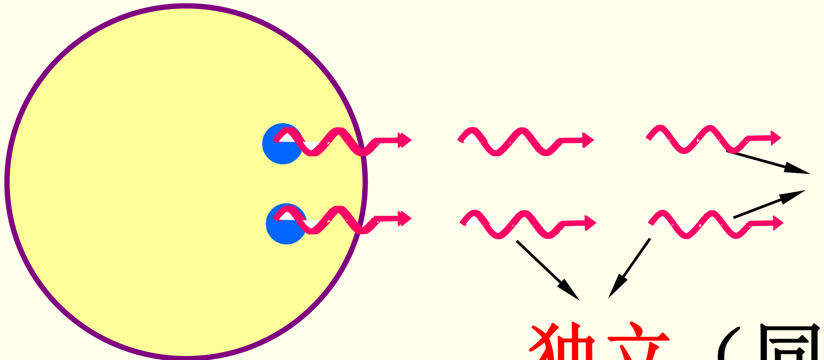


h 普朗克常数



$$\Delta x = c\Delta t$$

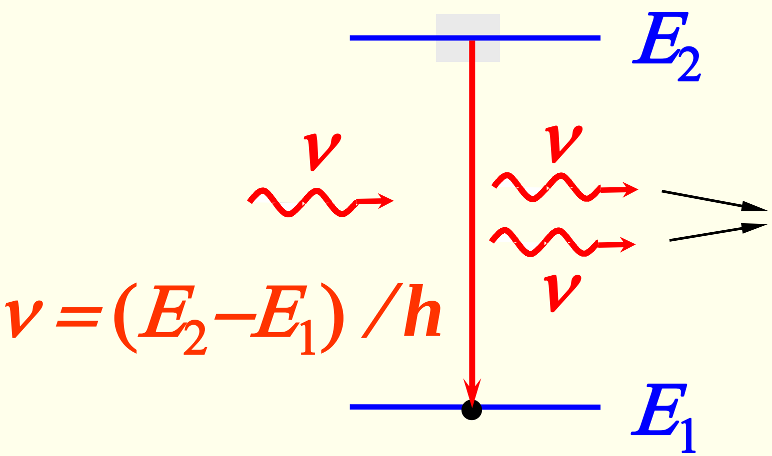
1、普通光源：自发辐射



独立（不同原子发的光）

独立（同一原子先后发的光）

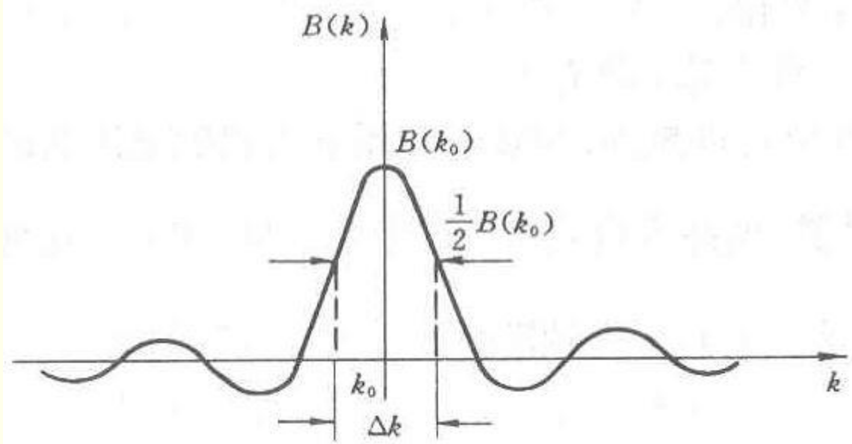
2、激光光源：受激辐射



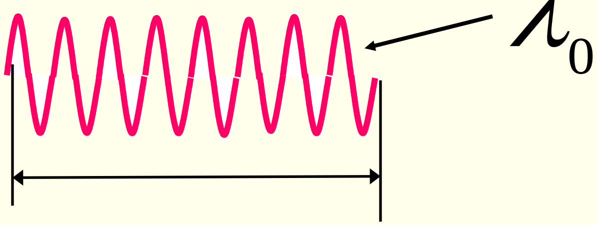
完全一样（传播方向，频率，位相，振动方向）

19–2 光波列的频谱宽度

波列所包含的不同波长单色波对应振幅的相对值。



单色波列



$$\Delta x = c\Delta t$$

Δk ： 频谱宽度

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} \qquad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

波矢

傅里叶积分证明：$\Delta x \cdot \Delta k \approx 2\pi$

$$|\Delta k| = \Delta\left|\frac{2\pi}{\lambda}\right| = \frac{2\pi}{\lambda^2}|\Delta\lambda| \qquad \therefore \Delta x \cdot \Delta\lambda \approx \lambda^2$$

$$\Delta x = c\Delta t \qquad \Delta x \cdot \Delta k \approx 2\pi$$

$$\Delta k = \Delta\left(\frac{2\pi\nu}{\lambda\nu}\right) = \frac{2\pi}{c}\Delta\nu$$

$$\Delta x \cdot \Delta k = 2\pi\Delta t \cdot \Delta\nu \approx 2\pi \quad \Rightarrow \Delta t \cdot \Delta\nu \approx 1$$

Δt 为该波列的发光时间

$$\Delta x \to \infty, \Delta\lambda \to 0$$

$$or \quad \Delta t \to \infty, \Delta\nu \to 0$$

单色性愈好

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$ 中心频率

1.碰撞$\Delta t \downarrow \to$ 谱线宽度$\uparrow$

2.多普勒效应 $\to$ 谱线宽度$\uparrow$

谱线自然宽度

对于可见光，谱线自然宽度估算：

$$\Delta t \approx 10^{-8}\,\mathrm{s} \qquad \Delta \nu \approx \frac{1}{\Delta t} = 10^{8}\,\mathrm{Hz}$$

$$\nu = 10^{14}\,\mathrm{Hz}$$

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} \approx 10^{-6}$$

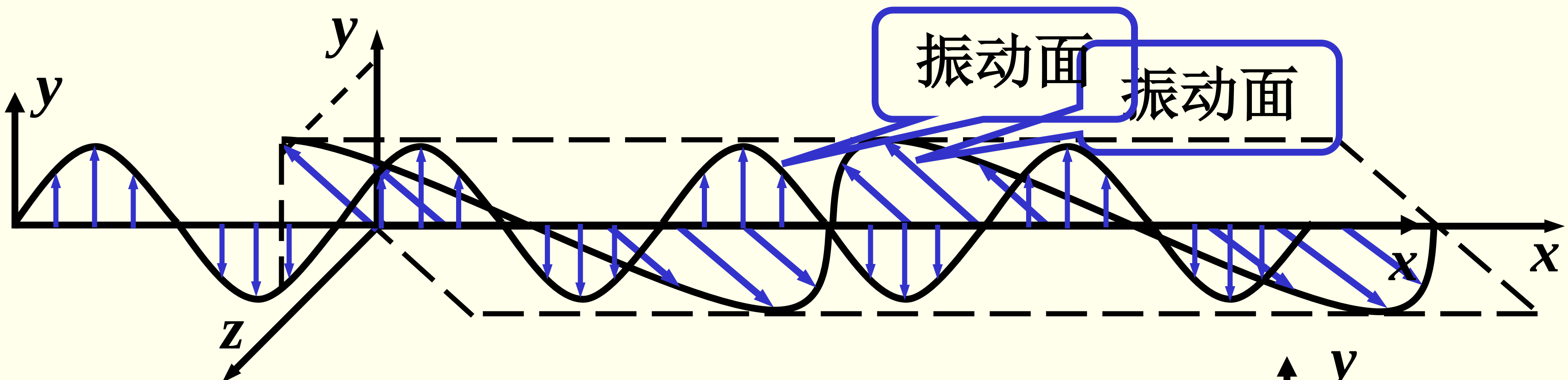
碰撞+多普勒效应 $\Rightarrow \dfrac{\Delta \nu}{\nu} \approx 10^{-5} \sim 10^{-3}$

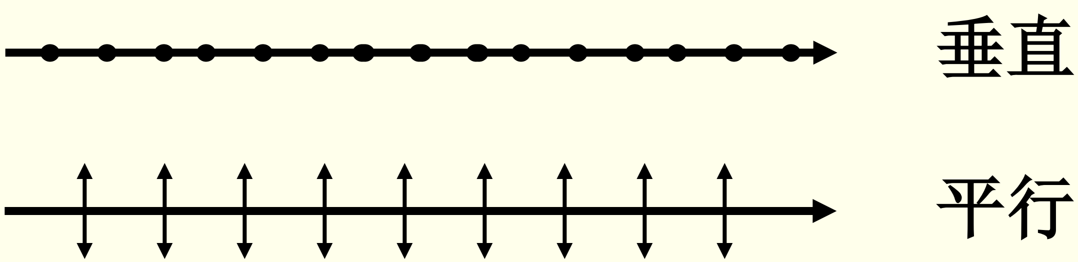
19–3　光的偏振状态

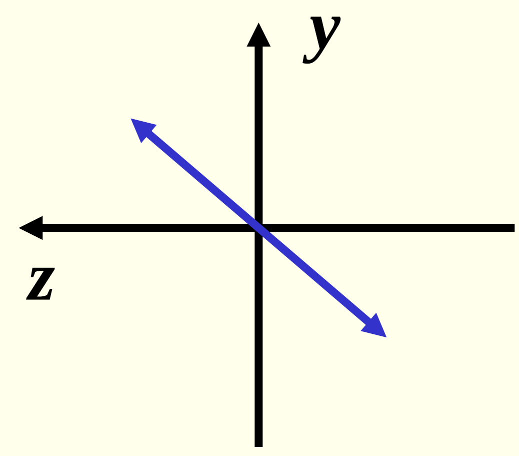
一、完全偏振光

1、线偏振光（平面偏振光）

光矢量在传播中始终保持在一个固定平面上振动。







沿 *y-z* 平面内任一方向振动的线偏振光

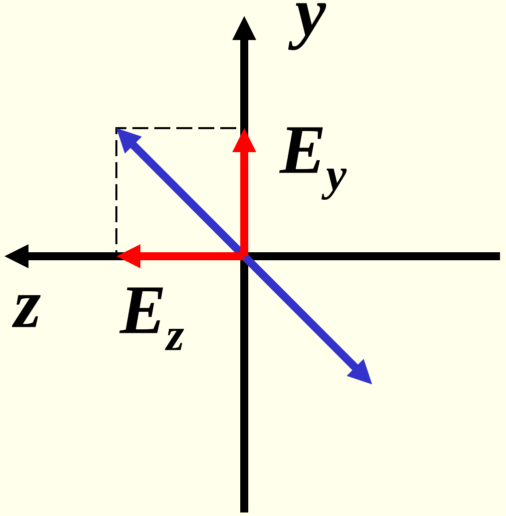
⬇

二个相互垂直、同频率、同相位（或相位差为π）的线偏振光的叠加

$$E_y = E_{y0}\cos[\omega t - kx + \varphi]$$

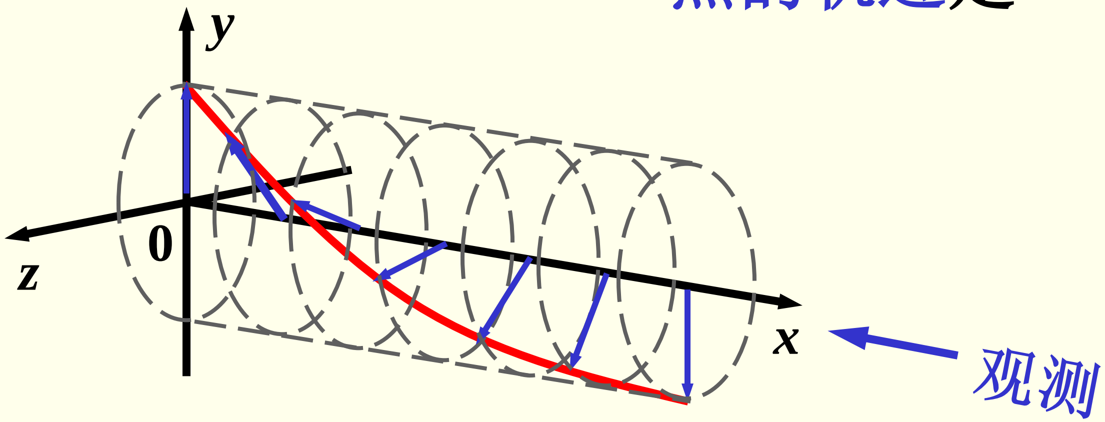
$$E_z = E_{z0}\cos[\omega t - kx + \varphi]$$

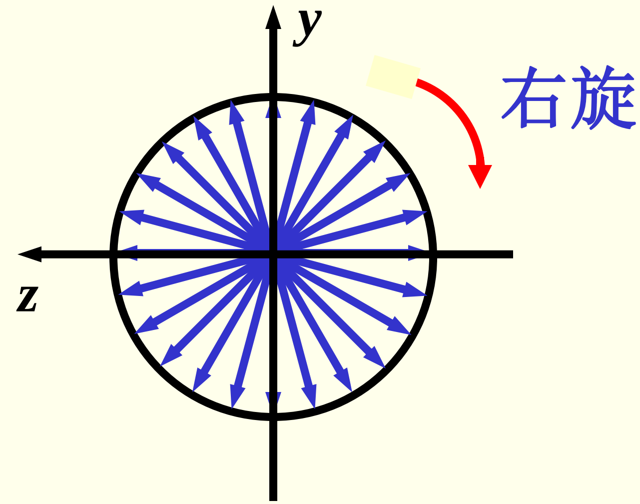
$$\boxed{\vec{E} = E_y\vec{j} + E_z\vec{k}}$$



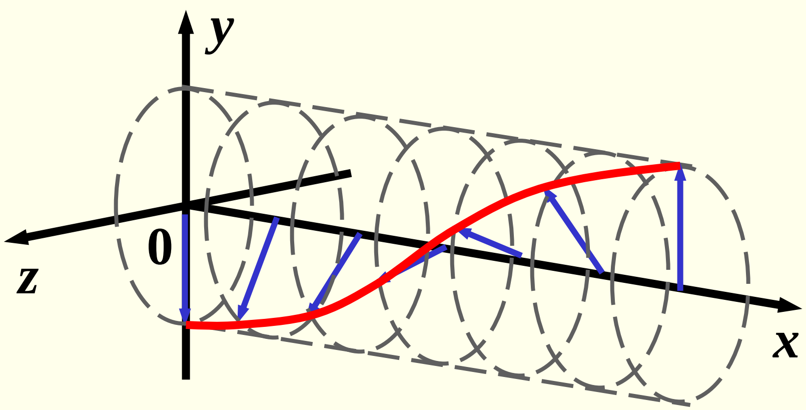
2、圆（椭圆）偏振光

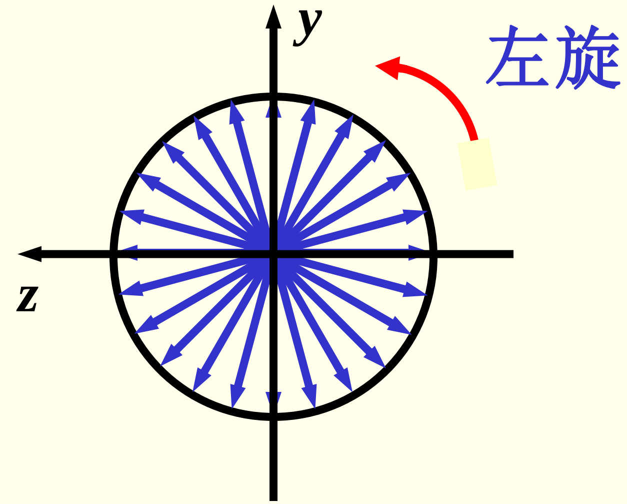
光矢量绕着光的传播方向旋转，其旋转角速度对应光的角频率；光矢量端点的轨迹是一个圆 (椭圆)。





某时刻右旋圆偏振光 *E* 随 *x* 的变化



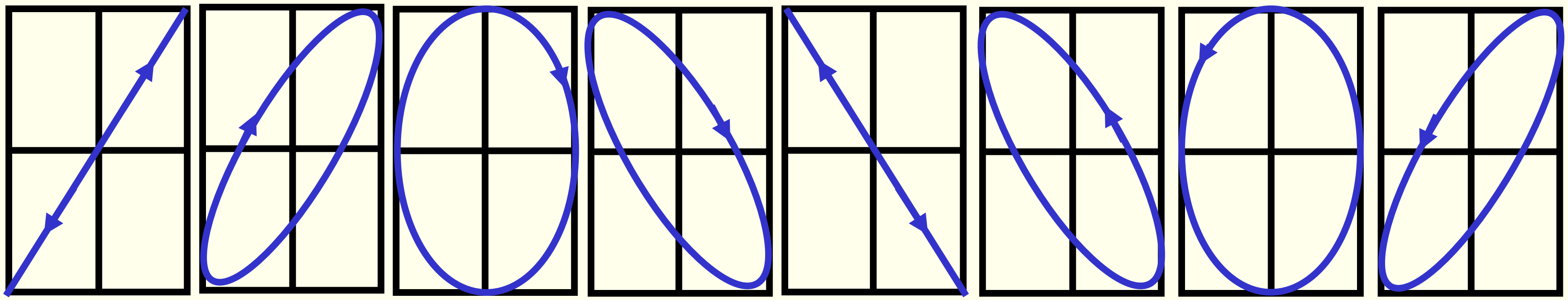


圆（椭圆）偏振光

二个相互垂直、同频率、相位差确定的线偏振光的叠加

$$E_y = E_{y0}\cos\left[\omega t - kx + \varphi_1\right]$$

$$E_z = E_{z0}\cos\left[\omega t - kx + \varphi_2\right] \qquad \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$



$\Delta\varphi = 0$ $\quad \Delta\varphi = \frac{\pi}{4}$ $\quad \Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ $\quad \Delta\varphi = \frac{3\pi}{4}$ $\quad \Delta\varphi = \pi$ $\quad \Delta\varphi = \frac{5\pi}{4}$ $\quad \Delta\varphi = \frac{3\pi}{2}$ $\quad \Delta\varphi = \frac{7\pi}{4}$

当$\Delta\varphi \neq 0, \pi$时为椭圆偏振光

当$\Delta\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$，且振幅相等时为圆偏振光

线、圆和椭圆偏振光 —— 完全偏振光

二、完全非偏振光——自然光

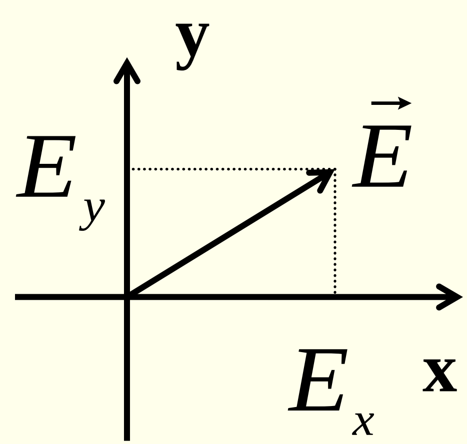
每个原子发射的光波列为一线偏振光，

无数线偏振光无规则的集合——自然光。

自然光的强度具有轴对称分布

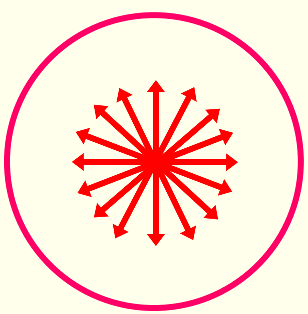
$$I=\sum_i I_i=\sum_i \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\overline{E}_i^{\,2}=\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\sum_i(\overline{E}_{ix}^{\,2}+\overline{E}_{iy}^{\,2})$$

$$I_x=\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\sum_i \overline{E}_{ix}^{\,2} \qquad I_y=\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\sum_i \overline{E}_{iy}^{\,2}$$

