



兰州大学

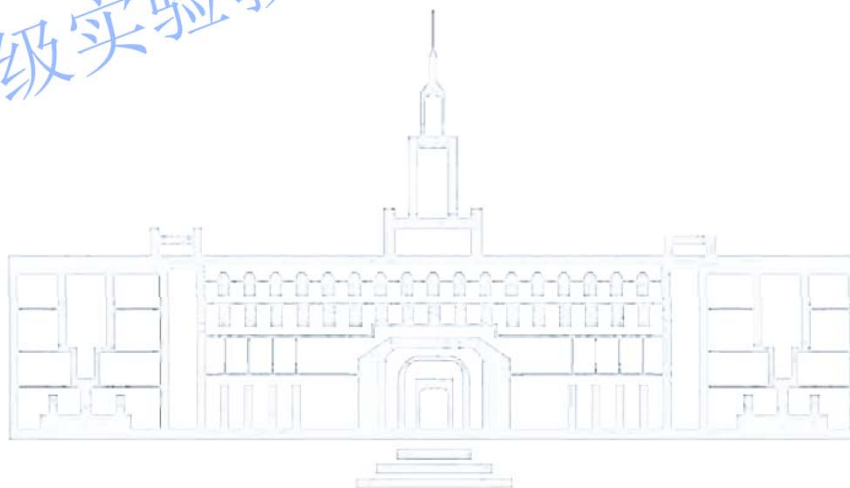


物理学国家级实验教学示范中心

National Demonstration Center for Experimental Physics Education

偏振光的基本现象

物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)



张旭东
2020. 4. 12



◀ 目 录 ▶

01

背景知识

04

实验仪器

02

实验目的

05

实验内容

03

实验原理

06

注意事项

07

实验问题



01

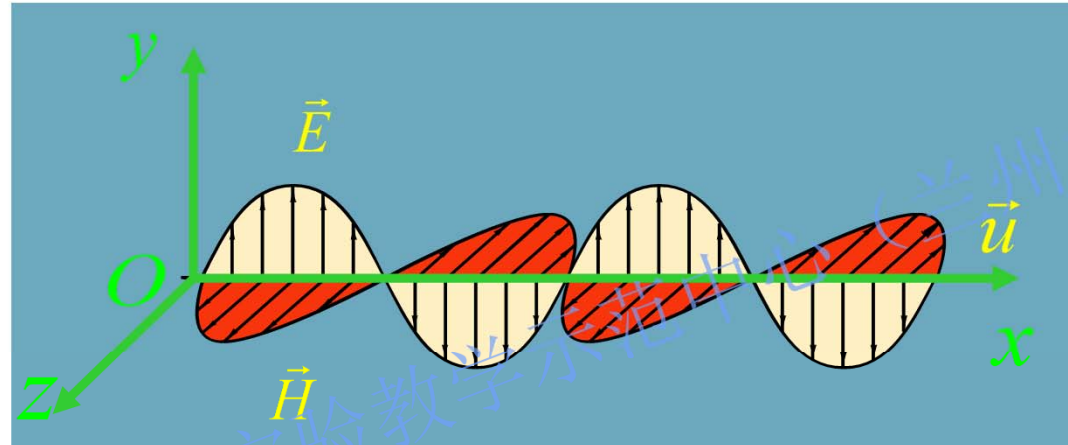
背景知识

物理国家级实验教学示范中心



光是电磁波

平面简谐电磁波的性质： $\vec{E} \times \vec{H} = \vec{u}$ $u = \sqrt{\frac{1}{\epsilon\mu}}$



物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)

折射率
$$n = \frac{c}{u} = \sqrt{\frac{\epsilon\mu}{\epsilon_0\mu_0}} = \sqrt{\epsilon_r\mu_r}$$

光强正比于 E_0^2 或者 H_0^2 ，同种介质中光强分布 $I = E_0^2$



02

实验目的

物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)



目的

1

观察各种光的偏振现象

2

了解产生和检验各种偏振态的方法

3

掌握概念：宏观偏振状态、起偏和检偏、布儒斯特定律、马吕斯定律、双折射、主平面、偏振器件等



03

实验原理

物理国家级实验教学示范中心



光的偏振态

(兰州大学)

物理国家级实验教学示范中心



1

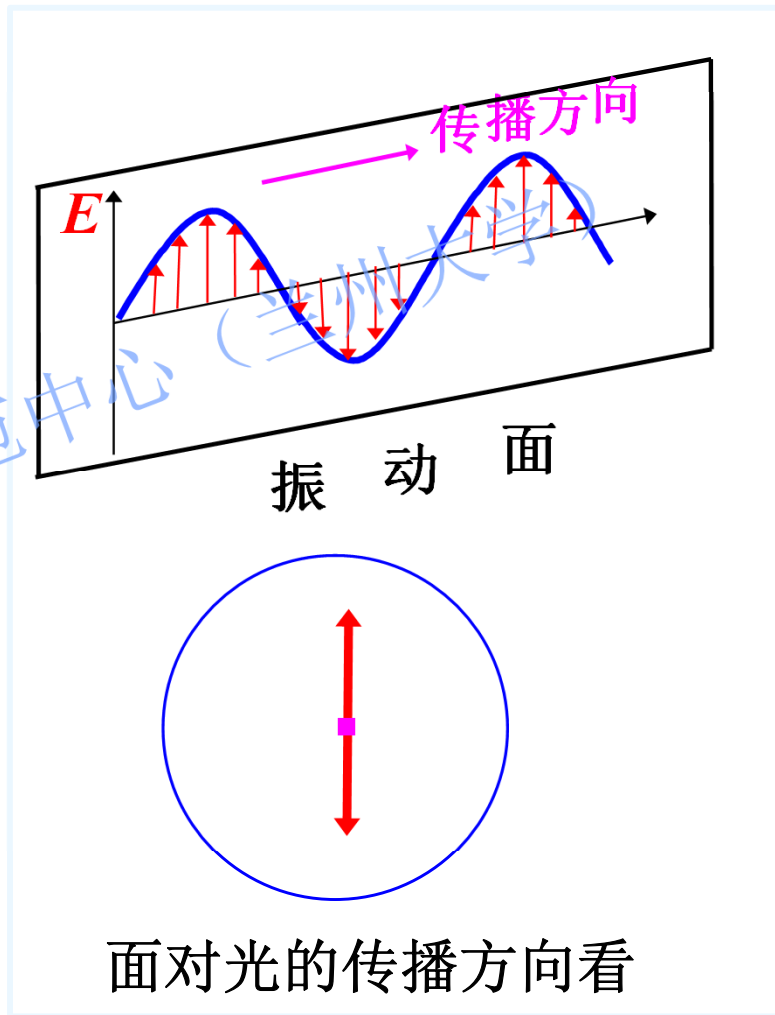
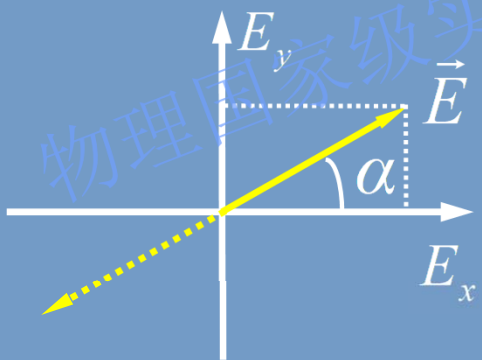
线偏振光



(光振动平行板面)



(光振动垂直板面)



