

第六章：晶体偏振光学

6-01 双折射

1. 双折射的基本现象
2. 单轴晶体中的波面
3. 惠更斯作图法

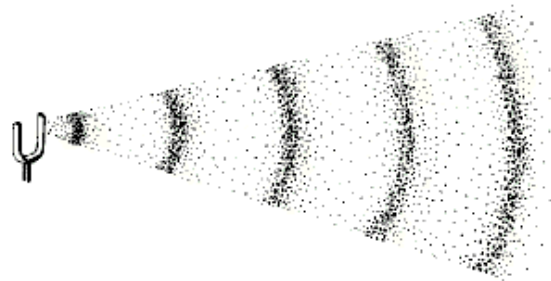
波的分类

波：振动在空间的传播

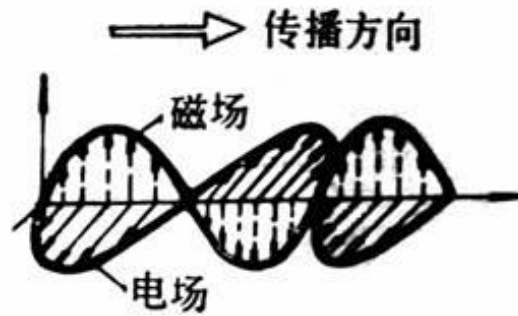
标量波：温度、密度、.....

矢量波：电磁波、.....

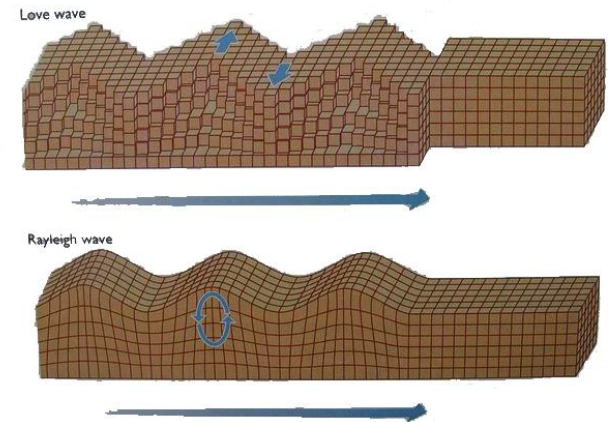
张量波：固体中的声波、地震波.....



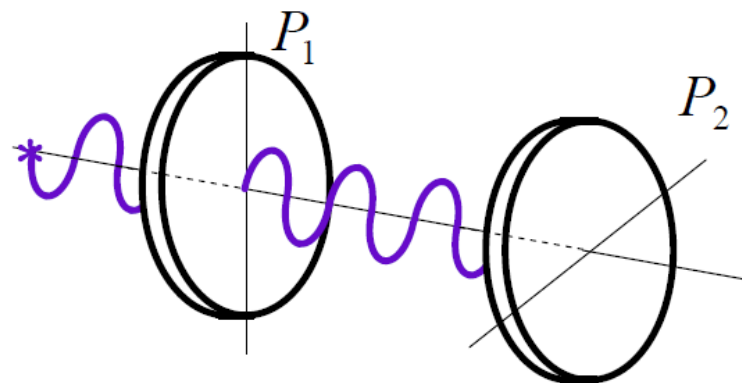
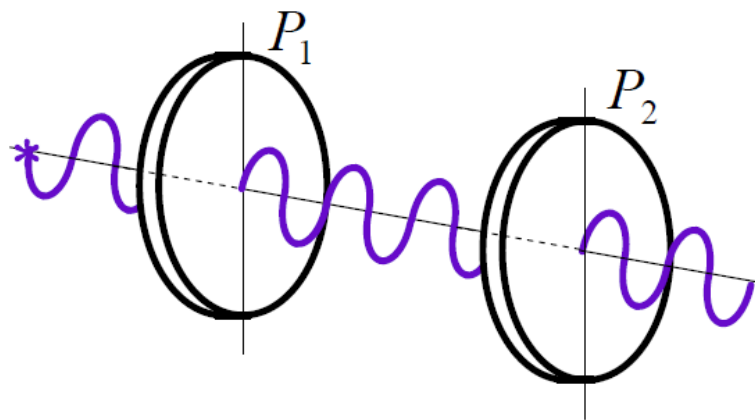
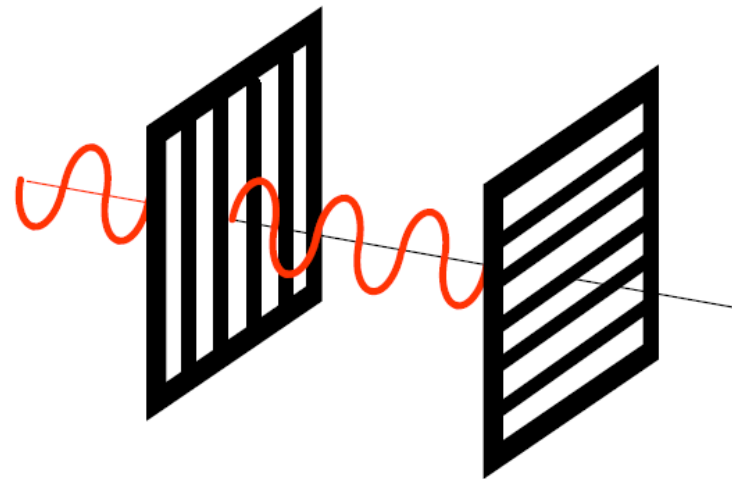
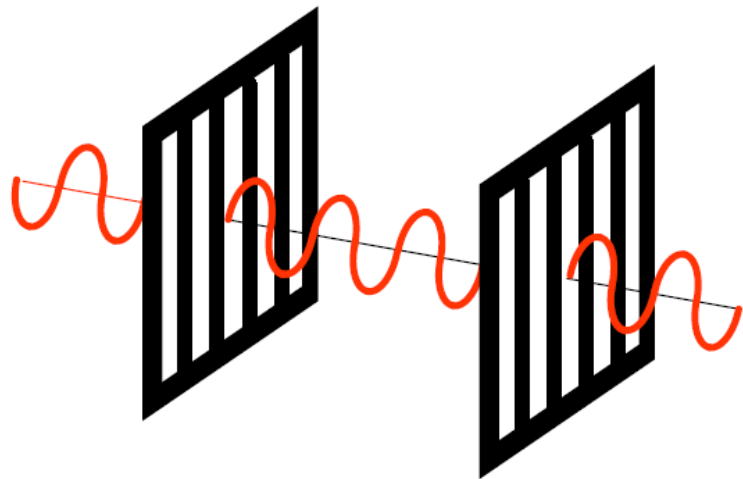
空气中的声波
—疏密波(无偏振)



电磁场—矢量波



地震波—张量波



1. 双折射的基本现象

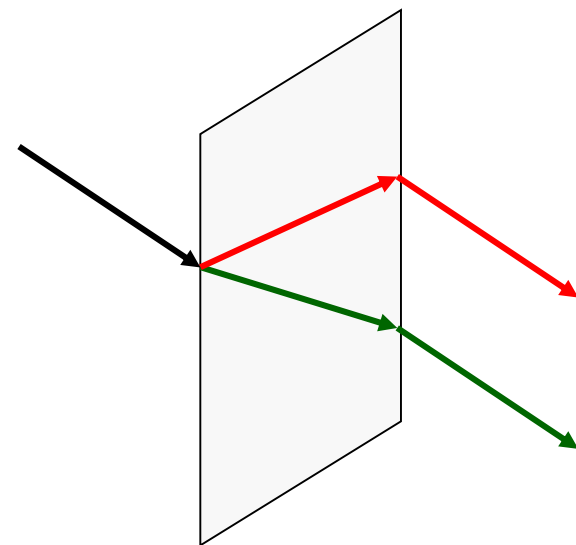
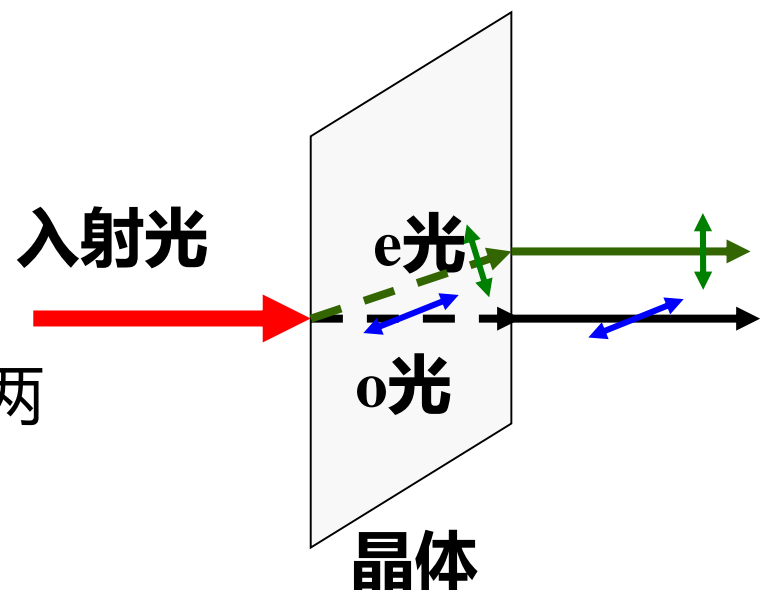


方解石晶体的双折射
(**double refraction, birefringence**)

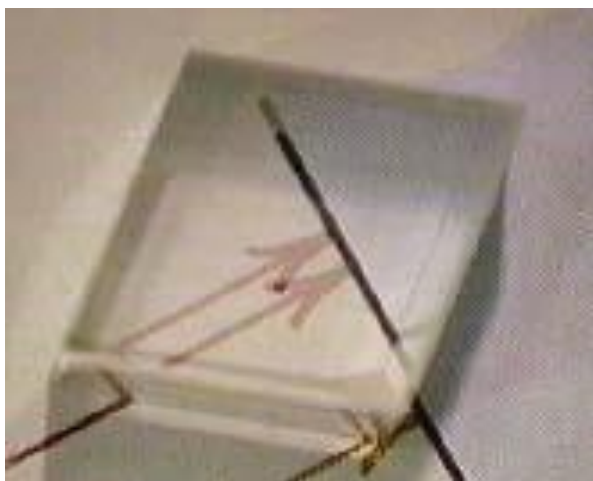


双折射

- 一束入射到介质中的光经折射后变为两束光，称为**双折射**。
- 折射后的两束光都是**线偏振光**。
- 一束遵循折射定律，称为**寻常光**（**o光** ordinary ray）。
- 一束不遵循折射定律，称为**非常光**（**e光**， extraordinary ray）。
- 从晶体中射出后，不再称o光、e光



方解石双折射光的偏振态



红色箭头经过
方解石晶体的
两个像



经过线偏振器
后o光的像



将线偏振器旋
转 90° 后，e光
的像

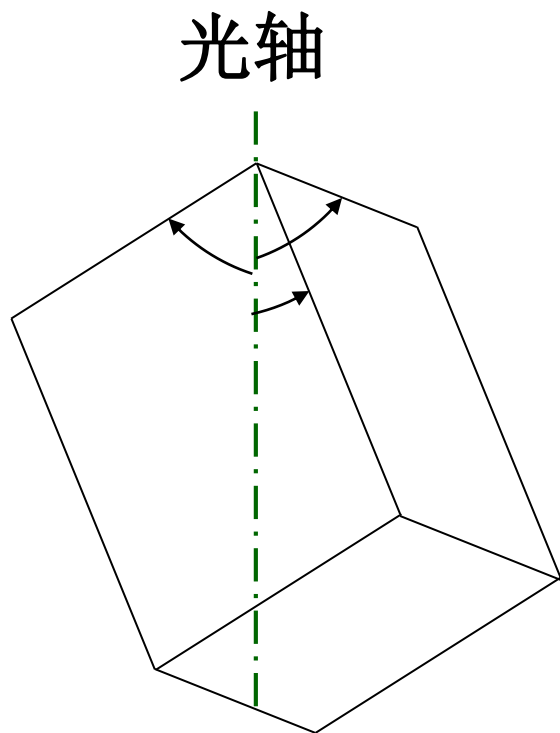
双折射晶体

- 能够产生双折射的晶体
- 它们都是具有**各向异性**结构的。
- 方解石晶体，即 CaCO_3 ，碳酸钙的**三角晶系**，是一种典型的双折射晶体（**单轴**）。常含杂质，无色的称**冰洲石**晶体
- 石英（水晶）、红宝石、冰等也是双折射晶体（**单轴**）。
- 云母、蓝宝石、橄榄石、硫黄等是另一类双折射晶体（**双轴**）。

