

第2章 几何光学

- * 几何光学(Geometrical Optics)又叫射线光学，是光学的重要组成部分，也是光学的基础。
- * 它采用几何方法研究光在均匀介质中的传播及应用，不涉及光的本质问题。
- * 其基础： λ (光波长) $\ll a$ (物体尺度)

§2.1 几何光学的基本定律 (1.2)

几个基本定律

- **直线传播定律：**
光在均匀介质中按直线传播。
- **光的独立传播定律：**
来自不同方向的光线在介质中相遇后，各保持原来的传播方向继续传播。
- **光线可逆原理：**
光线方向逆转时，它将逆着沿同一路径传播。
- **光的反射 (Reflection) 和折射 (Refraction) 定律：**
光在两种各向同性、均匀介质分界面上要发生反射 (Reflection) 和折射。即一部分光能量反射回原介质，另一部分光能量折射入另一介质。

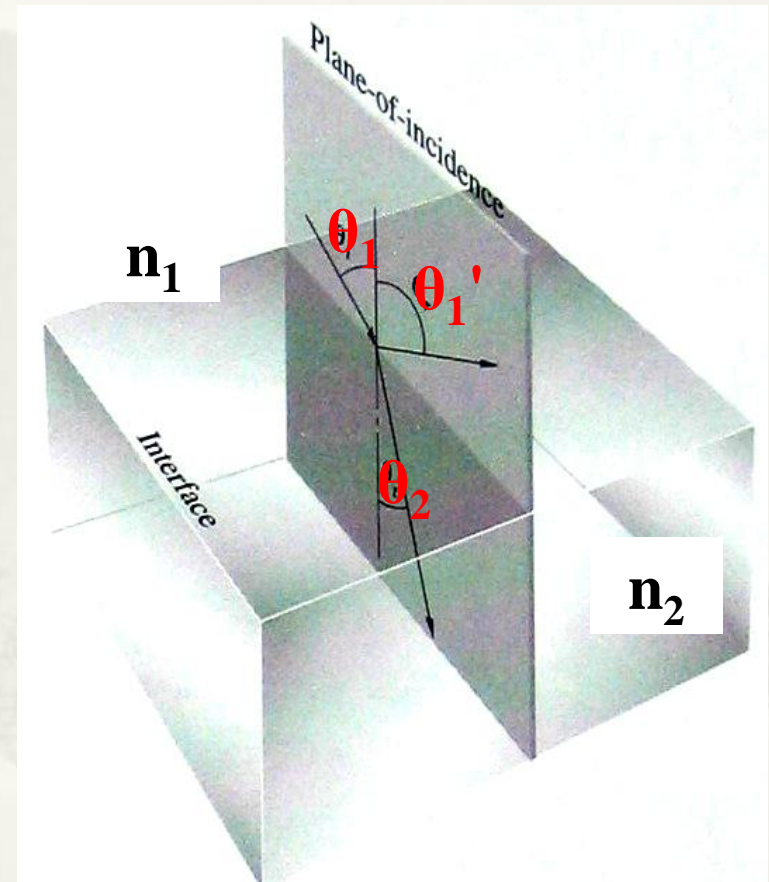
反射定律与折射定律

The Law of Reflection And Refraction

1. 反射角等于入射角: $\theta_1 = \theta_1'$
2. (Snell定律): $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$
3. 反射光线和折射光线都在入射面内, 它们与入射光分别在法线两侧。



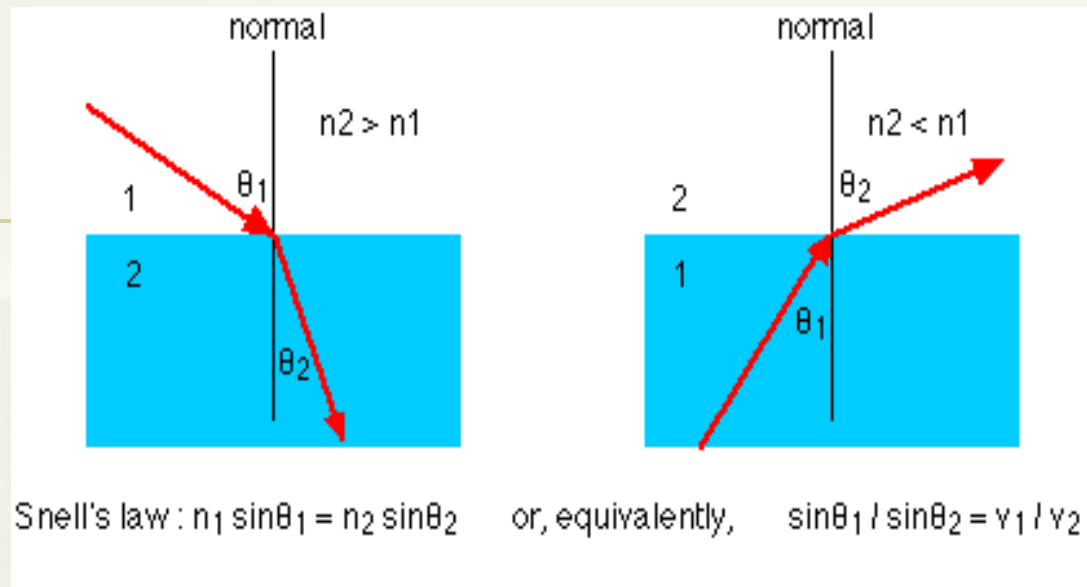
Willebrord Snell
van Royen
(1580-1626)