振动面

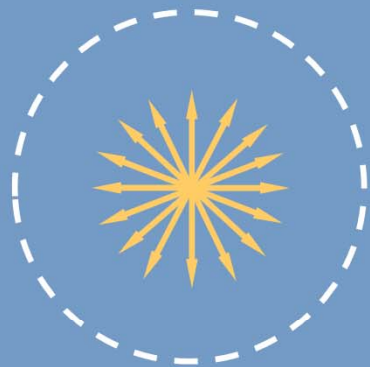
面对光的传播方向看



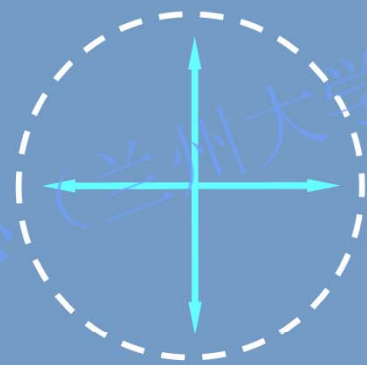
2

自然光

自然光可用两个相互独立、没有固定相位关系、等振幅且振动方向相互垂直的线偏振光表示

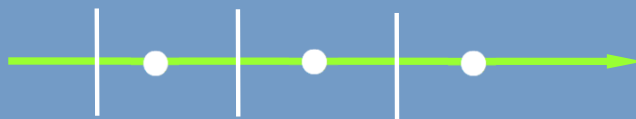


面对光的传播方向观察



$$\bar{E}_x = \bar{E}_y \quad I = I_x + I_y$$

自然光的表示





3

部分偏振光



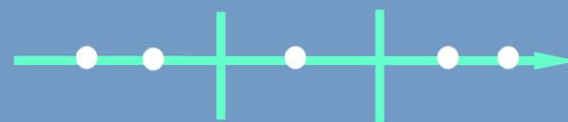
部分偏振光



部分偏振光的分解



平行板面的光振动较强



垂直板面的光振动较强



4 椭圆偏振光和圆偏振光

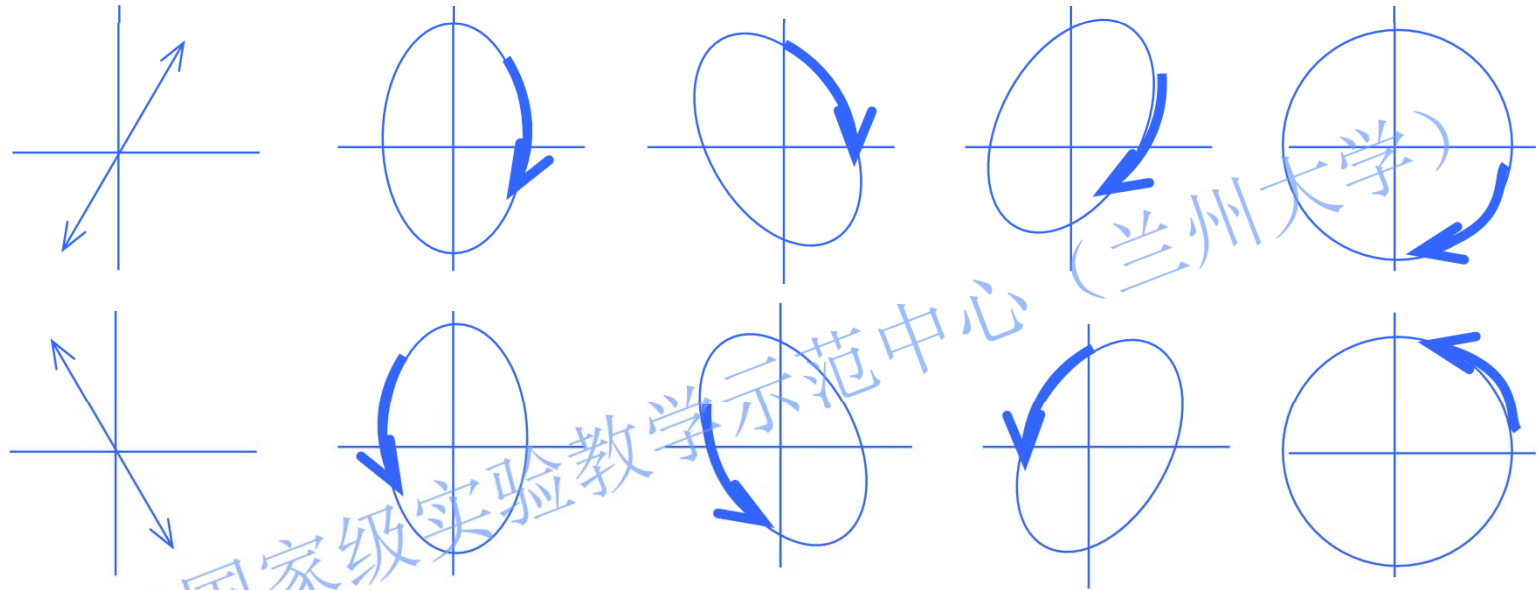
椭圆偏振光可由两束同向传播、振动方向相互垂直、振幅不等、具有某种恒定位相关系的线偏振光合成。当两束线偏振光振幅相等时合成圆偏振光

椭圆偏振光：光矢量末点的运动轨迹是正椭圆或斜椭圆。在迎光矢量图上，光矢量端点沿逆时针方向旋转的称为左旋偏振光；沿顺时针方向旋转的称为右旋偏振光。

线偏振光、圆偏振光都是椭圆偏振光在特殊情况下的表示



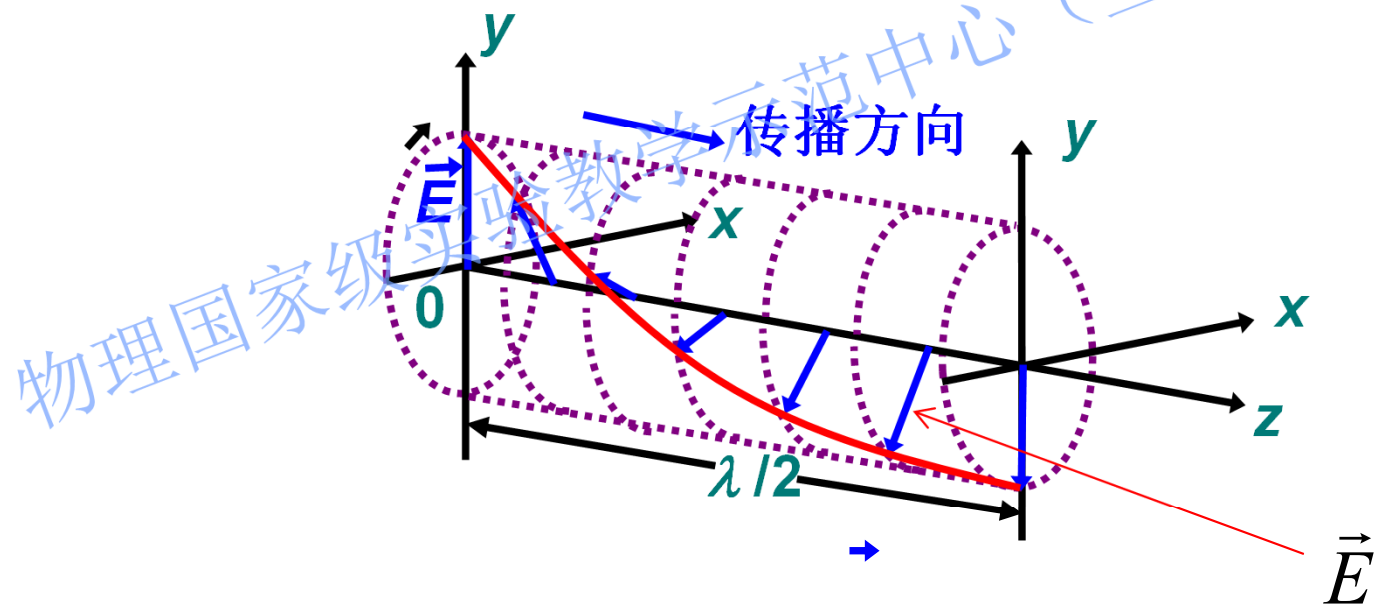
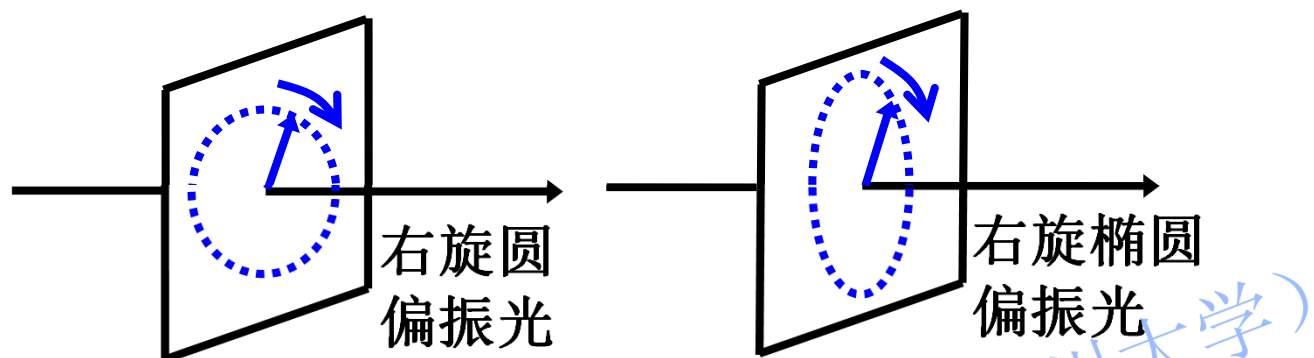
面对光的传播方向观察



线偏光

椭圆偏振光

圆偏振光



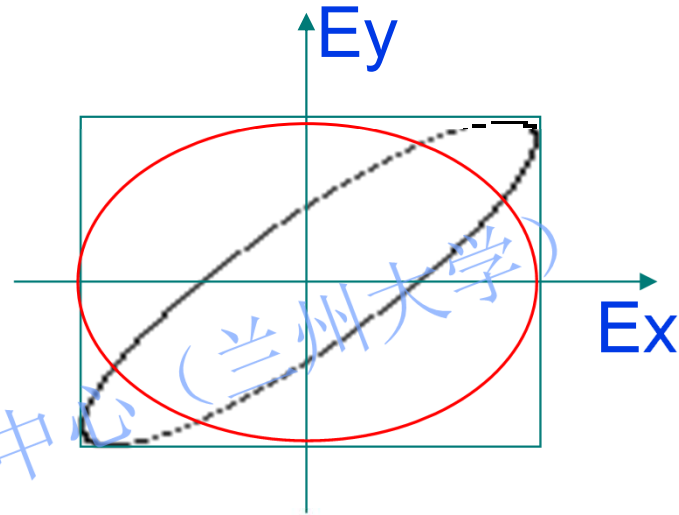
某时刻圆偏振光 E 随 z 的变化



椭圆偏振光的形成 (两个互相垂直的振动的合成)

$$E_x = A_o \cos \omega t$$

$$E_y = A_e \cos(\omega t + \Delta\varphi)$$



椭圆方程式:

$$\frac{E_x^2}{A_o^2} + \frac{E_y^2}{A_e^2} - 2 \frac{E_x E_y}{A_o A_e} \cos \Delta\varphi = \sin^2 \Delta\varphi$$

$\Delta\varphi = (2k+1)\pi/2$ - 正椭圆 }
 $A_o = A_e$ } 圆

$\Delta\varphi = k\pi$ --- 线



偏振光的获得

物理国家级实验教学示范中心 (兰州大学)



1 反射和折射

自然光反射和折射
产生部分偏振光

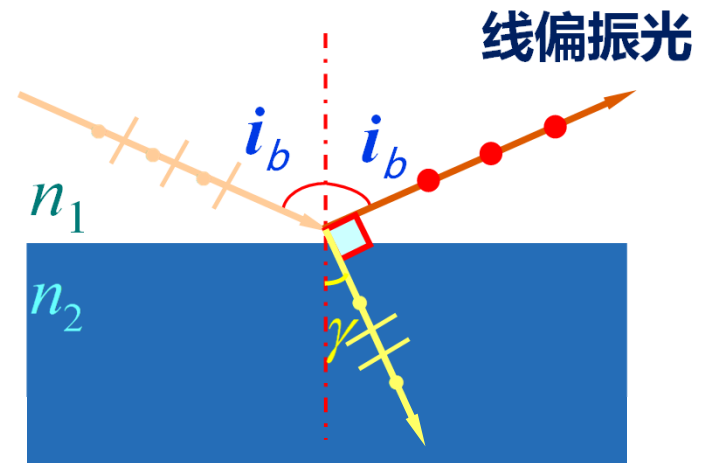
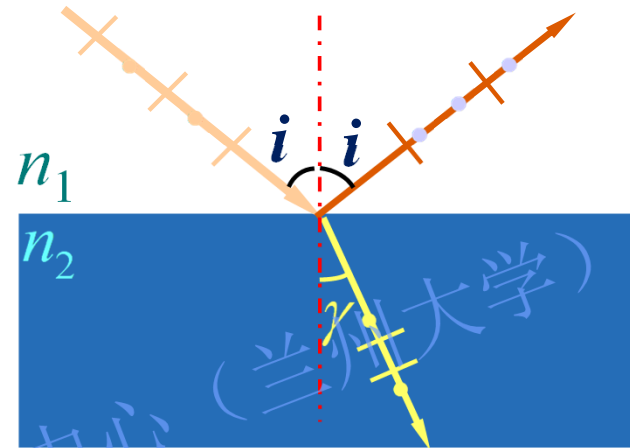
布儒斯特定律