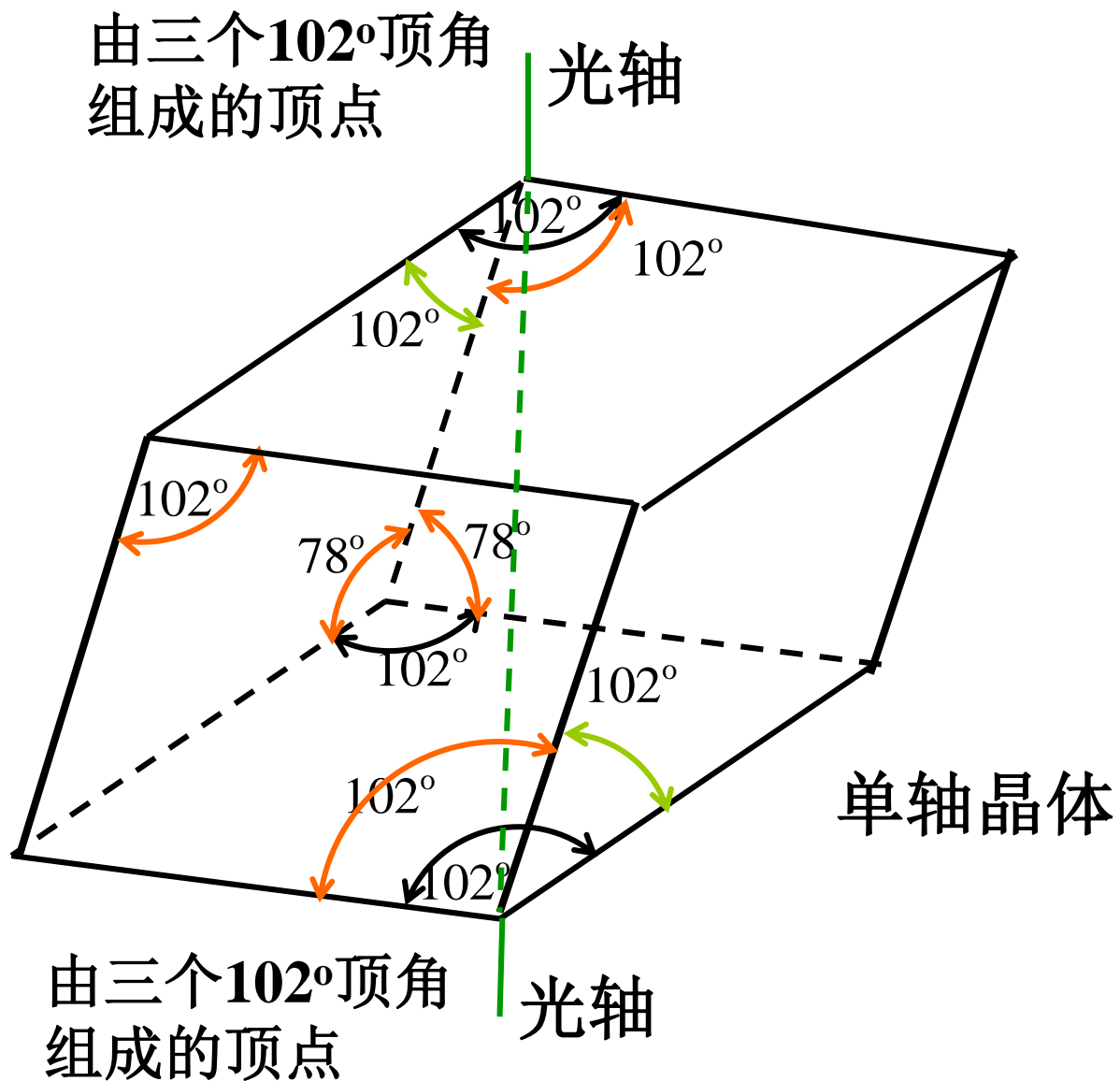
双折射晶体的特征参量

1. 晶体的**光轴**：光沿此方向入射时无双折射。
 - 单轴晶体：方解石晶体、石英、红宝石、冰，等等。
 - 双轴晶体：云母、蓝宝石、橄榄石、硫黄，等等。

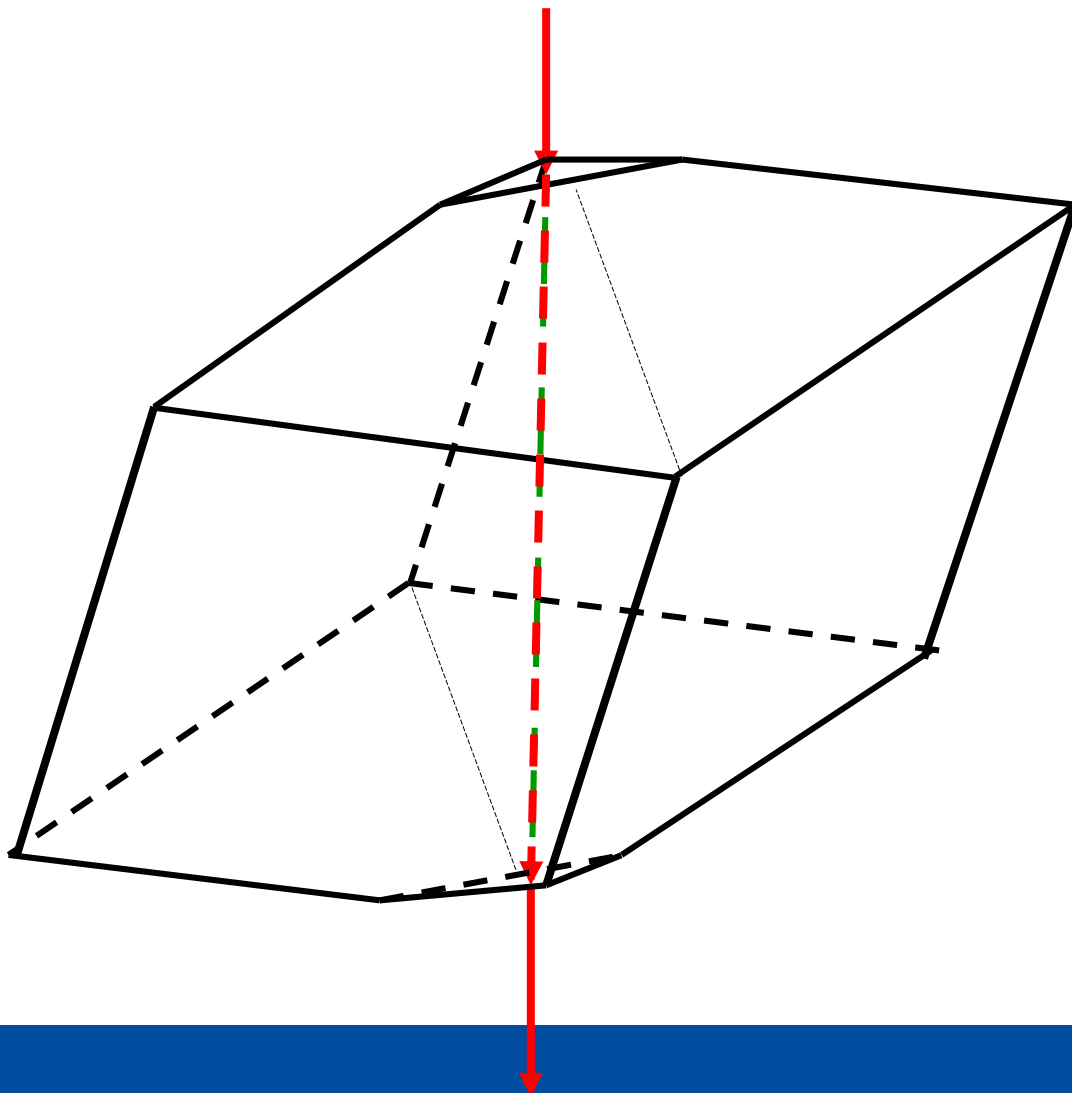
方解石的光轴



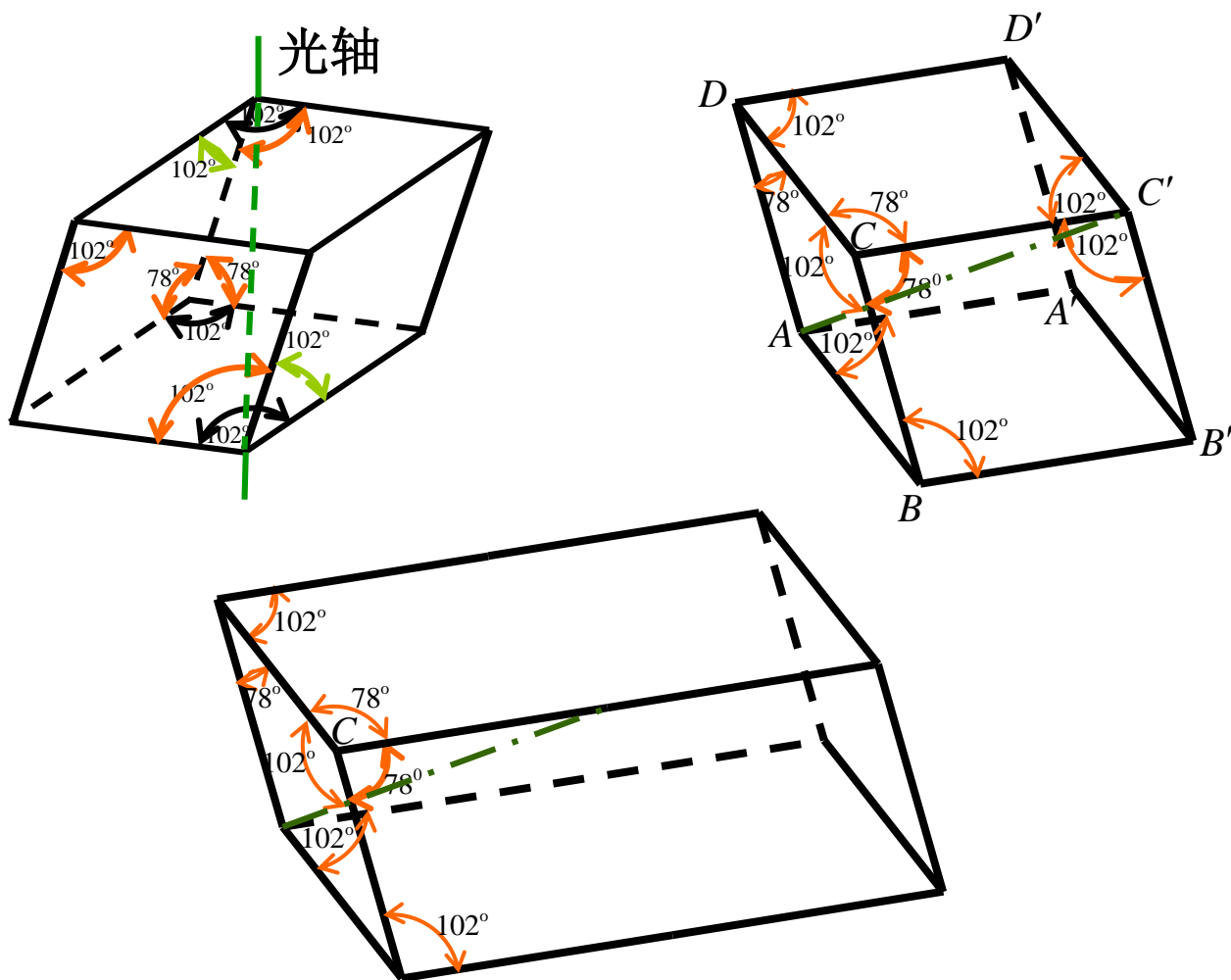
三角晶系



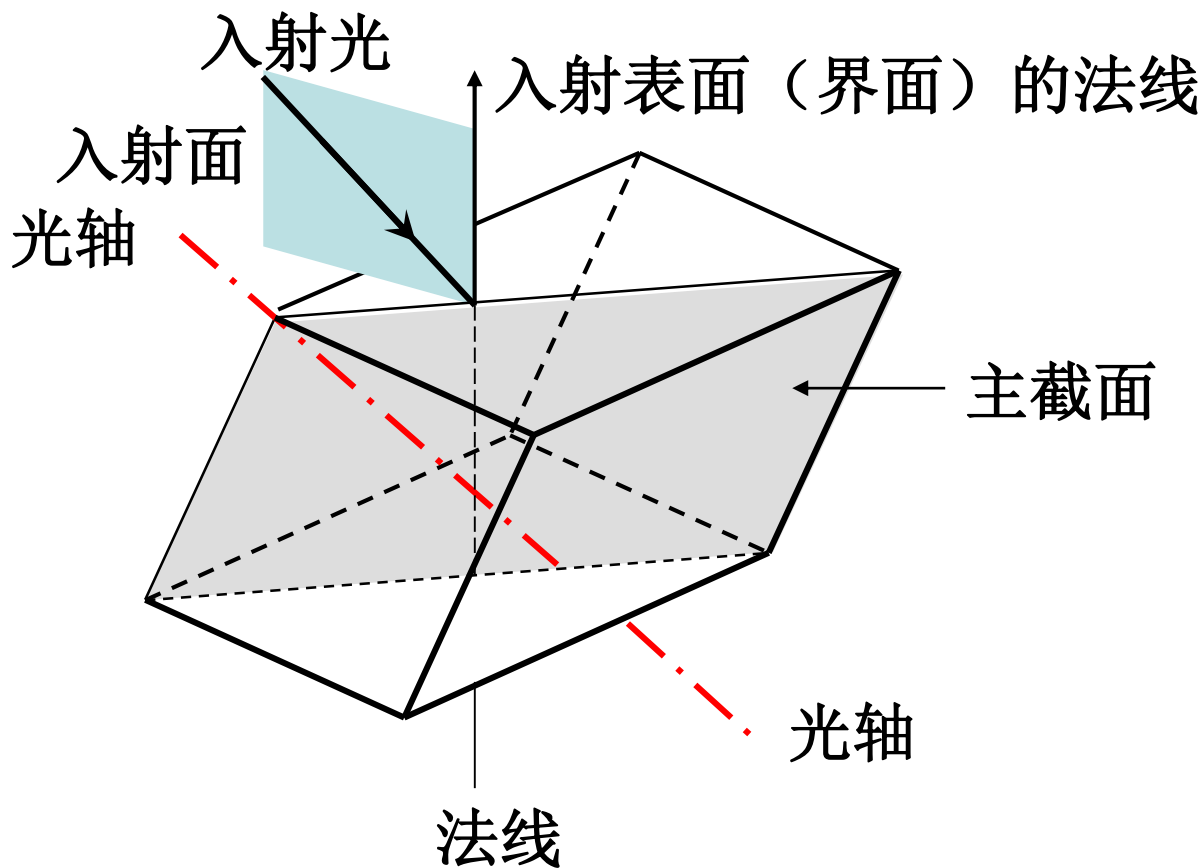
沿光轴入射，无双折射



不同视角、不同大小的时的光轴

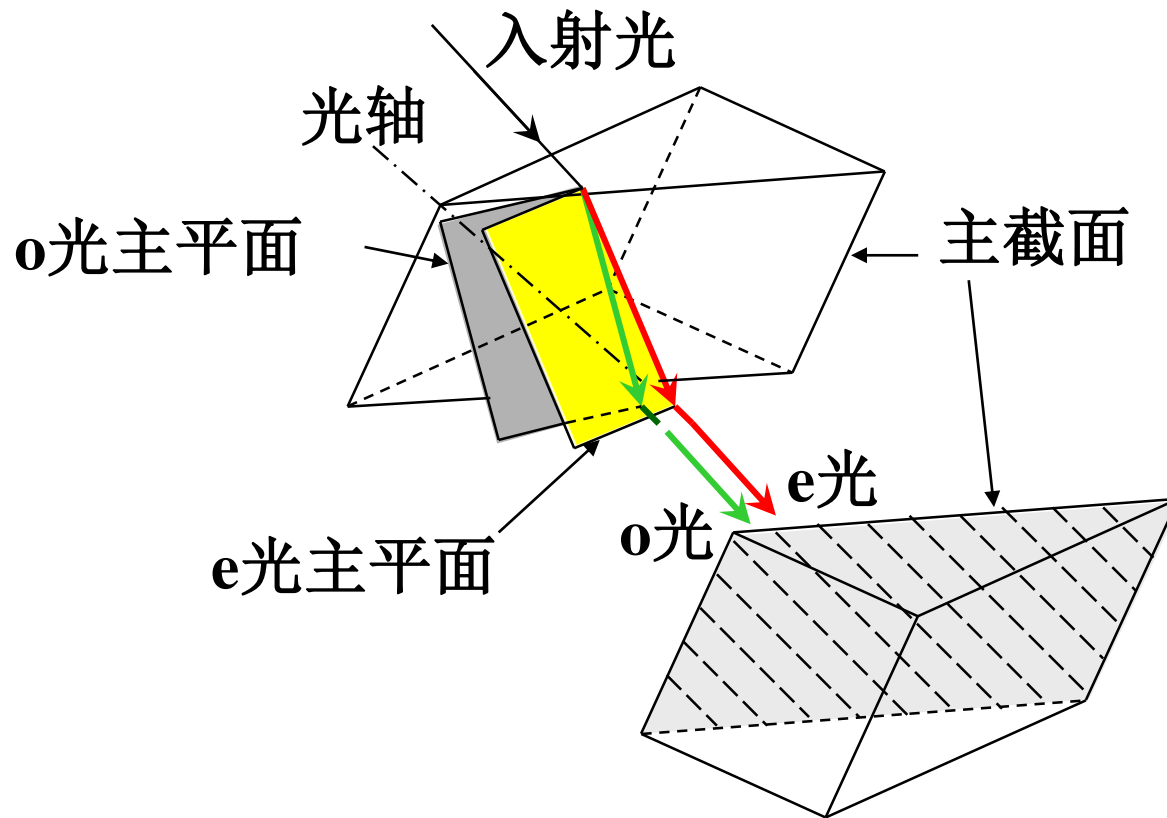


2. **主截面**：入射界面（晶体表面）的**法线**与**光轴**形成的平面。是与晶体相关的，与光线无关。

