

大学物理(下)

华中科技大学

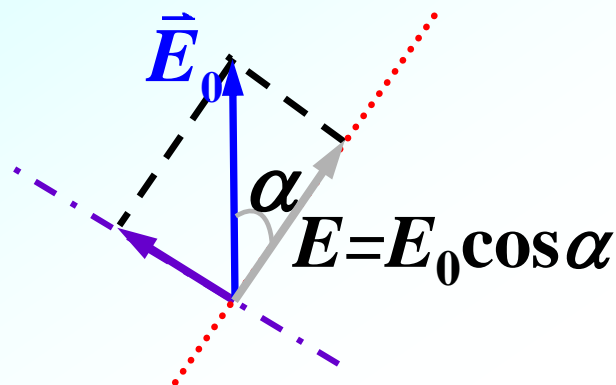
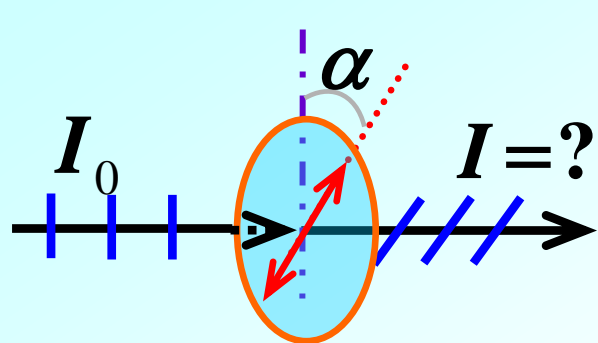
张智

zzhang@hust.edu.cn

第五篇 光学

(Optics)

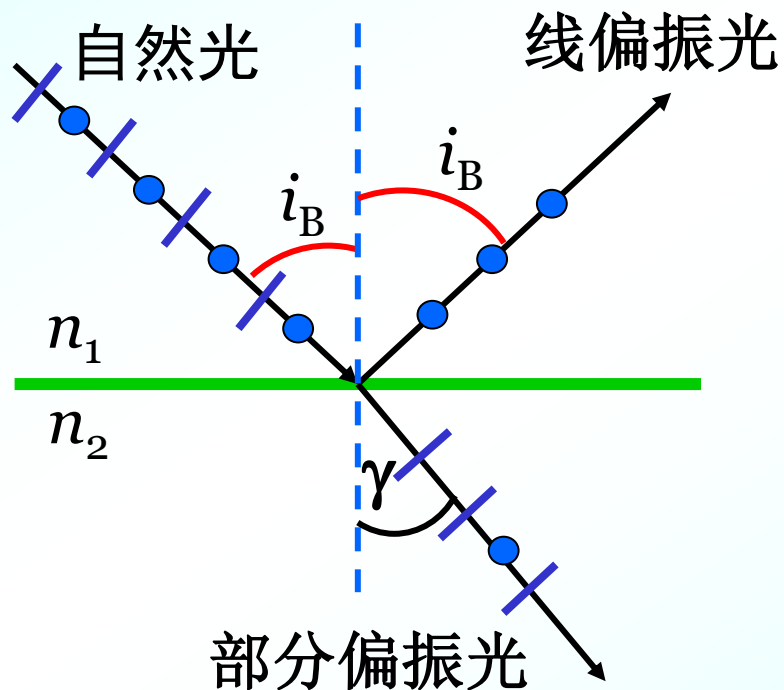
● 马吕斯定律



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

——马吕斯定律

● 布儒斯特定律

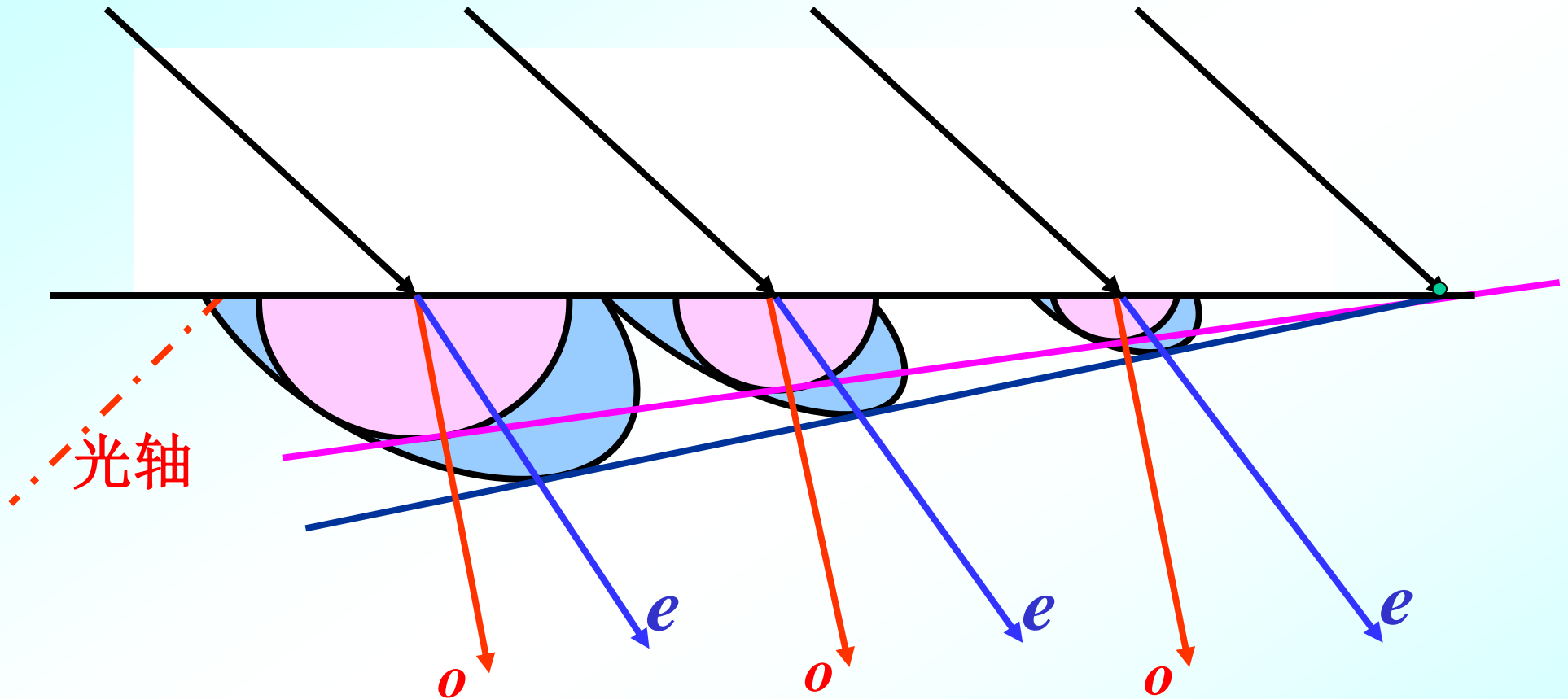


$$i_B + \gamma = \frac{\pi}{2}$$

起偏角

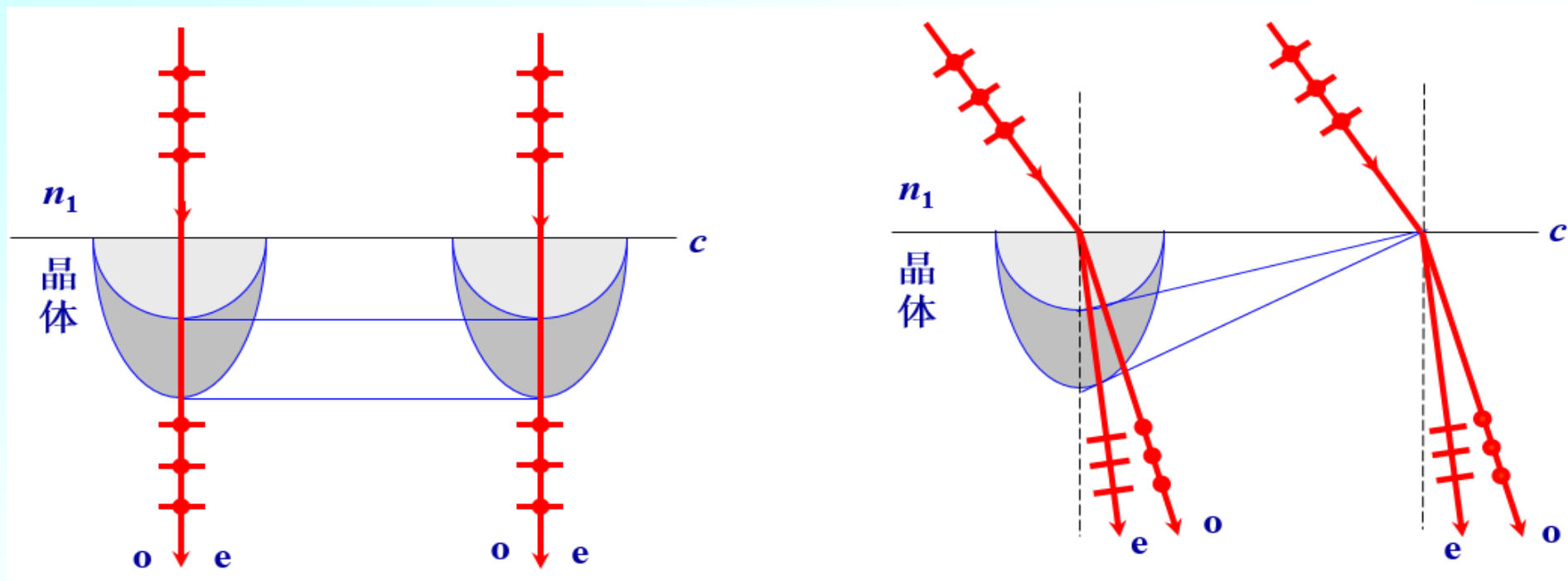
$$i_B = \operatorname{tg}^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