$i_b + \gamma = 90^\circ$ 时，
反射光为线偏振光

i_b — 布儒斯特角或起偏角

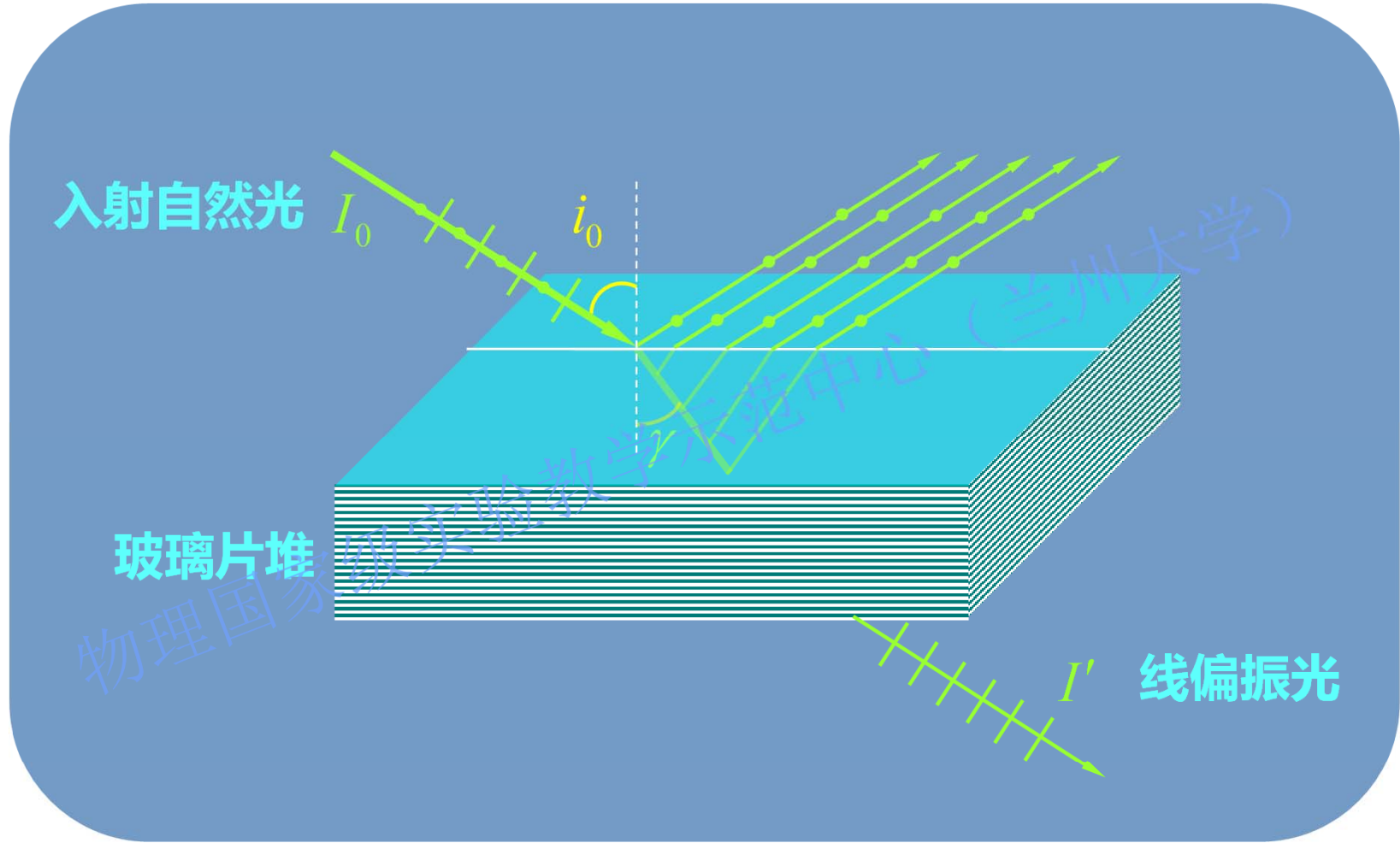
$$n_1 \sin i_b = n_2 \sin \gamma = n_2 \cos i_b$$