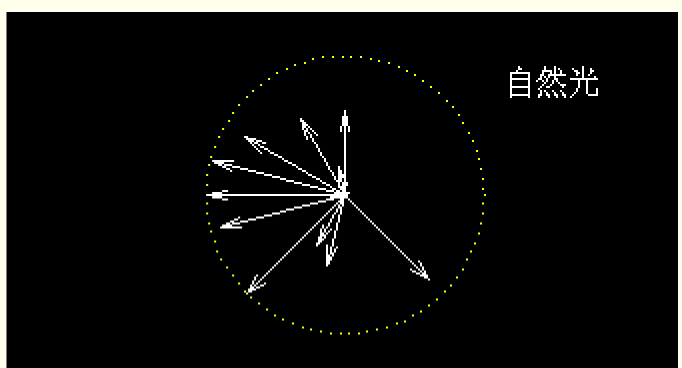


$$\sum_i \overline{E}_{ix}^{\,2}=\sum_i \overline{E}_{iy}^{\,2}$$

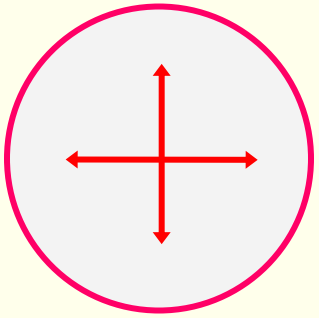
$$\therefore I_x=I_y$$



没有优势方向



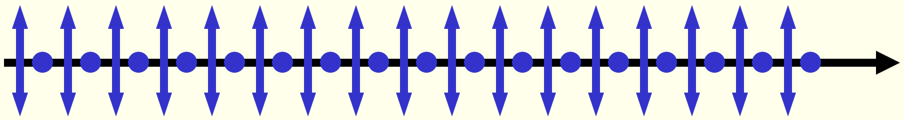
$$I = I_x + I_y, I_x = I_y = \frac{1}{2} I$$



自然光的分解

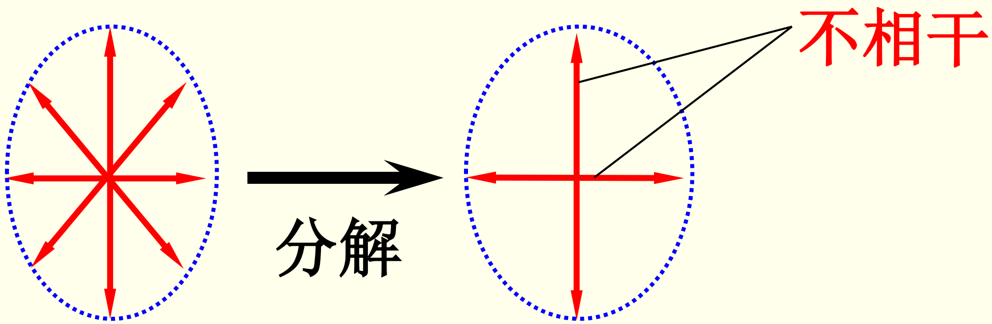
一束自然光可分解为两束振动方向相互垂直的、等幅的、不相干的线偏振光。

自然光的图示

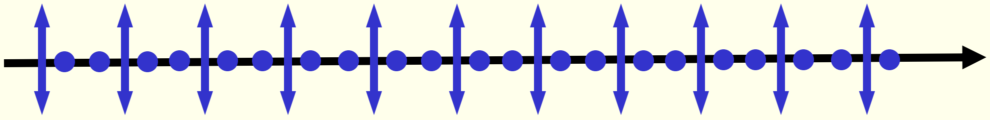


三、部分偏振光

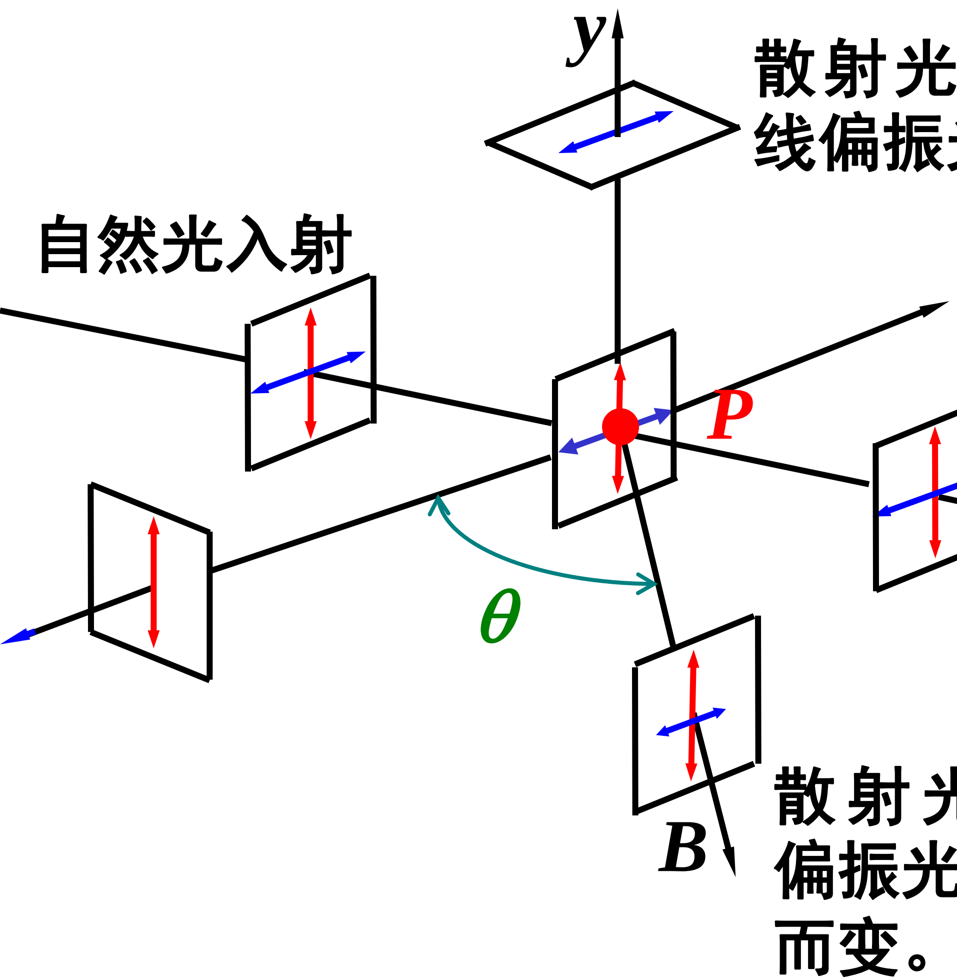
部分偏振光可看成是自然光和线偏振光的混合，天空中的散射光和水面的反射光就是这种部分偏振光，其光强的分布不是轴对称，而是在某方向上占优势。它可以分解如下：