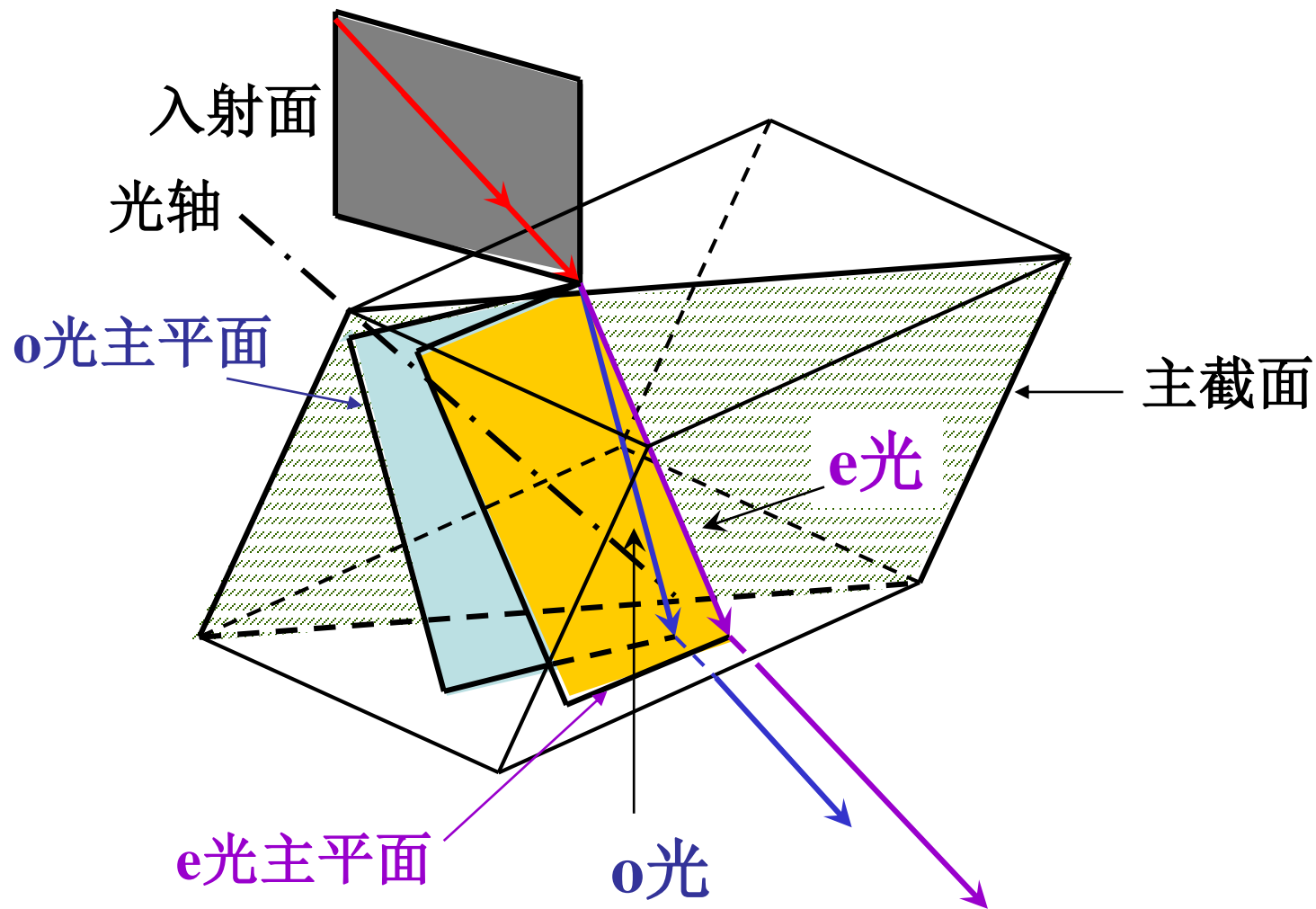


3. **主平面**：晶体中的**光线**与**光轴**所形成的平面。

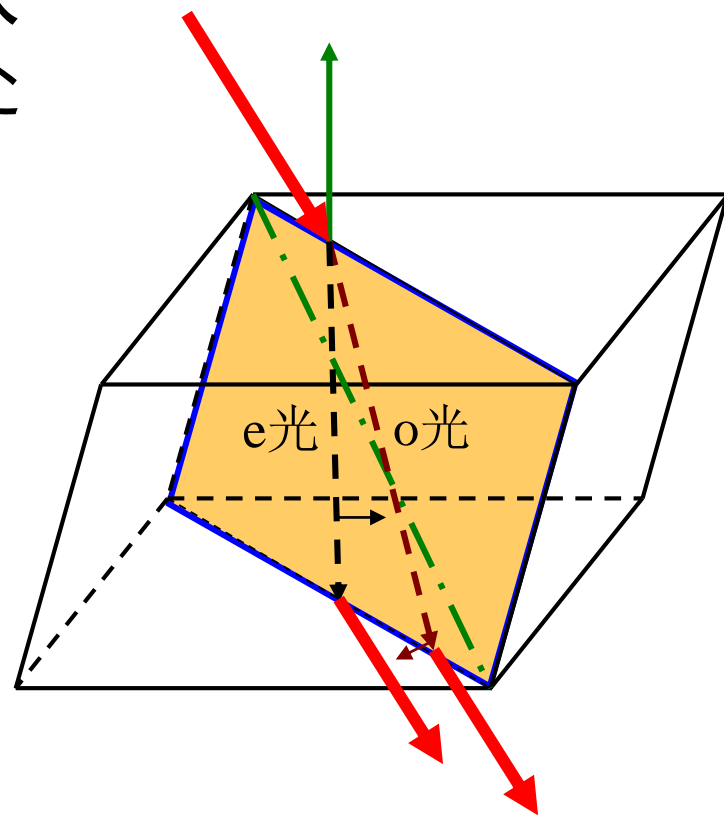
- **o光主平面**， o光：振动方向垂直于o光主平面，即电矢量垂直于光轴。
- **e光主平面**， e光电矢量平行与e光主平面。



一般情况下，各个面并不重合

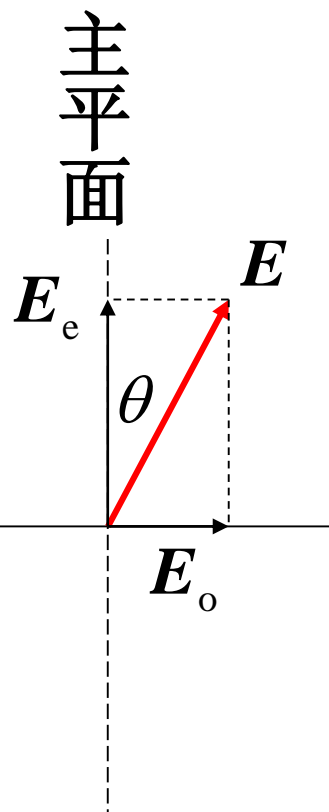
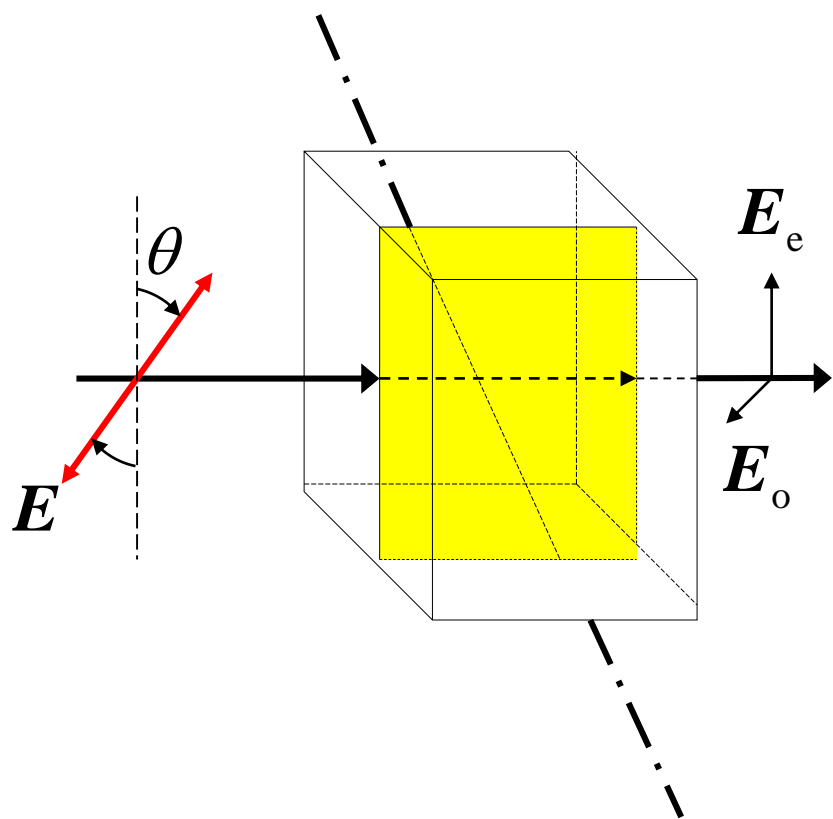


- 选择合适的入射方向，可以使入射面与主截面重合，这时光轴处于入射面之中。
- o光主平面、e光主平面重合，且均与主截面重合。
- o光：电矢量垂直于光轴，垂直于o光主平面（主截面）
- e光：电矢量平行于主平面，即电矢量在e光主平面（主截面）内。