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





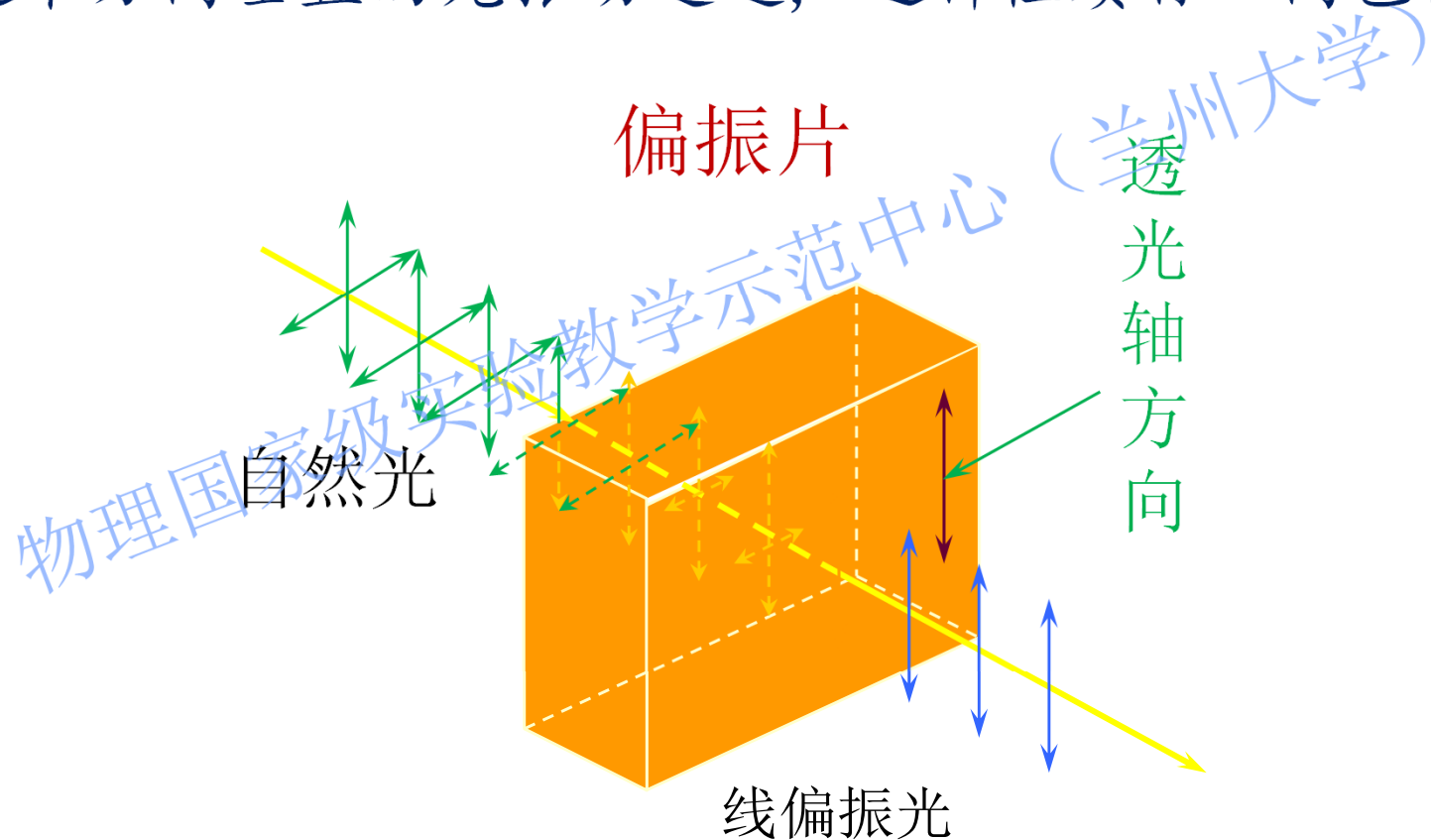
玻璃片堆起偏和检偏





2 由二向色性晶体的选择吸收产生偏振

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。





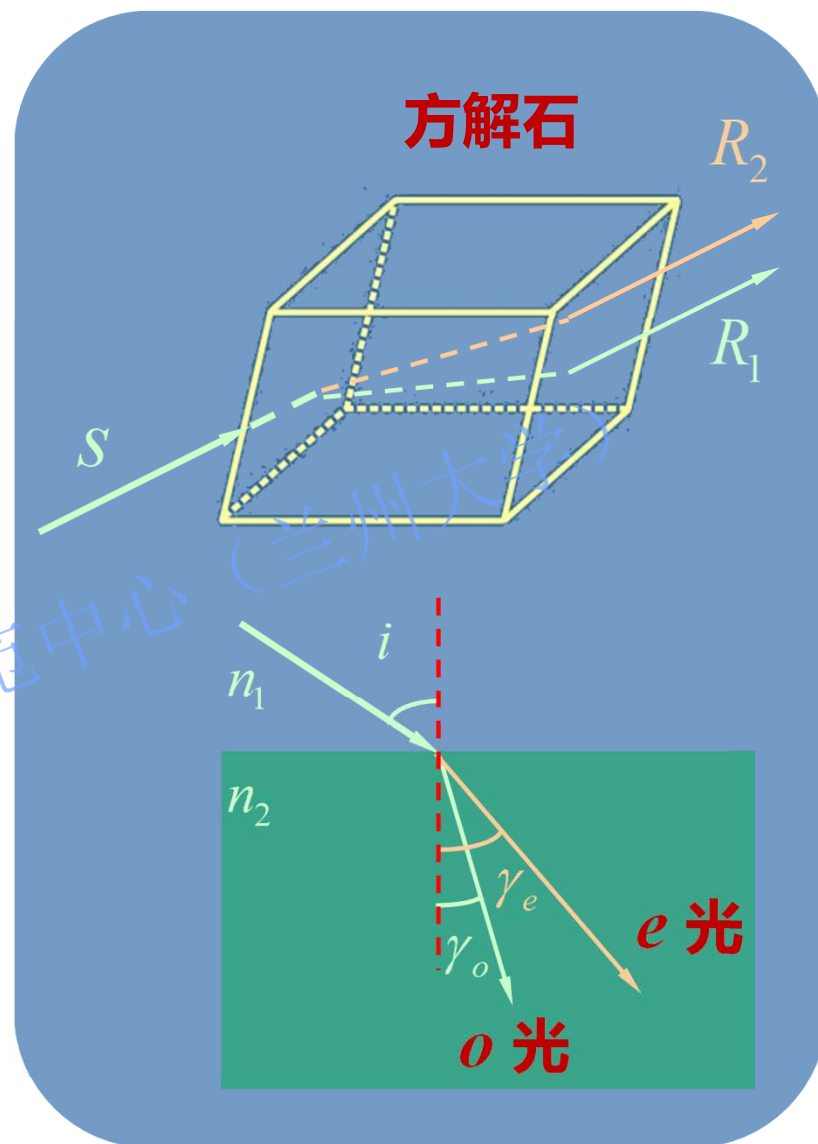
3 由晶体双折射产生

双折射现象：一束光入射到各向异性的介质后出现两束折射光线的现象。

寻常光和非寻常光：

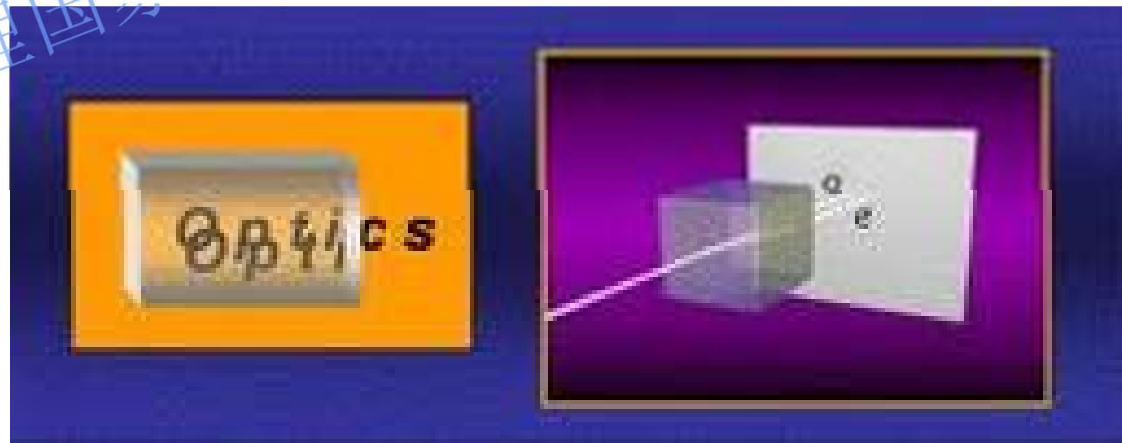
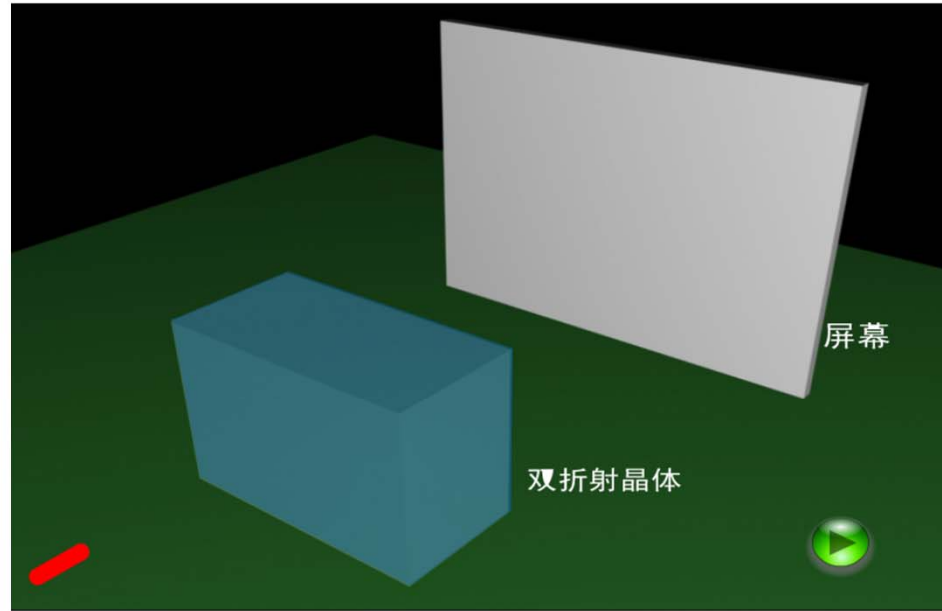
两折射光线中有一条始终在入射面内，并遵从折射定律，称为寻常光，简称 o 光