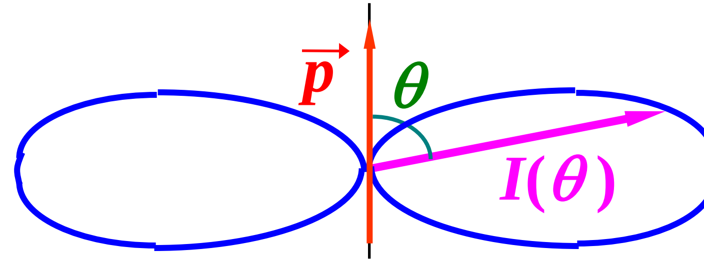


部分偏振光的图示

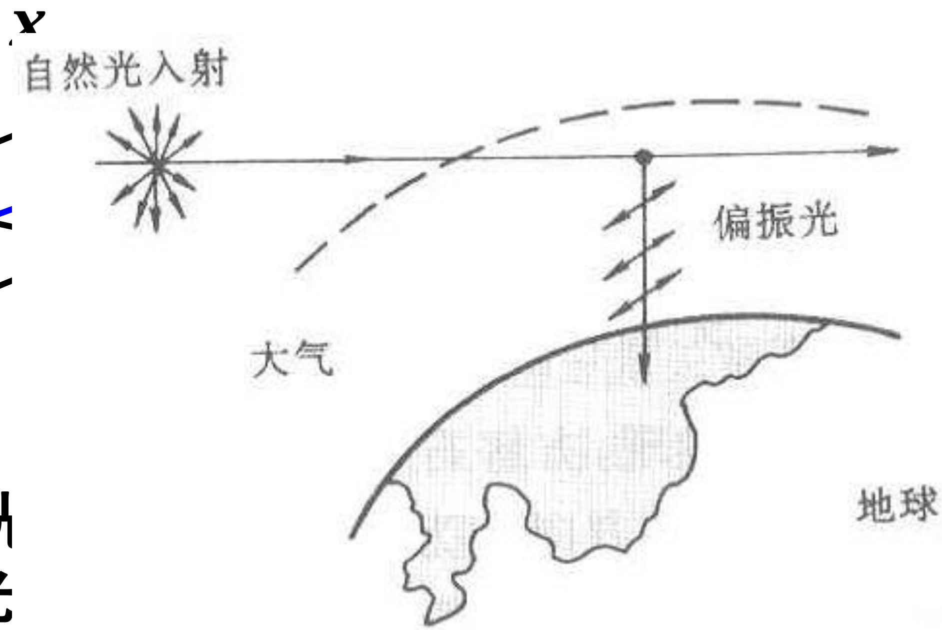


散射光的偏振





振荡电偶极子电磁
辐射强度的角分布



19–4 偏振片 马吕斯定律

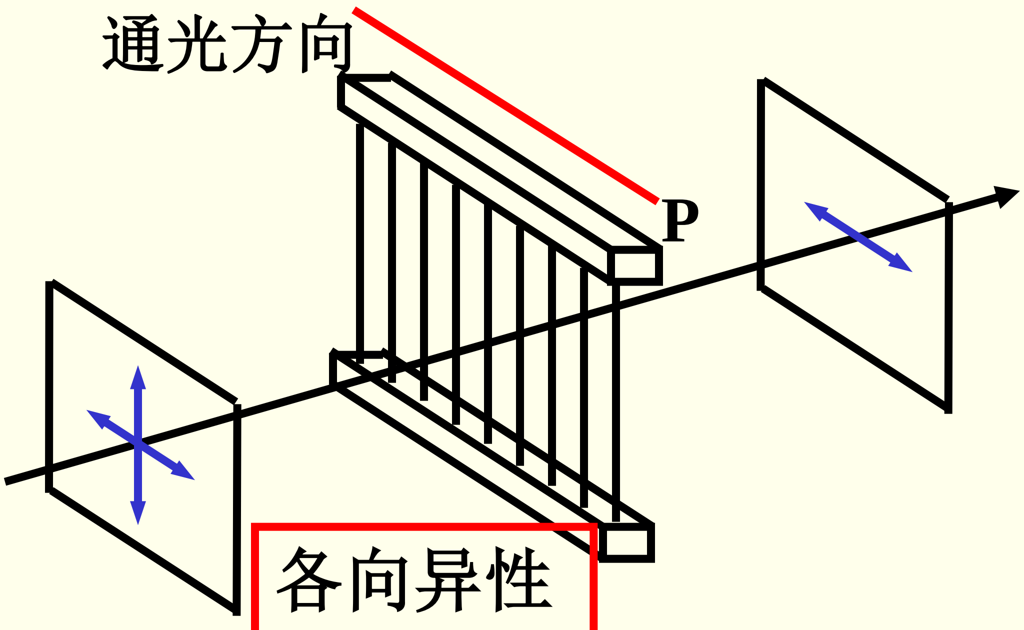
把自然光变成线偏振光—起偏

方法：偏振片、利用光的反射与折射等

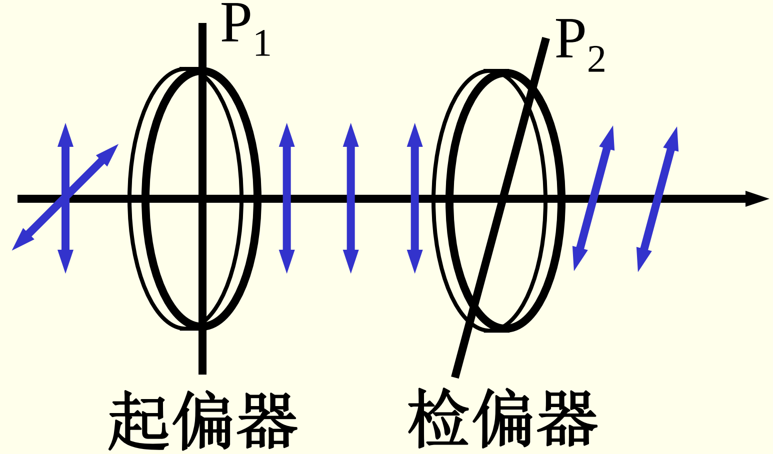
一、偏振片

利用媒质的某种光学不对称性制成的光学元件。

聚乙烯醇薄膜浸碘、拉伸并哄干。拉伸方向—消光方向，偏振化方向与其垂直



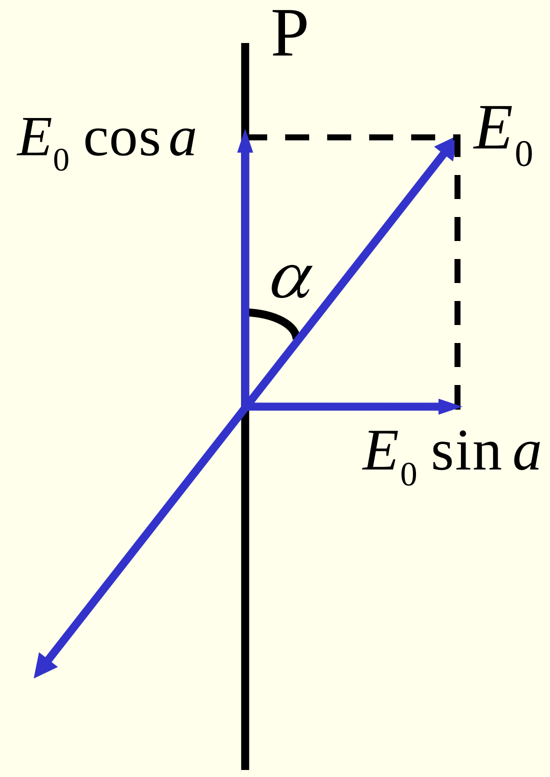
偏振片的通光方向（P）称为偏振化方向



二、马吕斯（Malus）定律（1809）

考虑线偏振光 $E = E_0\cos(\omega t - kx)$ 经过一偏振片

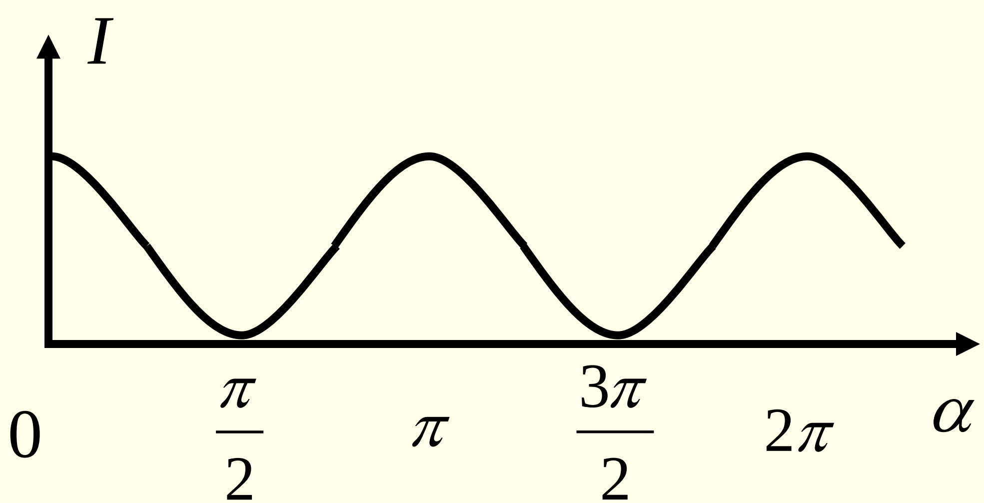
只有 $E_0\cos\alpha$ 分量可通过



$$\therefore I = E_0^2\cos^2\alpha = I_0\cos^2\alpha$$

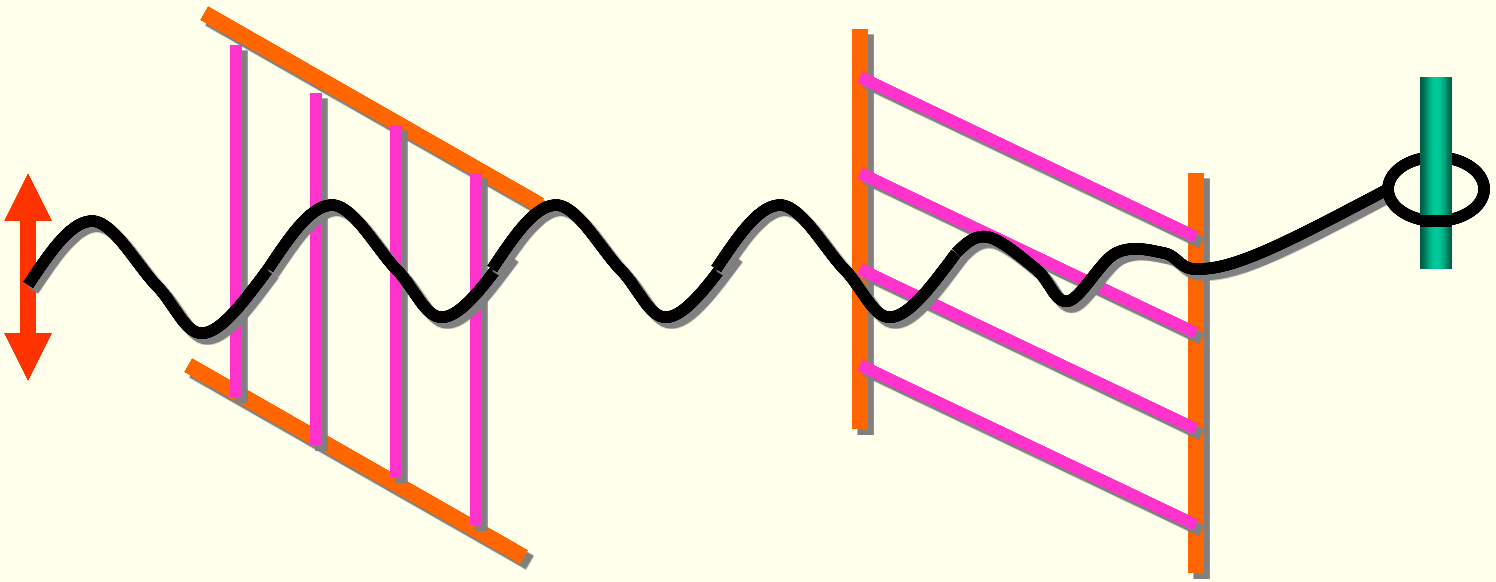
➢马吕斯定律 $\boxed{I = I_0\cos^2\alpha}$

自然光入射，出射光强为 $I = \dfrac{I_0}{2}$

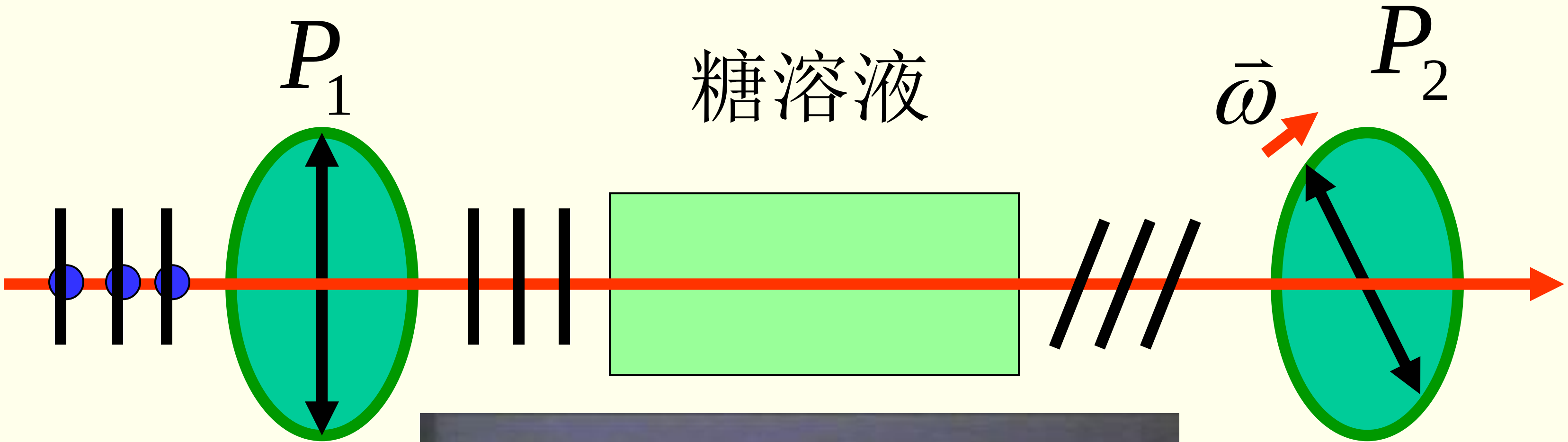


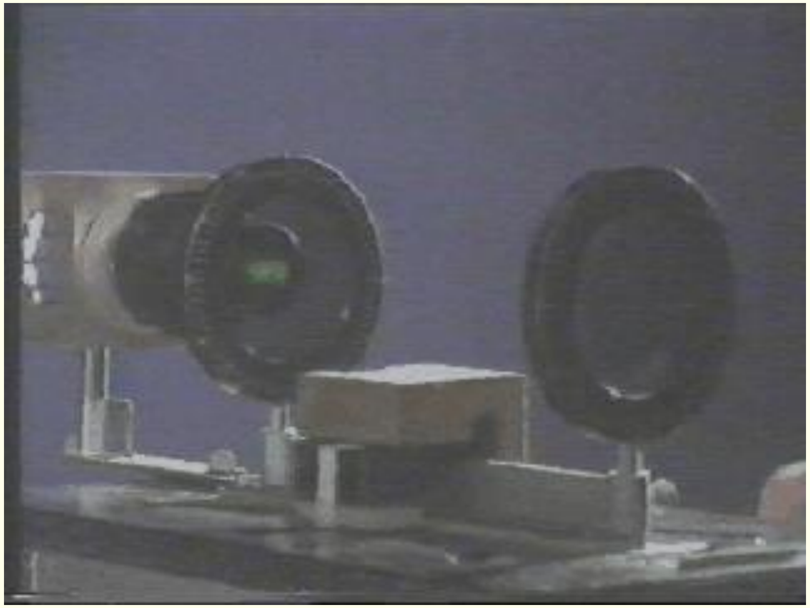
消光位置

机械波通过狭缝



旋 光 现 象

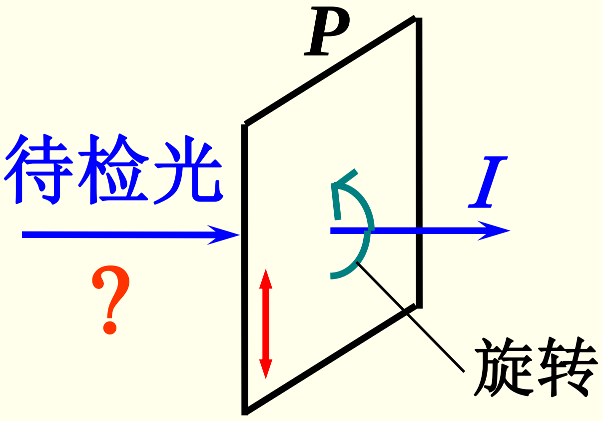




三、线偏振光的检偏

检偏：用偏振器件检验光的偏振态

设入射光可能是自然光 或 线偏振光 或由线偏振光与自然光混合而成的部分偏振光



- 若 I 不变，是什么光？
- 若 I 变，有消光，是什么光？
- 若 I 变，无消光，是什么光？

四、偏振片的应用

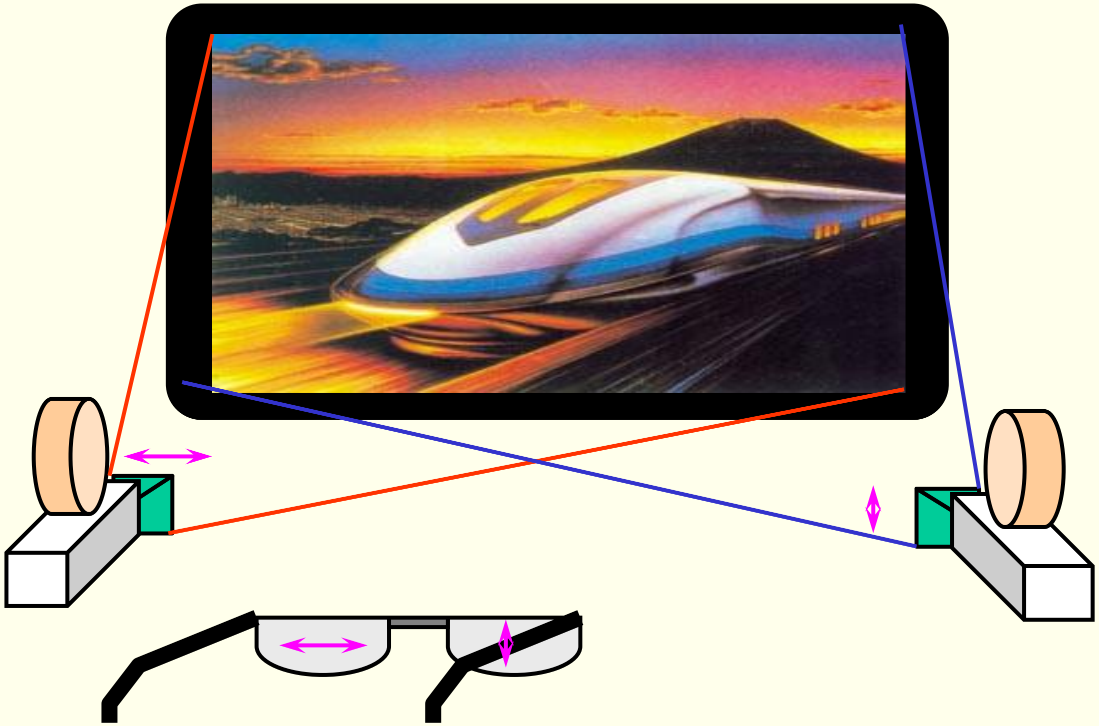
偏振片的应用很多，例如：

- 作为许多光学仪器中的起偏和检偏装置。
- 作为照相机的滤光镜，可以滤掉不必要的反射光。

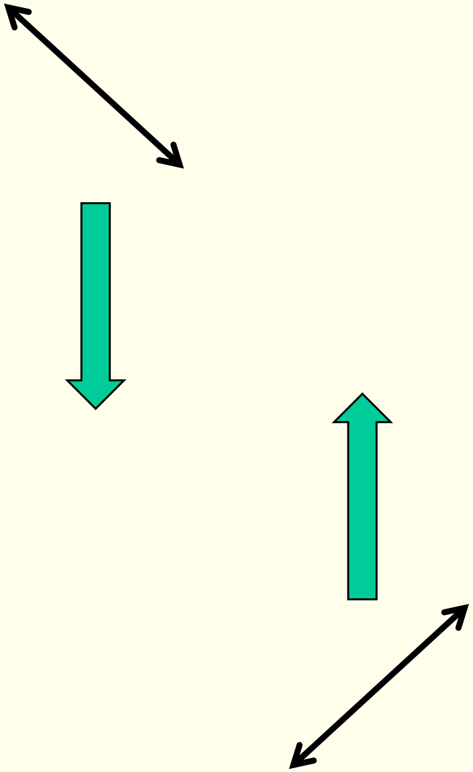
相机镜头加偏振片前后照片对比

●制成偏光眼镜，可观看立体电影。

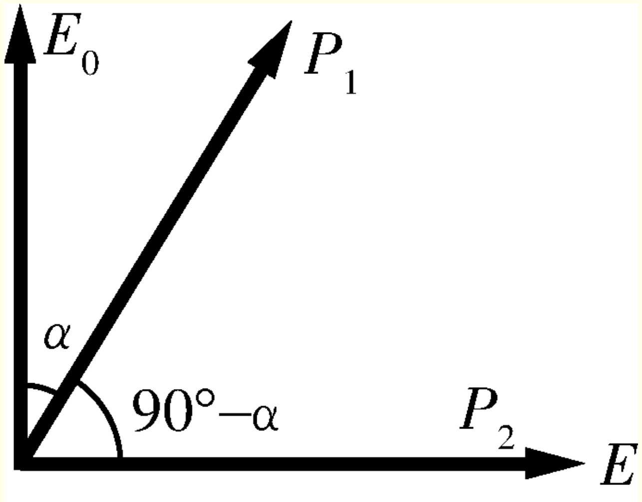
拍摄立体电影时，用两个摄影机同时分别拍下同一物体的两个画像，放映时把两个画像同时映在银幕上。每个放像机镜头上放一个偏振片，两个偏振片的偏振化方向相互垂直，观众戴上用偏振片做成的眼镜观看。



●驾驶室的前窗玻璃和车灯的玻璃罩都装有偏振片，而且规定它们的偏振化方向都沿同一方向并与水平面成45^0角，那么，司机从前窗只能看到自已的车灯发出的光，而看不到对面车灯的光，这样，汽车在夜间行驶时，既不要熄灯，也不要减速，可以保证安全行车。



[例] 要使一束线偏振光通过偏振片后振动方向转过90°，至少需要让这束光通过几块理想偏振片？在此情况下，透射光强最大是原来光强的多少倍？

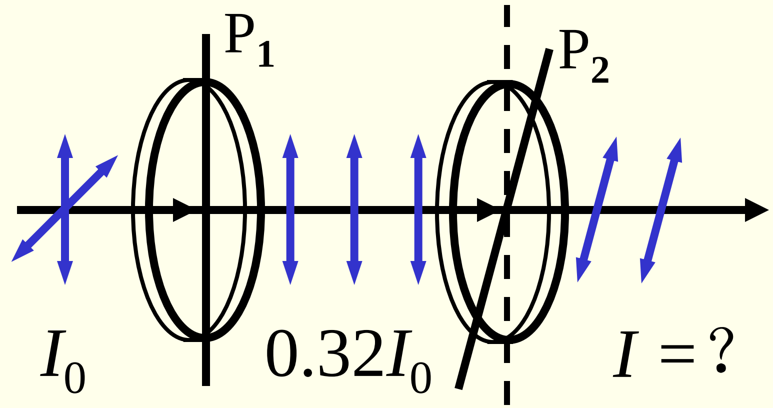


解 至少需要两块理想偏振片,如右图所示。其中P_1透光轴与线偏振光振动方向的夹角为α，第二块偏振片透光轴与P_1透光轴夹角为$(90°-\alpha)$。设入射线偏振光原来的光强为I_0，则透射光强

$$I = I_0 \cos^2\alpha \cos^2(90^0-\alpha) = I_0 \cos^2\alpha \sin^2\alpha = \frac{I_0}{4}\sin^2 2\alpha$$

当$\alpha = 45^0$时， $I = I_{max} = \dfrac{I_0}{4}$

[例] 两块性质完全相同的偏振片平行放置，其通光方向P_1、P_2间夹角为$\pi/6$。光强为I_0的自然光垂直入射，经过第一块偏振片后的光强为$0.32I_0$，求经过第二块偏振片后的出射光强。



解：经P_1后光强小于$0.5I_0$，说明偏振片有吸收。

透过率为 $\gamma = \dfrac{0.32I_0}{0.5I_0} = 0.64$

由马吕斯定律，通过P_2后的出射光强为

$$I = \gamma I_1 \cos^2\alpha = 0.64 \times 0.32 I_0 \cos^2 30^\circ = 0.15 I_0$$

[例] 一束光是自然光和线偏振光的混合光，当它垂直通过一偏振片后，随着偏振片的偏振化方向取向的不同，出射光强度可以变化 5 倍。问：入射光中自然光与线偏振光的强度各占入射光强度的百分比为多少？

解：由马吕斯定律 $$I_{出} = \frac{1}{2}I_0 + I_1\cos^2\alpha$$

式中I_0、I_1分别为入射光中自然光与线偏振光的强度

由题意可知 $I_{max} = \frac{1}{2}I_0 + I_1$ $I_{min} = \frac{1}{2}I_0$ $\frac{I_{max}}{I_{min}} = 5$

解得： $I_1 = 2I_0$

自然光所占百分比： $$\frac{I_0}{I_0 + I_1} = \frac{I_0}{3I_0} = \frac{1}{3}$$

线偏振光所占百分比： $$\frac{I_1}{I_0 + I_1} = \frac{2I_0}{3I_0} = \frac{2}{3}$$

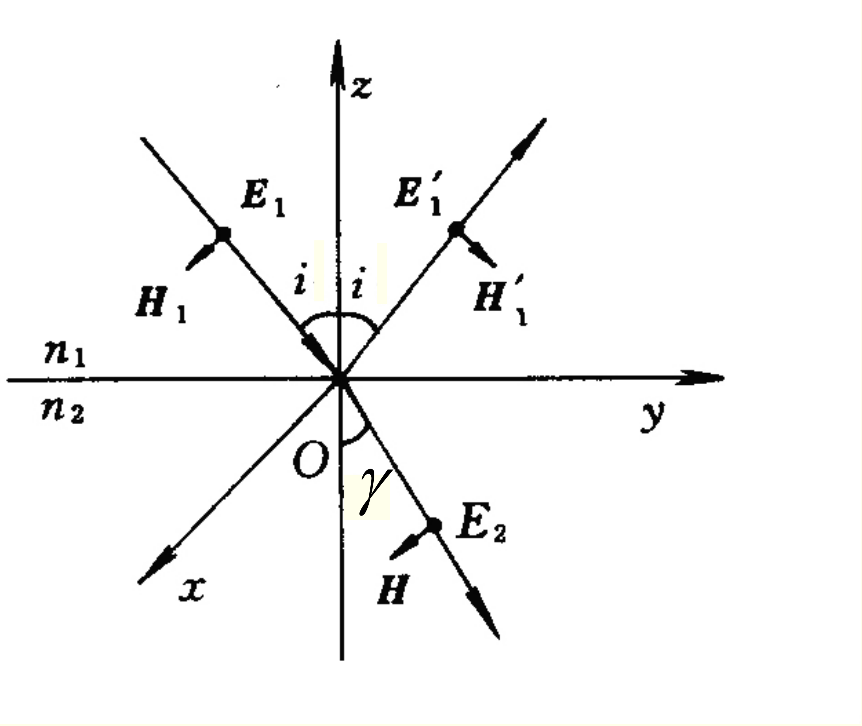
19–5 反射和折射时的偏振光

一、菲涅耳公式

法国的菲涅耳从理论上导出了反射光和透射光的相对振幅。

菲涅耳

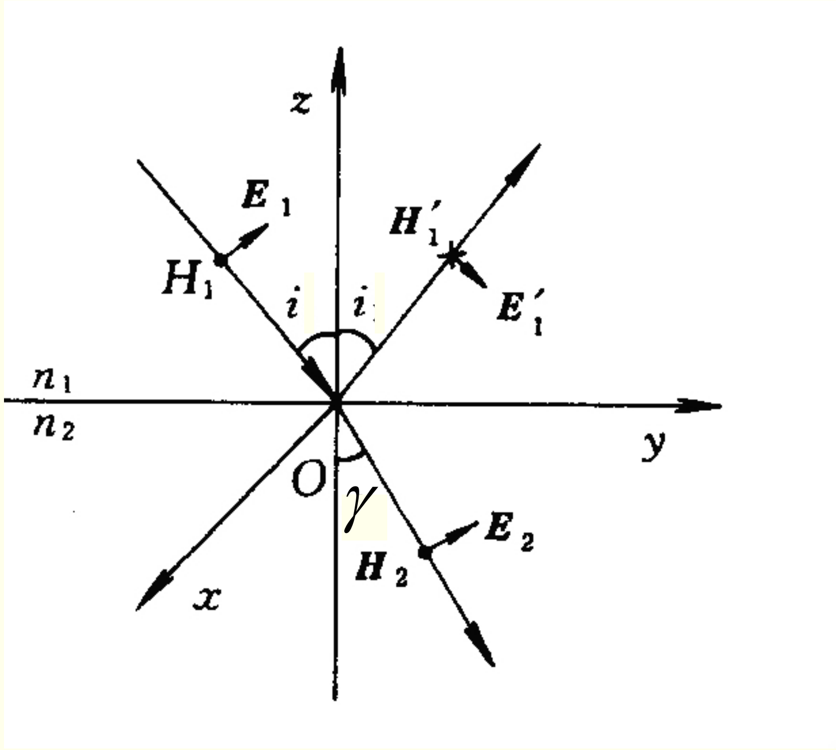
光矢量垂直于入射面:



振幅反射率

$$r_{\perp}=\frac{E_1'}{E_1}=-\frac{\sin(i-\gamma)}{\sin(i+\gamma)}$$

光矢量平行于入射面：



振幅反射率

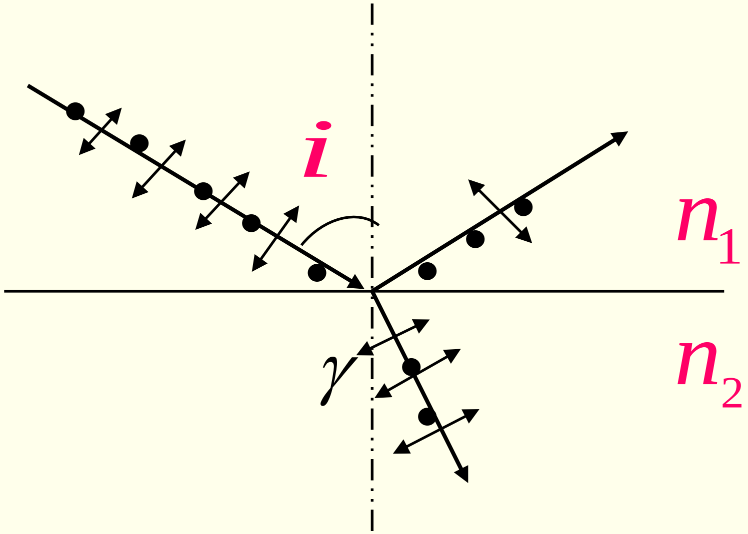
$$r_{//}=\frac{E_1^{'}}{E_1}=-\frac{\tan(i-\gamma)}{\tan(i+\gamma)}$$

$$i+\gamma=\frac{\pi}{2}\Rightarrow\tan(i+\gamma)\to\infty$$

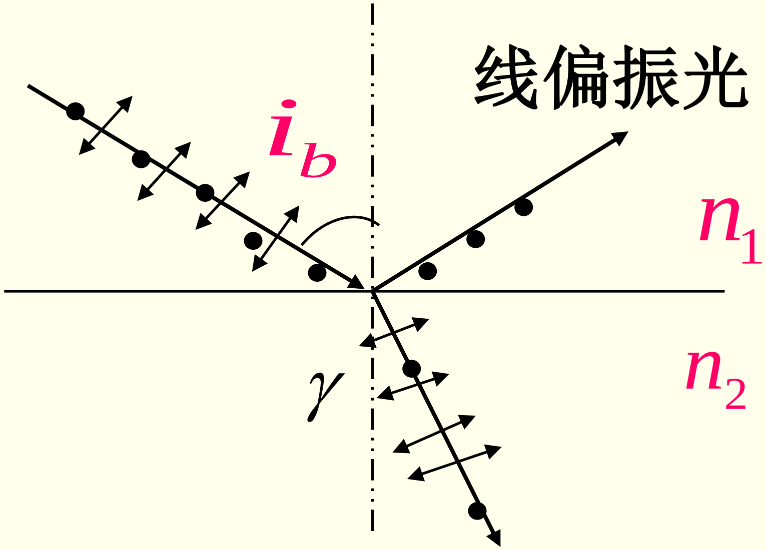
$$r_{//}\to 0$$

二、由反射获得偏振光(布儒斯特定律)

在理论上，布儒斯特定律可由菲涅耳公式导出，但这个定律是布儒斯特在菲涅耳公式提出之前由实验发现的。



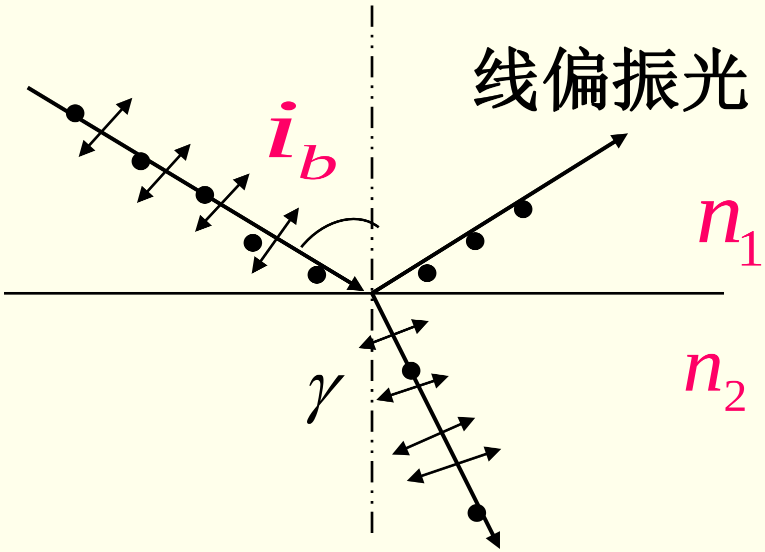
自然光反射和折射后产生部分偏振光



起偏角

i_b：起偏角，或称布儒斯特角。 $i_b + \gamma = \dfrac{\pi}{2}$

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



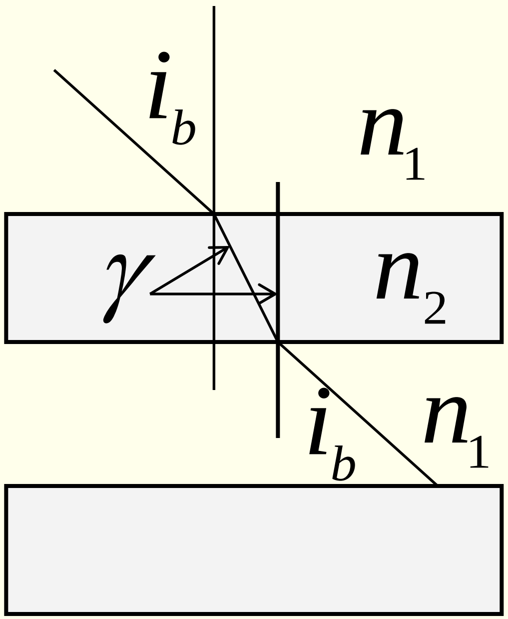
起偏角

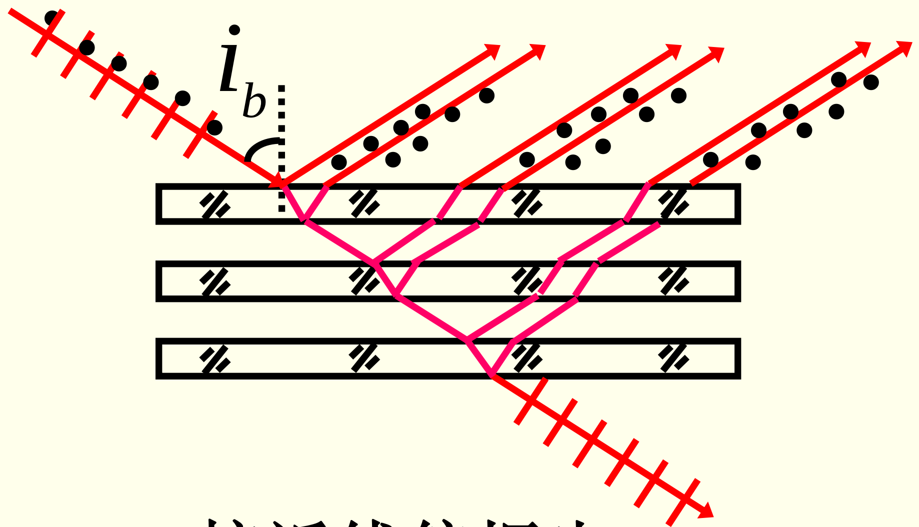
$$n_1 \sin i_b = n_2 \sin \gamma = n_2 \sin(\frac{\pi}{2} - i_b) = n_2 \cos i_b$$

$$\therefore \tan i_b = \frac{n_2}{n_1}, i_b = \arctan(\frac{n_2}{n_1})$$ 布儒斯特定律（1812年）

i_b: 起偏角，或称布儒斯特角。

三、由折射获得偏振光





(接近线偏振光)

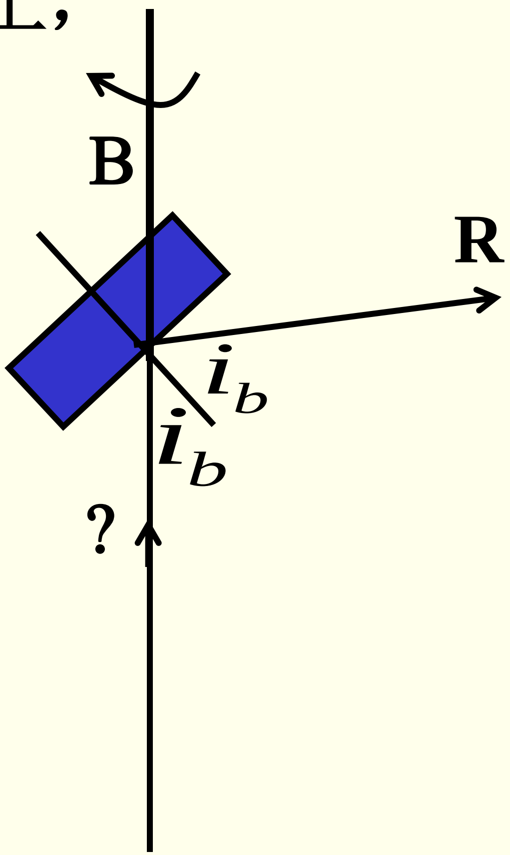
$$\tan i_b = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\tan\gamma = \cot i_b = \frac{n_1}{n_2}$$