用惠更斯原理解释双折射现象



- 根据惠更斯原理，界面上任一子波源向晶体内发出球面子波和椭球面子波。
- 在较迟时刻 t ，与各组子波相切的平面就代表该时刻对应的o光和e光的波面，自入射点引向相应的子波波面和光波面切点的连线方向，即为晶体中o光和e光的传播方向。

b) 光轴平行于入射面与界面



结论：主截面与入射面重合， o 光和 e 光的主平面重合且振动方向垂直。

□ 垂直入射时： o 光和 e 光不分开，只是**速度不同**。

□ 斜入射时： o 光偏离 e 光， e 光不满足主折射率的折射定律。

重要！

5. 波晶片——相位延迟片

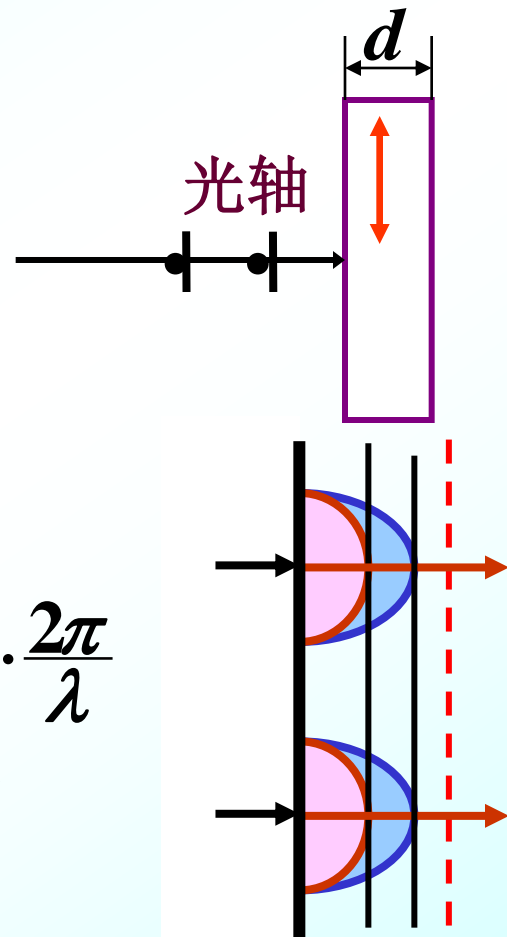
波晶片是光轴平行表面的晶体薄片。

通过厚为 d 的晶片， o 、 e 光不可分开，
但产生光程差：

$$\Delta r = l_o - l_e = (n_o - n_e)d$$

出射时位相改变： $\Delta\varphi = \frac{\Delta r}{\lambda} 2\pi = (n_o - n_e) \cdot d \cdot \frac{2\pi}{\lambda}$

可见： λ 一定，适当选择 d 可使两分振动
产生任意数值的位相差。



- 常用的几种波晶片
- | | |
|------------|---|
| (1) 四分之一波片 | $ n_e - n_o \cdot d = \frac{\lambda}{4} \rightarrow \Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ |
| (2) 二分之一波片 | $ n_e - n_o \cdot d = \frac{\lambda}{2} \rightarrow \Delta\varphi = \pi$ |
| (3) 全波片 | $ n_e - n_o \cdot d = \lambda \rightarrow \Delta\varphi = 2\pi$ |

讨论

对 $\lambda/2$ 波片：晶片的厚度 d ，使光程差为 $\lambda/2$

$$(n_o - n_e)d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow d = \frac{\lambda}{2(n_o - n_e)}$$

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

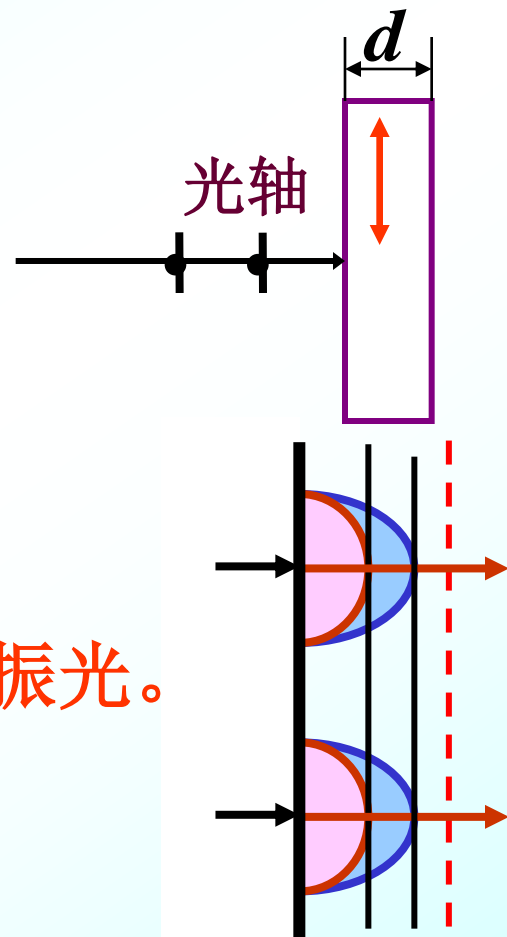
■ 线偏振光入射 $\lambda/2$ 波片时，出来仍是线偏振光。

对 $\lambda/4$ 波片：晶片的厚度 d ，使光程差为 $\lambda/4$

$$(n_o - n_e)d = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow d = \frac{\lambda}{4(n_o - n_e)}$$

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

■ 线偏振光入射 $\lambda/4$ 波片时，出来是(椭)圆偏振光。



$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$

● 两个互相垂直的谐振动的合成:

$$\begin{cases} x = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \\ y = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \end{cases} \quad \Delta\varphi \text{ 任意, 合振动的轨迹为椭圆.}$$

$$\begin{cases} \Delta\varphi \neq k\pi & \text{为椭圆} & k = 0, 1, 2, \dots \\ \Delta\varphi = (2k+1)\frac{\pi}{2} & \text{为正椭圆, } A_1=A_2 \text{ 为圆.} \\ \Delta\varphi = k\pi & \text{为直线} \end{cases}$$

对光振动: $\begin{cases} E_x = E_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \\ E_y = E_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \end{cases}$ (振动方向互相垂直)

若 $\Delta\varphi$ 恒定, 且

$$\Delta\varphi \neq k\pi \Rightarrow \begin{cases} \text{合振动为任一椭圆} & \begin{cases} \Delta\varphi = (2k+1)\frac{\pi}{2} & \text{正椭圆 (圆)} \\ \Delta\varphi = k\pi & \text{直线} \end{cases} \end{cases} \quad (E_1=E_2)$$

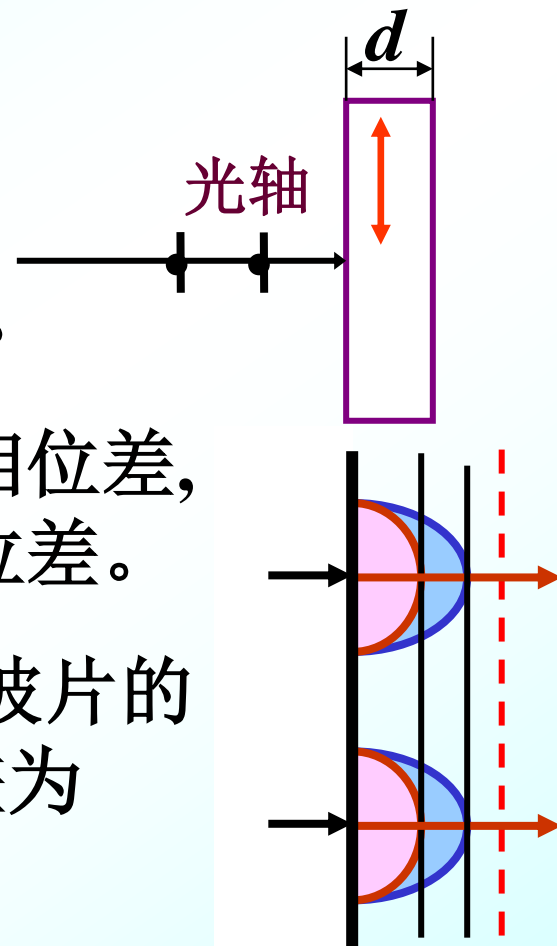
注意

- 1) $\lambda/2$ 波片、 $\lambda/4$ 波片是对一定的 λ 而言的。
- 2) 自然光与部分偏振光两垂直成分**无**恒定相位差，而椭圆和圆偏振光两垂直成分**有**恒定相位差。
- 3) 圆与椭圆偏振光（长轴或短轴平行于 $1/4$ 波片的光轴时）经 $1/4$ 波片后，两垂直成分位相差为

$$\Delta\varphi = (2k + 1)\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \Rightarrow k'\pi$$