另一条光一般不遵从折射定律，称非常光，简称 e 光



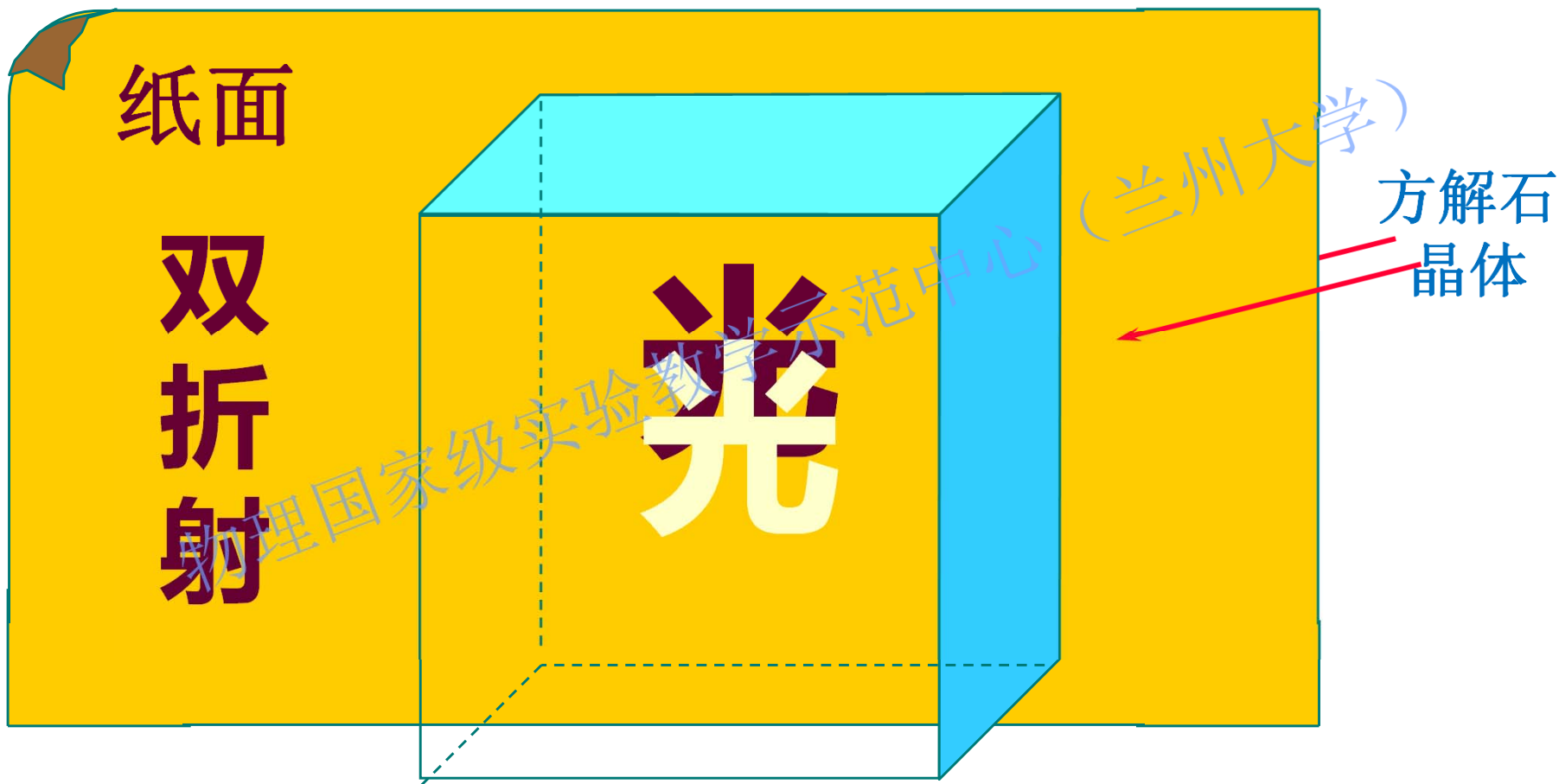


光通过双折射晶体



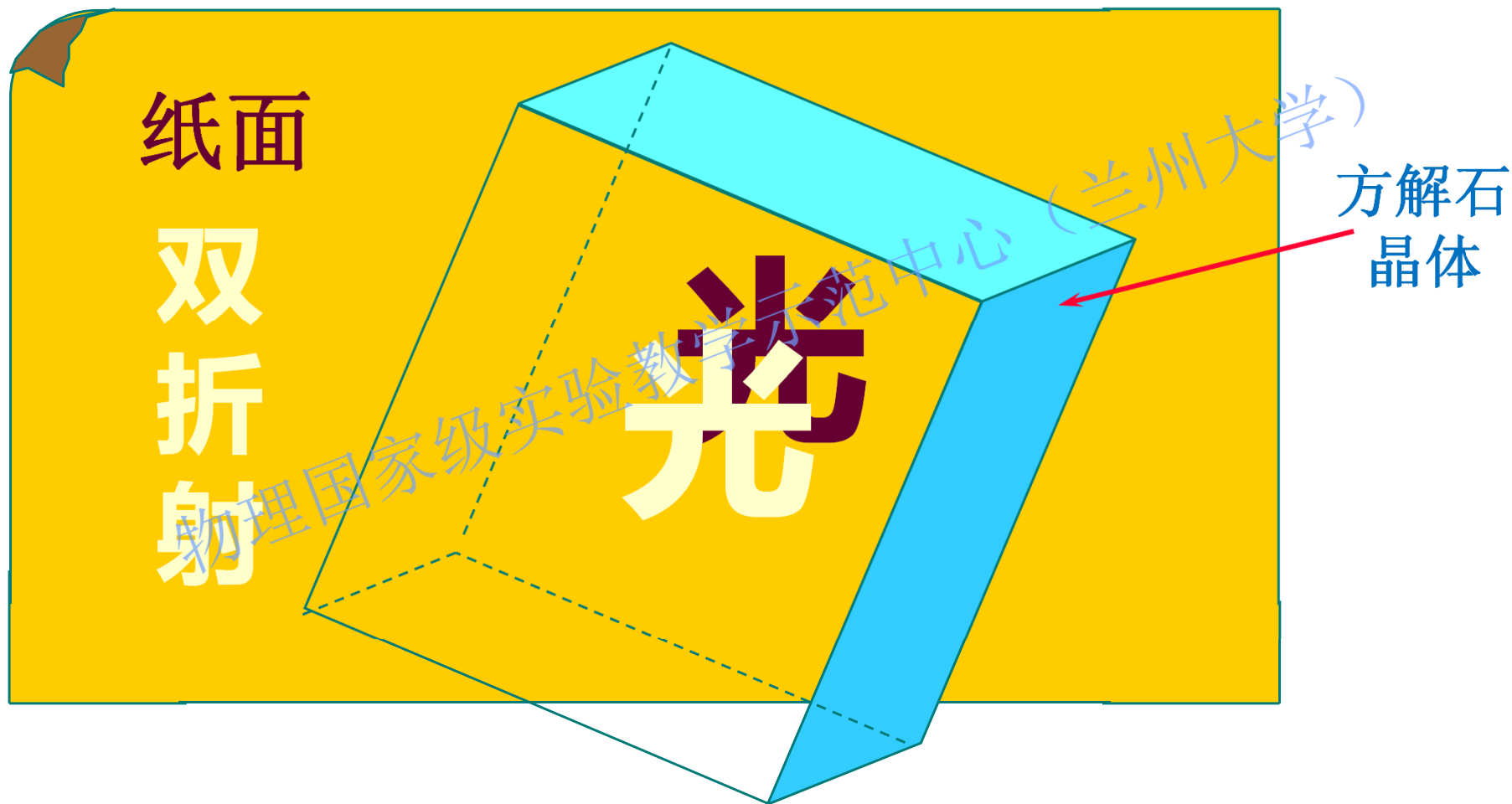


当方解石晶体旋转时
 o 光不动， e 光围绕 o 光旋转



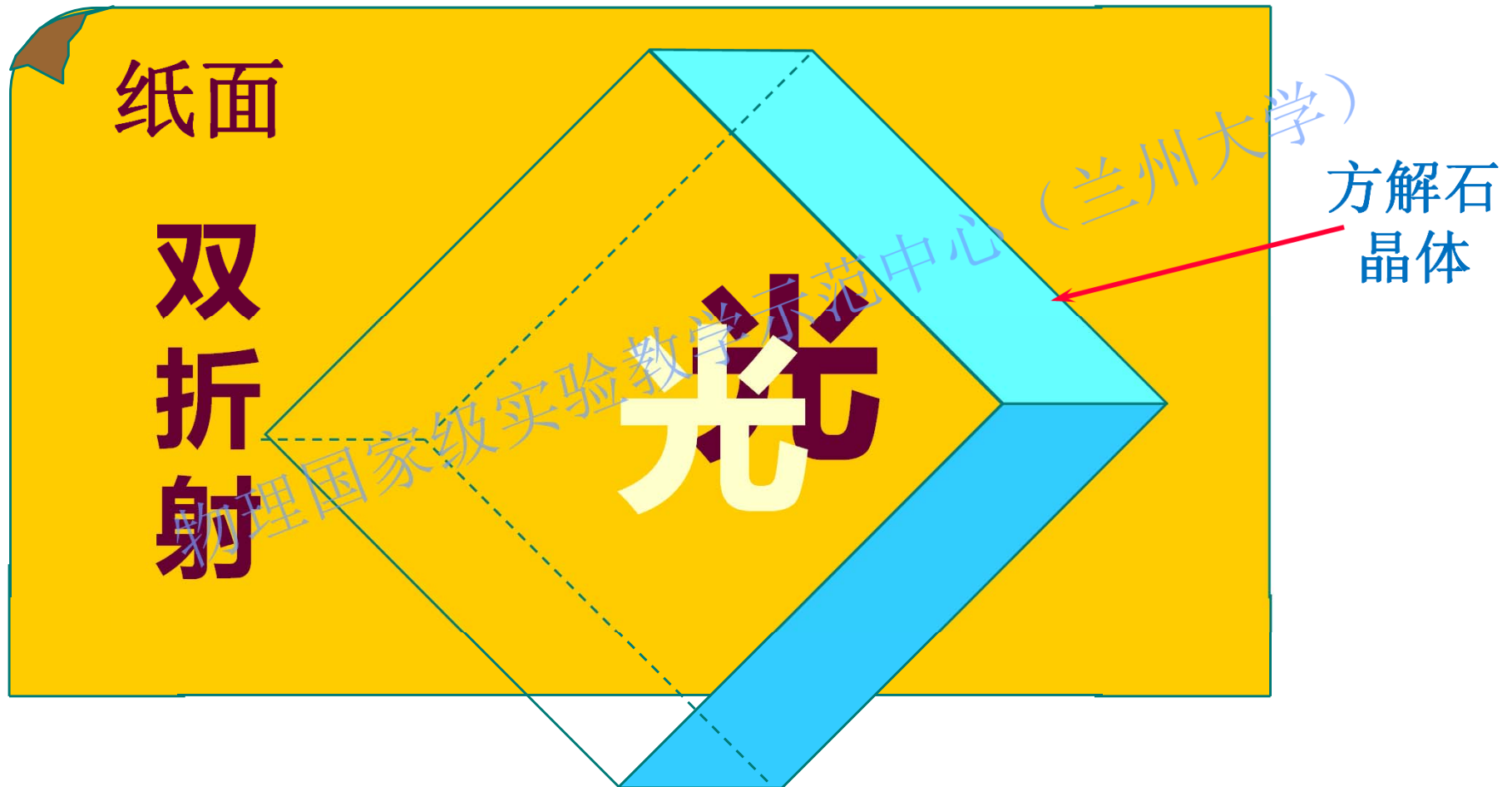


当方解石晶体旋转时
 o 光不动， e 光围绕 o 光旋转



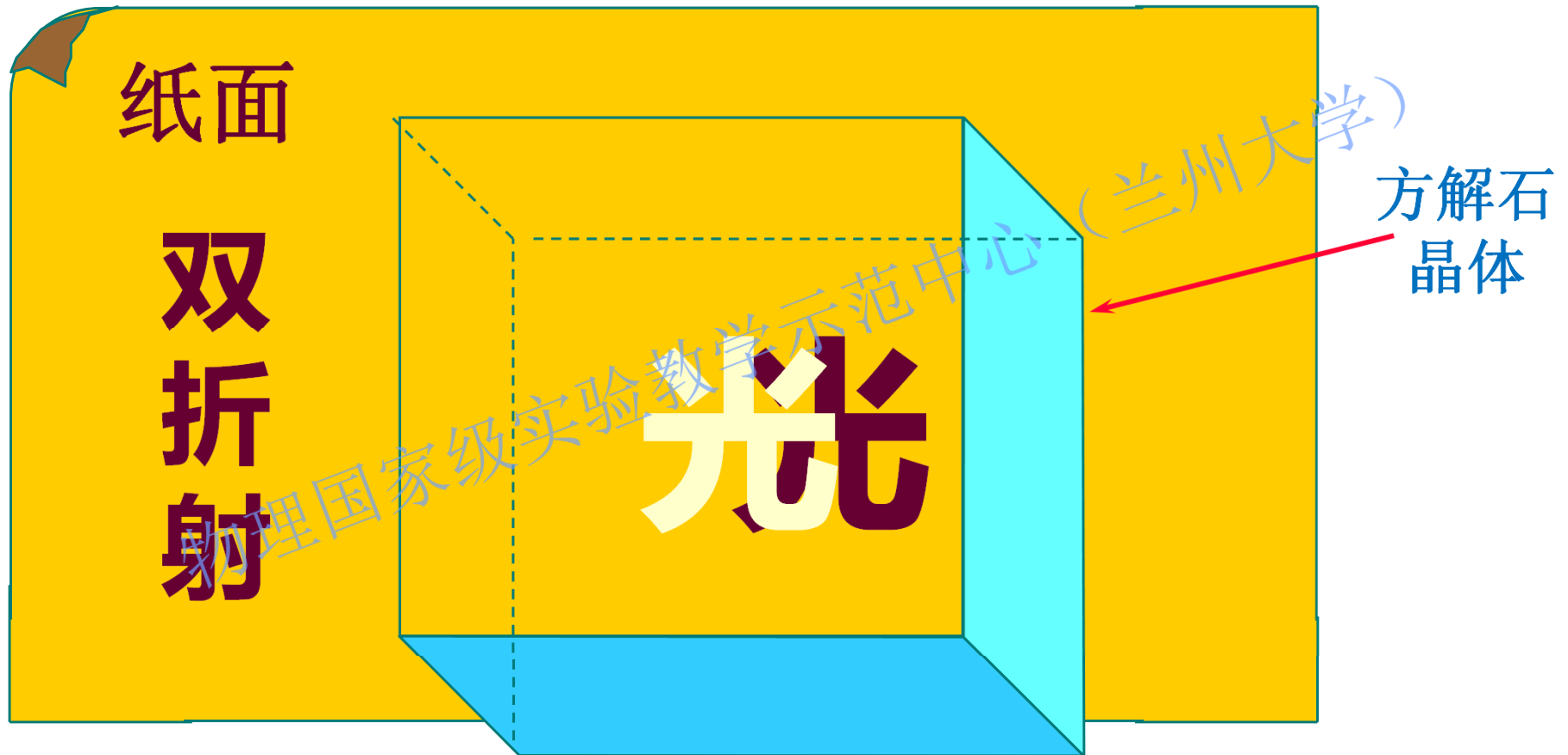


当方解石晶体旋转时
 o 光不动， e 光围绕 o 光旋转





当方解石晶体旋转时
 o 光不动， e 光围绕 o 光旋转





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。

单轴晶体：只有一个光轴的晶体。

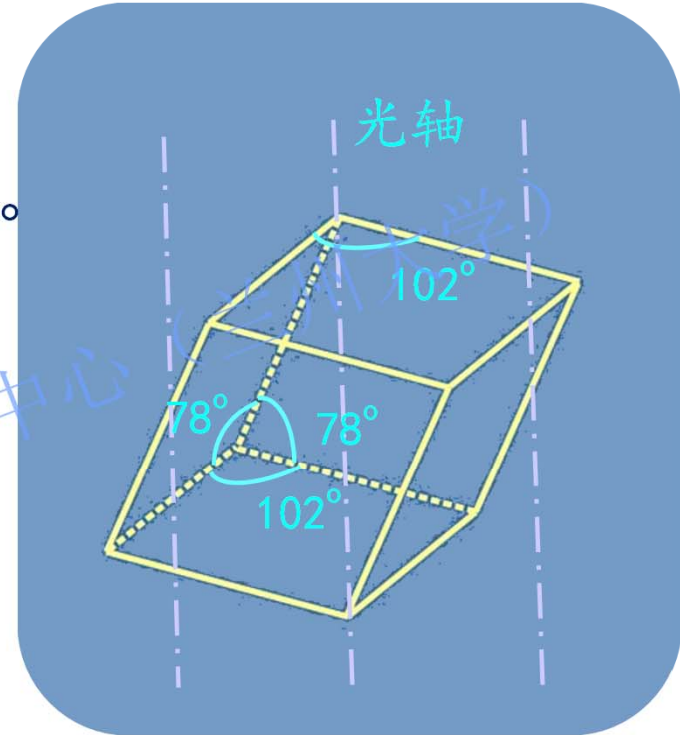
双轴晶体：有两个光轴的晶体。

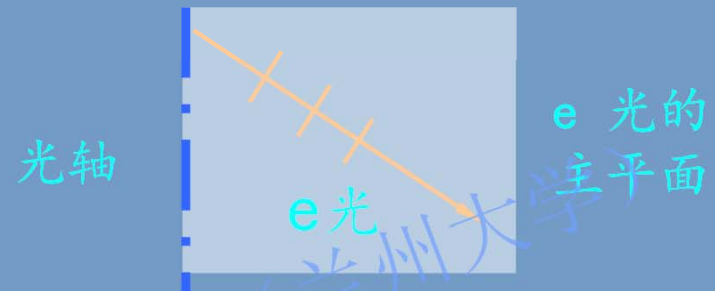