反射检偏（不包括圆和椭圆偏振光）

让待检验的光以布儒斯特角i_b入射到界面上，

保持$i = i_b$不变，以入射线为轴旋转界面：



- 若反射光光强不变

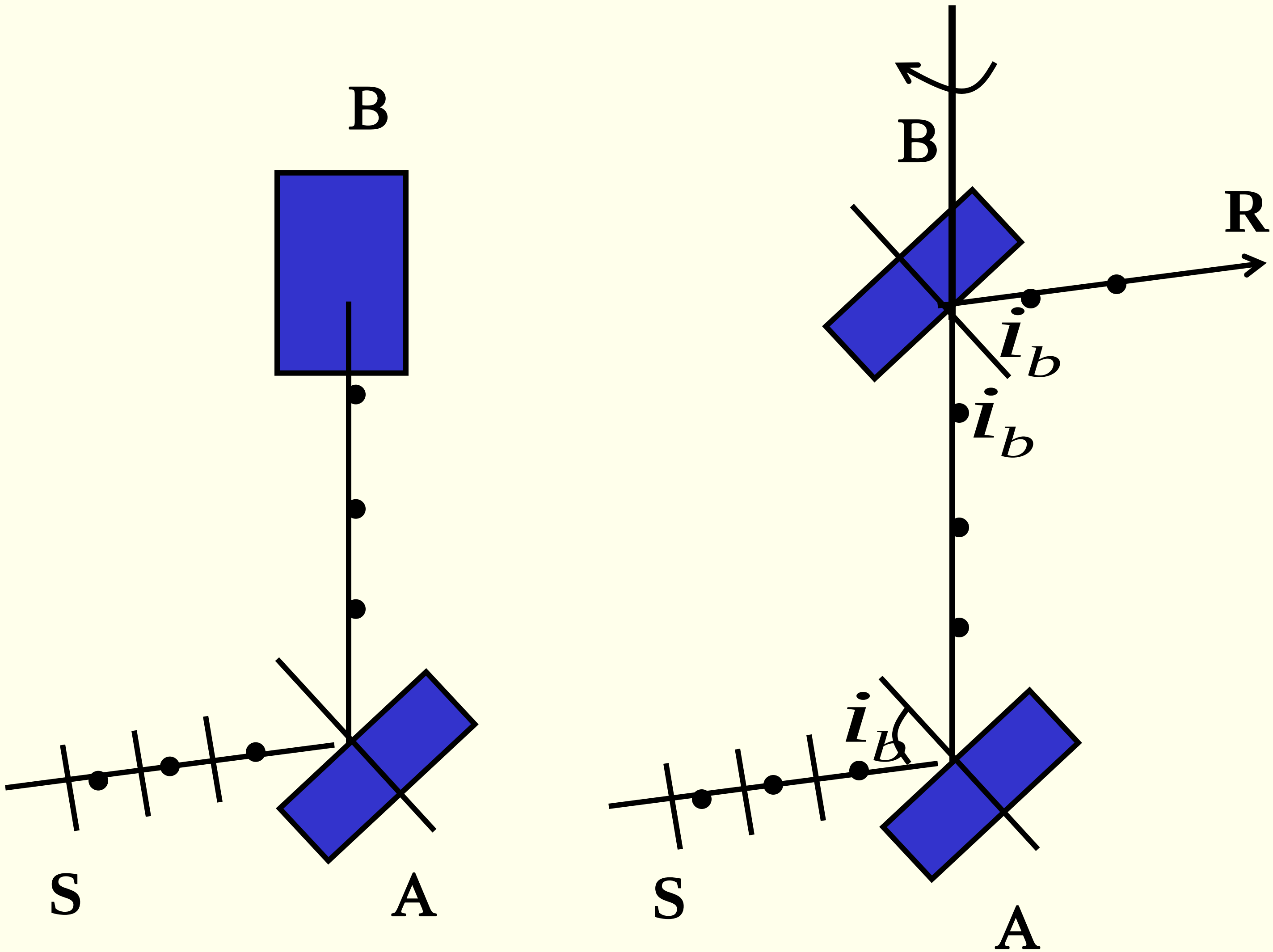
  $\Rightarrow$ 入射光是自然光；

- 若反射光光强变且有消光

  $\Rightarrow$ 入射光是线偏振光；

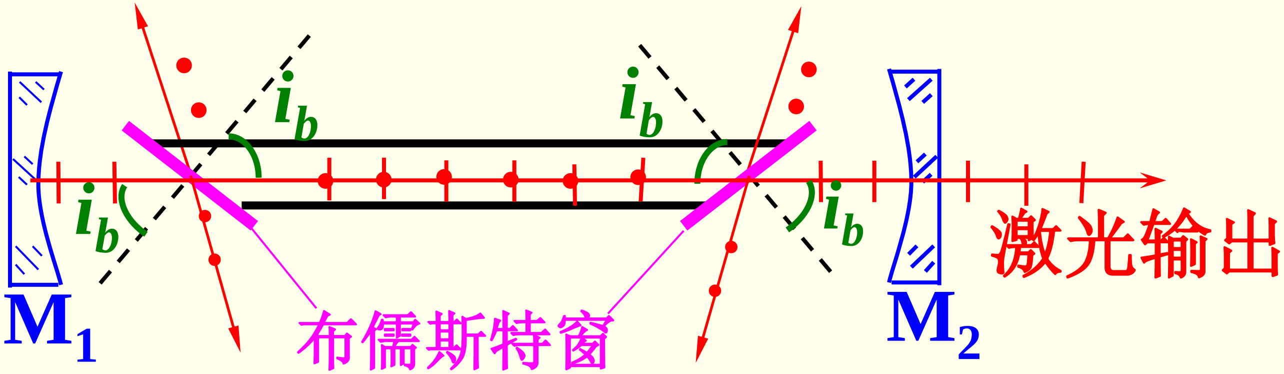
- 若反射光光强变且无消光

  $\Rightarrow$ 入射光是部分偏振光。


B
S
A
B
R
i_b
i_b
i_b
S
A

应用

例：外腔式激光管加布儒斯特窗减少反射损失

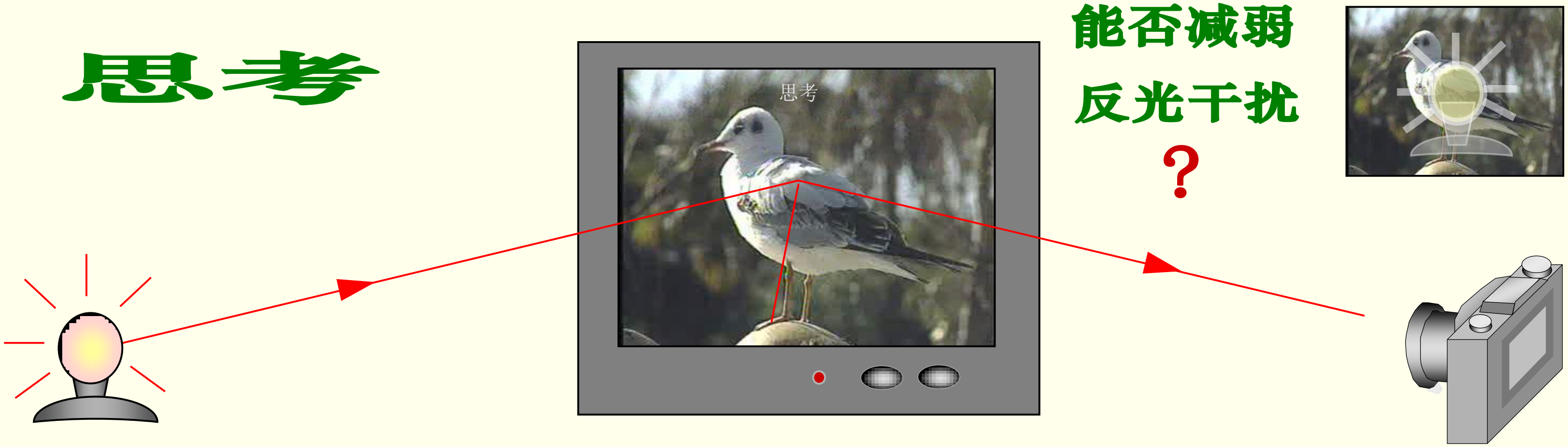


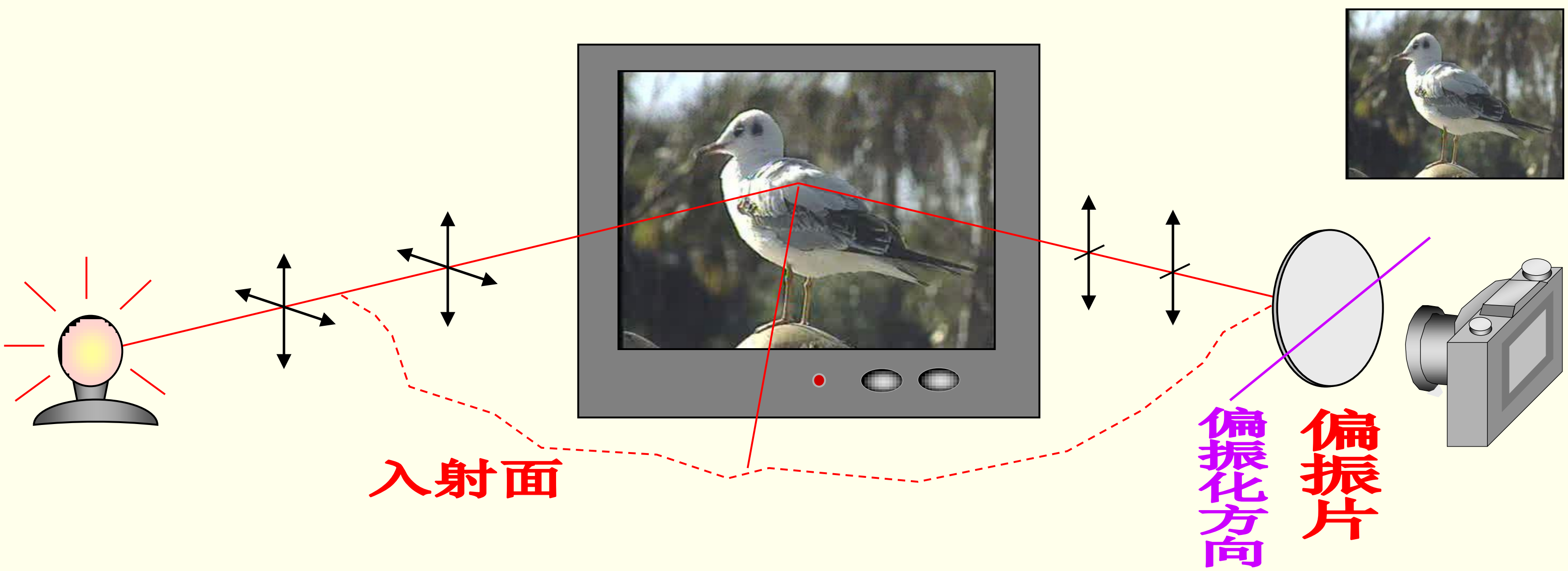
垂直分量损耗大，不能形成激光，但平行分量能形成激光。

【思考】如何测量不透明介质的折射率？

思考

能否减弱反光干扰？





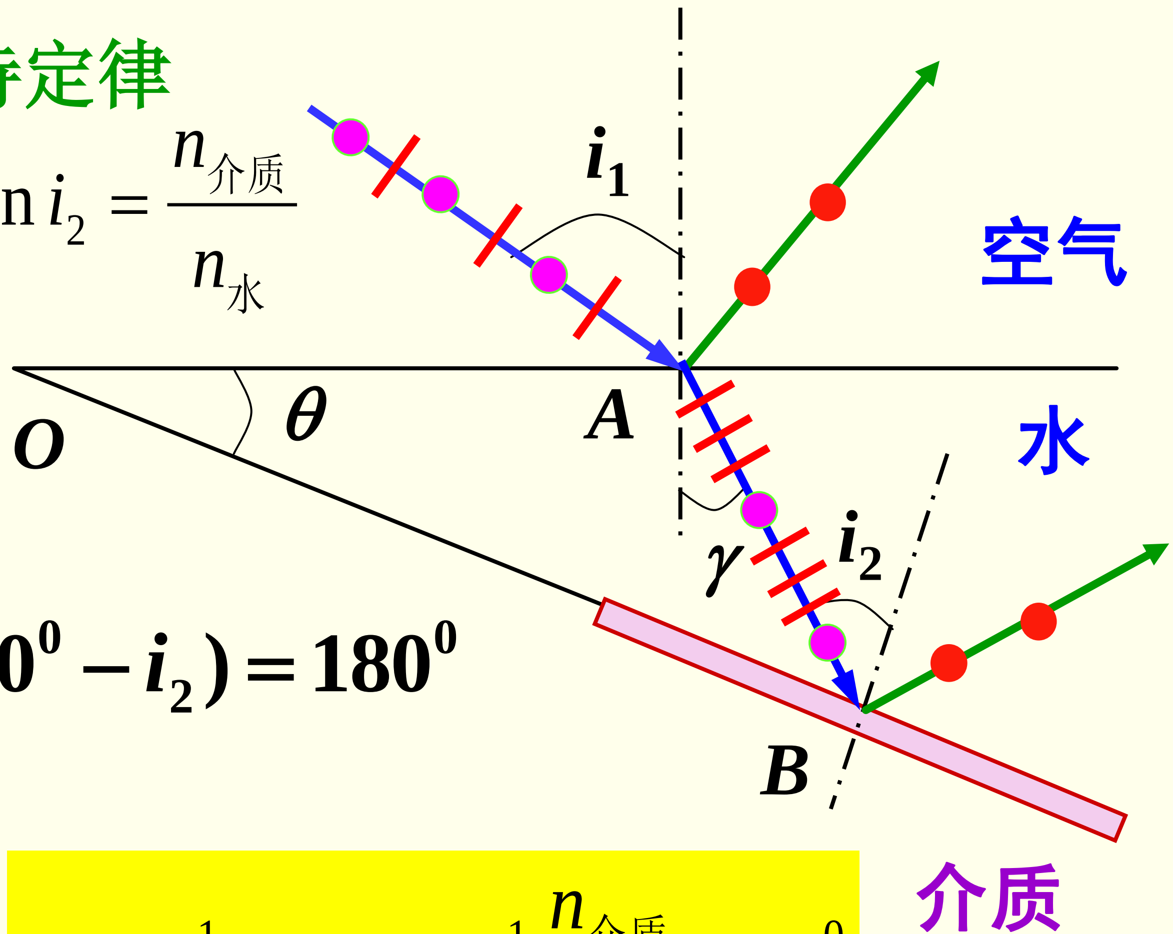
有反射光干扰的橱窗

在照相机镜头前加偏振
片消除了反射光的干扰

【例】将一介质平板放在水中，板面与水平面的夹角为θ，如图。已知折射率$n_{水}$，$n_{介质}$，要使水面和介质面反射光均为线偏振光，$\theta=$______

解：根据布儒斯特定律

$$\tan i_1=\frac{n_{水}}{n_{空气}} \qquad \tan i_2=\frac{n_{介质}}{n_{水}}$$



由几何关系，

ΔOAB中

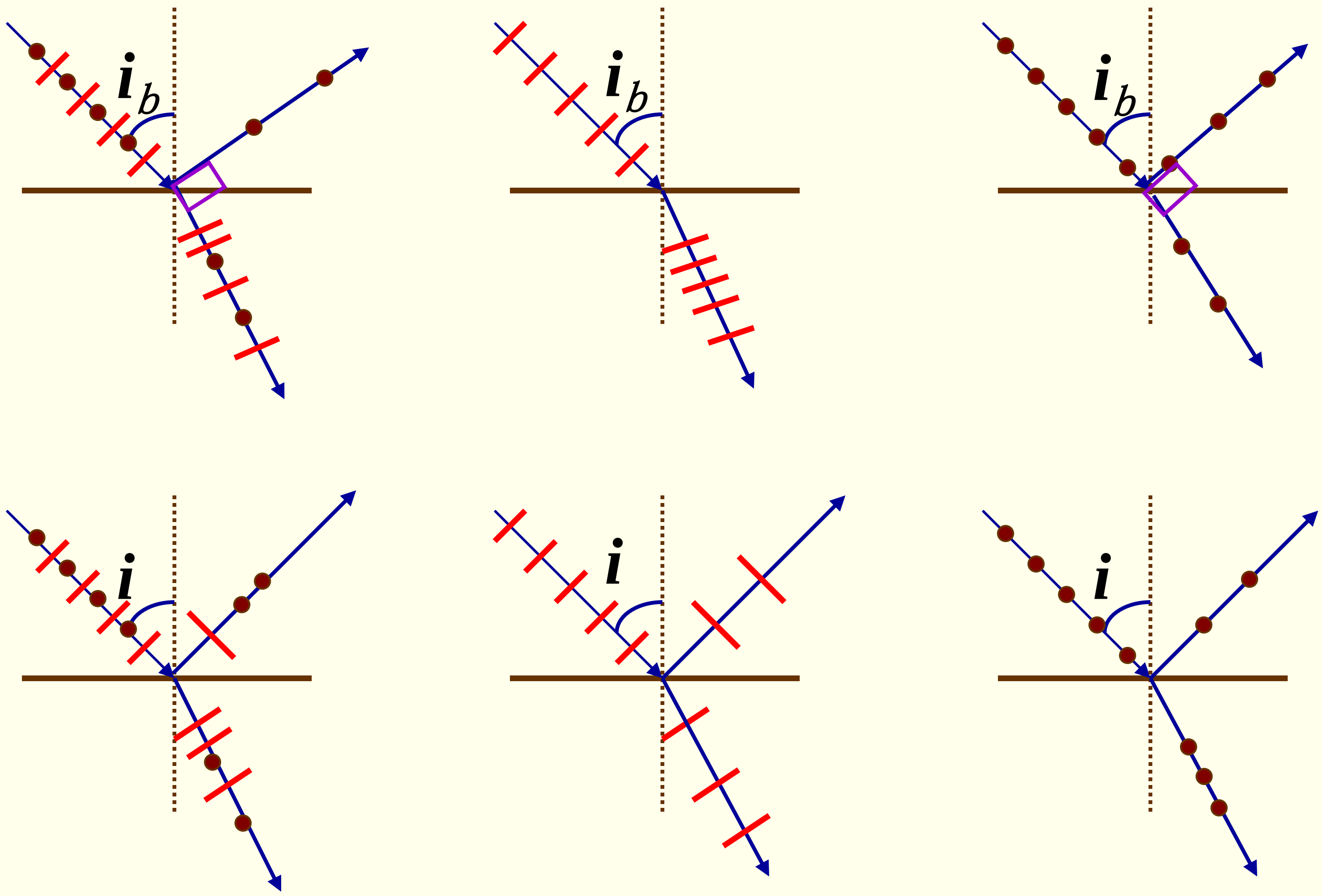
$$\theta+(90^0+\gamma)+(90^0-i_2)=180^0$$

$$\because \gamma=90^0-i_1$$

$$\therefore \theta=i_1+i_2-90^0$$

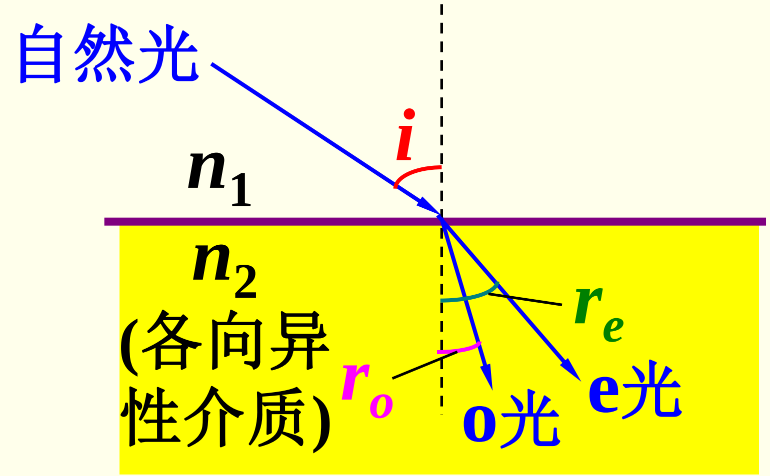
$$=\tan^{-1}n_{水}+\tan^{-1}\frac{n_{介质}}{n_{水}}-90^0$$

例：下图中折射光和反射光各属于什么性质的光？



§19.6 双折射（birefringence）与光的偏振

一、双折射的概念



1、双折射： 一束光入射到各向异性介质时，折射光分成两束的现象。

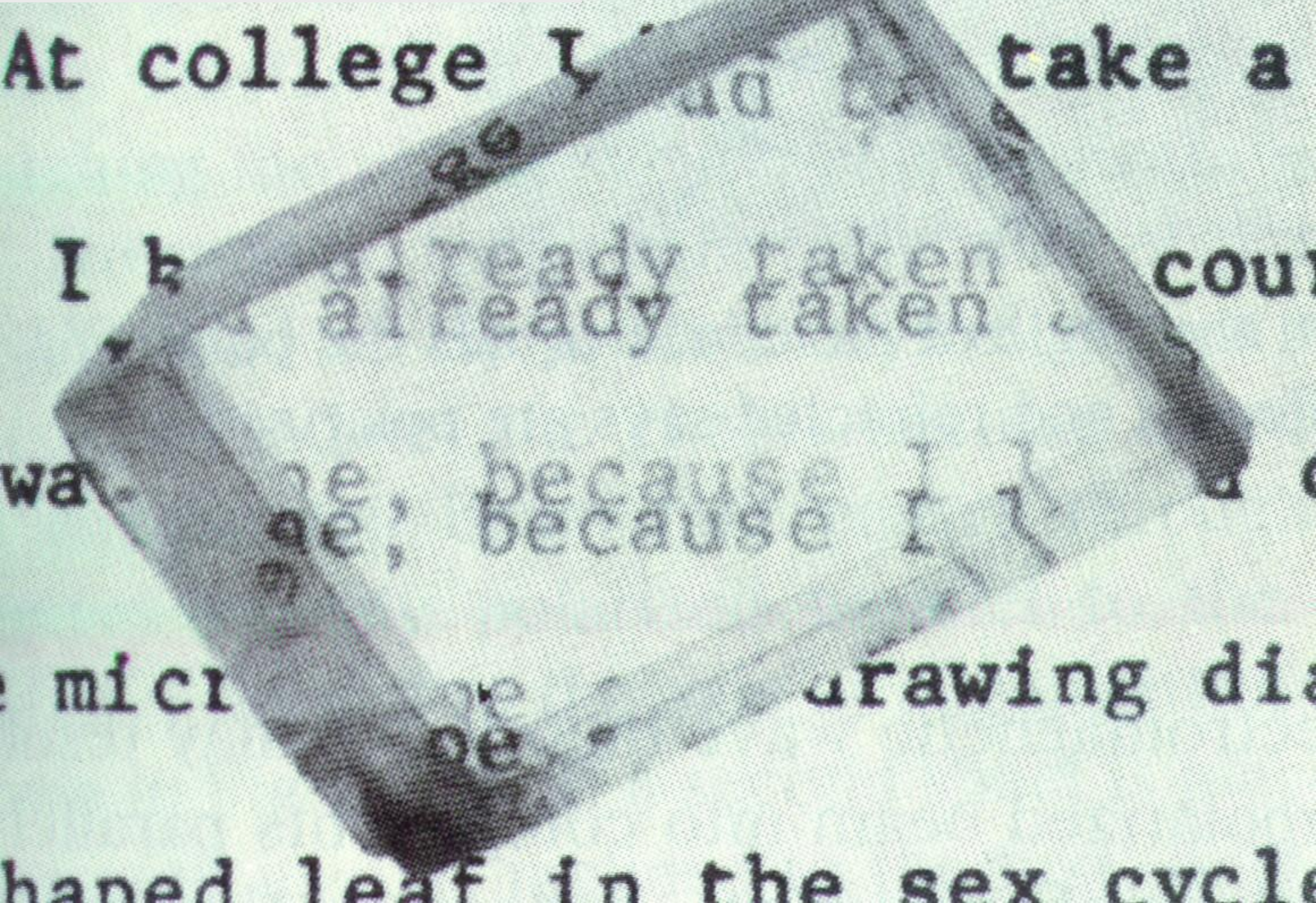
2、寻常（o）光和非寻常（e）光

o光： 遵从折射定律 $n_1 \sin i = n_2 \sin r_o$

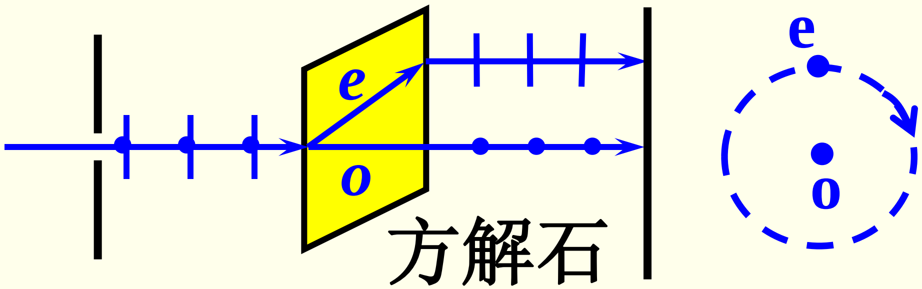
e光： 一般不遵从折射定律 $\dfrac{\sin i}{\sin r_e} \neq \text{const}.$