出射的是**线偏振光**。

- 4) 自然光、部分偏振光通过 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ 波片**仍然是**自然光或部分偏振光。



例：用一块偏振片和一块 $\lambda/4$ 波片去鉴别：自然光、部分偏振光、线偏振光、圆偏振光与椭圆偏振光。

解：（1）先用一偏振片,光通过转动的偏振片后
光强不变

\Rightarrow 为自然光或圆偏振光

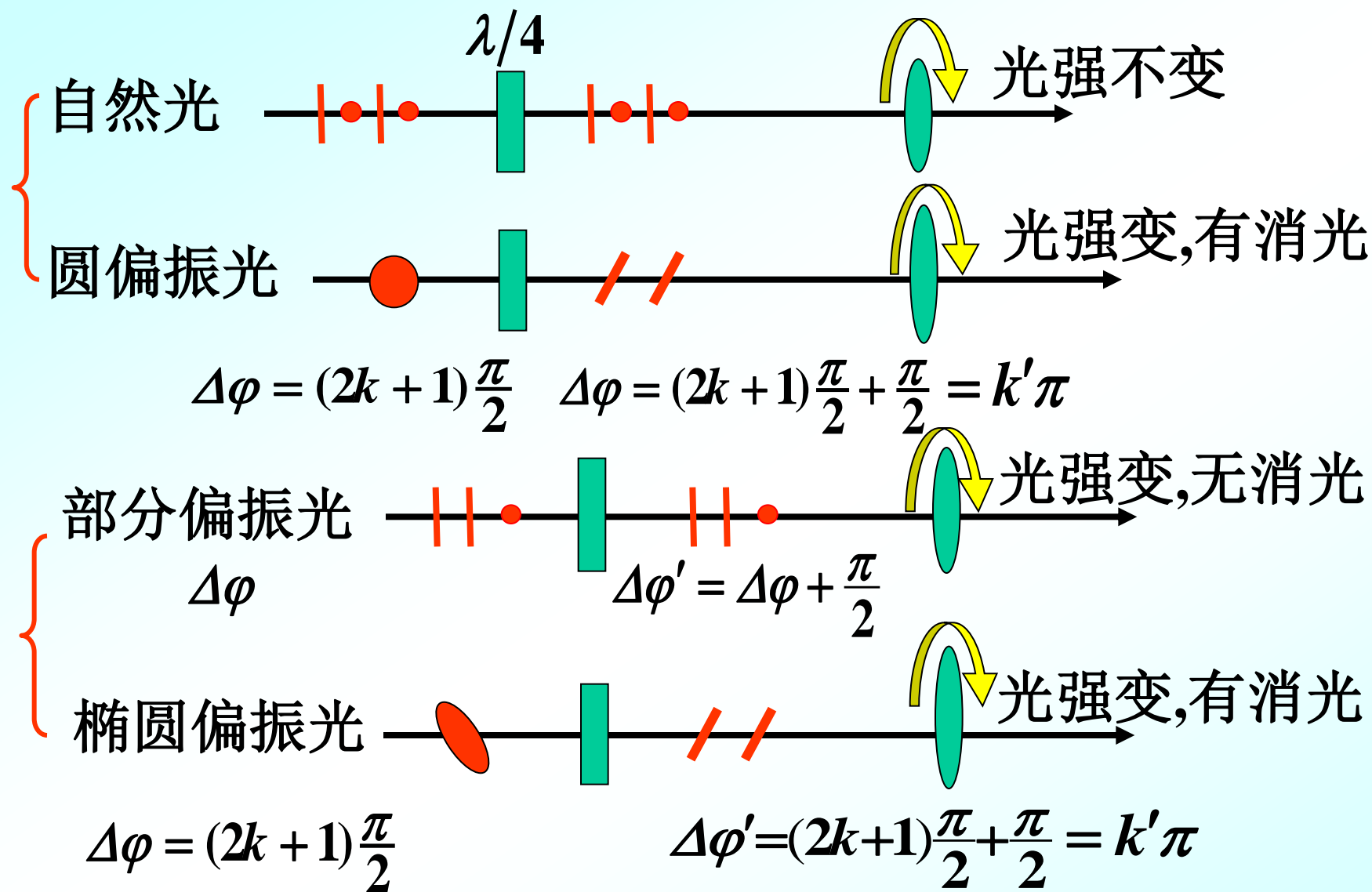
光强改变（无消光）

\Rightarrow 为部分偏振光或椭圆偏振光

光强改变（有消光）

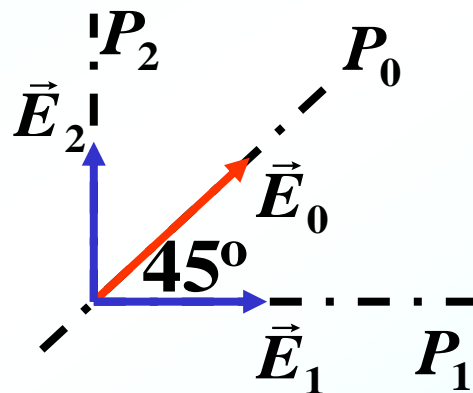
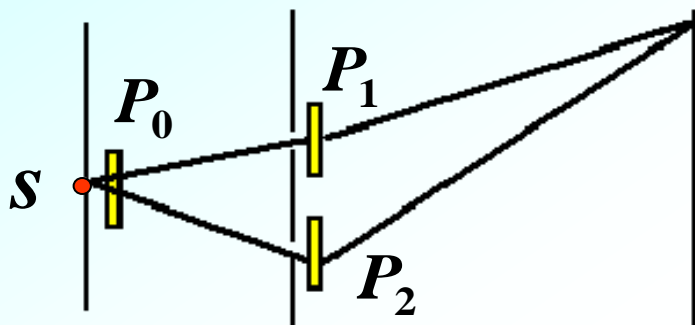
\Rightarrow 为线偏振光

（2）再用 $\lambda/4$ 波片及偏振片, 进一步鉴别：



先用偏振片找到光强最大的方向，再将波片的光轴转至此方向，然后如上按照有无消光进行区分。

例：杨氏双缝干涉实验中，加三个偏振片，偏振化方向为 $P_2 \perp P_1$ ， P_0 与 P_2 、 P_1 各成 45° 角。问：



1. 屏上有无干涉条纹？ **无干涉条纹**

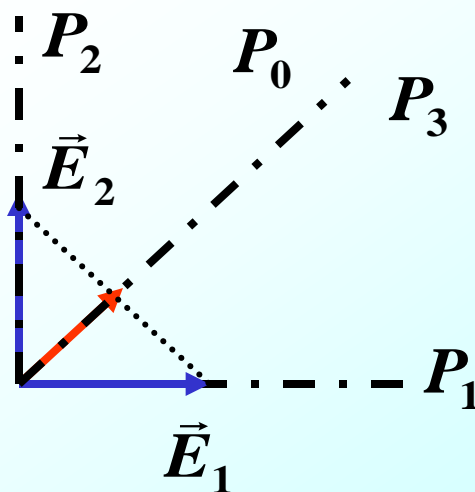
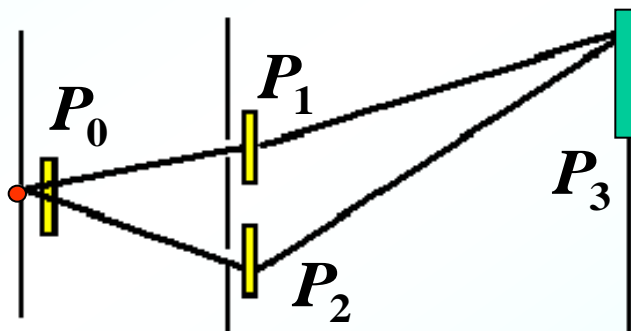
有确定的位相关系

2. 屏上各处偏振态如何？ → **两振动方向垂直的线偏振光叠加**

$$\Delta\varphi = \frac{d \sin \theta}{\lambda} \cdot 2\pi = \begin{cases} k\pi \text{ 时, 原明纹处为 线偏振光} & \text{原暗纹处?} \\ (2k+1)\pi/2 \text{ 时, 为 圆偏振光} \\ \text{其它值时, 为 椭圆偏振光} \end{cases}$$