2. 折射率

- * 从Snell定律知道：

$$\sin\theta_1/\sin\theta_2 = n_2/n_1$$
$$= n_{12} = 1/n_{21}$$



- * 即入射角的正弦和折射角的正弦之比为一常数。
 n_{12} (n_{21}) 称为介质2相对介质1 (介质1相对介质2) 的折射率。
- * 如果介质1为真空，此时 n_{12} 记为 n ，称为(绝对)折射率。
- * 折射率 n 大的介质叫光密介质；折射率 n 小的介质叫光疏介质。当光线由光疏入光密时， $\theta_1 > \theta_2$ 。

课堂练习

- * 教材P8 例题1, 例题2
- * 教材P32 1-5

✓ 1-5. 证明: 光线相继经过几个平行分界面的多层介质时, 出射光线的方向只与两边的折射率有关, 与中间各层介质无关。

解: 因为界面都是平行的, 所以前一次的折射角就是下一次的入射角, 于是有

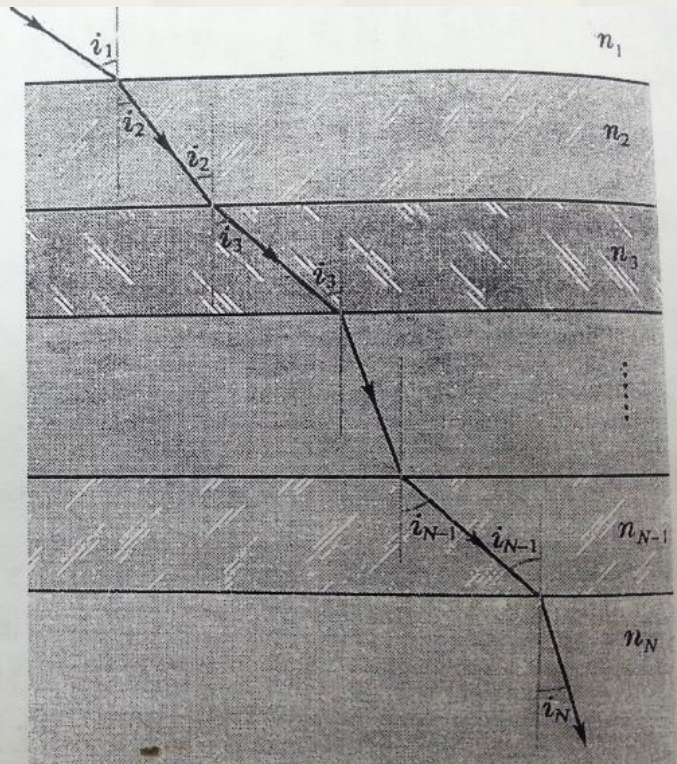
$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2,$$

$$n_2 \sin i_2 = n_3 \sin i_3,$$

.....

$$n_{N-1} \sin i_{N-1} = n_N \sin i_N.$$

于是 $n_1 \sin i_1 = n_N \sin i_N$,
与中间各层介质无关。



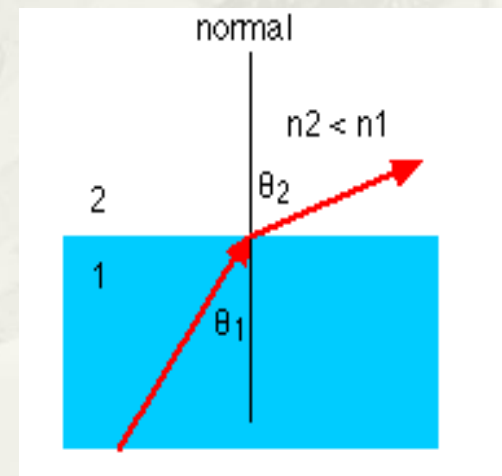
3. 全反射

$$\text{Snell's law: } n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

- * 当光线由光密进入光疏时，有 $n_1 > n_2$ ，则 $\theta_2 > \theta_1$ 。当 θ_1 增加至某个值 (θ_c) 时， θ_2 为 90° 。我们把 θ_c 成为临界角：

$$\theta_c = \arcsin(n_2/n_1)$$

- * 例如：(物质/ n / θ_c)
- * 水/1.33/49度；
- * 各种玻璃/1.5~2.0/42~30度；
- * 金刚石Diamond/2.417/24度。