e光折射线也不一定在入射面内。

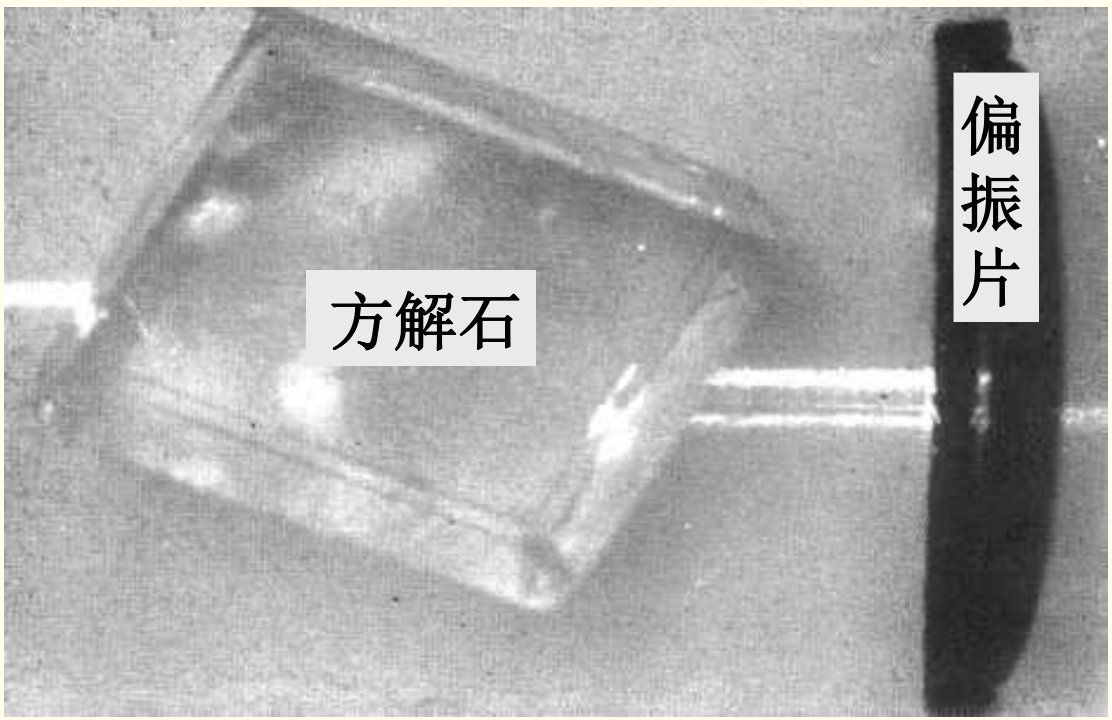
双折射会映射出双像


At college
take a
already taken
already taken
because
because
rawing
in the sex

【演示】方解石的双折射



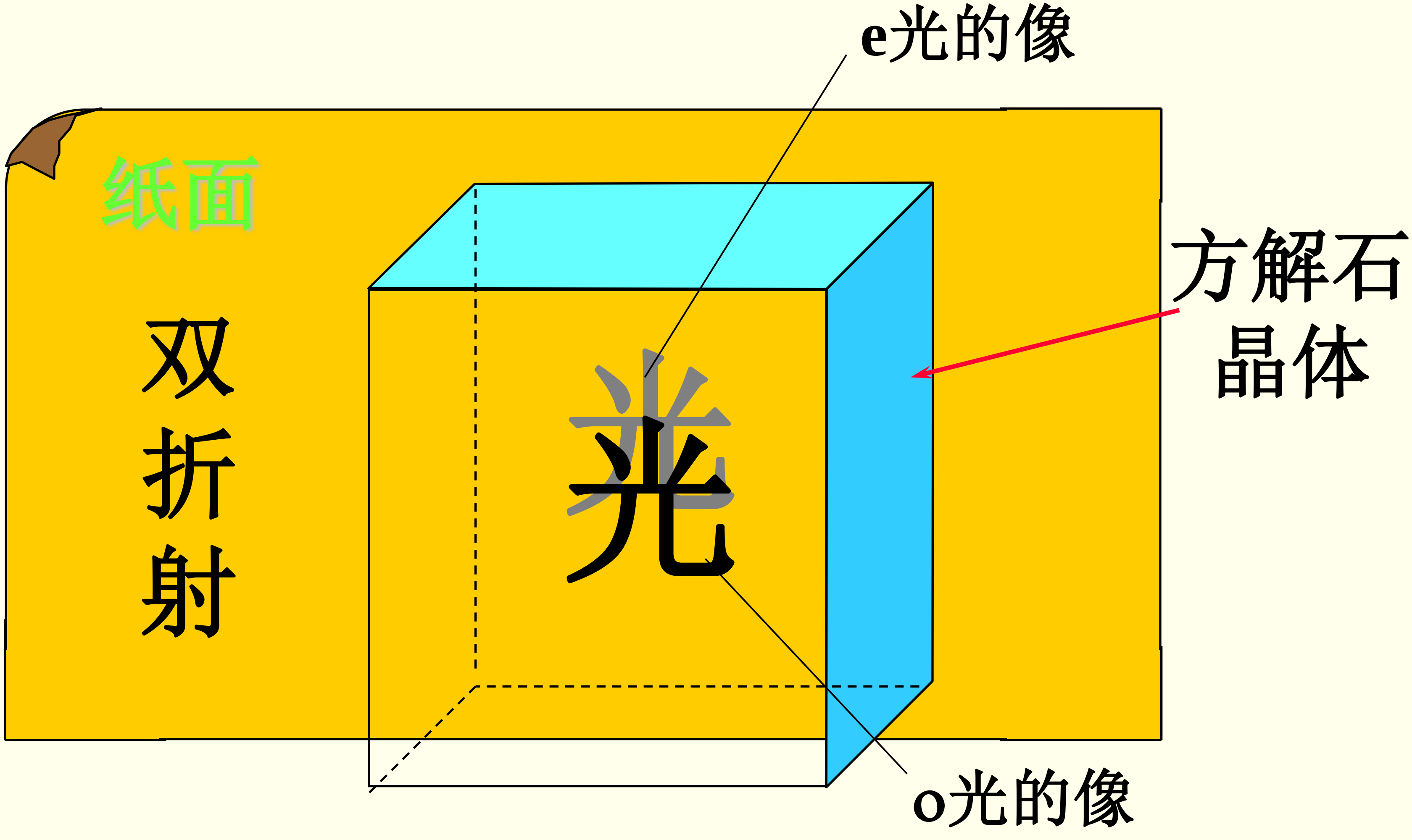
以入射方向为
轴旋转方解石



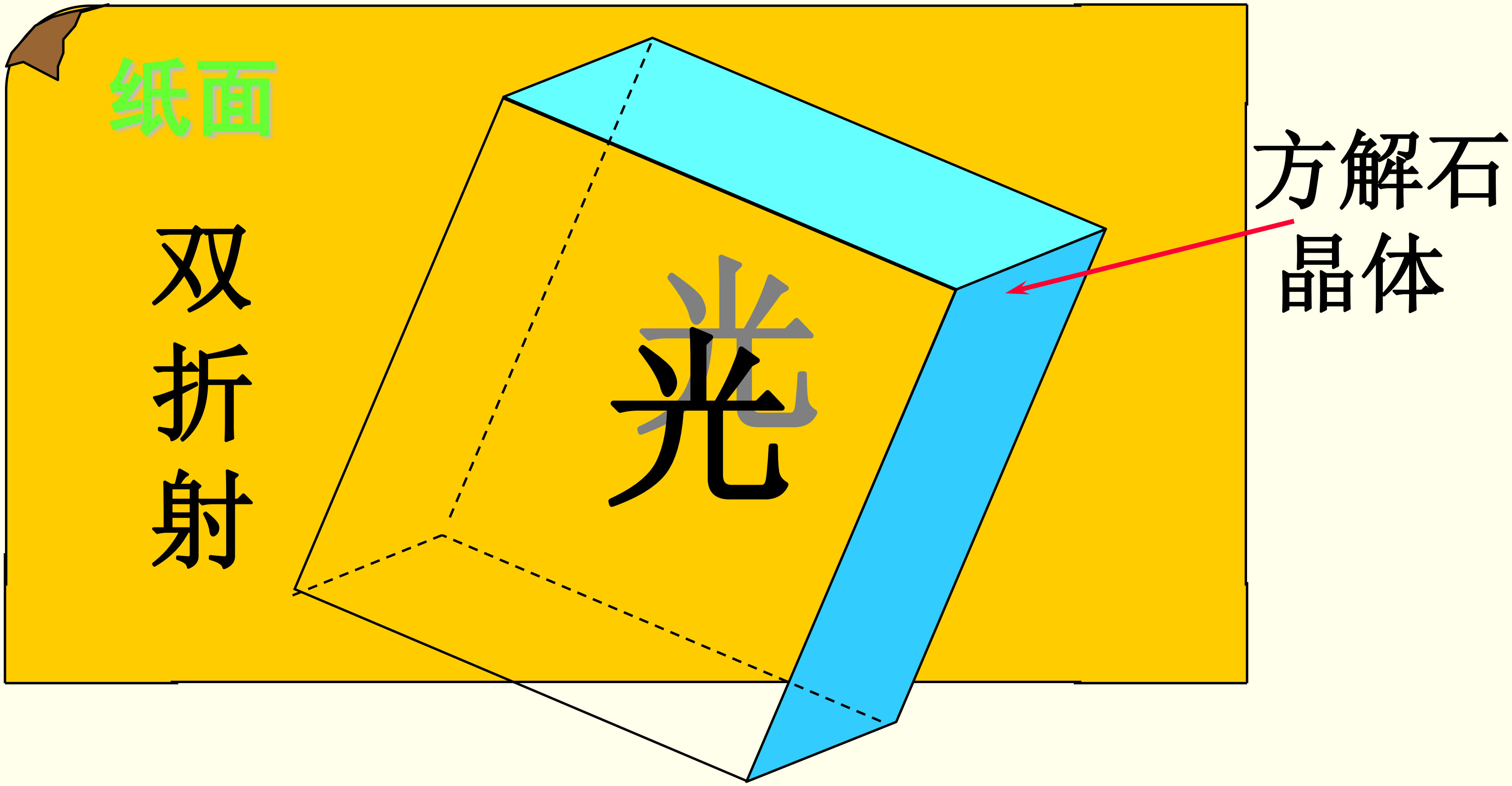
双折射的两
束光振动方
向相互垂直

当方解石晶体旋转时，　　o 光的像不动，

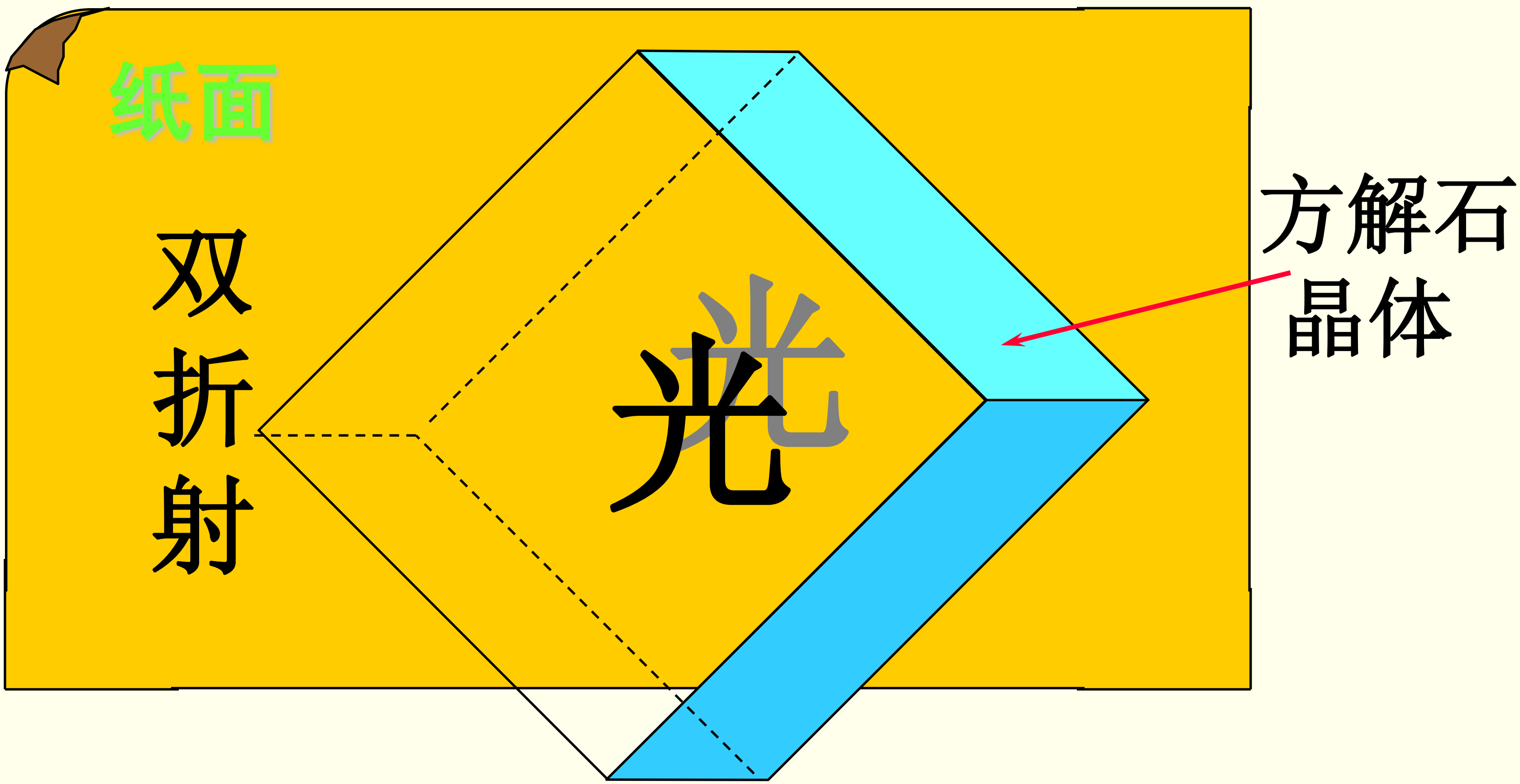
e光的像围绕 o 光的像旋转。



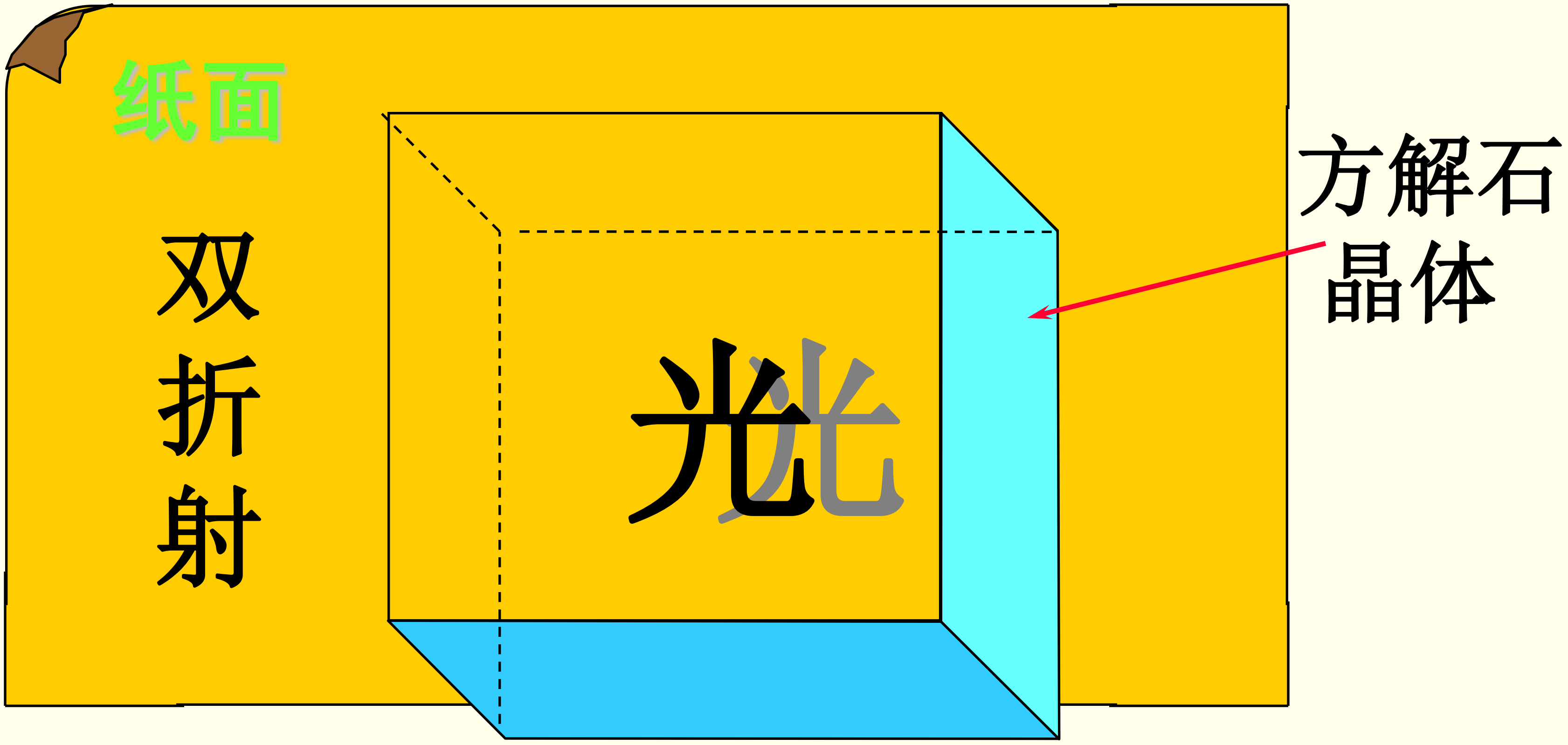
继续旋转方解石晶体：



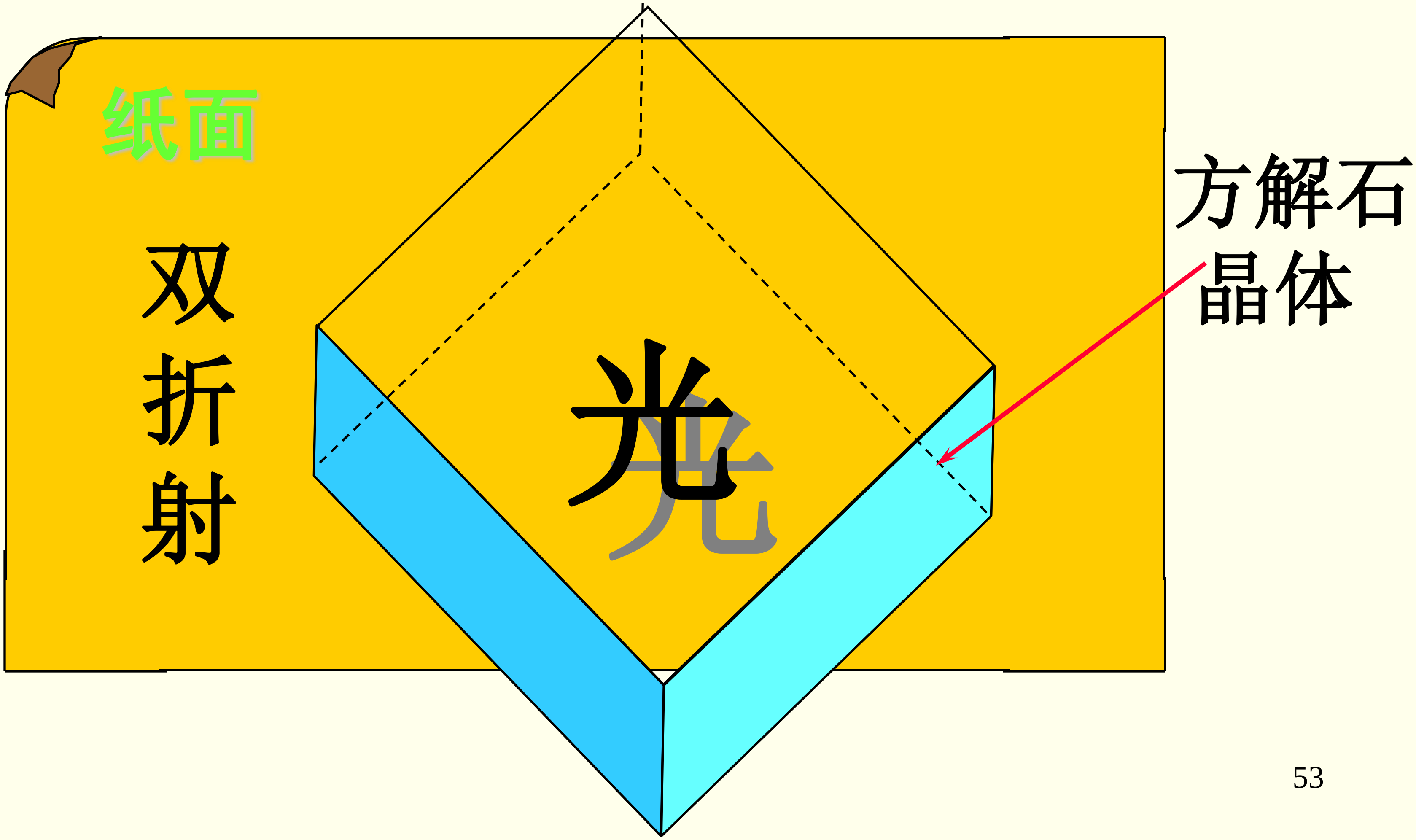
继续旋转方解石晶体：



继续旋转方解石晶体：



继续旋转方解石晶体：



3、晶体的光轴（optical axis of crystal）

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。

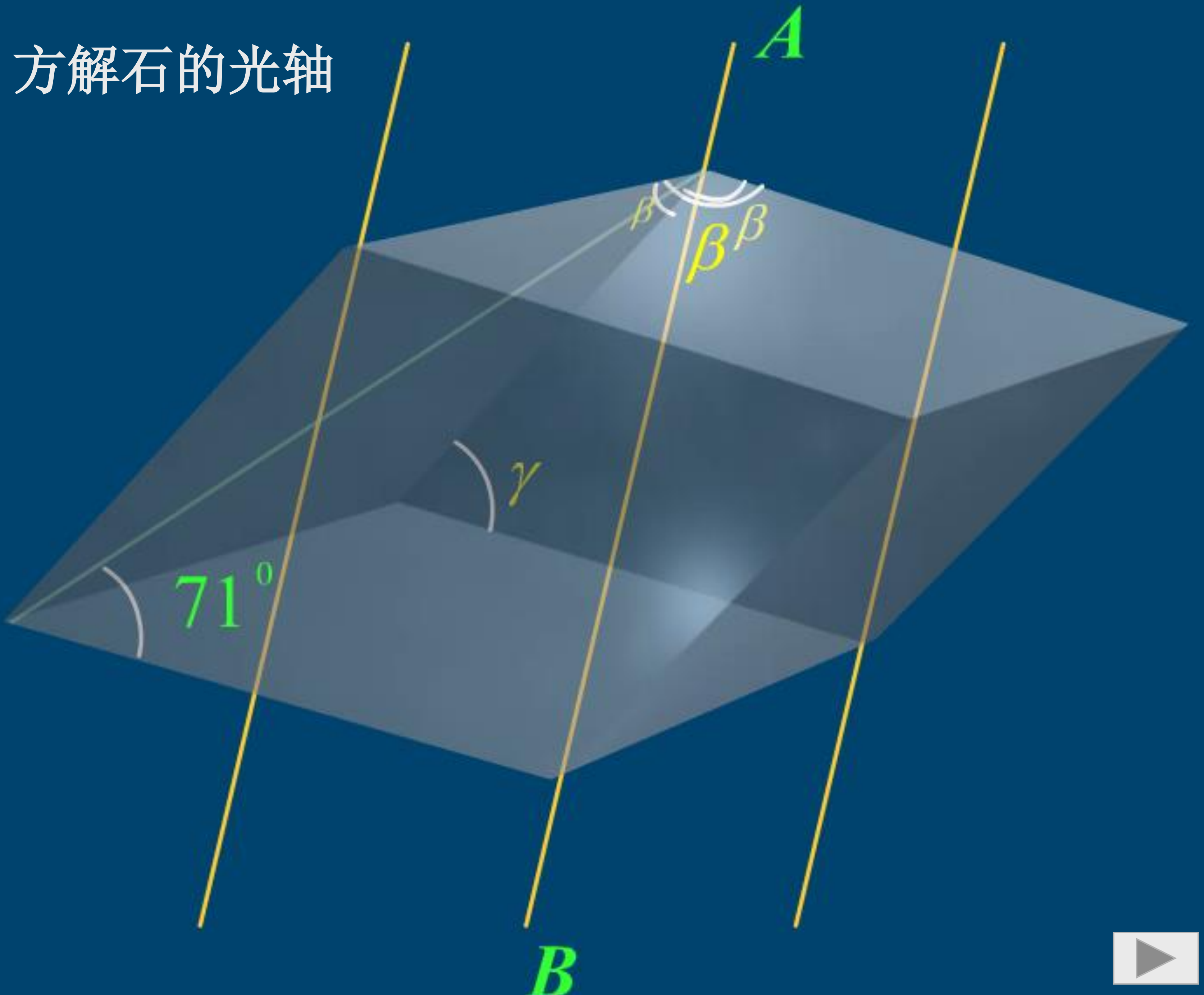
例如，方解石晶体（冰洲石）的光轴：由钝顶角引出的与三个棱边成等角的方向就是光轴。