3. 若去掉 P_0 ，加 P_3 （ $//P_0$ ），屏上有没有条纹？**无条纹**
两线偏振光没有确定的位相关系。

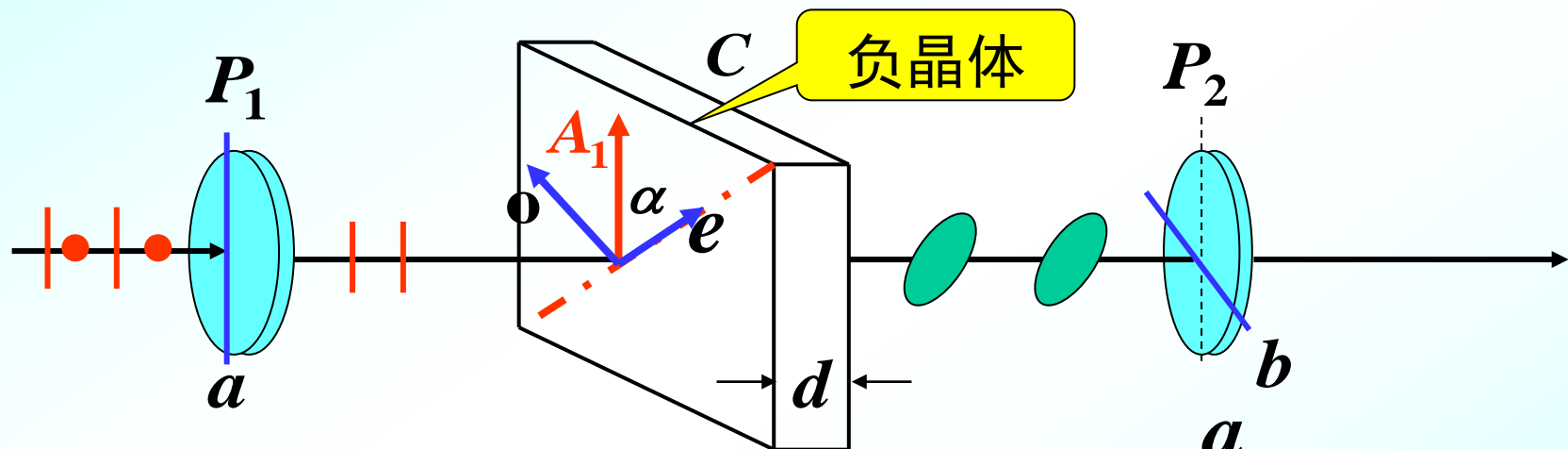
4. 保留 P_0 ，加 P_3 （ $//P_0$ ），屏上有没有条纹？
有条纹，条纹位置与原来同。



第8节 偏振光的干涉

1. 偏振光的干涉

(1) P_1 、 P_2 两偏振片的偏振化方向互相垂直放置

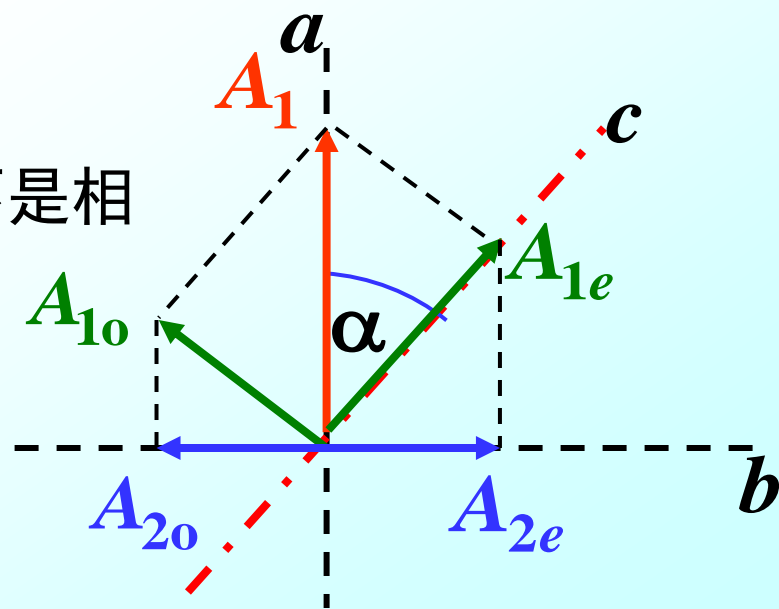


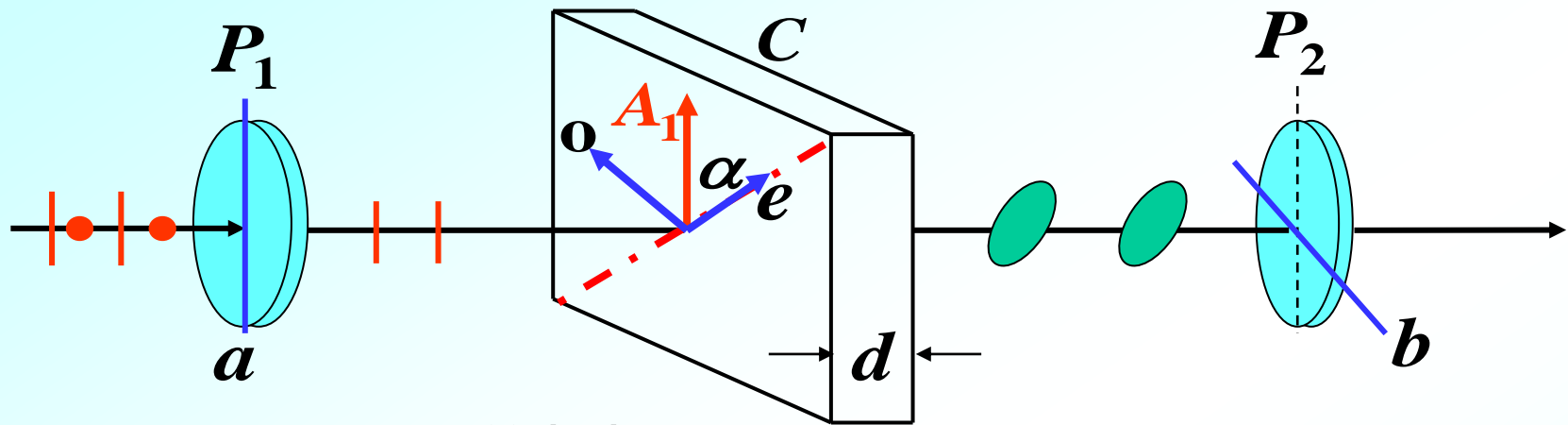
□ 从C出射的o光，e光能否产生干涉？

■ 不能！o、e光振动方向互相垂直，不是相干光。

投影方向相反，偏振片 P_2 附加位相差 π 。

从C出射的o光、e光通过 P_2 后才会产生干涉。





*晶面上o光 e光的位相相同

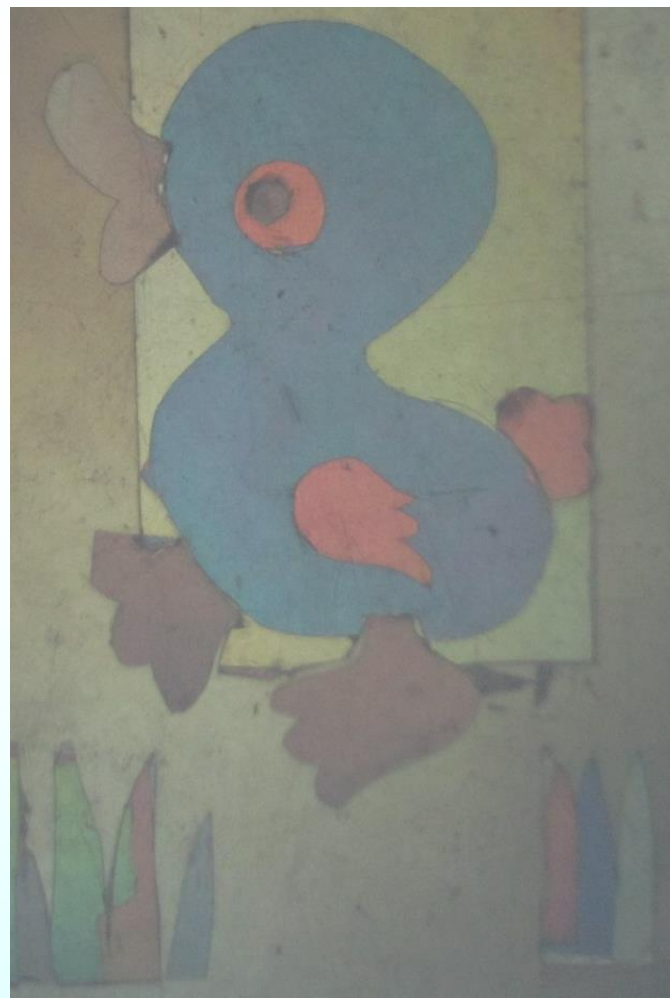
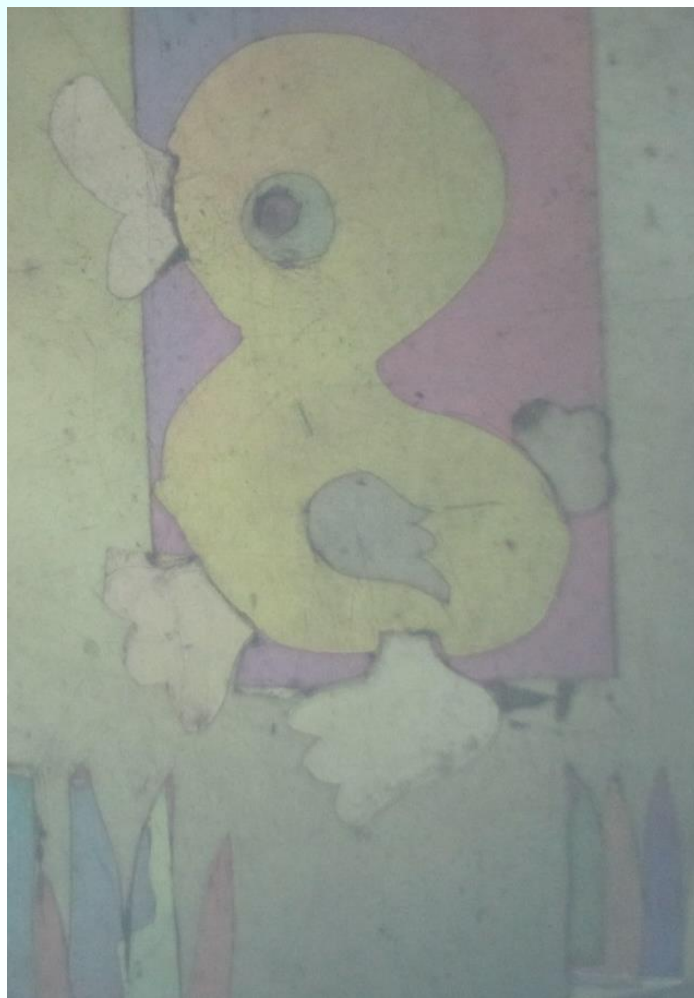
*从晶体中出来后, o光e光的位相差为: $(n_o - n_e)d \frac{2\pi}{\lambda}$