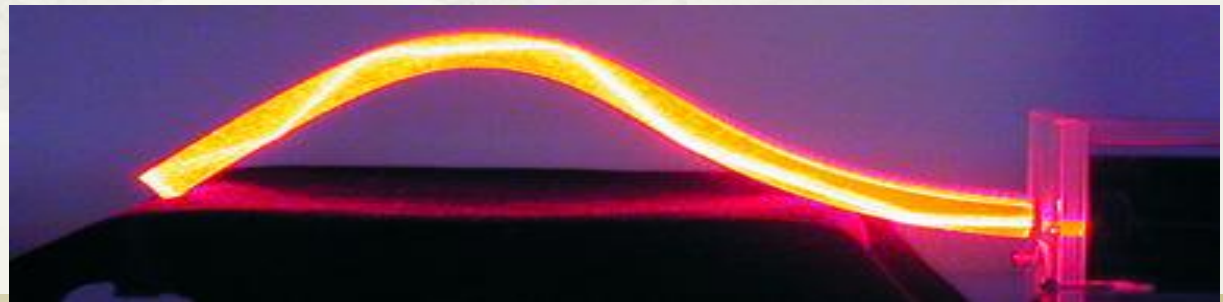
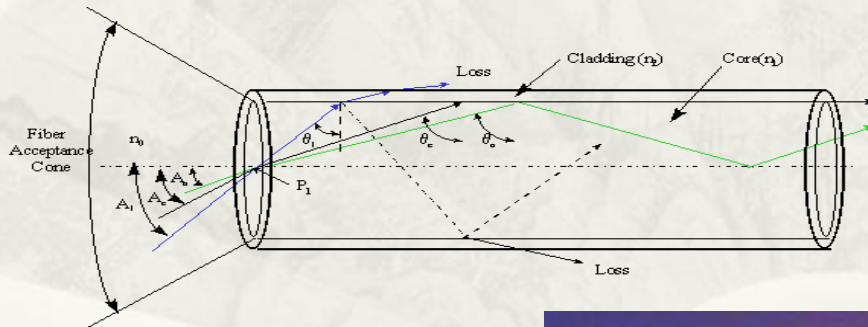


4. 全反射的应用1

- * 全反射有比一般反射更优越的性能，它几乎没有能量损失，因此用途广泛。

① 光纤

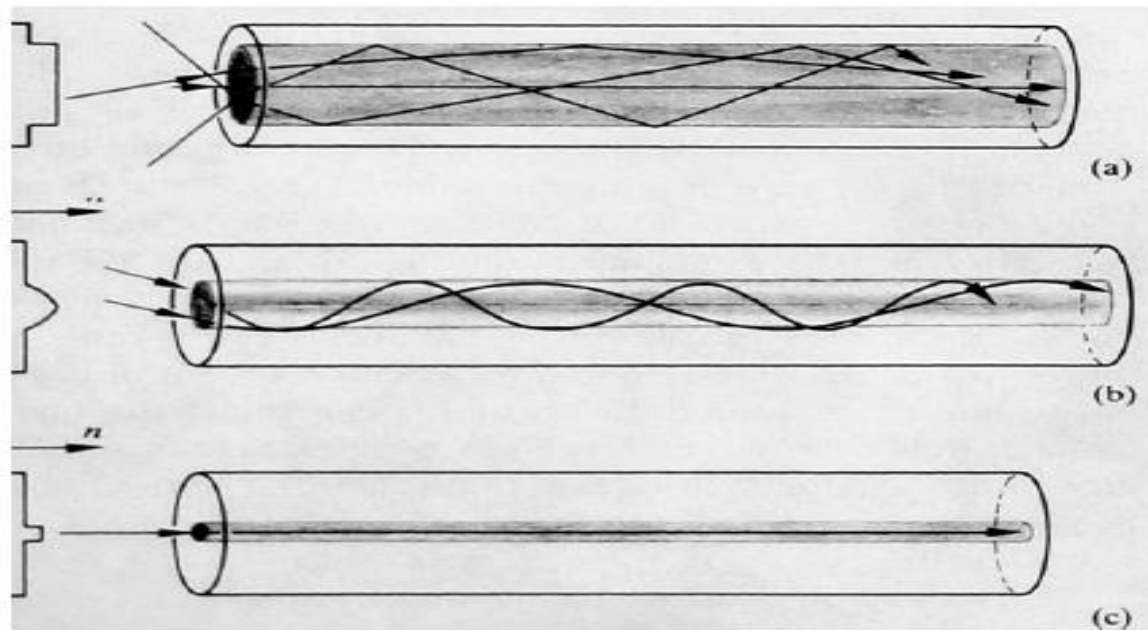
- * 光纤通常用 $d = 5 \sim 60 \mu\text{m}$ 的透明丝作芯料，为光密介质；外有涂层，为光疏介质。只要满足光线在其中全反射，则可实现无损传输。