光轴是一个特殊的方向，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，如方解石。

双轴晶体：有两个光轴的晶体，如云母。

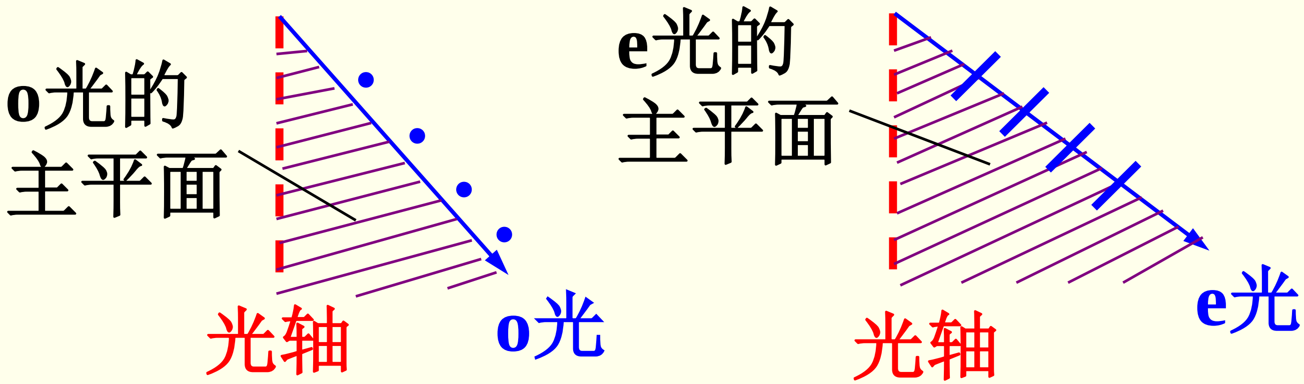
方解石的光轴



4、主平面（principal plane）

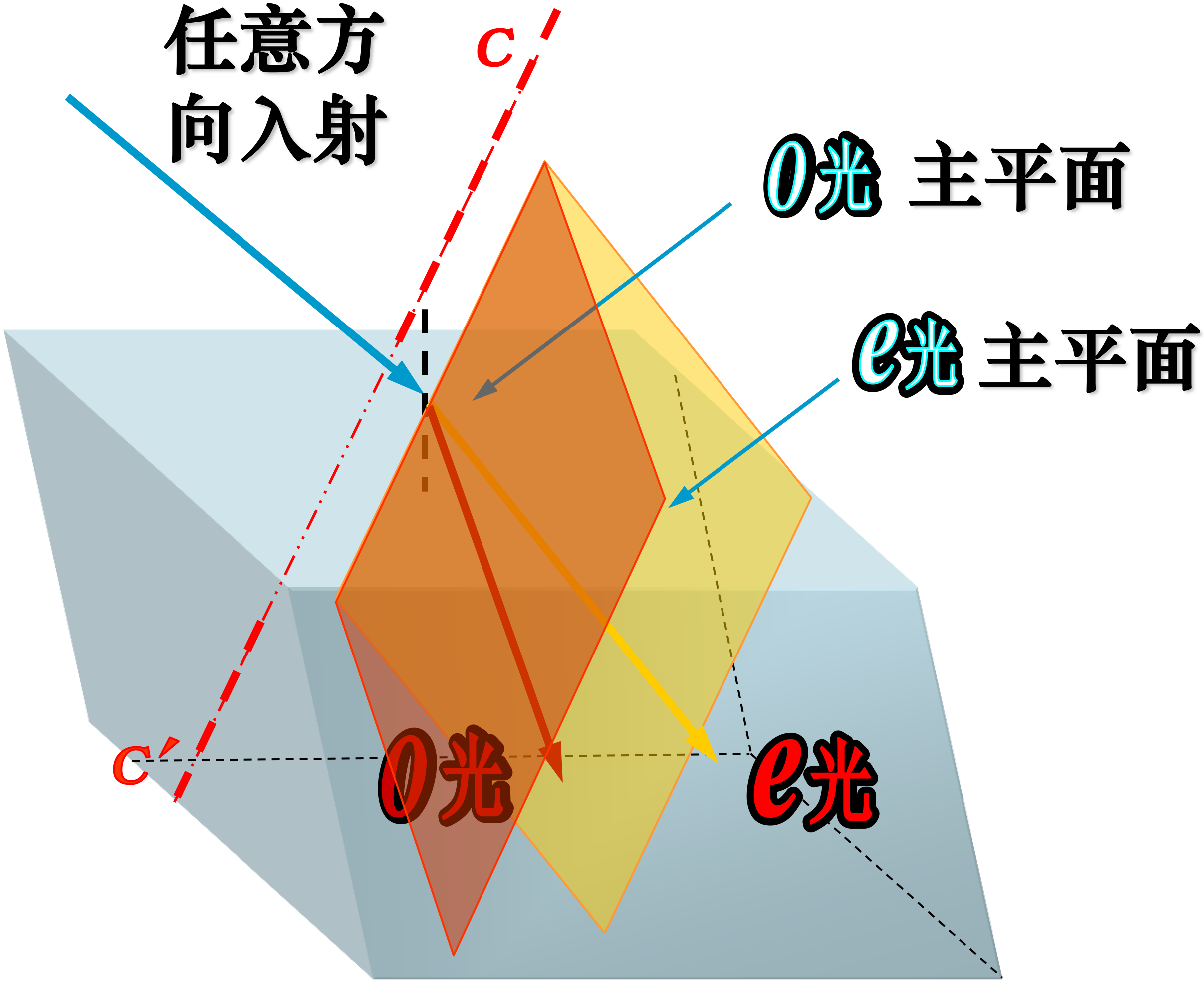
晶体中光的传播方向与晶体光轴构成的平面

叫该束光的主平面。



$$o\text{光光矢量} \perp o\text{光主平面} \perp \text{光轴}$$

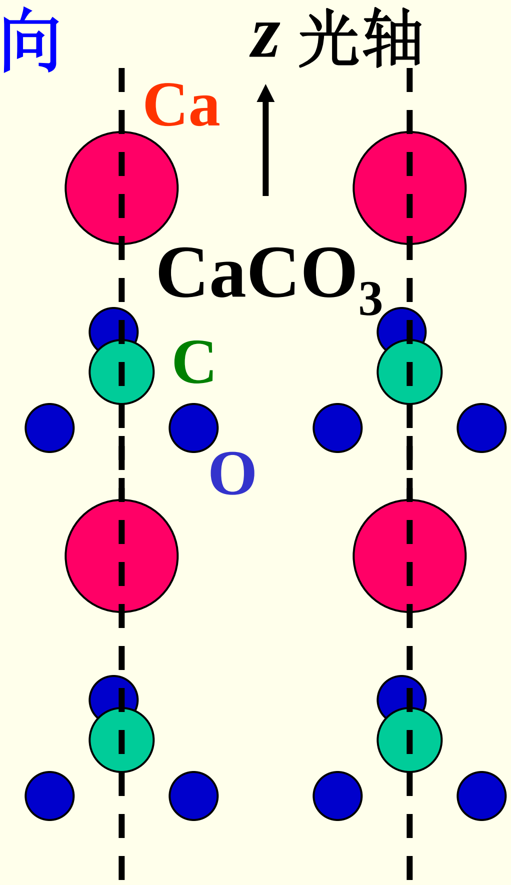
$$e\text{光光矢量} \,//\, e\text{光主平面}$$



一般情况下o光和e光这两个主平面并不重合

二、晶体的主折射率，正晶体、负晶体

晶体的各向异性：

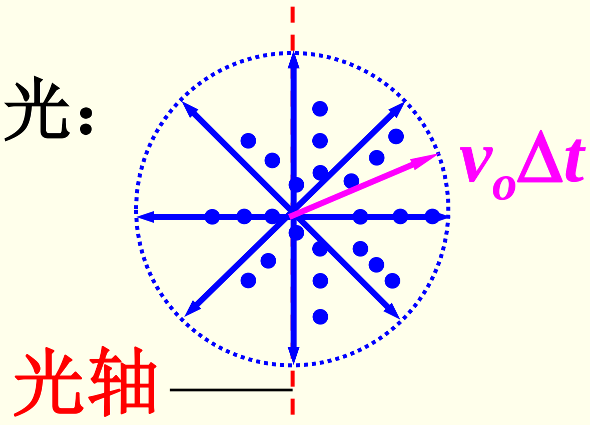


$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \propto \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}$$

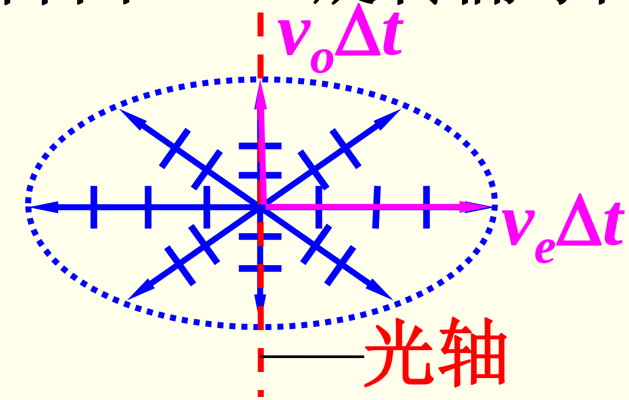
光矢量振动方向与晶体光轴的夹角不同，介电常数就不同，光的传播速度也就不同。

o光的波阵面 —— 球面　　e光的波阵面 —— 旋转椭球面

o光：



e光：



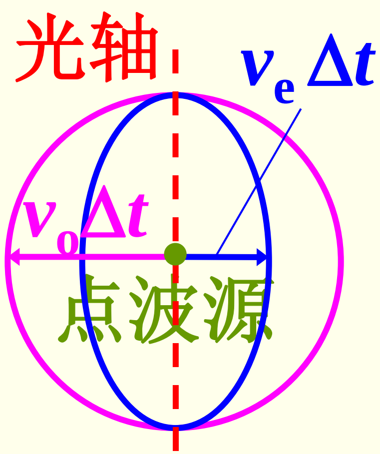
$$n_o = \frac{c}{v_o}$$

n_e 称为e光主折射率（普通折射定律不成立）

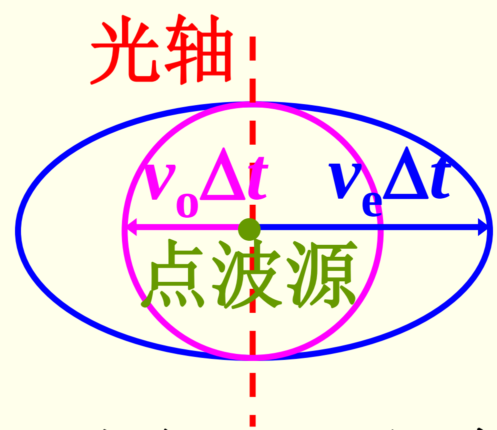
$$v_e \to n_e = \frac{c}{v_e}$$

正晶体：$n_e > n_o$　　$(v_e < v_o)$

负晶体：$n_e < n_o$　　$(v_e > v_o)$



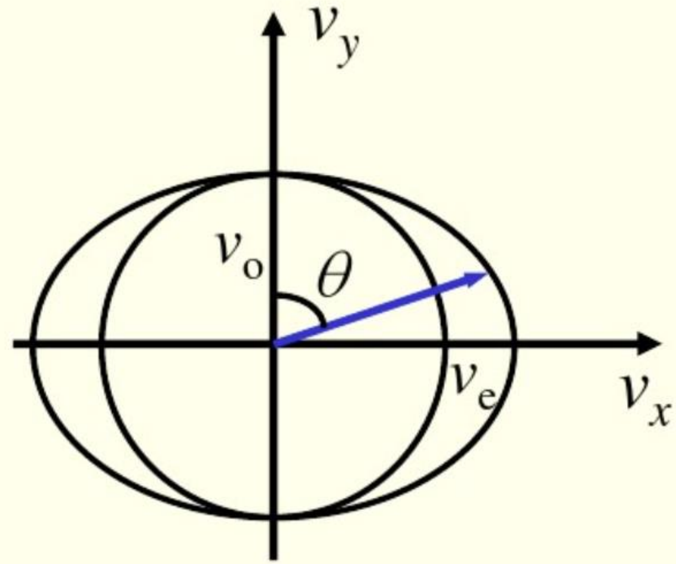
如：石英、冰



如：方解石、红宝石

例：在主折射率为n_o，n_e的单轴晶体中，一束e光沿与光轴夹角为θ的方向传播，求其传播速度。

解：在速度平面内画o光和e光的波阵面，设光轴沿v_y方向，则



$$\frac{v_x^2}{v_e^2}+\frac{v_y^2}{v_o^2}=1 \qquad v_x=v\sin\theta \qquad v_y=v\cos\theta$$

$$v_e=\frac{c}{n_e} \qquad v_o=\frac{c}{n_o} \qquad \therefore \frac{n_e^2 v^2\sin^2\theta}{c^2}+\frac{n_o^2 v^2\cos^2\theta}{c^2}=1$$

由此解得 $$v=\frac{c}{\sqrt{n_e^2\sin^2\theta+n_o^2\cos^2\theta}}$$

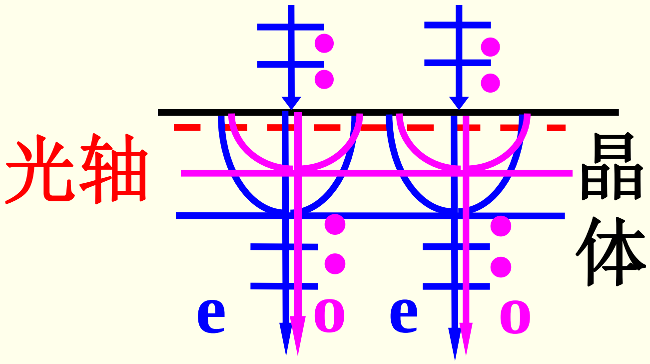
三、单轴晶体中光传播的惠更斯作图法

以惠更斯原理为依据的惠更斯作图法，

是研究光在晶体中传播的重要方法。

下面以负晶体($v_e > v_o$)为例，介绍该方法：

1、光轴平行晶体表面，自然光垂直入射



o、 e方向上虽没分开，

但速度上是分开的，

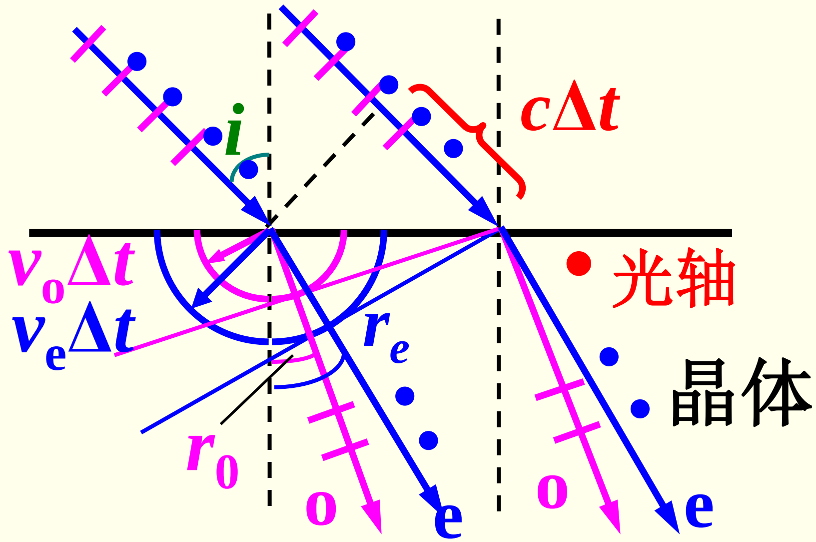
这仍是双折射。

2、光轴平行晶体表面，且垂直入射面，

自然光斜入射

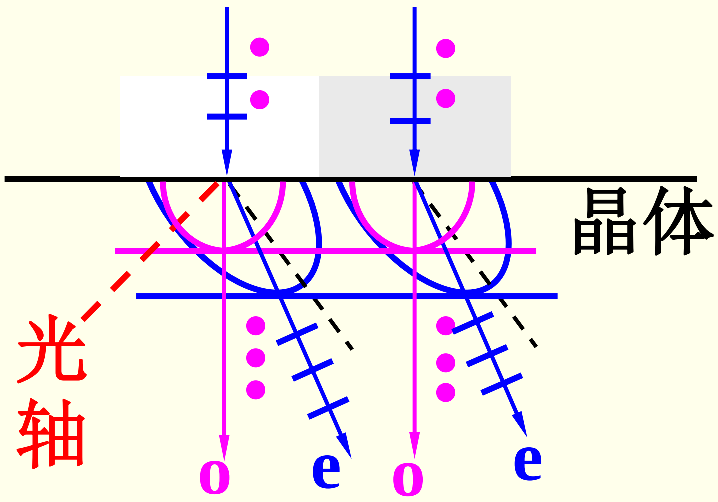
$$\frac{\sin i}{\sin \gamma_o} = \frac{c}{v_o} = n_o$$

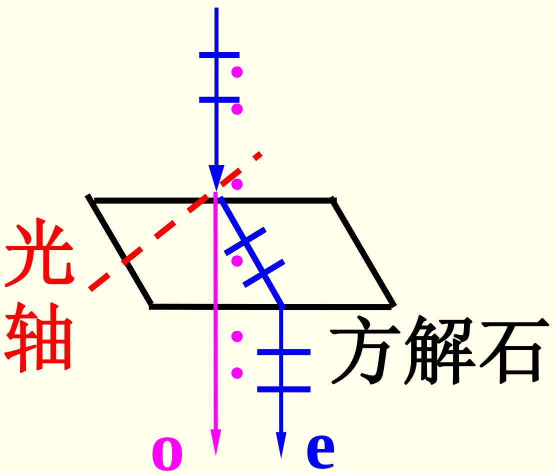
$$\frac{\sin i}{\sin \gamma_e} = \frac{c}{v_e} = n_e$$