o光、e光的光强

入射面与主截面重合
o光e光主平面重合



$$E_e = E \sin \theta$$

$$E_o = E \cos \theta$$

$$A_e = A \sin \theta$$

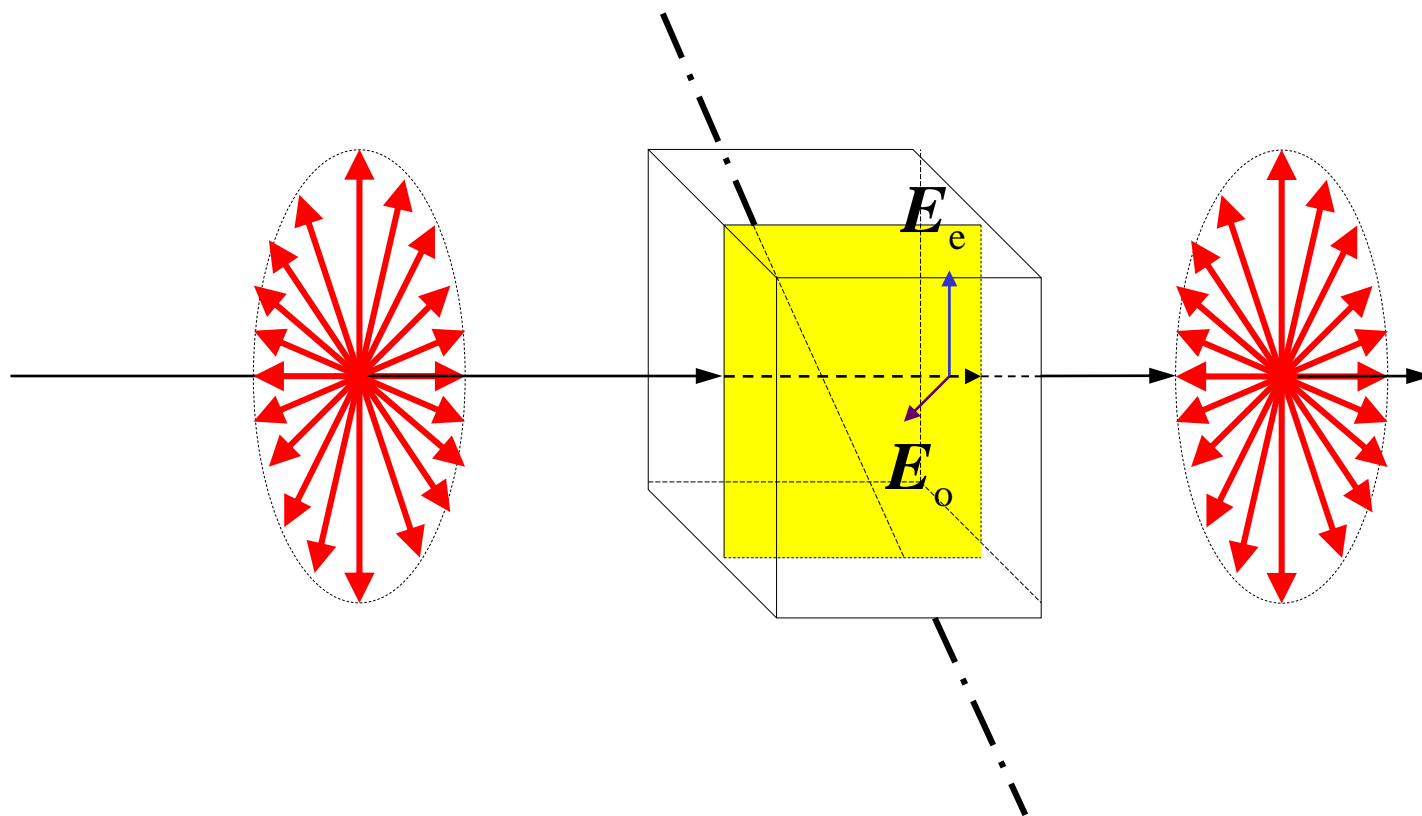
$$A_o = A \cos \theta$$

$$I_e = I \sin^2 \theta$$

$$I_o = I \cos^2 \theta$$

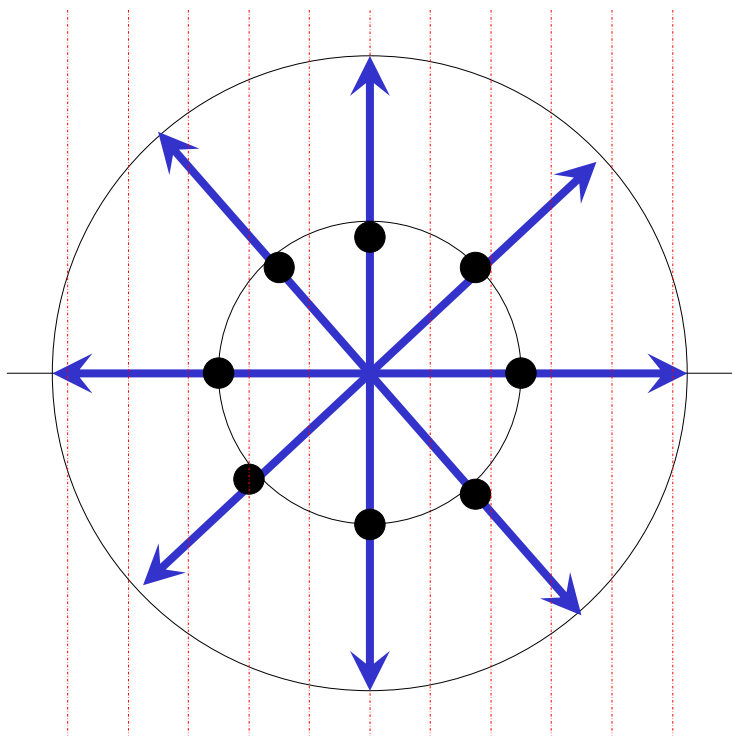
自然光入射时，如果不考虑吸收，有

$$I_o = I_e = \frac{1}{2} I$$

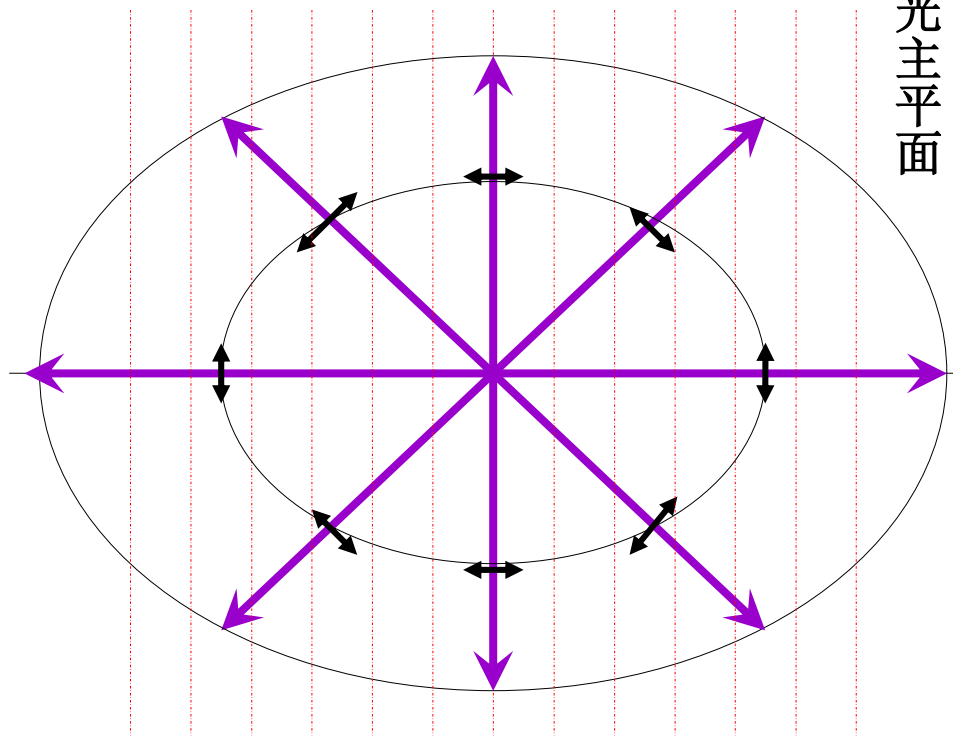


2.单轴晶体中的波面

o光



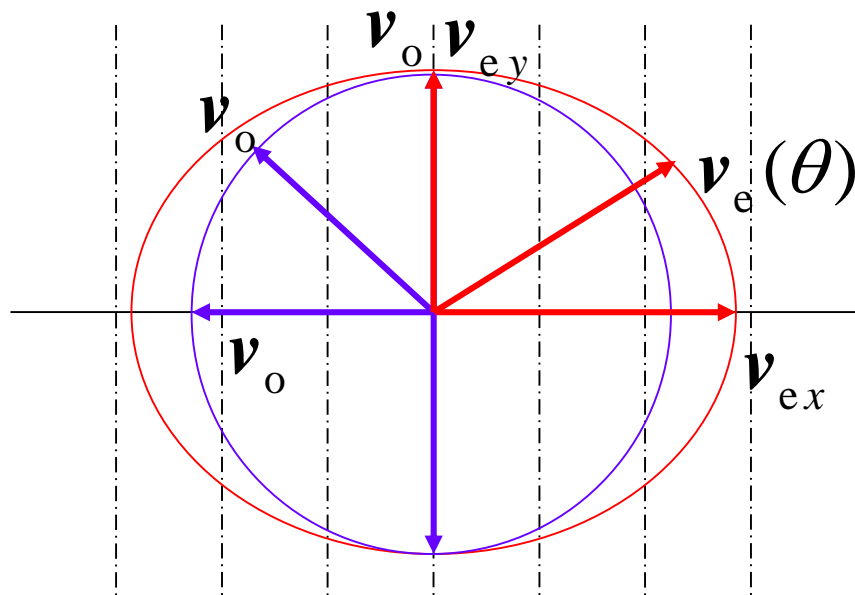
e光



光主平面

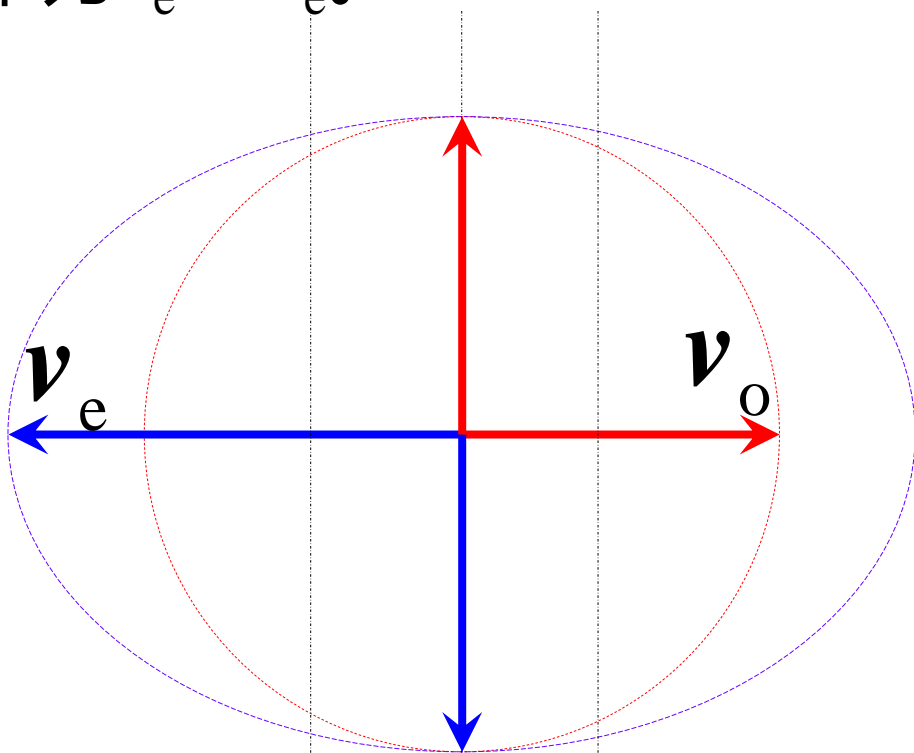
晶体中光波波面的特点

- 除了两个特殊的方向，**e光的传播方向与其波面不垂直**。这是因为其波面为椭球面。