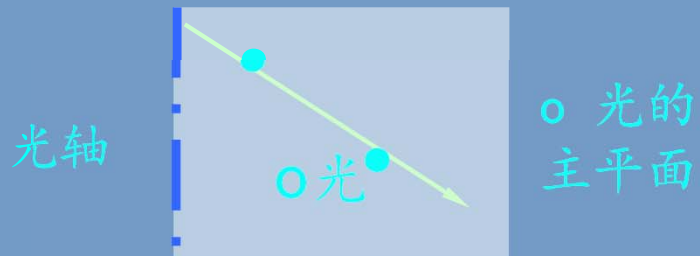
主平面

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。

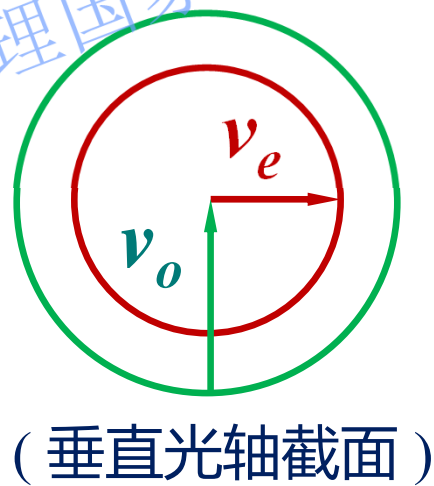
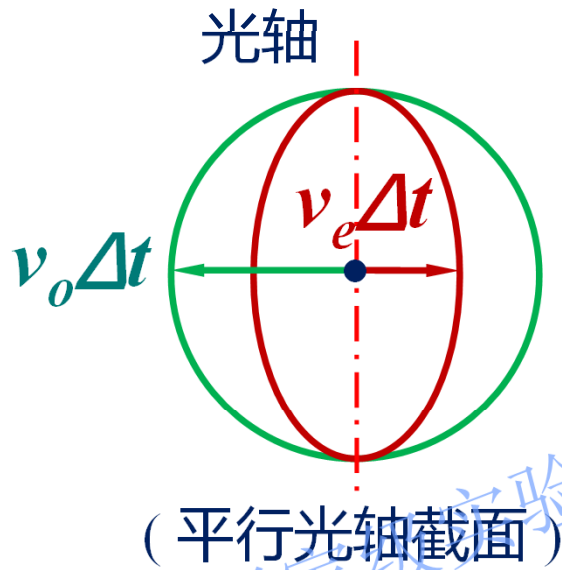




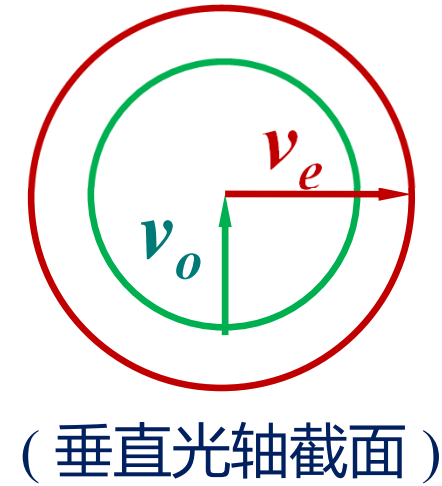
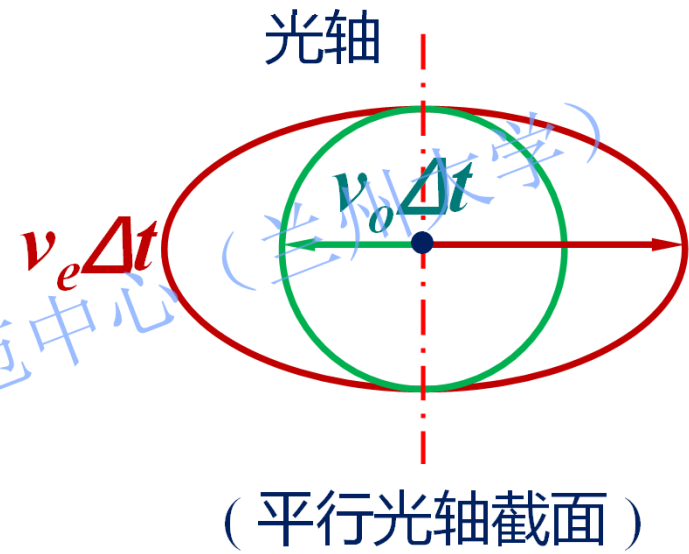
光轴在入射面时，o光主平面和e光主平面重合，此时o光振动和e光振动相互垂直。一般情况下，两个主平面夹角很小，故可认为o光振动和e光振动仍然相互垂直。



正晶体 $v_o > v_e$
 $n_o > n_e$



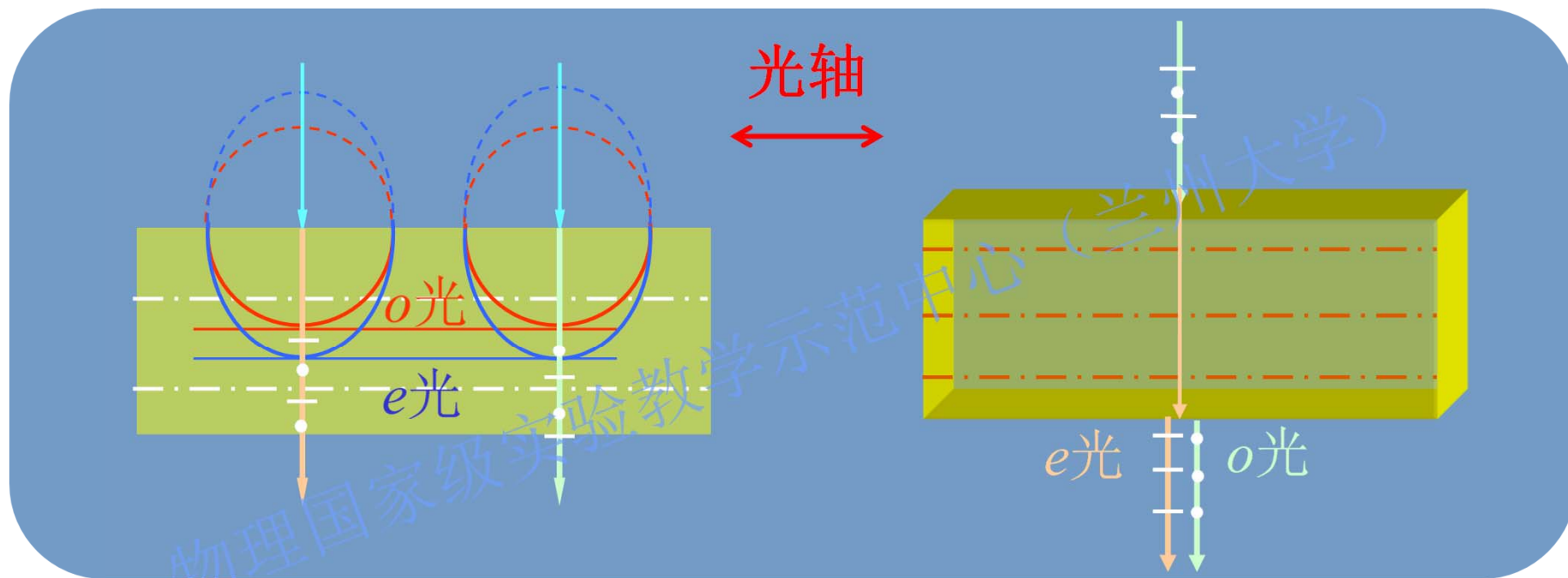
负晶体 $v_o < v_e$
 $n_o < n_e$





单轴晶体中的波面 (惠更斯作图法($v_e > v_o$))