*偏振片 P_2 附加位相差 π

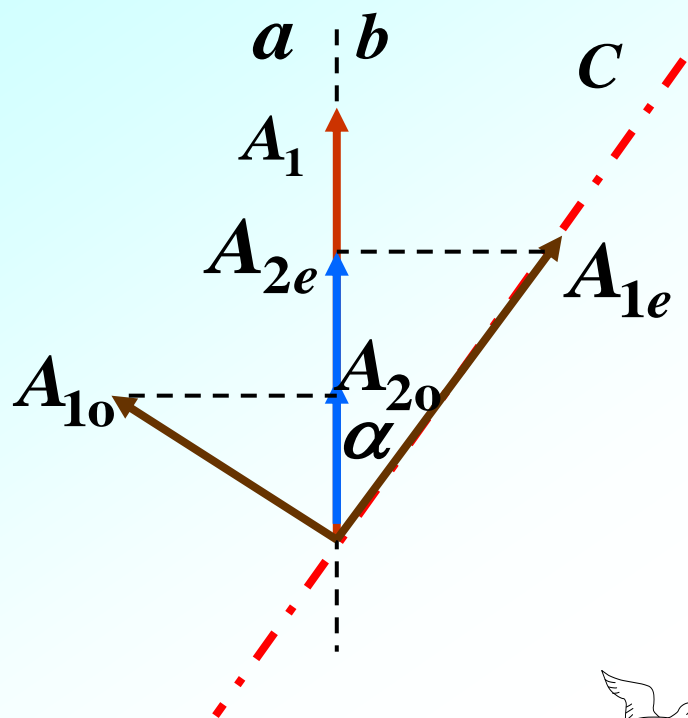
$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\varphi_{\text{总}\perp} = (n_o - n_e)d \frac{2\pi}{\lambda} + \pi = \begin{cases} 2k\pi & \text{明纹} \\ (2k+1)\pi & \text{暗纹} \end{cases} \quad k=1, 2, 3, \dots \\ (n_o - n_e)d = \begin{cases} (2k-1)\frac{\lambda}{2} & \text{明纹} \\ k\lambda & \text{暗纹} \end{cases} \quad k=1, 2, 3, \dots \end{array} \right.$$

- ◆ 在**白光**的照射下, 对同一厚度的波晶片, 各波长干涉强弱不同, 视场出现一定的色彩——**色偏振现象**。
- ◆ 转动 P_2 , 屏上的颜色会发生变化。

光是横波



(2) P_1 、 P_2 两偏振片的偏振化方向平行放置



$$\Delta\varphi_{\text{总//}} = (n_o - n_e)d \frac{2\pi}{\lambda}$$

取决于晶体板带来的位相差

$$\Delta\varphi_{\text{总//}} = (n_o - n_e)d \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$= \begin{cases} 2k\pi & \text{明纹} \\ (2k+1)\pi & \text{暗纹} \end{cases}$$

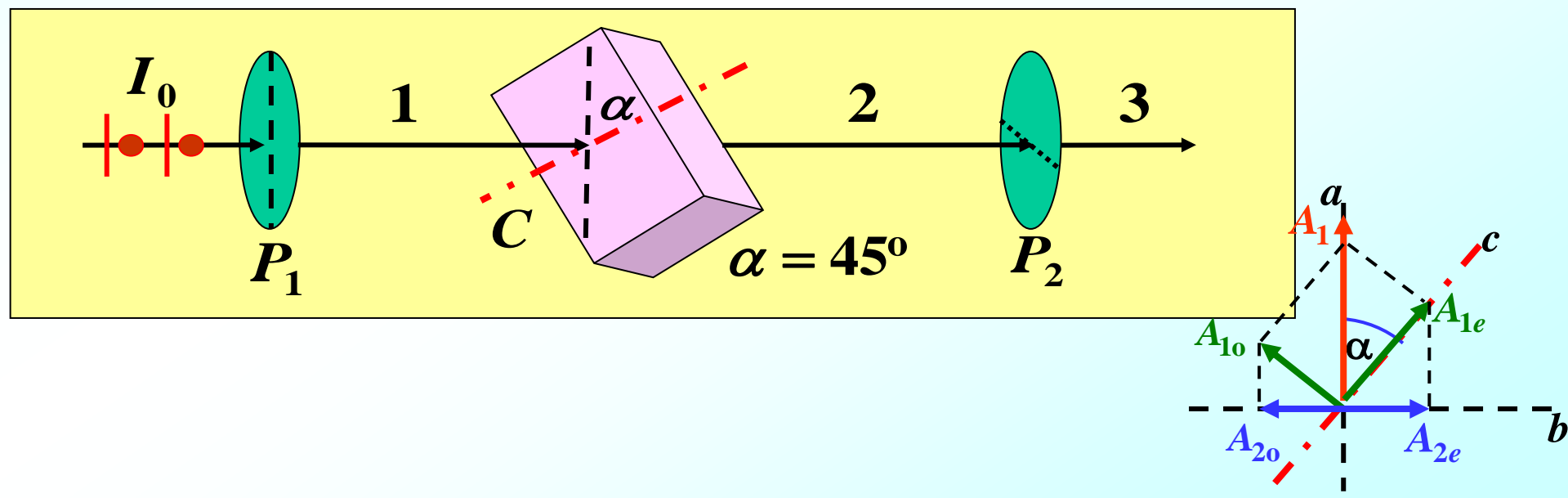


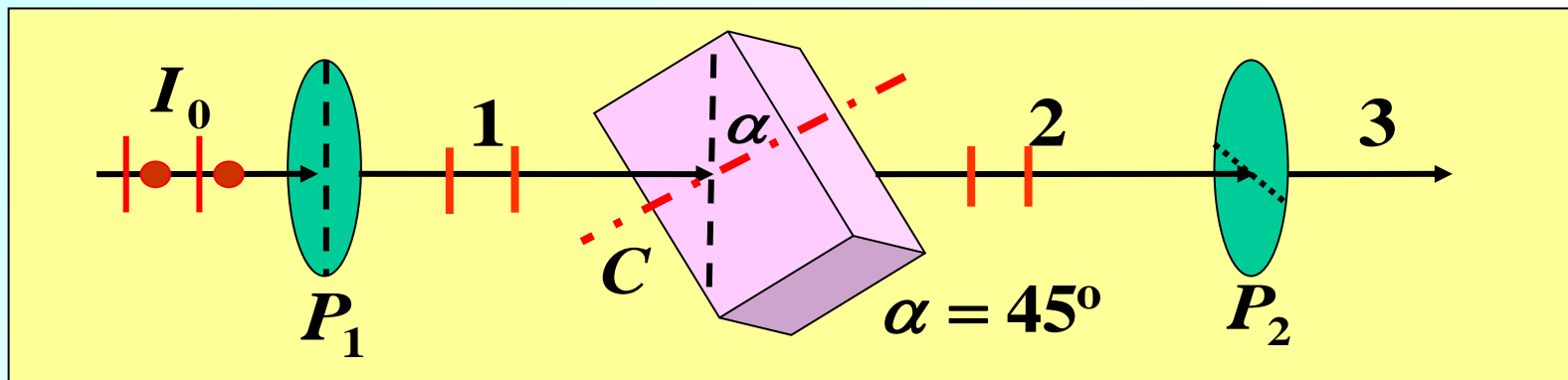
$$\Delta\varphi_{\text{总}\perp} = (n_o - n_e)d \frac{2\pi}{\lambda} + \pi = 2k\pi \quad \text{明纹}$$

$$\Delta\varphi_{\text{总}\perp} \xleftrightarrow{\pi} \Delta\varphi_{\text{总//}}$$

例. 在两个偏振化方向**互为正交**的偏振片 P_1 、 P_2 之间平行放入厚度为 $d=1.713\times 10^{-4}\text{ m}$ 晶体片，此晶片的光轴平行于晶片表面而且与 P_1 、 P_2 的偏振化方向皆成 45° 角，以 $\lambda=589.3\text{ nm}$ 的**自然光**垂直入射到 P_1 上，该晶体对此光的折射率 $n_o=1.658$ ， $n_e=1.486$ 。

- (1) 说明1、2、3区域光的偏振态。
- (2) 求3区域光强与入射光强 I_0 之比。
- (3) 若晶片C的光轴与晶片表面垂直，再次求 3 区域光强与入射光强 I_0 之比。
- (4) 若 $P_1//P_2$ ，以上情况如何？