- **o光的波面是球面**，故其传播方向处处与其波面垂直。

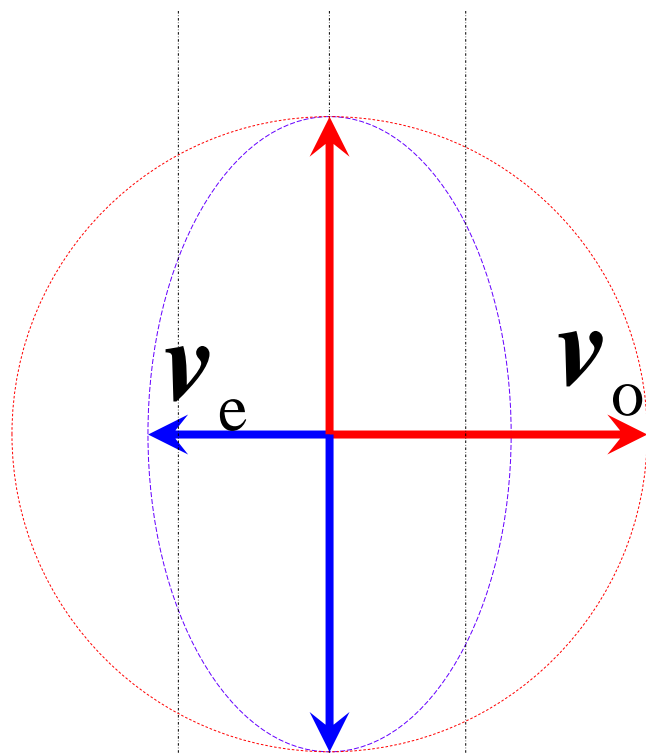


由于e光在不同方向传播速度不同，折射率也不同。定义e光的主折射率如下：

e光沿与光轴垂直方向传播时的速度为 v_e ，则其主折射率为 $n_e=c/v_e$ 。



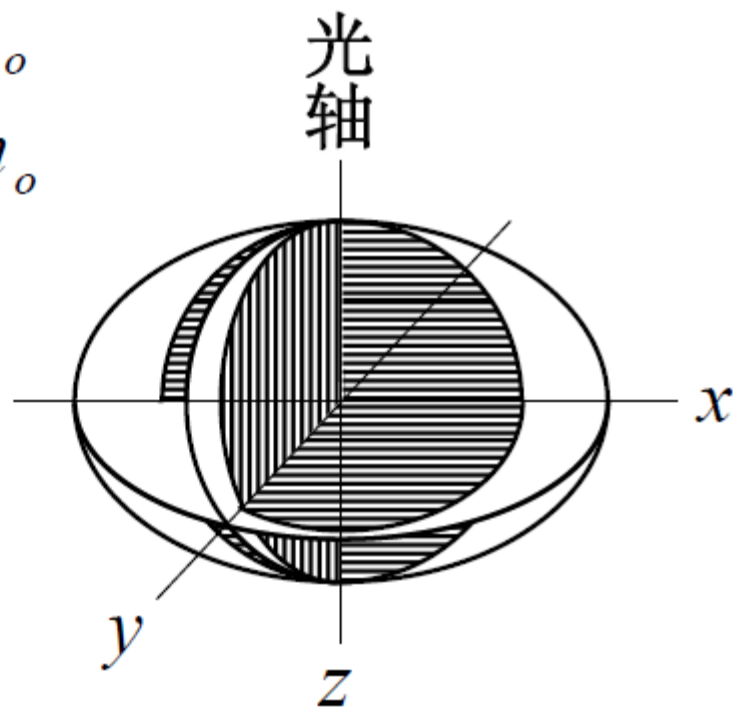
负晶体



正晶体

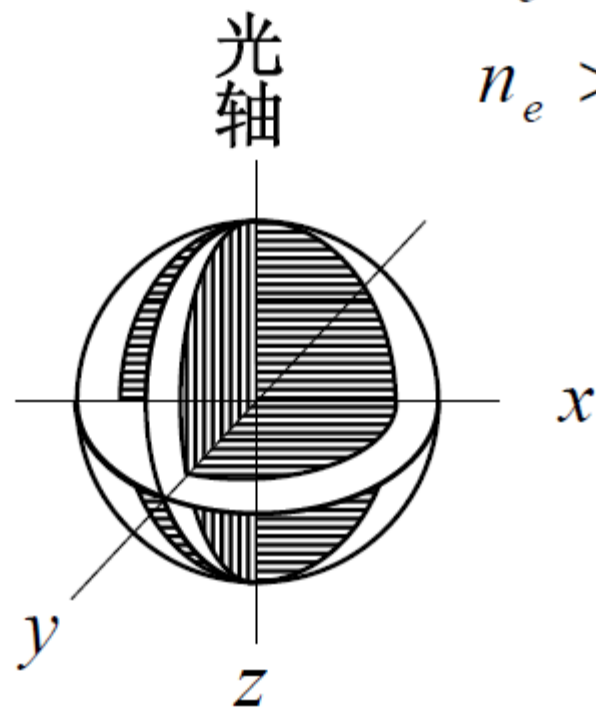
负晶体：冰洲石，e光为扁椭球
正晶体：石英，e光为长椭球

$$v_e > v_o$$
$$n_e < n_o$$



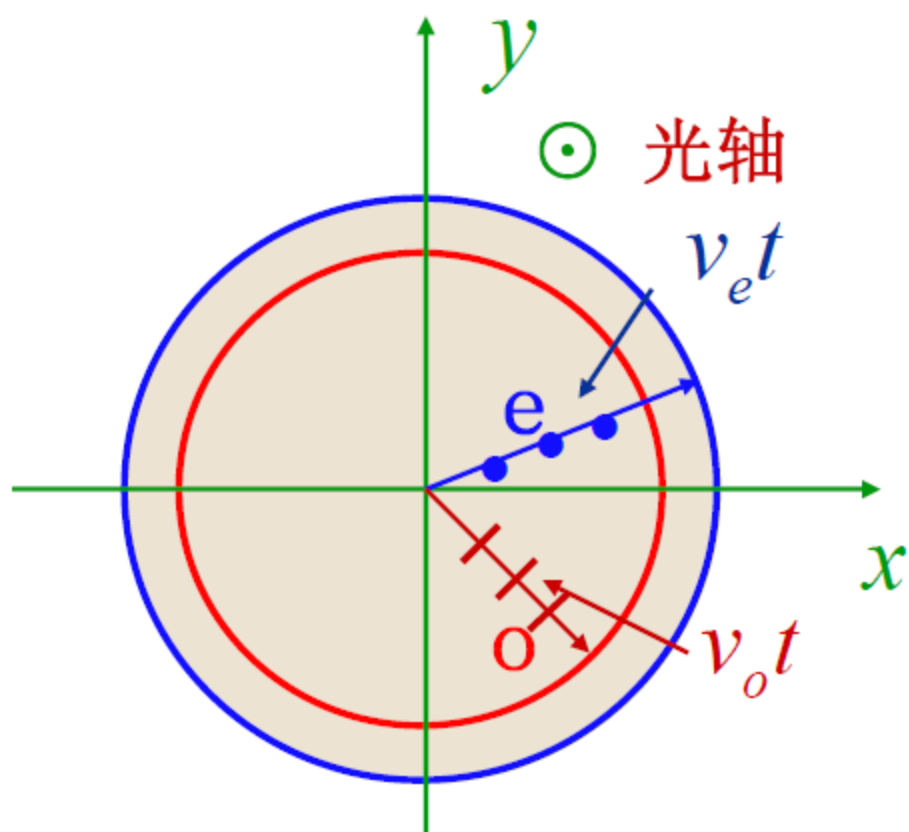
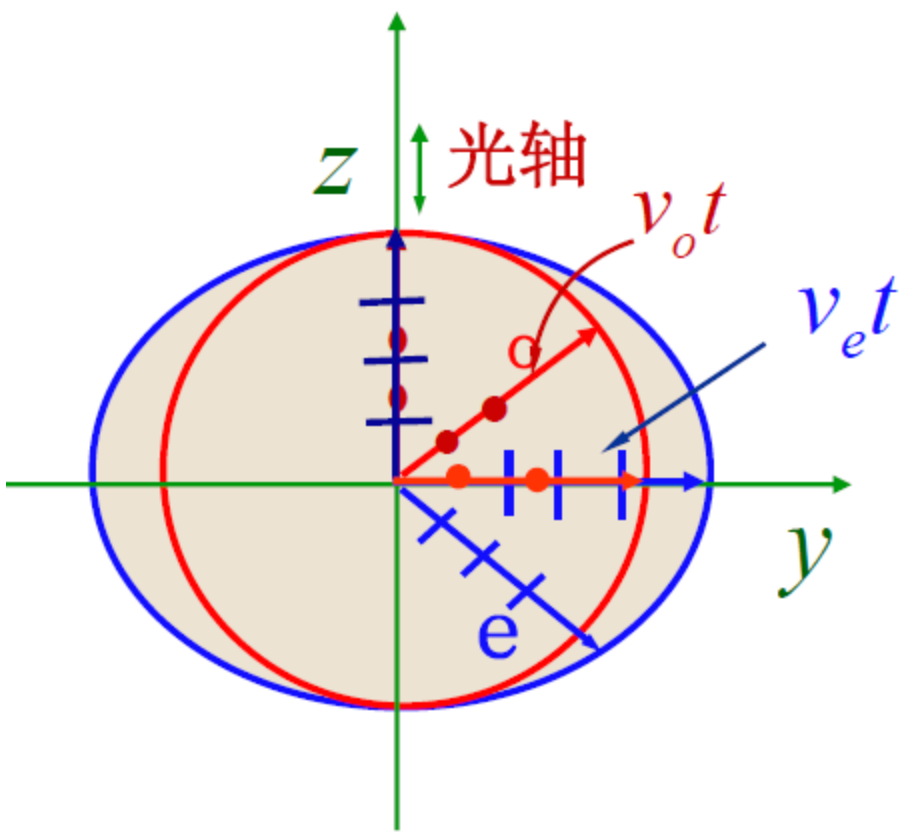
负晶体

$$v_e < v_o$$
$$n_e > n_o$$

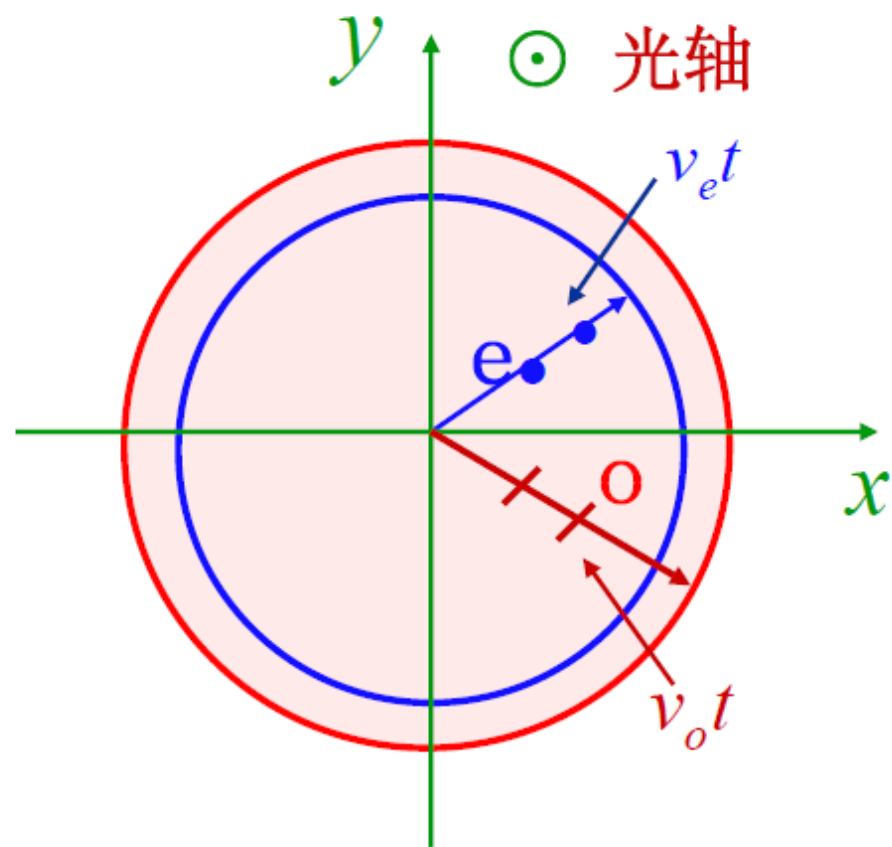
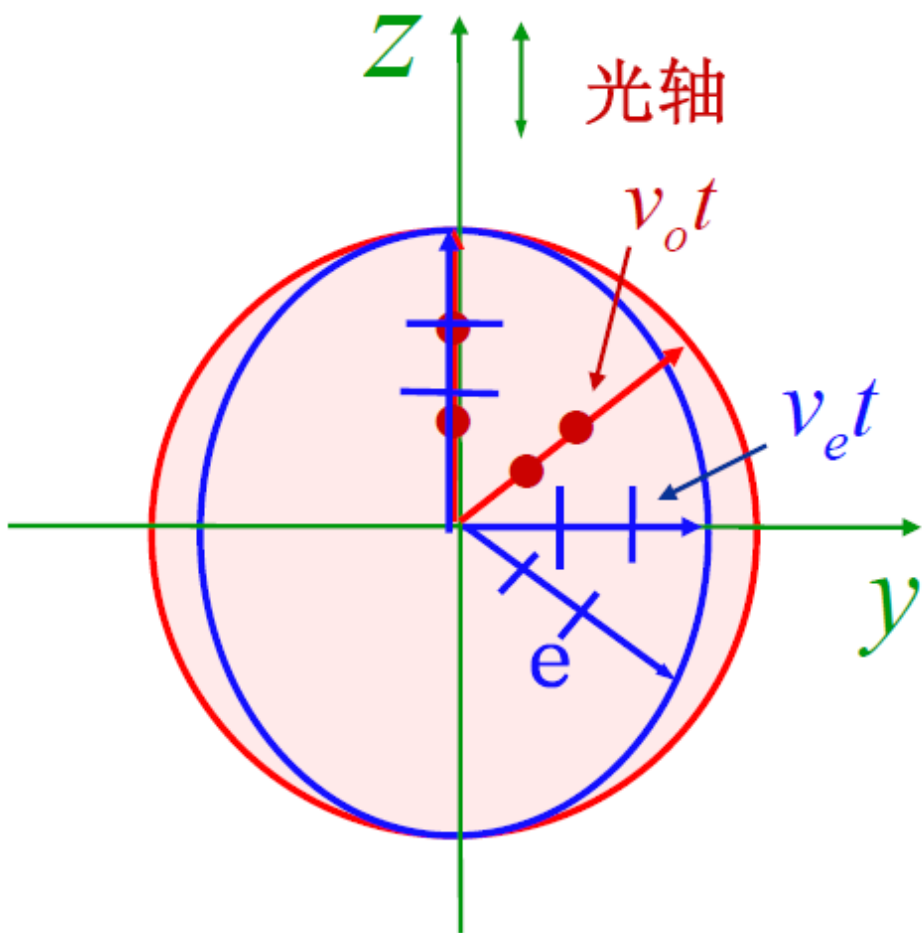