在这种特殊的情况下，e 光也满足折射定律。

3、光轴与晶体表面斜交，自然光垂直入射





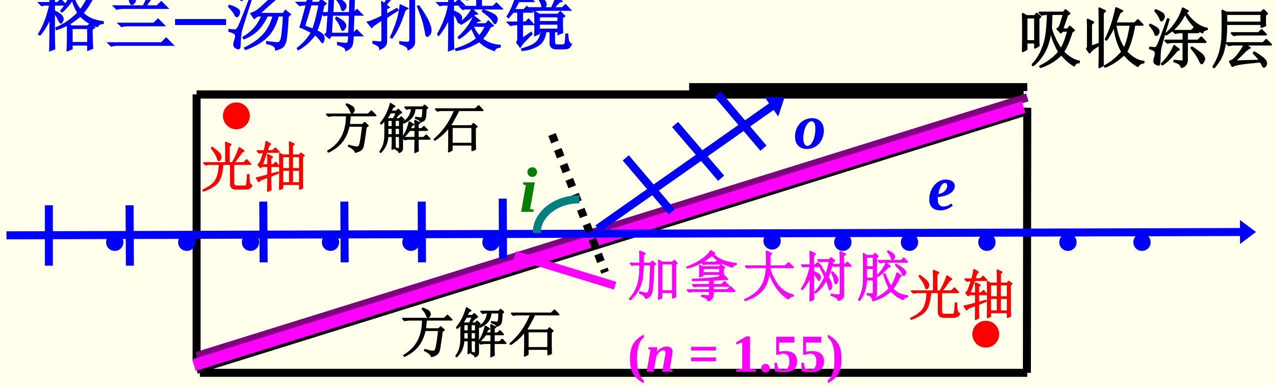
这正是前面演示的情形。

此时e光的波面不再与其波射线垂直了。

四. 偏振棱镜

偏振棱镜可由自然光获得高质量的线偏振光。

偏光镜：格兰—汤姆孙棱镜

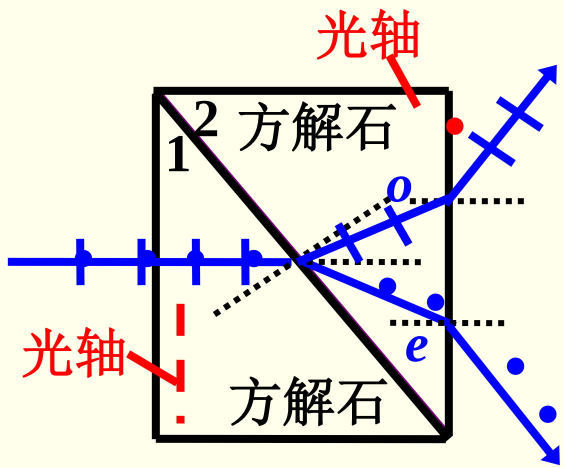


光轴的取向使o光、e光对应的恰是n_o、n_e。

$$n_o\,(1.6584) > n\,(1.55) > n_e(1.4864)$$

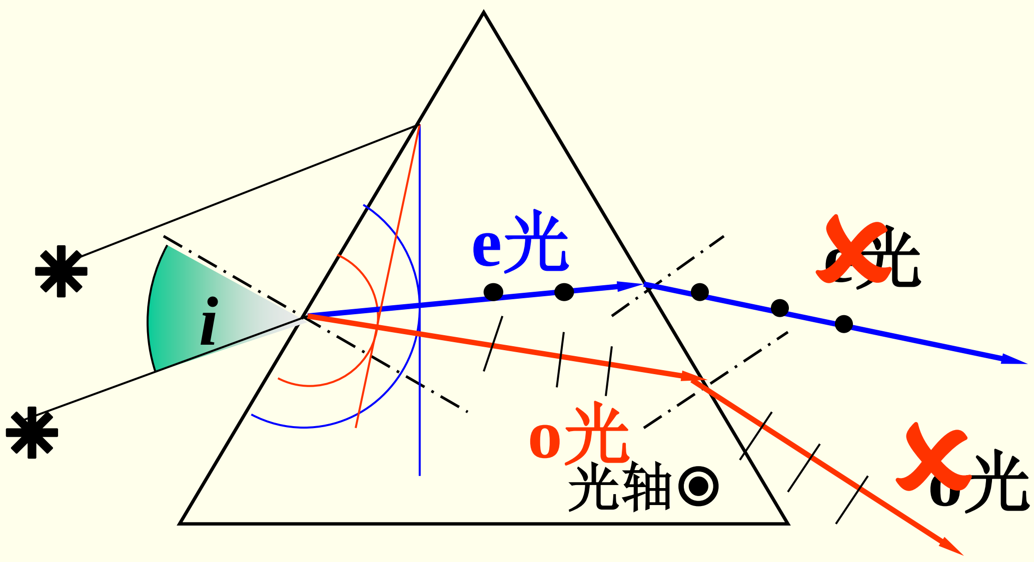
偏光分束镜 :沃拉斯顿棱镜

方解石 $n_o > n_e$



例 用方解石切割成正三角形截面的棱镜，自然光以i角入射，定性画出o光、e光的振动方向和传播方向。

解 方解石为负晶体，则在垂直于光轴的方向上$v_e > v_o$



19-7 光程　波片　偏振光的检验

一、光程

媒质中： $V = \dfrac{c}{n}$ $\qquad \lambda' = \dfrac{V}{\nu} = \dfrac{c}{n\nu} = \dfrac{\lambda}{n}$

$$\lambda' \leftrightarrow 2\pi$$

$$\Rightarrow \Delta\varphi = 2\pi\frac{x}{\lambda'} = 2\pi\frac{nx}{\lambda}$$

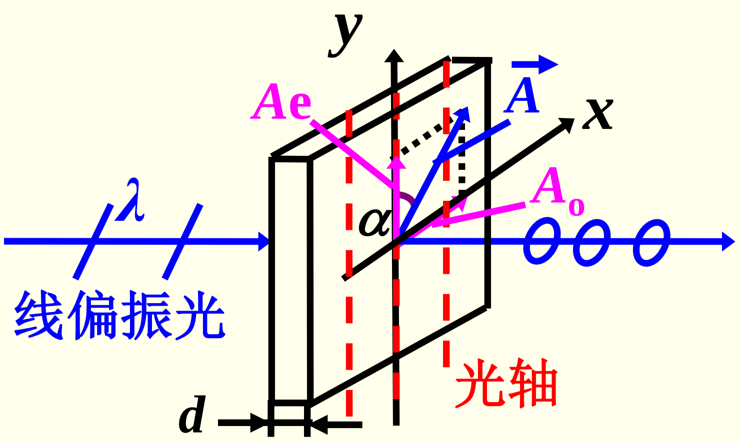
$$x \leftrightarrow \Delta\varphi$$

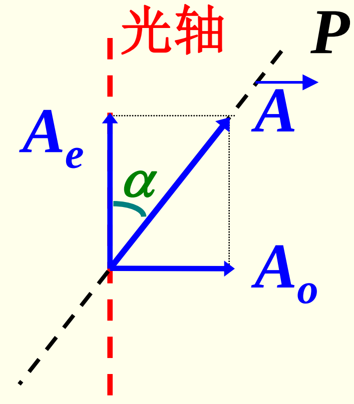
nx：光程

经过一定厚度d的双折射晶片（光轴平行表面）

e光与o光就产生光程差 $\qquad \Delta = \left| n_0 d - n_e d \right|$

对应的位相差 $\qquad \left|\Delta\varphi\right| = \dfrac{2\pi}{\lambda}\Delta = \dfrac{2\pi}{\lambda}\left| n_0 d - n_e d \right|$





晶片是光轴平行表面的晶体薄片。

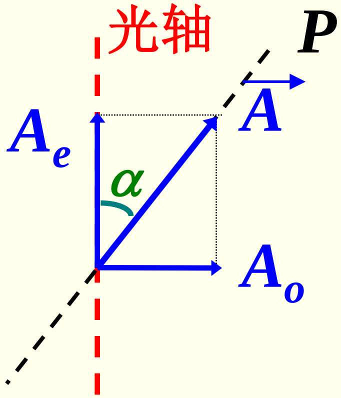
o、*e*光振幅关系

$$A_o = A\sin\alpha$$
$$A_e = A\cos\alpha$$

通过厚为*d*的晶片，*o*、*e*光产生相位差：

$$\left|\Delta\varphi\right| = ?$$

$$\left|\Delta\varphi\right| = \left|n_e - n_o\right| \cdot d \cdot \frac{2\pi}{\lambda}$$



$$A_o = A\sin\alpha$$
$$A_e = A\cos\alpha$$

$$|\Delta\varphi| = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta = \frac{2\pi}{\lambda}|n_0 d - n_e d|$$

二. 波（晶）片

(1) 四分之一波片

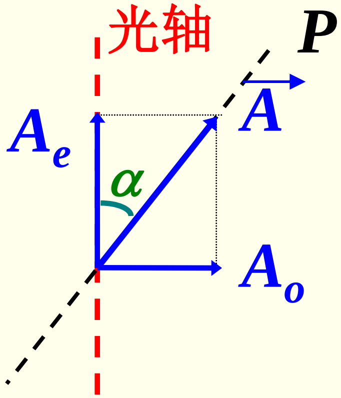
$$|n_e - n_o| \cdot d = \frac{\lambda}{4} \rightarrow |\Delta\varphi| = \frac{\pi}{2}$$

从线偏振光获得椭圆或圆偏振光（或相反）

$\alpha = \frac{\pi}{4}$ —— 线偏振光→圆偏振光

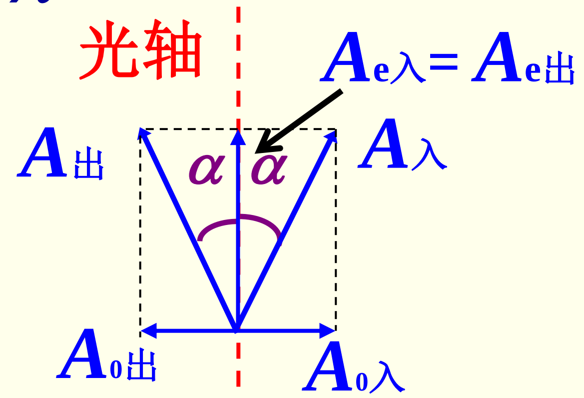
$\alpha = 0, \frac{\pi}{2}$ —— 线偏振光→线偏振光

$\alpha \neq 0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}$ ——线偏振光→椭圆偏振光



$$A_o = A\sin\alpha$$
$$A_e = A\cos\alpha$$

$$|\Delta\varphi| = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta = \frac{2\pi}{\lambda}|n_0 d - n_e d|$$



(2) 二分之一波片

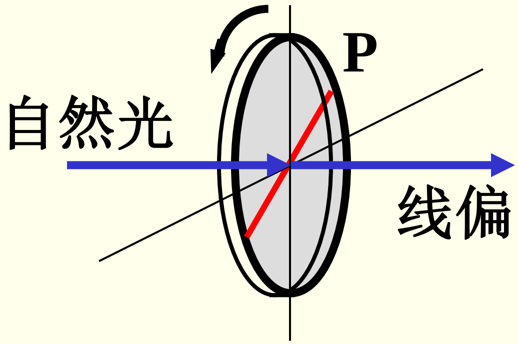
$$|n_e - n_o|\cdot d = \frac{\lambda}{2} \rightarrow |\Delta\varphi| = \pi$$

使线偏振光振动面转过2α角度

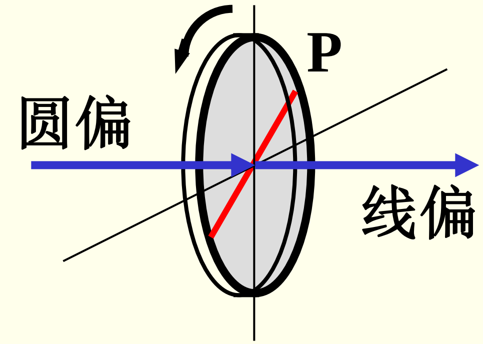
(3) 全波片

$$|n_e - n_o|\cdot d = \lambda \rightarrow |\Delta\varphi| = 2\pi$$

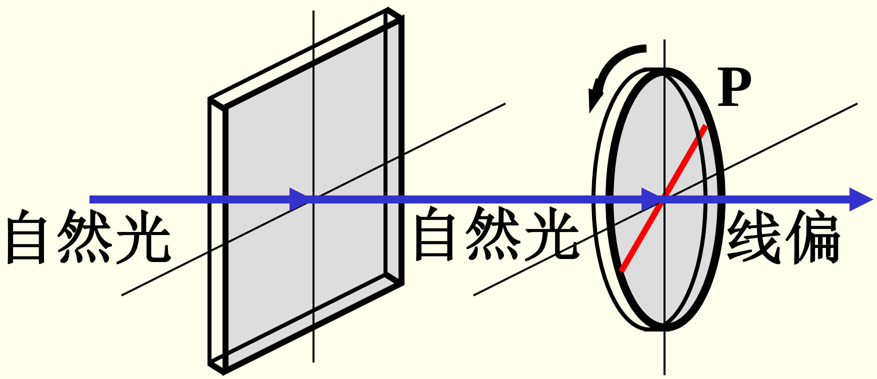
三、偏振光和自然光的区别、检验



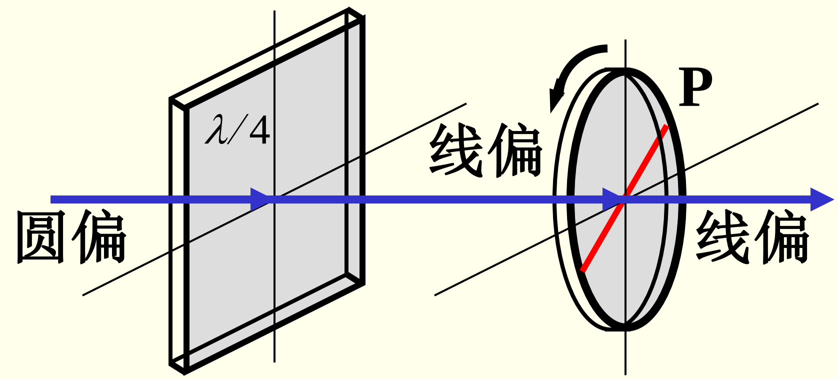
转动偏振片，光强无变化



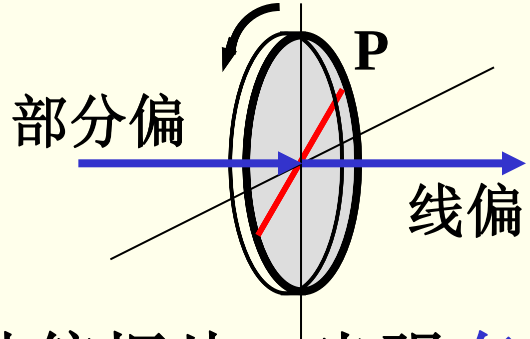
转动偏振片，光强无变化



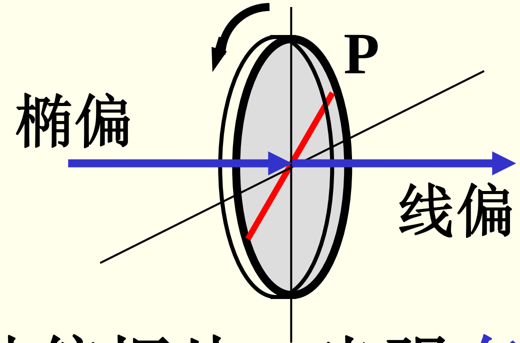
转动偏振片，光强无变化



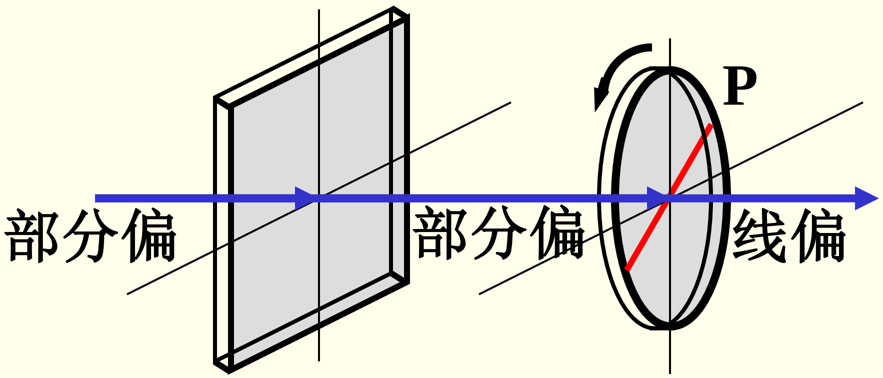
转动偏振片，光强有变化，且存在消光位置。



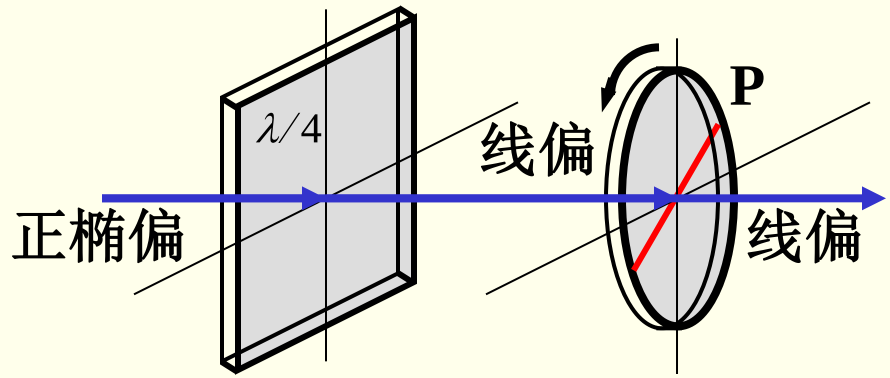
转动偏振片，光强有变化，不存在消光位置



转动偏振片，光强有变化，不存在消光位置



转动偏振片，光强有变化，不存在消光位置



转动偏振片，光强有变化，存在消光位置。

一般情况下，椭圆偏振光通过四分之一波片后仍为椭圆偏振光，无法通过旋转偏振片的方法区别于部分偏振光。

❖

例：在两个偏振化方向相同的偏振片之间平行地插入一厚度$d = 0.01\mathrm{mm}$的波片，其光轴方向与偏振化方向之间夹角为$\pi/4$。以白光入射，出射光中缺少哪些波长的光？（设对于可见光范围的所有波长有$n_{\mathrm{o}} - n_{\mathrm{e}} = 0.172$）

解：入射光经第一块偏振片P_1后为线偏振光，若对于某一波长，波片恰为半波片，则经过该波片后此波长的光将不能透过第二块偏振片P_2。

由 $\frac{2\pi}{\lambda}(n_{\mathrm{o}} - n_{\mathrm{e}})d = (2k+1)\pi$ 式中$k = 0$，1，2，3，…

$$\therefore \lambda = \frac{2(n_{\mathrm{o}} - n_{\mathrm{e}})}{2k+1}d = \frac{34.4\times10^{-7}}{2k+1}\mathrm{m}$$

以$k = 2$、3代入，即得：λ =688nm，491.4nm