解：(1) 1区域光的偏振态



2区域光的偏振态取决于 $\Delta\varphi$

$$\Delta\varphi = (n_o - n_e)d \frac{2\pi}{\lambda} = (1.658 - 1.486) \times 1.713 \times 10^{-4} \times \frac{2\pi}{589.3 \times 10^{-9}}$$

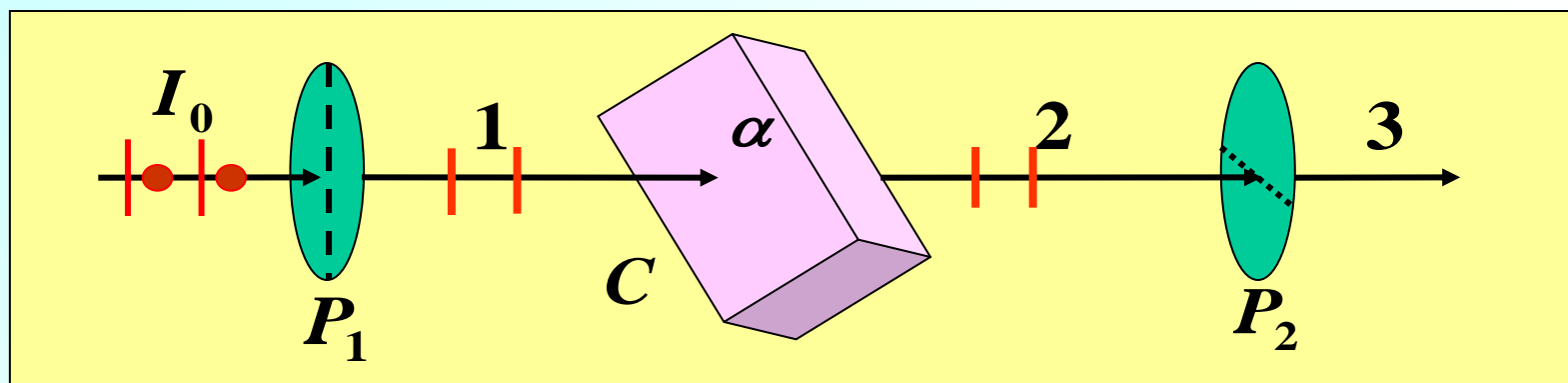
$$= 100\pi \quad \text{符合 } \Delta\varphi = k\pi$$

k 为偶数, 偏振方向不变, 偏振态与1区域相同。

3区域光的偏振态

$$\Delta\varphi = 100\pi + \pi = 101\pi \quad \text{因相消干涉: } I_3 = 0$$

(2) 3区域光强与入射光强 I_0 之比 $\frac{I_3}{I} = 0$

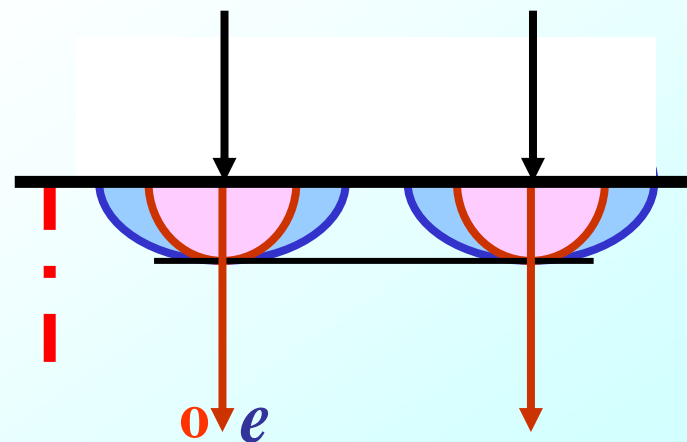


解：(3) 晶片 C 的光轴与晶片表面垂直
 区域 1 的线偏振光沿光轴透过晶片，
 无双折射，偏振方向不变，

P_2 也无附加光程差，无光透过。

$$I_3 = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{I_3}{I} = 0$$

(4) 若 $P_1 // P_2$ ，请同学们自己讨论！



2. 人工双折射

利用偏振光的干涉研究材料内部应力分布

——光测弹性学

有些材料在力作用下变为各向异性，产生双折射

$$n_o - n_e \propto \text{应力}$$

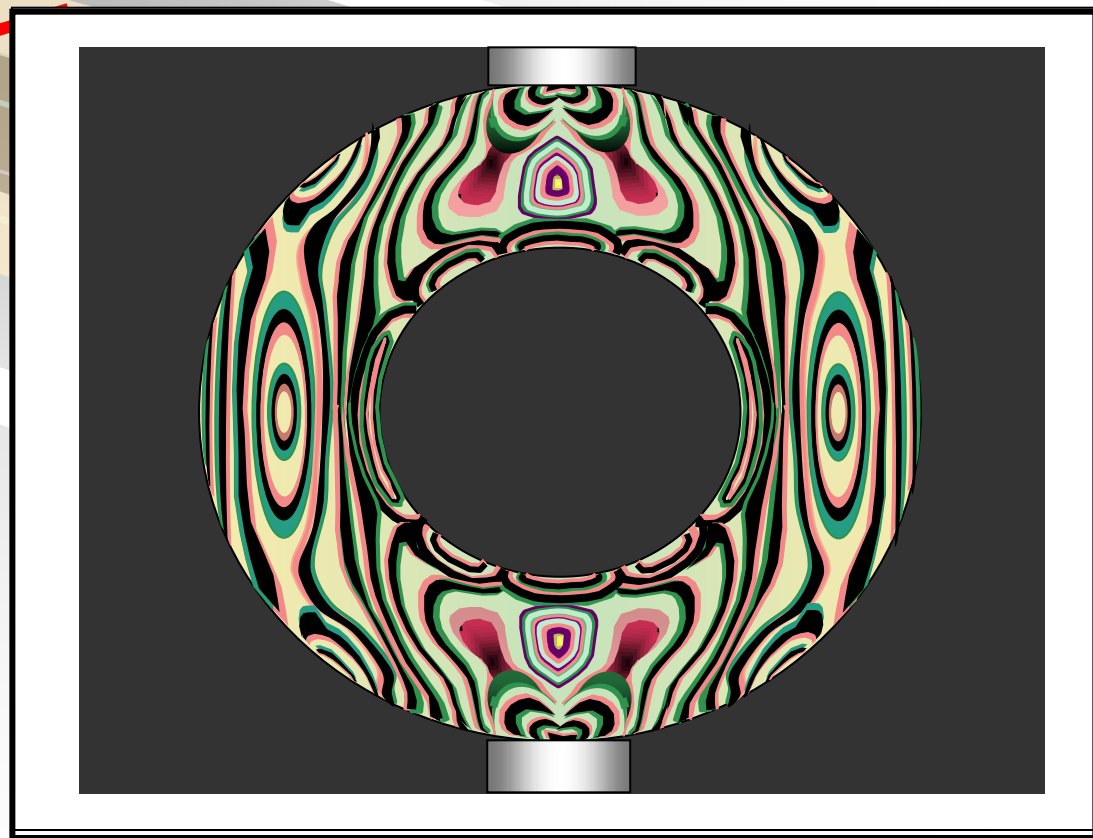
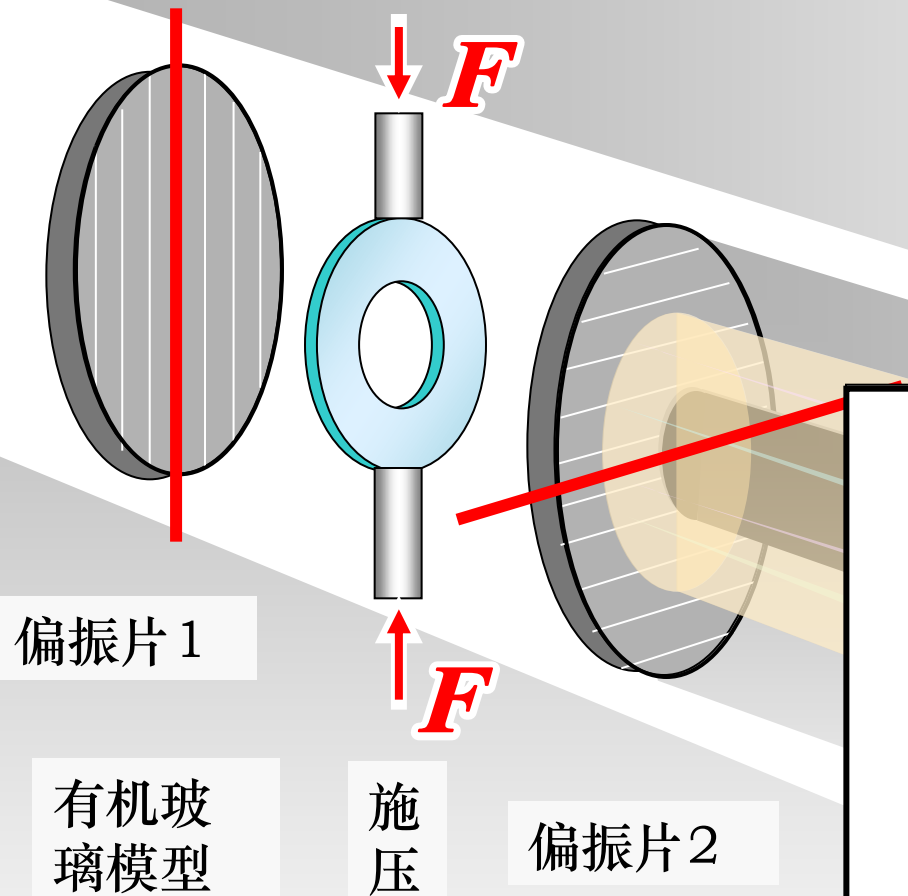
同一应力处，对应同一条纹，白光照呈彩条。