正晶体

负晶体: $n_e < n_o$

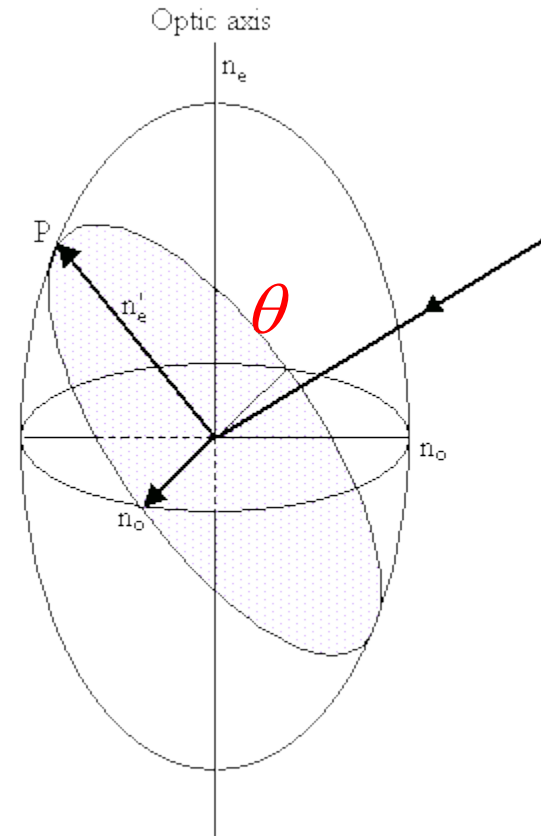


正晶体: $n_e > n_o$



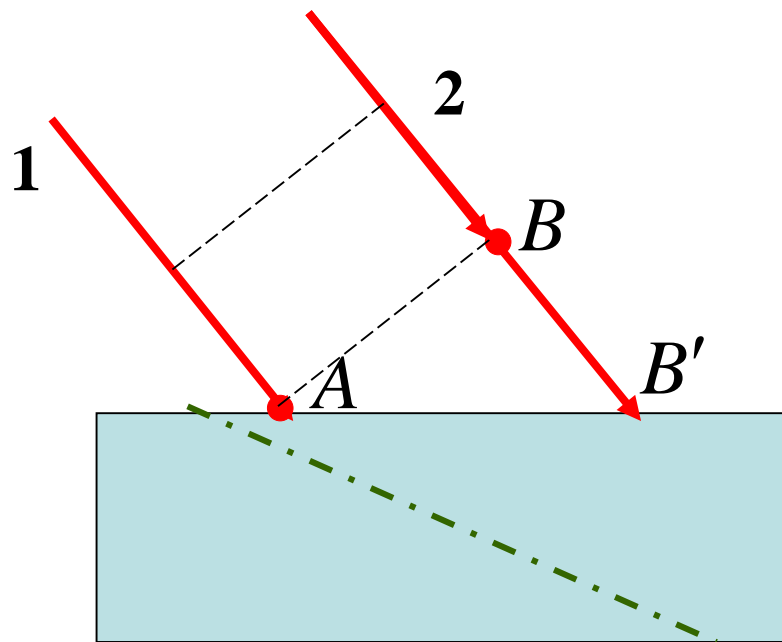
折射率椭球

$$n^2(\theta) = \frac{n_o^2 n_e^2}{n_e^2 \cos^2 \theta + n_o^2 \sin^2 \theta}$$

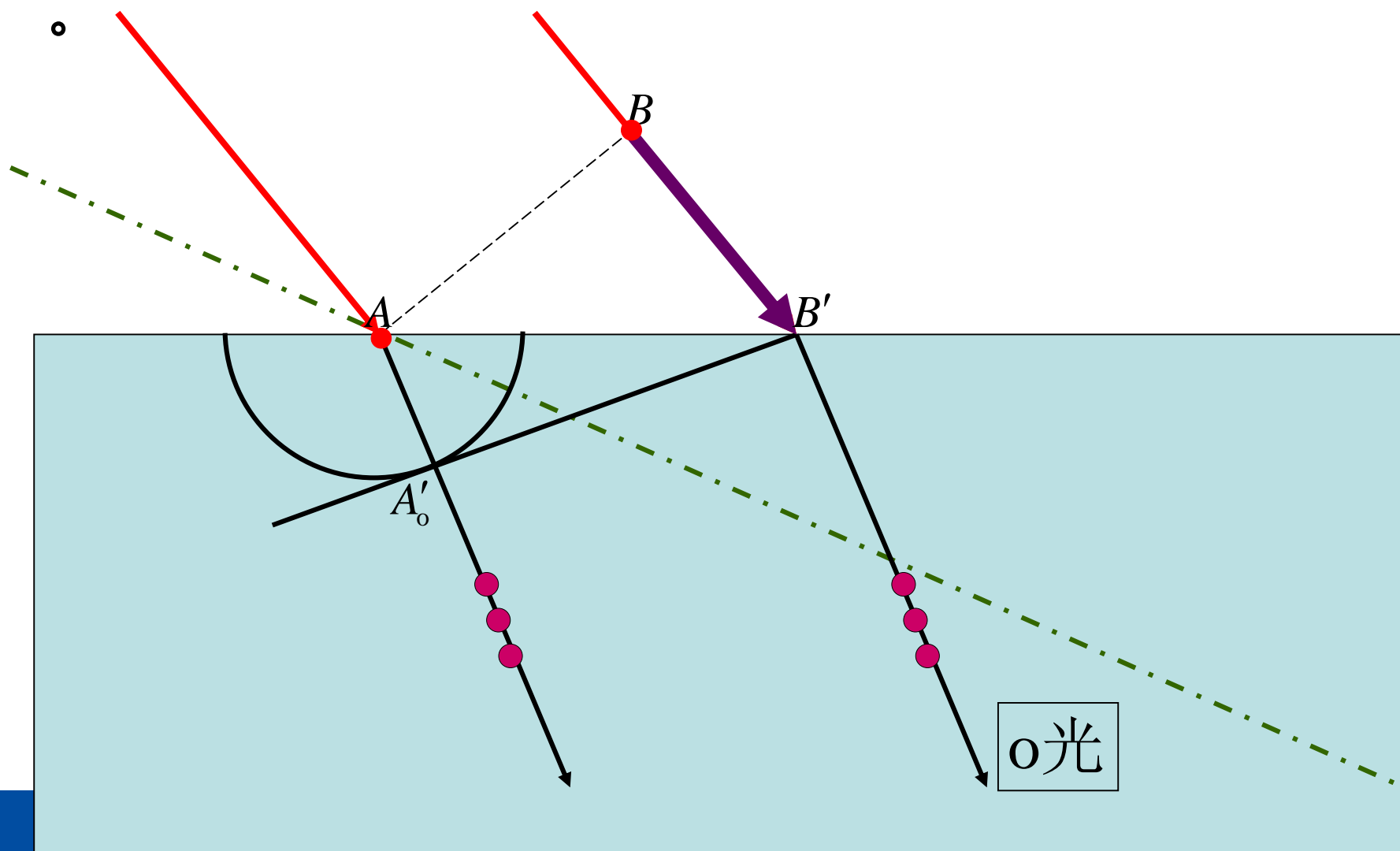


3.惠更斯作图法

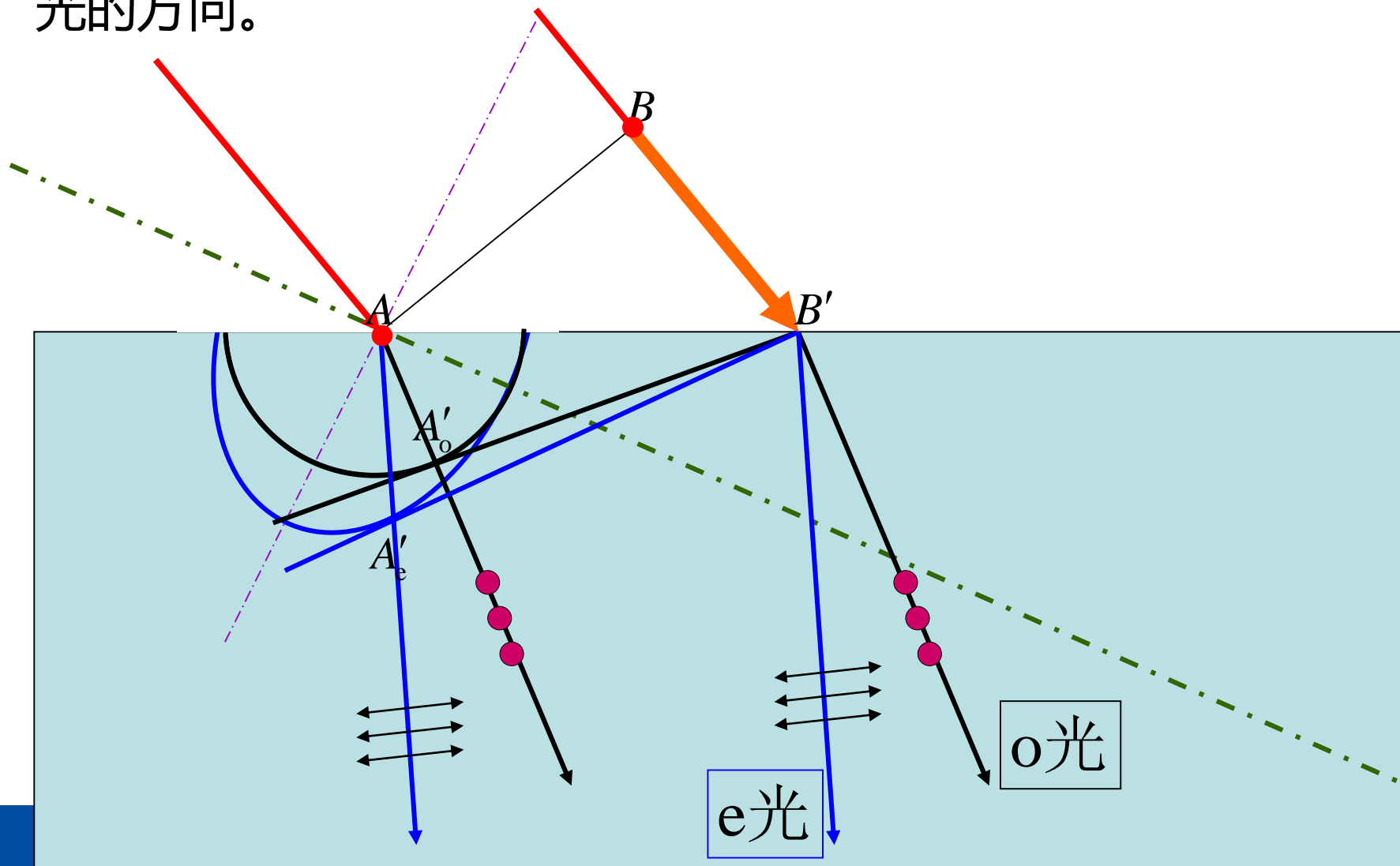
- 针对光轴在入射面内的情形
- 步骤：1、作出入射光的波面
- 由1与入射界面的交点A向2作垂线，交于B点。AB即为入射光波面。则光线2到达界面B'时，A点的光已在介质中传播的时间为 $t=BB'/c$ 。

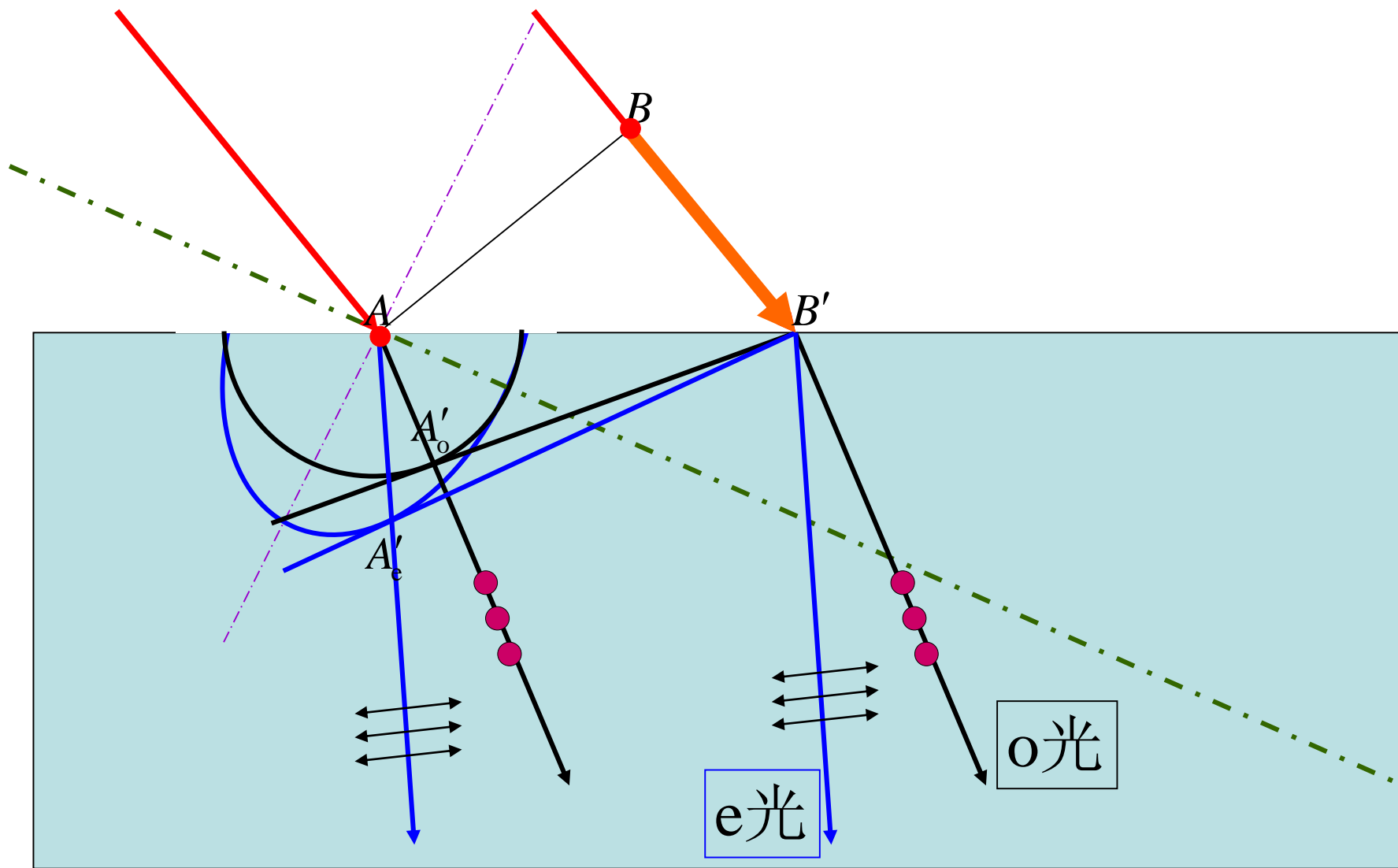


2、作o光波面：以A为中心， $v_o t$ 为半径作球面，该球面与过B'的平面的切点为 A_o' ， AA_o' 即为o光的方向

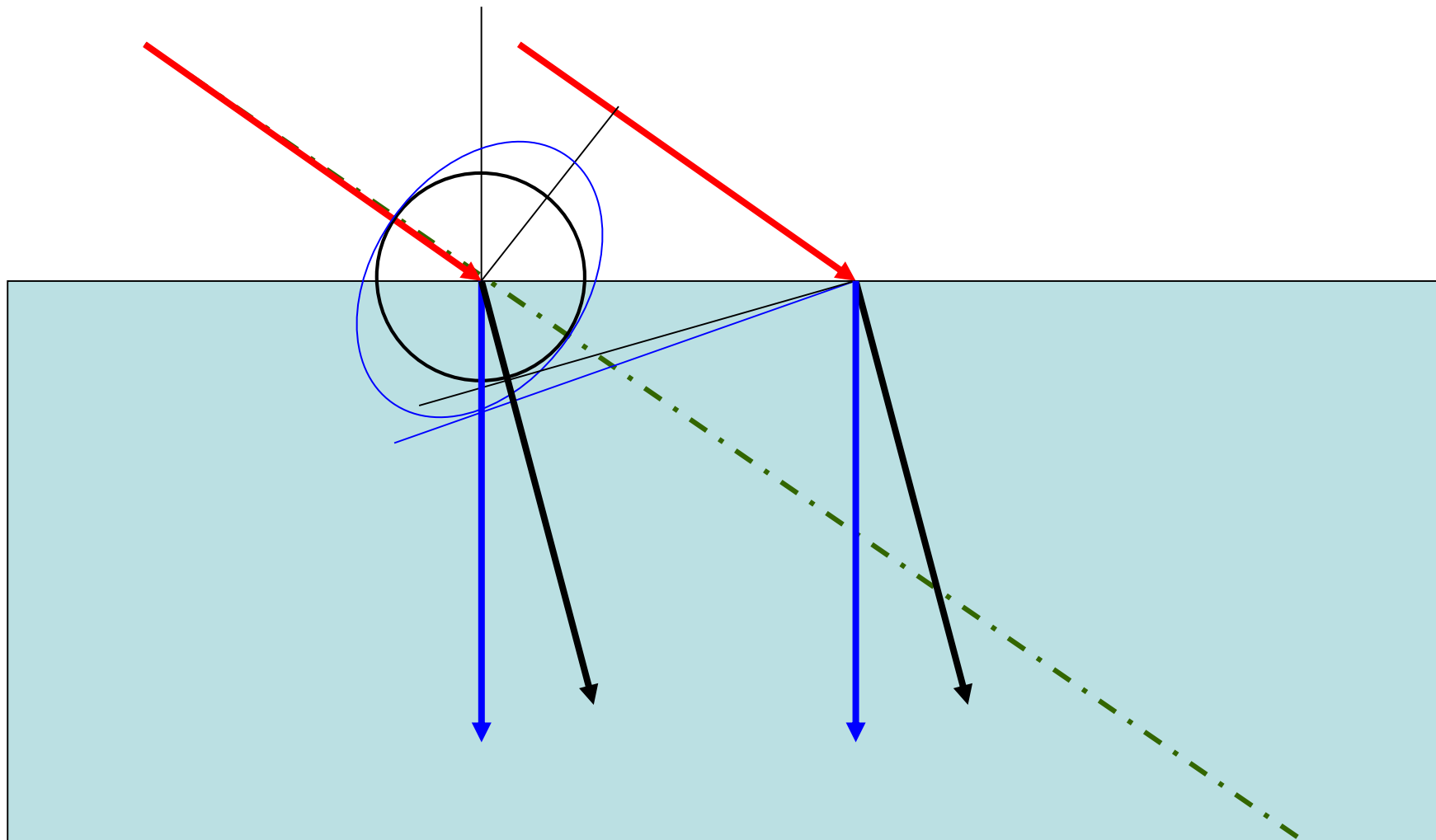


3、作e光的波面：光轴与o光波面的交点也是光轴与e光波面的交点，为椭球面的一个轴，另一轴与该轴垂直，长度为 $v_e t$ ，可以作出椭球面，过B'点的平面与其切点为 A_e' ， AA_e' 为e光的方向。