光轴平行晶体表面, 自然光垂直入射

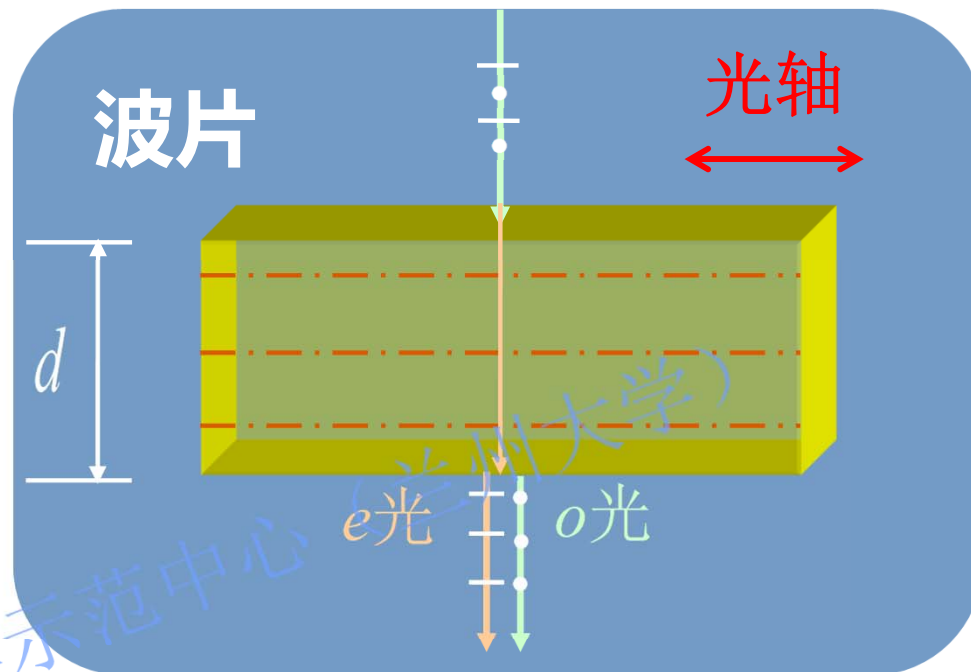


此时o、e光传播方向相同, 但传播速度不同。从晶体出射后, 二者产生相位差。



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

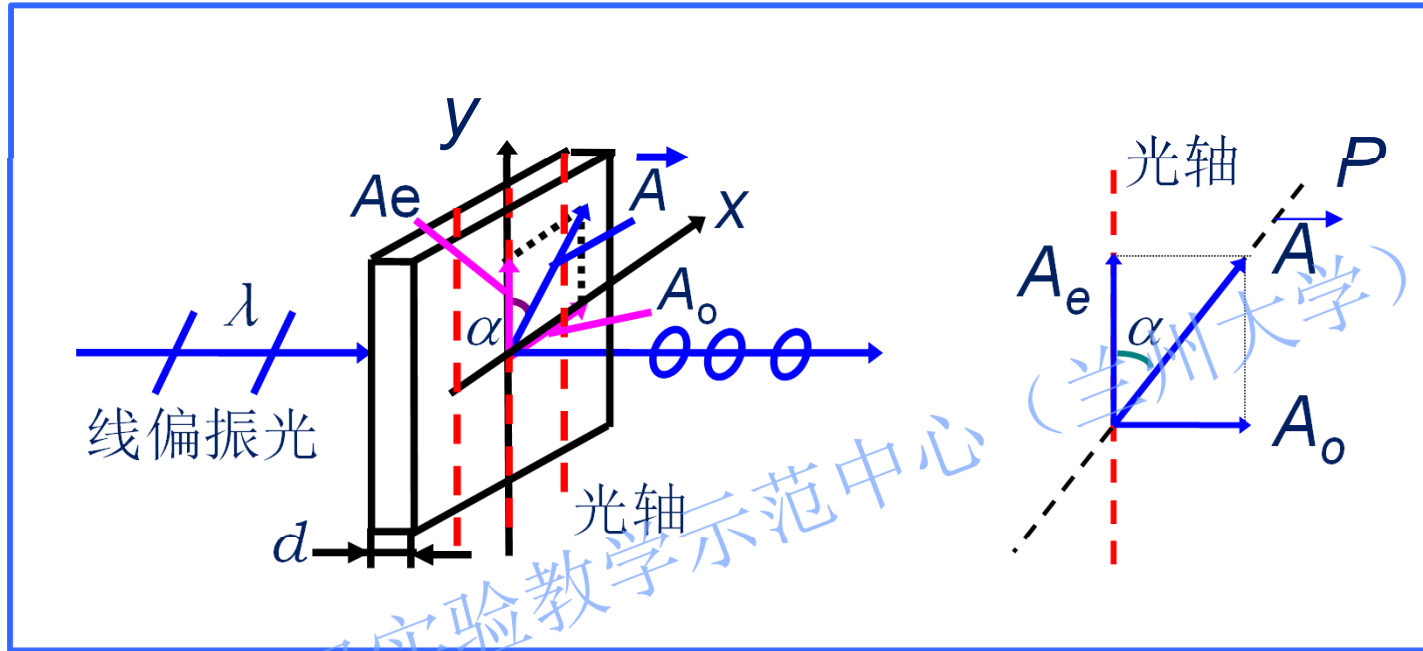
$$(n_o - n_e)d = \lambda$$

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

全波片



线偏振光垂直入射波片



入射线偏振光振幅

$$\begin{cases} A_o = A \sin \alpha \\ A_e = A \cos \alpha \end{cases}$$



通过厚为d的晶片，o、e光产生相位差：

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

从晶片出射的是两束传播方相同、振动方向相互垂直、频率相等、相位差 $\Delta\varphi$ 的线偏振光。

出射o、e光相互叠加，合成为一束椭圆偏振光：

$$\frac{E_x^2}{A_o^2} + \frac{E_y^2}{A_e^2} - 2\frac{E_x E_y}{A_o A_e} \cos \Delta\varphi = \sin^2 \Delta\varphi$$



全波片

$$\frac{E_x^2}{A_o^2} + \frac{E_y^2}{A_e^2} - 2\frac{E_x E_y}{A_o A_e} = 0$$

$$\frac{E_x}{A_{oe}} = \frac{E_y}{A_e}$$

与入射相同的
线偏振光

1/2波片

$$\frac{E_x^2}{A_o^2} + \frac{E_y^2}{A_e^2} + 2\frac{E_x E_y}{A_o A_e} = 0$$

$$\frac{E_x}{A_{oe}} = -\frac{E_y}{A_e}$$

与入射线偏
振光夹角 2α

1/4波片

$$\frac{E_x^2}{A_o^2} + \frac{E_y^2}{A_e^2} = 1$$

$$\frac{E_x^2 + E_y^2}{A_{45^\circ}^2} = 1$$

正椭圆偏振
或圆偏振

物理国家级实验教学示范中心 (兰州大学)

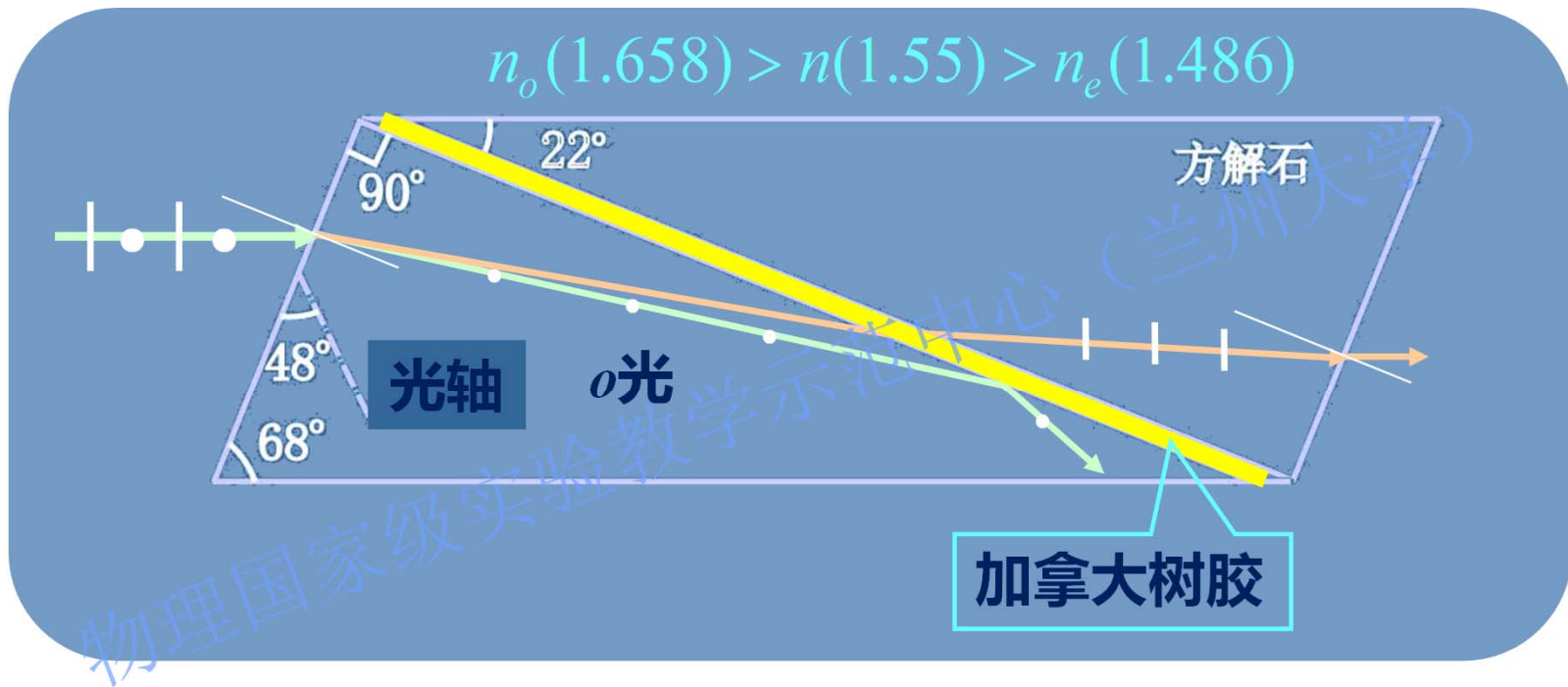


入射线偏振光振动方向与光轴夹角 α 为 90° 的整数倍时，晶体中只有 o 光或者 e 光，波片不改变入射线偏振光的偏振状态（这时任意波片都相当与全波片）。



4

尼科尔棱镜



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



04

实验仪器

物理国家级实验教学示范中心



激光器

偏振片

起偏器、检偏器

波长片

1/2波片、1/4波片

磁性座夹具

光屏

物理国家级实验教学示范中心 (兰州大学)