应力双折射

机械应力作用产生的各向异性

光弹性效应

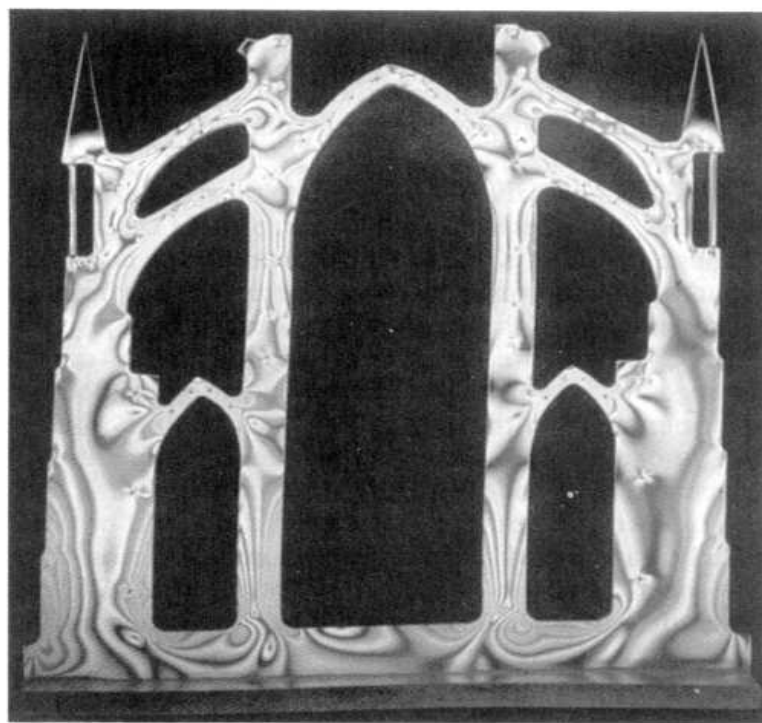


- 施压方向形成光轴
- 双折射与应力成正比
- 用于应力分析研究

教学视频

应力双折射显示的偏振光干涉条纹

钓钩的光弹图象



模型的光弹图象

第13章 波动光学

光程: $r = \sum n_i L_i$ 光程差: $\Delta r = n_2 L_2 - n_1 L_1$

光程差与位相差: $\Delta\varphi = 2\pi \left(\frac{L_2}{\lambda_2} - \frac{L_1}{\lambda_1} \right) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_2 L_2 - n_1 L_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \delta$

干涉条件: $\Delta r = \begin{cases} k\lambda, & \text{相长} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2}, & \text{相消} \end{cases} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

杨氏双缝干涉:

$$\Delta r = d \sin \theta = d \frac{x}{D} = \begin{cases} k\lambda, & \text{明纹} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2}, & \text{暗纹} \end{cases} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

强度分布: $I_\theta = I_0 \cos^2 \beta, \quad \beta = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$

半波损失：
 光疏介质 (折射率小) $\xrightarrow{\text{有半波损失}}$ 光密介质 (折射率大)
 $\xleftarrow{\text{无半波损失}}$

等倾干涉：
$$\delta = 2d\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda, & \text{明纹} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2}, & \text{暗纹} \end{cases}$$

等厚干涉：
$$\delta = 2nd + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda, & \text{明纹} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2}, & \text{暗纹} \end{cases}$$

相邻两明（暗）纹之间的：

厚度差： $\Delta d = \frac{\lambda}{2}$ 条纹间距： $L = \frac{\lambda}{2\sin\theta}$

牛顿环：暗纹半径 $r_k = \sqrt{kR\lambda}$ ★迈克尔逊干涉仪

★双缝、等倾、等厚干涉的条纹性质、动态反应！

单缝衍射（半波带法）：

$$\delta = a \sin \theta = \begin{cases} (2k+1)\frac{\lambda}{2}, & \text{明纹} \\ k\lambda, & \text{暗纹} \end{cases}, k = \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$a \sin \theta = k\lambda \quad (k=0) \quad \text{中央明纹}$$

单缝衍射强度： $I_{\theta} = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$ 其中 $\alpha = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$

中央明纹的线宽度： $\Delta x \approx 2f \frac{\lambda}{a}$ 半角宽度： $\theta_1 \approx \frac{\lambda}{a}$

双缝衍射：双缝干涉和单缝衍射的叠加

强度分布： $I_{\theta} = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \cos^2 \beta$

$$\alpha = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$$
$$\beta = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$$

缺级： $\frac{a}{d} = \frac{k'}{k}$ 缺 k 级 ★强度、缺级的计算，动态反应！

光栅方程（正入射时）：

$$d \sin \theta = k \lambda, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad \text{主极大, 亮线}$$

光栅强度分布：

$$I_{\theta} = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\sin N \beta}{\sin \beta} \right)^2$$

偏振：马吕斯定律：

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

布儒斯特定律：自然光以布儒斯特角入射到界面时，反射光为线偏振光

$$i_B = \operatorname{tg}^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

光具有波动性 { 干涉: 杨氏双缝、洛埃镜 ...
衍射: 单缝、双缝、光栅、圆孔、X射线 ...
偏振: 偏振态、双折射、色偏振 ...

那么，用光的波动性可否解释光的所有行为呢？



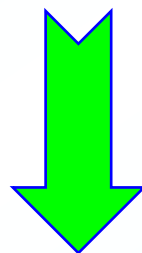
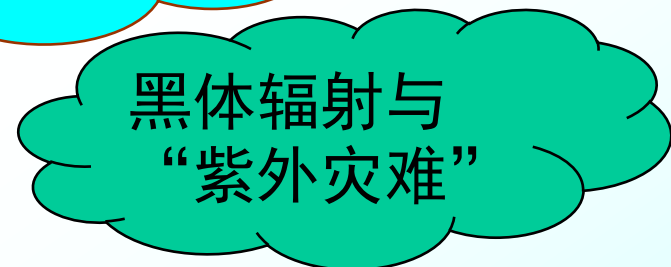
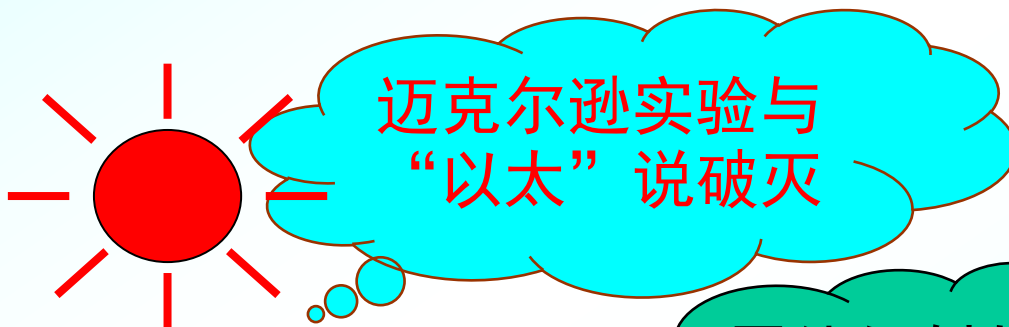
不尽然

第六篇 量子物理

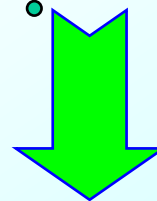
(Quantum Physics)