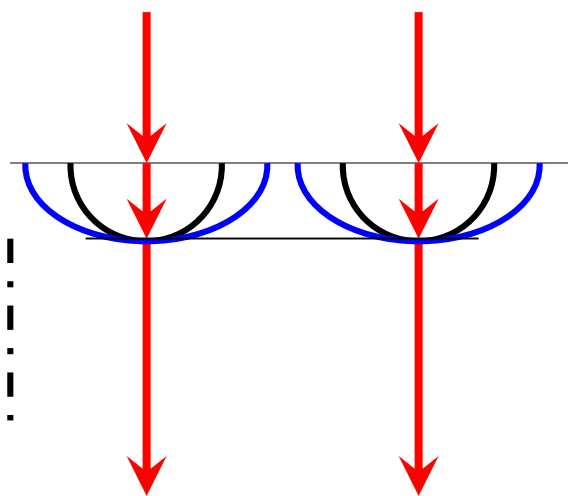
e光的方向不符合一般的折射定律



几种特例

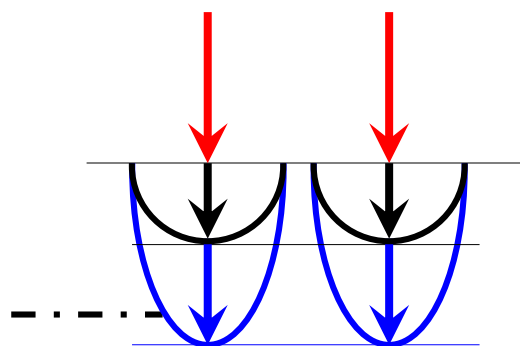
沿光轴入射

o光、e光波面
不分开，不发
生双折射



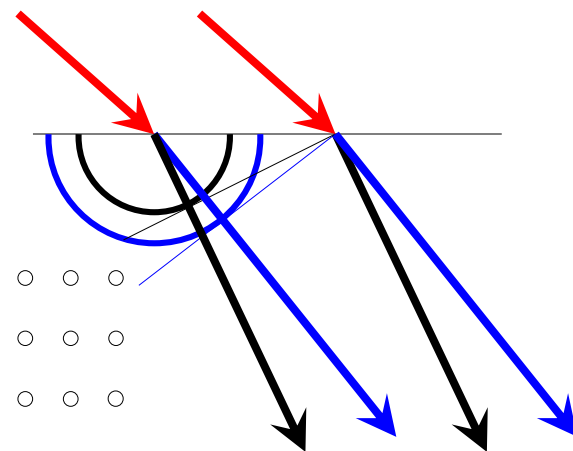
在主截面内垂直
于光轴入射

o光、e光方向相同，但
速度不同，波面分开，
发生双折射



仅垂直于光轴

入射面垂直于主
截面，发生双折
射



作业：

P181: 1, 2, 3

6-02 晶体光学器件

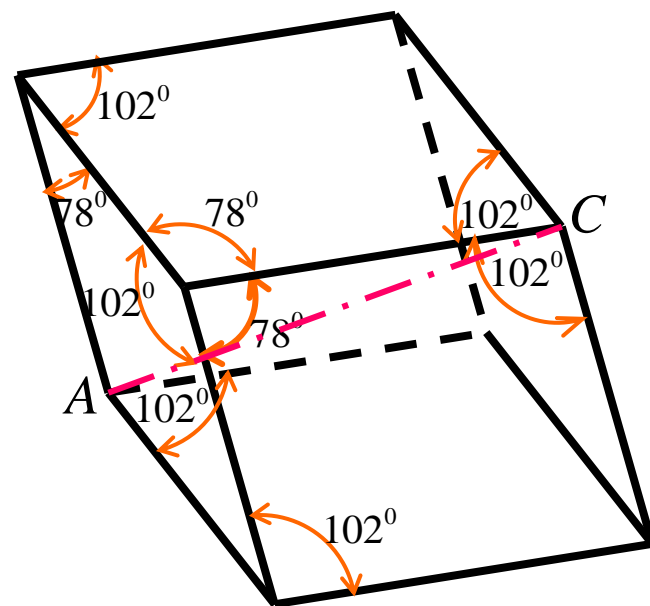
1. 晶体偏振器
2. 波片

- 利用晶体的双折射特性可以制成光学器件
- 1、光在晶体中分开为o光和e光，它们都是平面偏振光
- 可以制成**偏振棱镜**，以获得**平面偏振光**
- 2、晶体中o光和e光的折射率不同，它们的波面是分开的
- 可以制成**相位延迟波晶片**，使两列正交分量之间有一定的**相位差**

偏振棱镜

1、Nicol棱镜

- 用**方解石晶体**制成
- 方解石是碳酸钙的三角晶系
- 每一个平行四边形表面有一对约为 102° 和 78° 的角
- **光轴**通过由3个 **102° 钝角构成的顶点**，并与3个表面成相等角度

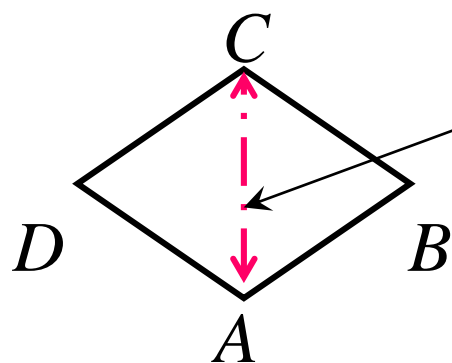
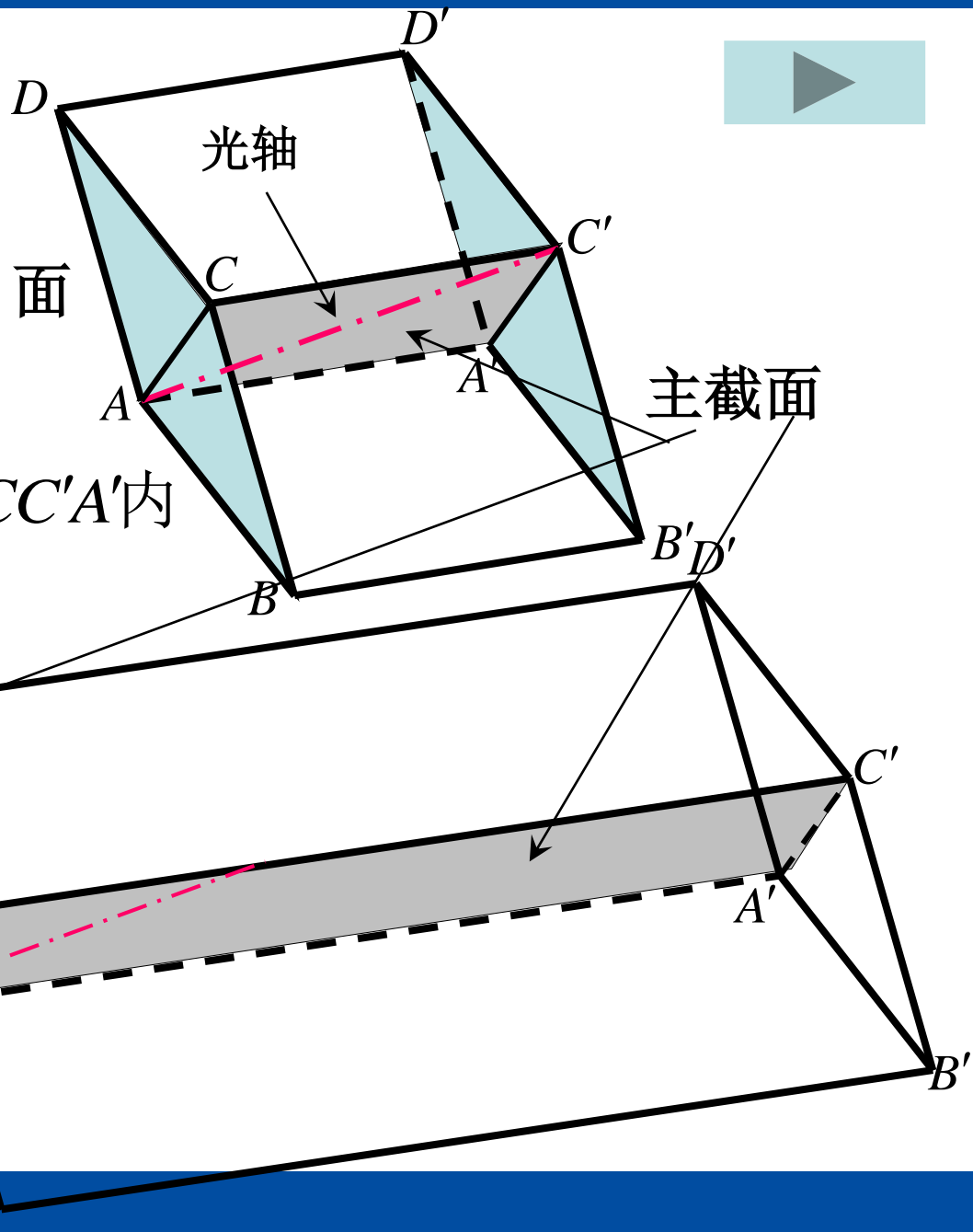


主截面：入射表面法线与
晶体光轴构成的平面

入射表（界）面

光轴在平面 $ACC'A'$ 内

入射表面的法线也在平面 $ACC'A'$ 内



入射表面视图

方解石晶体，长为宽的3倍

旋转45度

先将端面磨去一部分

然后将晶体剖开

再用加拿大树胶粘合

主截面

对于Na黄光

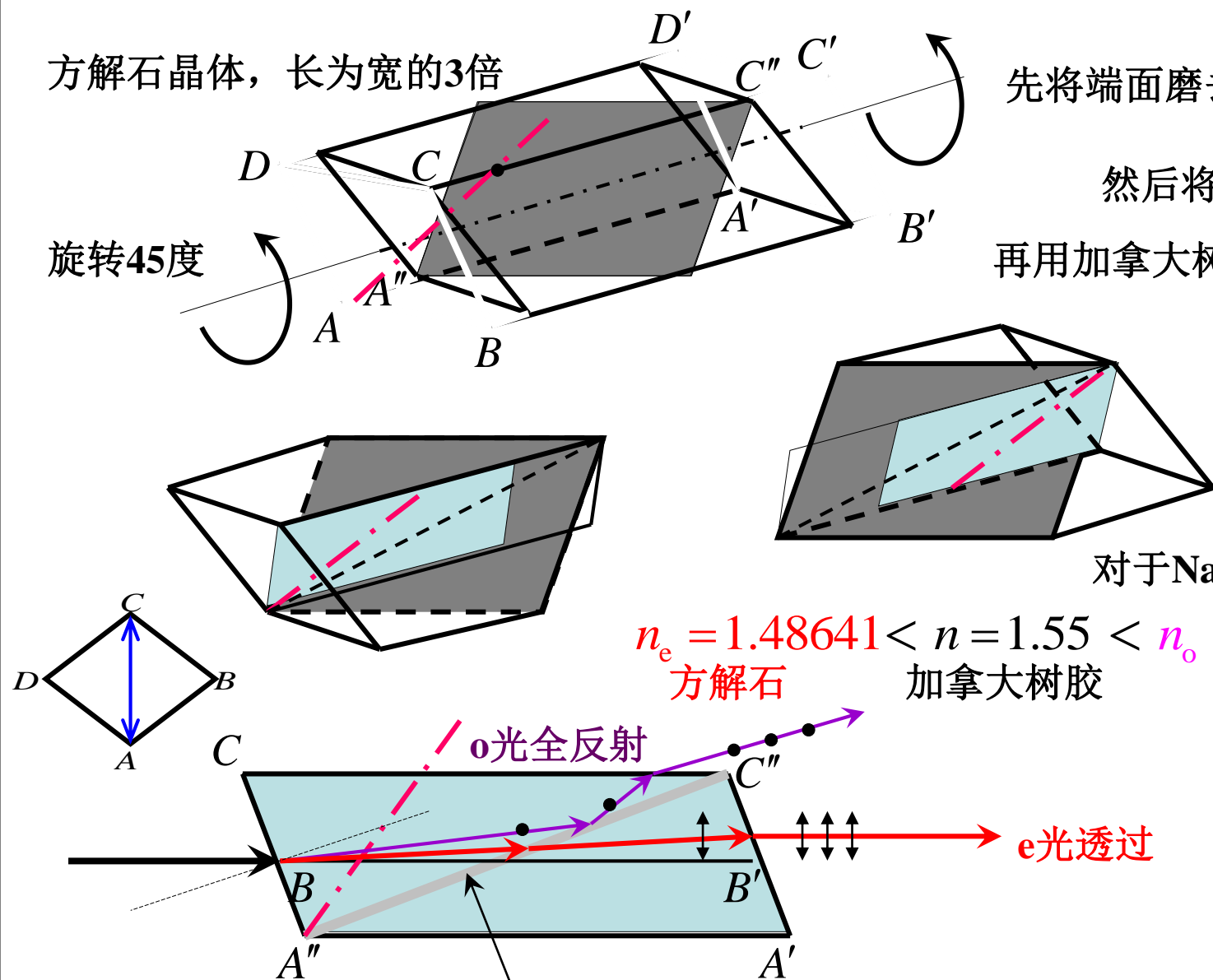
$$n_e = 1.48641 < n = 1.55 < n_o = 1.65836$$