05

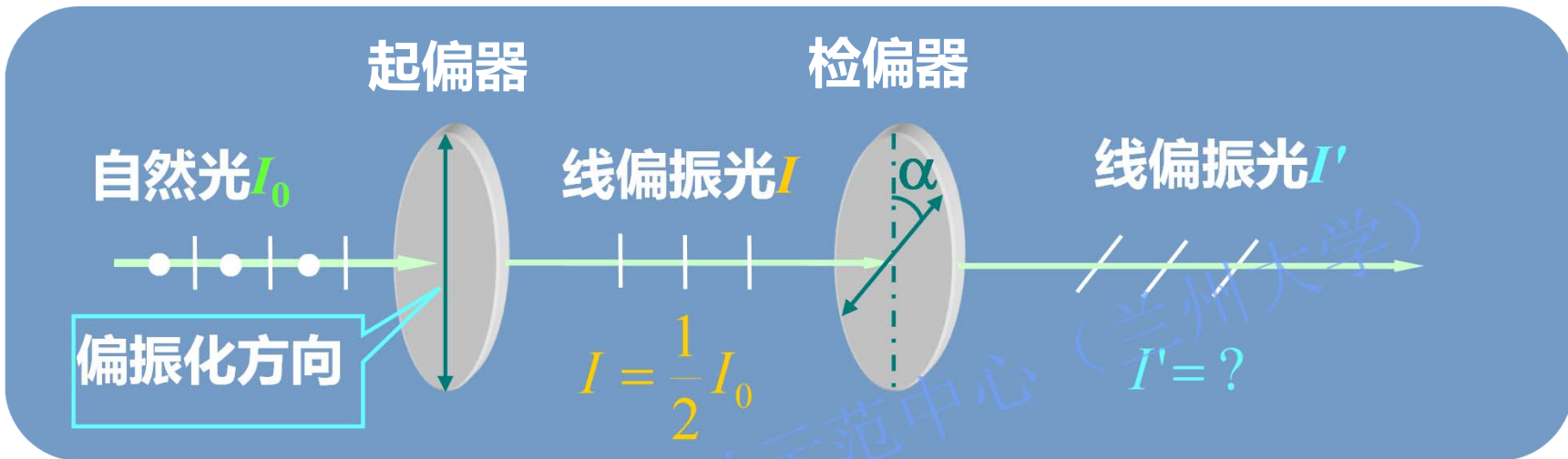
实验内容

物理国家级实验教学示范中心



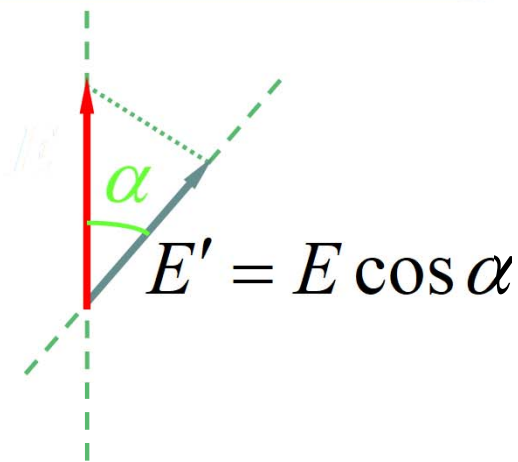
1

起偏和检偏



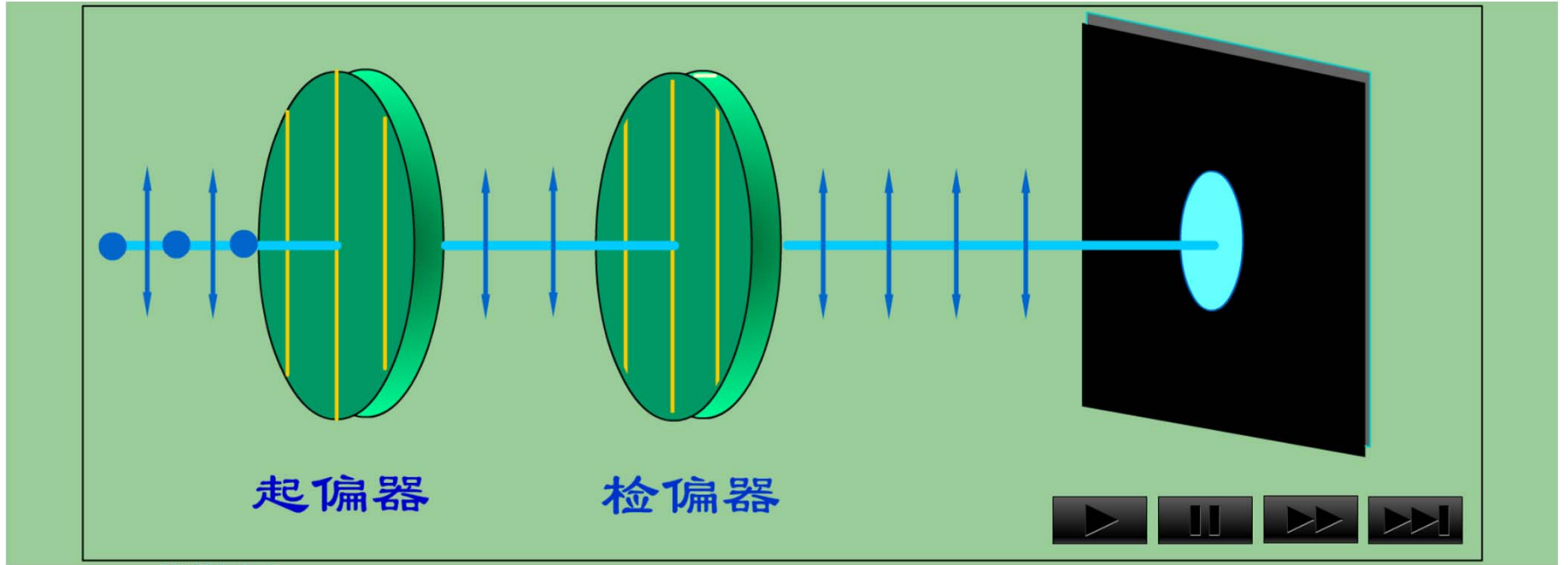
$$I \propto E^2 \quad I \propto E'^2 = E^2 \cos^2 \alpha$$

$$I' = I \cos^2 \alpha \quad \text{马吕斯定律}$$



当 $\alpha = 0, I = I_{\max}$

当 $\alpha = 90^\circ, I = 0^\circ$ — 消光



物一



2 线偏振光垂直入射1/2波片

- ①调节检偏器与起偏器透光轴垂直，使透光处于消光状态。
- ②在起偏器和检偏器之间放入1/2波片。(兰州大学)
- ③改变波片光轴与入射线偏振光振动方向夹角 α (旋转波片 360°)，观察并记录透过光强的变化规律，记录消光次数和消光的角度位置。



④以某消光状态时波片的角度位置为起点 (0°)，将 $1/2$ 波片旋转 30° ，然后转动检偏器 360° ，观察透光强度变化规律并记录消光角度位置。

⑤继续将 $1/2$ 波片分别旋转至起点的 45° 、 60° 、 90° 位置，并分别重复④的内容。

物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)



3 线偏振光垂直入射1/4波片

- ①调节检偏器与起偏器透光轴垂直，使透光处于消光状态。
- ②在起偏器和检偏器之间放入1/4波片。(兰州大学)
- ③改变波片光轴与入射线偏振光振动方向夹角 α (旋转波片 360°)，观察并记录透过光强的变化规律，记录消光次数和消光的角度位置。



④以某消光状态时波片的角度位置为起点 (0°)，将 $1/4$ 波片旋转 30° ，然后转动检偏器 360° ，观察透光强度变化规律并记录消光角度位置。

⑤继续将 $1/2$ 波片分别旋转至起点的 45° 、 60° 、 90° 位置，并分别重复④的内容。

物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)



4

分析实验现象

- ①分析上述实验中透光波片的光的偏振态，验证线偏振光、椭圆偏振光、圆偏振光透过检偏器后强度的变化规律。
- ②定性验证马吕斯定律。
- ③验证线偏振光垂直入射 $1/2$ 波片和 $1/4$ 波片后的透光规律。

物理国家级实验教学示范中心 (兰州大学)



06

注意事项

物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)



- 1 使用激光必须注意保护眼睛
- 2 激光光源必须调节为近似平行束
- 3 实验开始首先准确调节光路
- 4 激光光束必须与波片调节垂直
- 5 波片及偏振片转动时注意不能改变光路

物理国家级实验教学示范中心 (兰州大学)



07

实验问题

物理国家级实验教学示范中心



1

根据实验内容，如何区分自然光和圆偏振光？

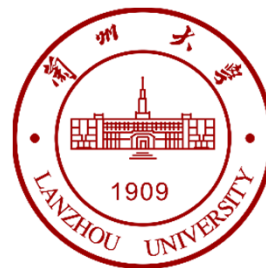
2

如何区分部分偏振光和椭圆偏振光？

物理国家级实验教学示范中心 (兰州大学)



兰州大学



本次课程结束 祝同学们学业有成



自强不息 独树一帜
兰州大学

Lanzhou University



参考资料

1. 《基础物理实验》，李健等，兰州大学出版社，2012年.
2. 《基础物理实验》，沈元华等，高等教育出版社，2003年.
3. 《大学物理实验》，周殿清等，武汉大学出版社，2002年
3. 《光学》，赵凯华等，高等教育出版社，2004年.
4. 《光学》，章志鸣等，高等教育出版社，2002年.