前言：19世纪末，“完美”的经典物理学

物理学晴朗天空飘着‘两朵乌云’：



相对论建立

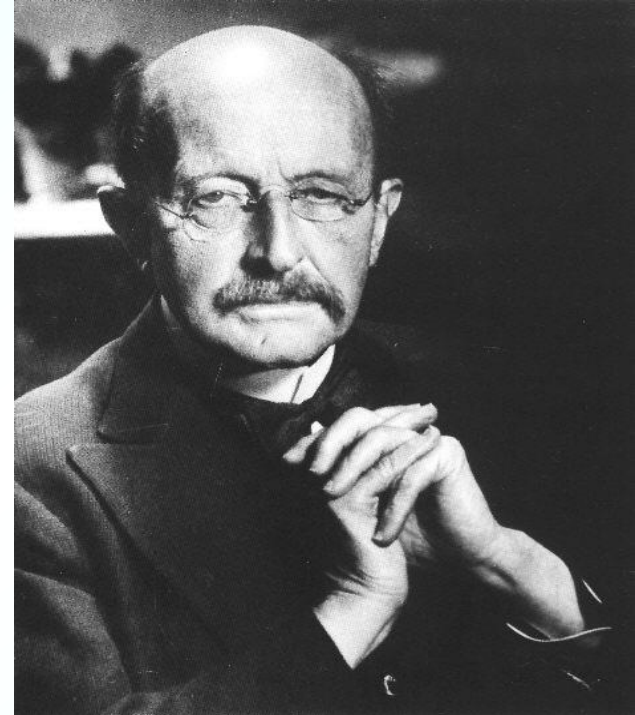
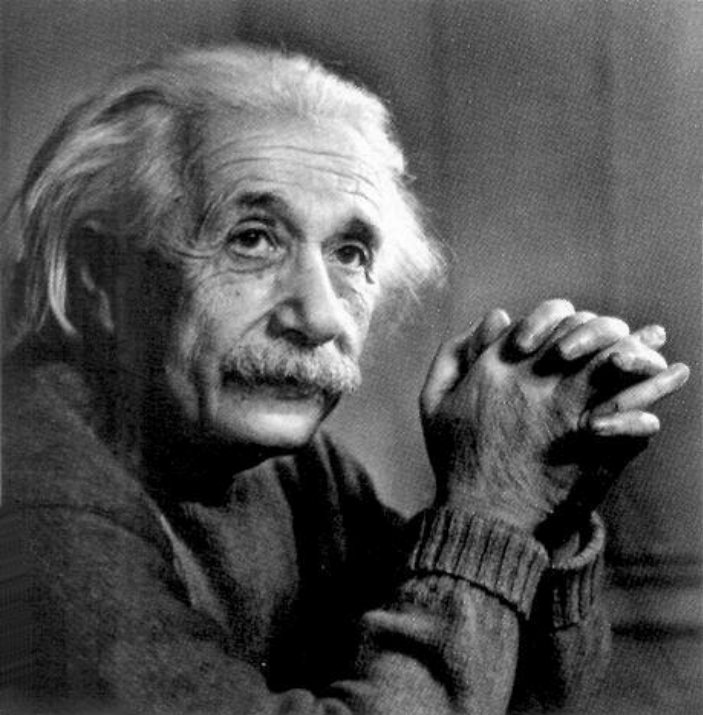


量子力学诞生

“The beauty and clearness of the dynamical theory, which asserts heat and light to be modes of motion, is at present obscured by two clouds”

----Kelvin

相对论和量子论是现代物理学的两大支柱

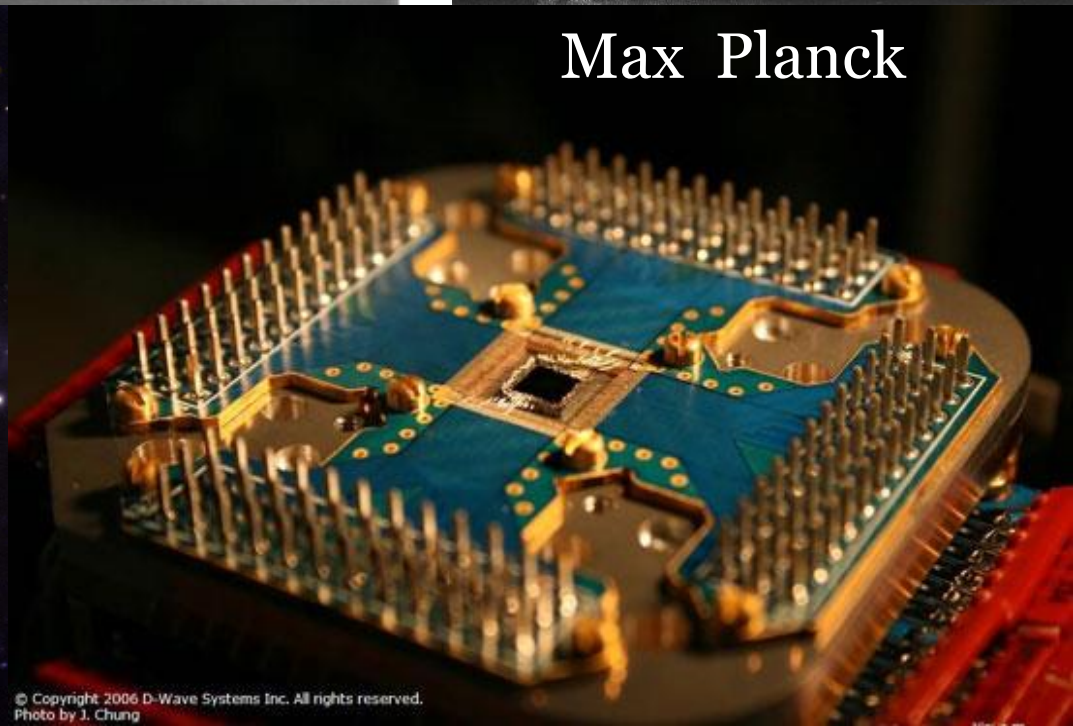


现代物理学的 两大代表人物

Albert Einstein



Max Planck



量子力学的建立与发展

量子概念的形成

普朗克能量量子假说



1918年Nobel Price

爱因斯坦光量子假说



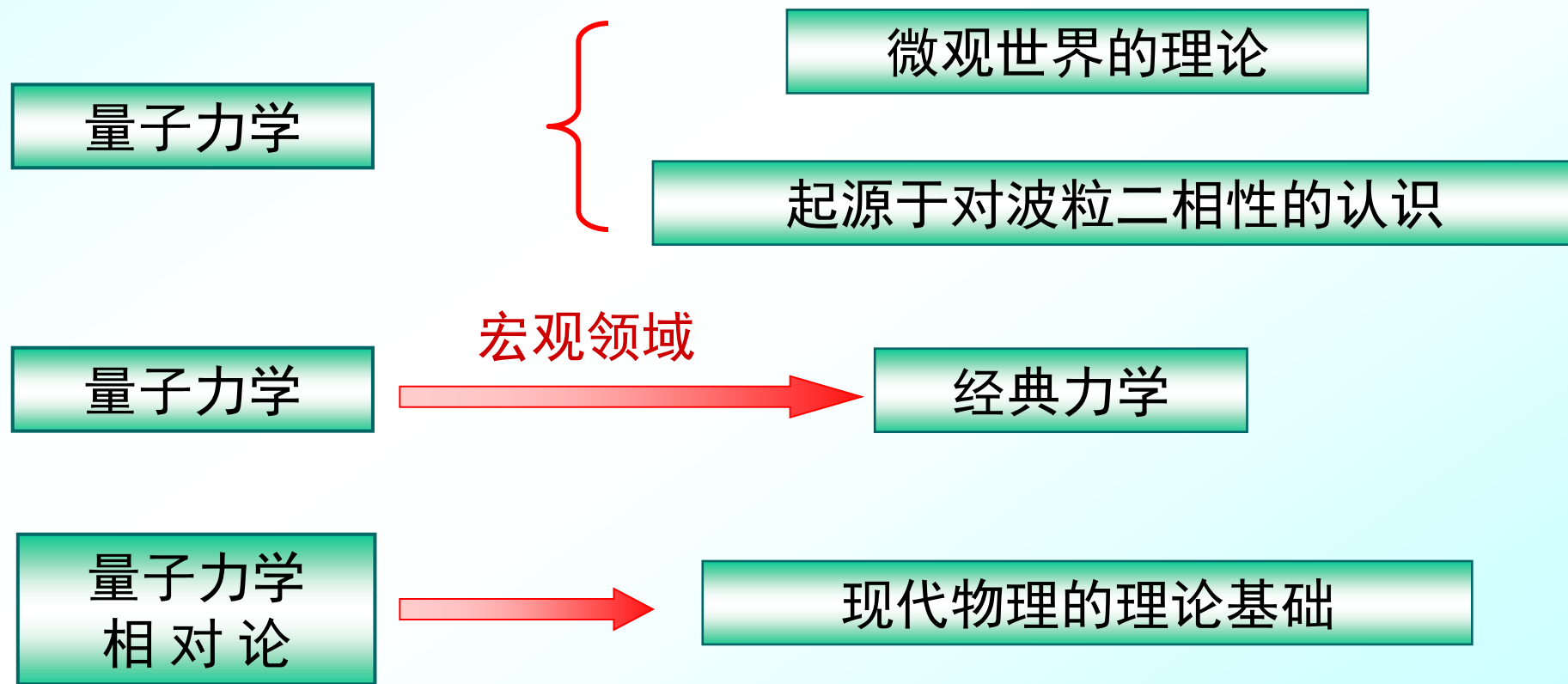
1921年Nobel Price

玻尔原子量子论



1922年Nobel Price

量子概念:是 1900 年普朗克首先提出的，距今已有一百多年的历史。其间，经过爱因斯坦、玻尔、德布罗意、玻恩、海森堡、薛定谔、狄拉克等许多物理大师的创新努力，到 20 世纪 30 年代，就建立了一套完整的量子力学理论。





1927年第五次索尔维会议 (Conseils Solvay)



SOLVAY CONFERENCE 1927

colourized by pastincolour.com

	A. PICARD	E. HENRIOT	P. EHRENFEST	Ed. HERSEN	Th. DE DONDER	E. SCHRÖDINGER	E. VERSCHAFFELT	W. PAULI	W. HEISENBERG	R.H FOWLER	L. BRILLOUIN
P. DEBYE	M. KNUDSEN	W.L. BRAGG	H.A. KRAMERS	P.A.M. DIRAC	A.H. COMPTON	L. de BROGLIE	M. BORN	N. BOHR			
I. LANGMUIR	M. PLANCK	Mme CURIE	H.A. LORENTZ	A. EINSTEIN	P. LANGEVIN	Ch.E. GUYE	C.T.R. WILSON	O.W. RICHARDSON			

Absents : Sir W.H. BRAGG, H. DESLANDRES et E. VAN AUBEL