方解石 加拿大树胶 方解石

o光全反射

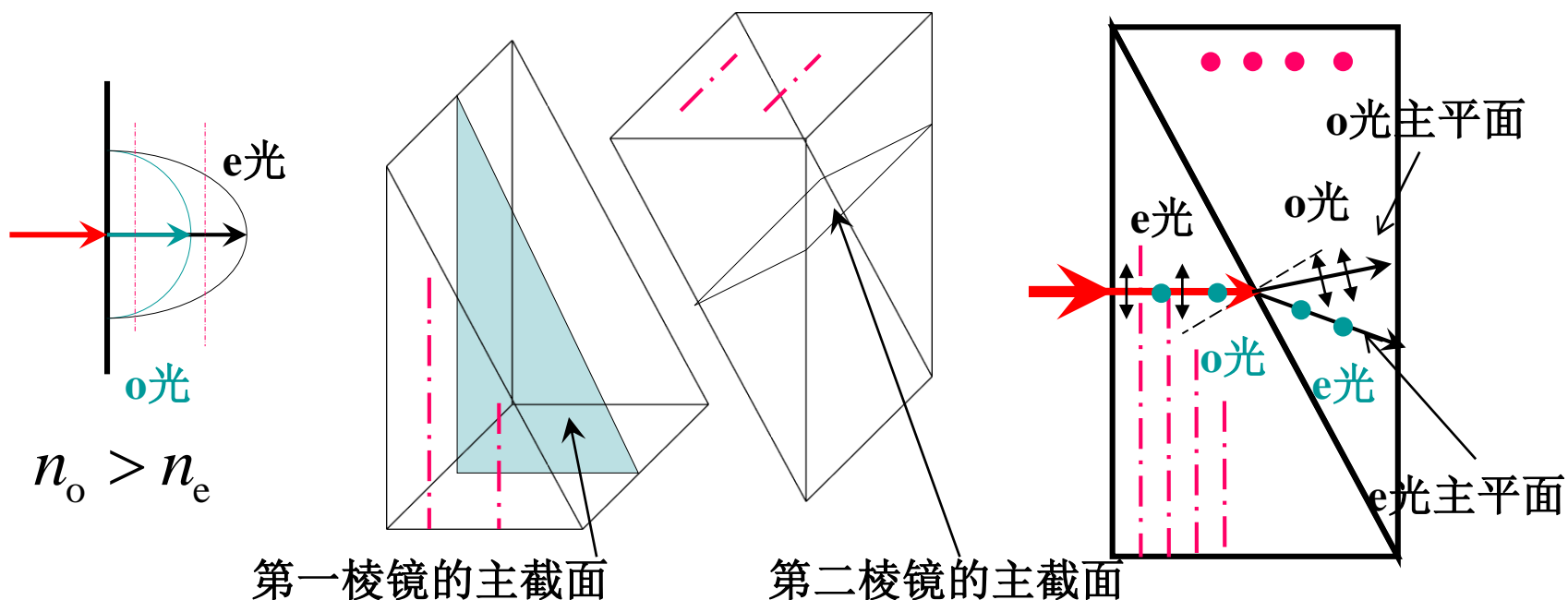
e光透过

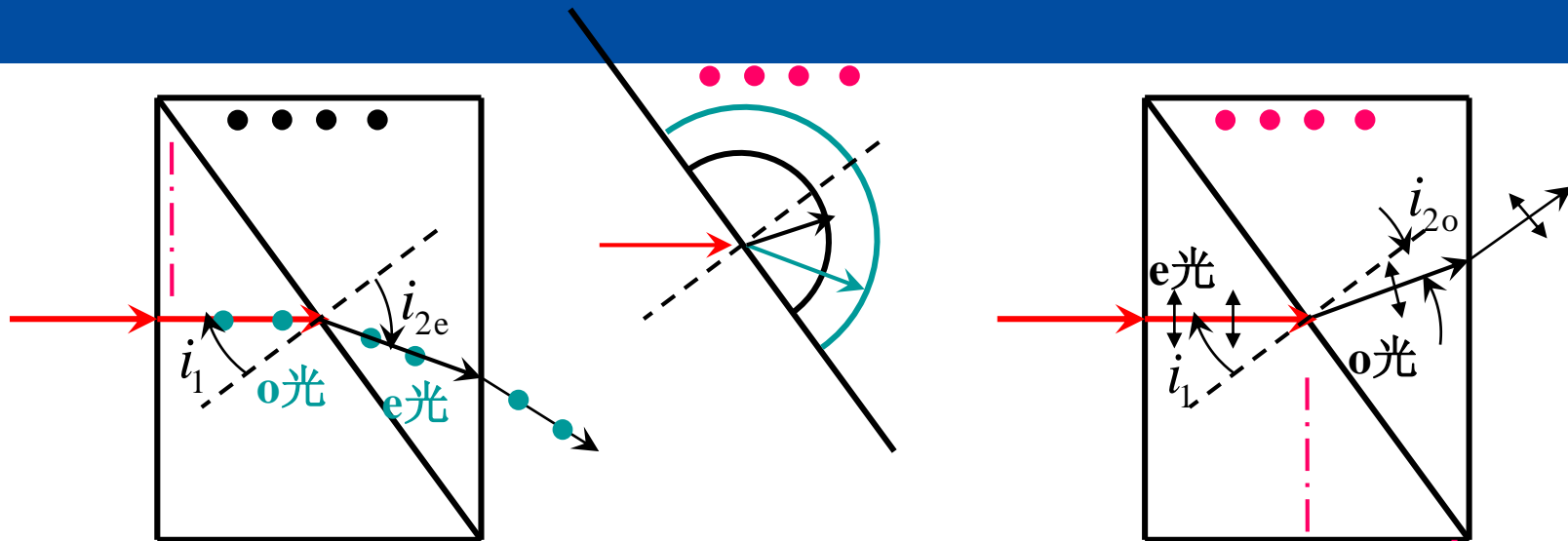
加拿大树胶



2、Wallaston棱镜

- 由两块冰洲石的直角三棱镜（**粘合**）而成
- 两棱镜的光轴相互垂直
- 第一镜中o光进入第二镜时，变为e光；第一镜中e光进入第二镜时，变为o光





两棱镜分界面处折射

入射角均为 i_1 折射角分别是 i_{2o} 和 i_{2e}

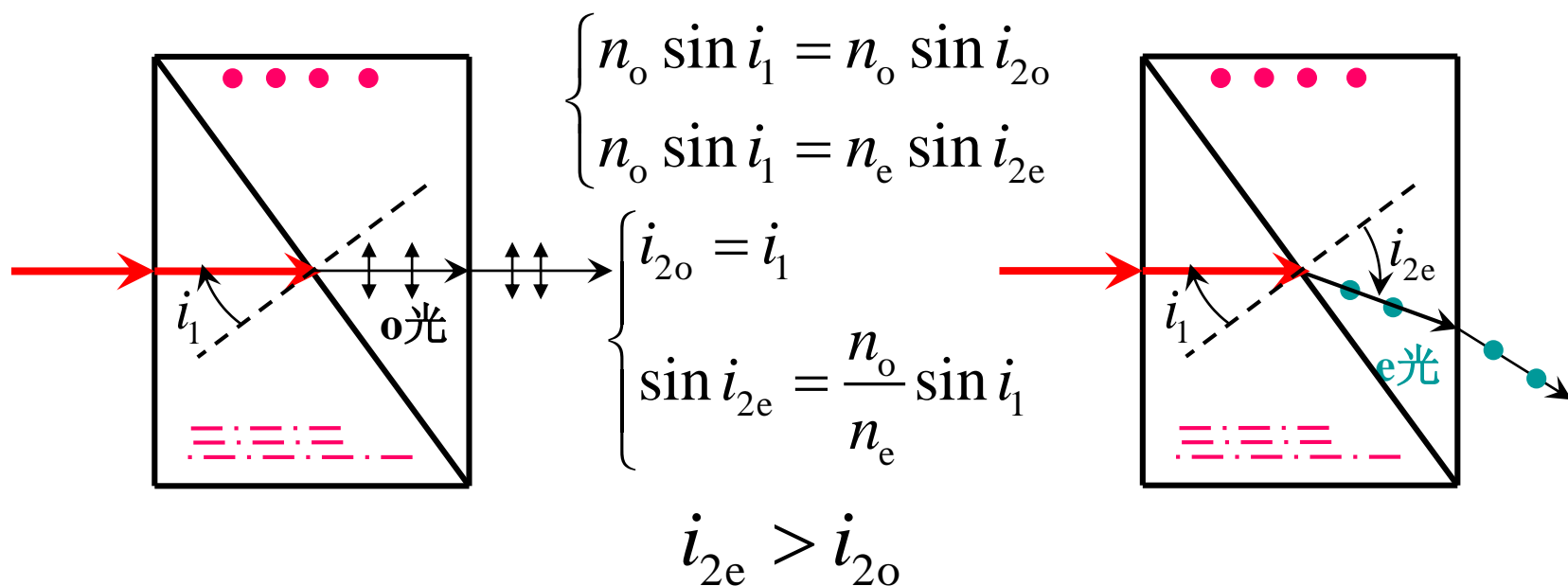
$$\begin{cases} n_o \sin i_1 = n_e \sin i_{2e} \\ n_e \sin i_1 = n_o \sin i_{2o} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sin i_{2e} = \frac{n_o}{n_e} \sin i_1 > \sin i_1 \\ \sin i_{2o} = \frac{n_e}{n_o} \sin i_1 < \sin i_1 \end{cases}$$

方解石是负晶体 $n_o > n_e$ $i_{2o} < i_1 < i_{2e}$

两列平面偏振光出射角度不同，在空间分开

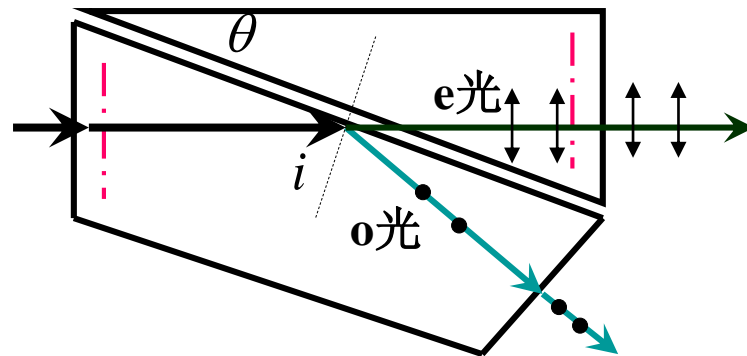
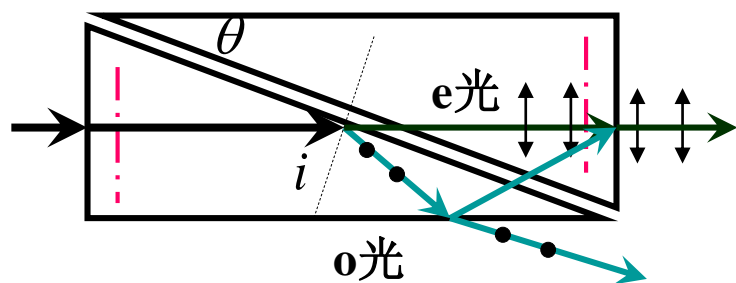
3、Rochon棱镜

- 由两块冰洲石的直角三棱镜（**粘合**）而成
- 两棱镜的光轴相互垂直
- 入射光沿着第一棱镜的光轴方向
- 第一镜中无双折射，只有o光；第二镜中有双折射



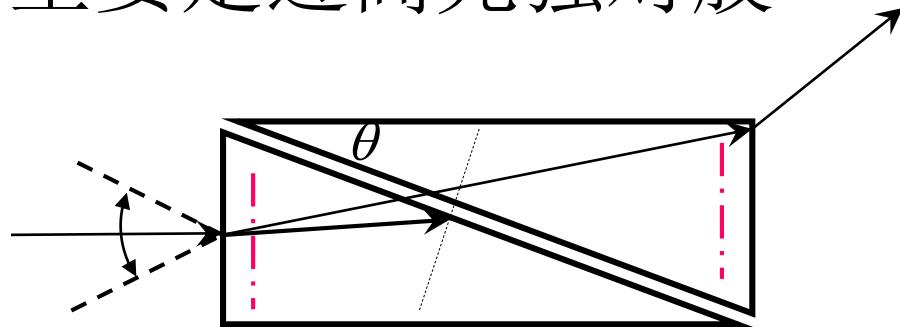
4、Glan—Thompson棱镜

- 由两块方解石的直角三棱镜组成
- 两棱镜的光轴相互平行
- 两棱镜的斜面可以用胶粘合
- 也可直接接触（中间有空气层），透紫外
- o光全反射，e光直进射出



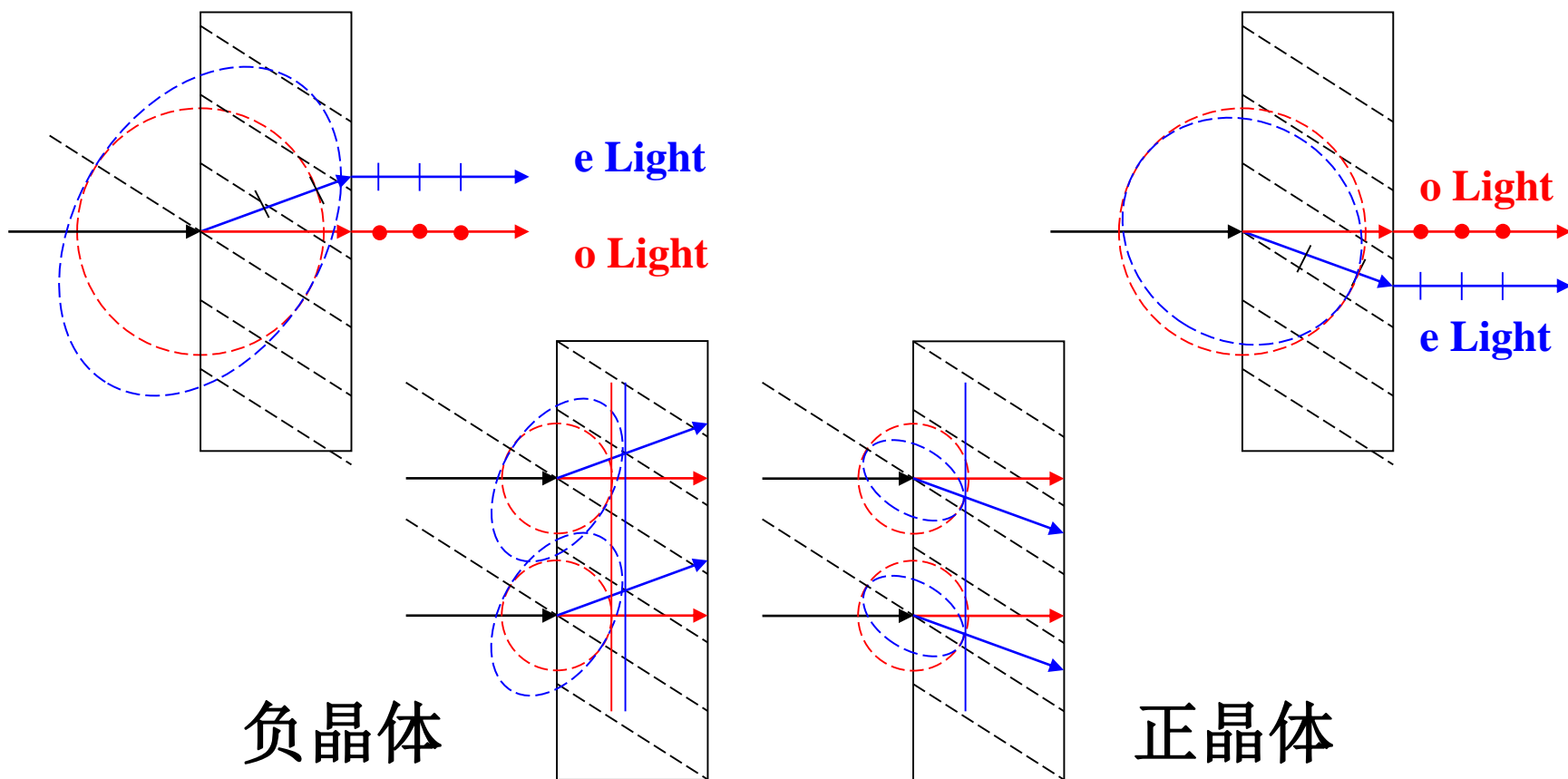
偏振棱镜的参数

- 通光孔径：一般 $\Phi=5\sim 20\text{mm}$
- 孔径角：入射光束的锥角范围
- **消光比：通过偏振器后两正交偏振光的强度比**，一般可达 10^{-5}
- 抗损伤能力：主要是过高光强对胶合面的损伤



例题

- 根据图中光线双折射的情况判断晶体的正负



作业：
P187: 1, 2, 3