光纤的种类

- * 光纤按折射率随径向分布特点，可分为均匀光纤和非均匀光纤两种。其中非均匀光纤具有光程短，光能损失小，光透过率高等优点。

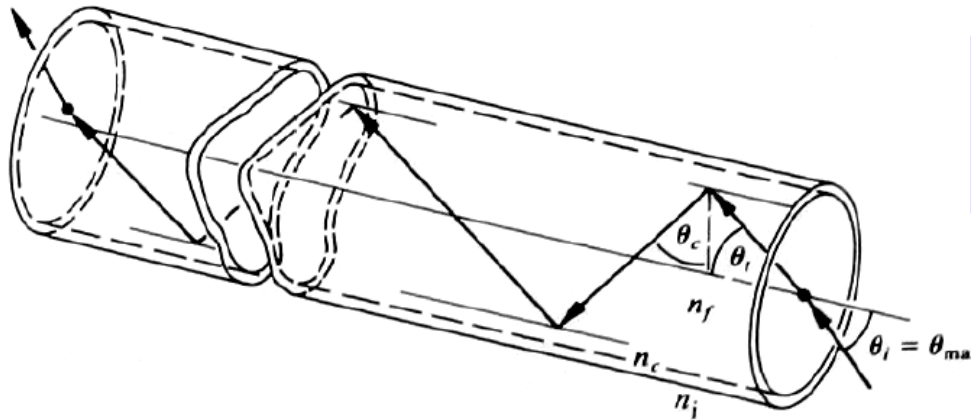
Graded and step index fibers



Step index: the change in n is abrupt between cladding and core
Graded index: n changes smoothly from n_c to n_f

光纤的数值孔径NA

Fiber and $f/\#$



$$\sin \theta_{\max} = \frac{\sqrt{n_f^2 - n_c^2}}{n_i}$$

Angle θ_{\max} defines the light gathering efficiency of the fiber, or numerical aperture NA:

$$NA \equiv n_i \sin \theta_{\max} = \sqrt{n_f^2 - n_c^2}$$

And $f/\#$ is:

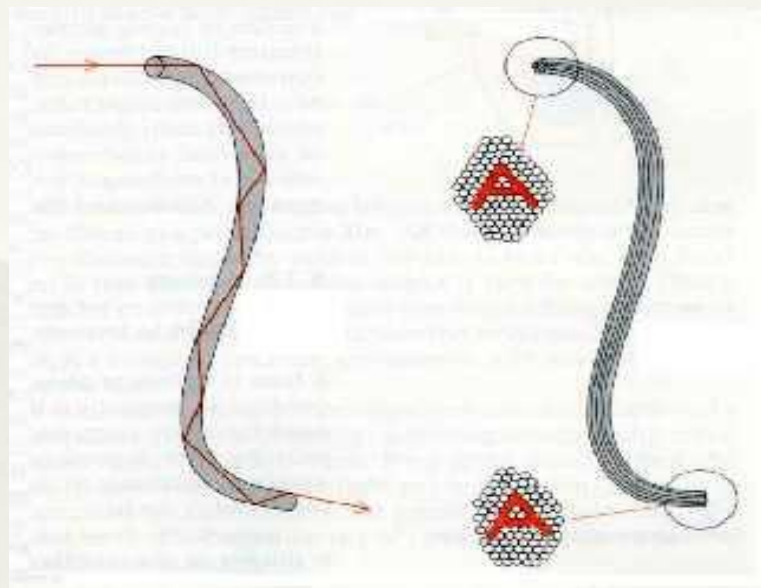
$$f/\# \equiv \frac{1}{2(NA)}$$

Largest NA=1
Typical NA = 0.2 ... 1

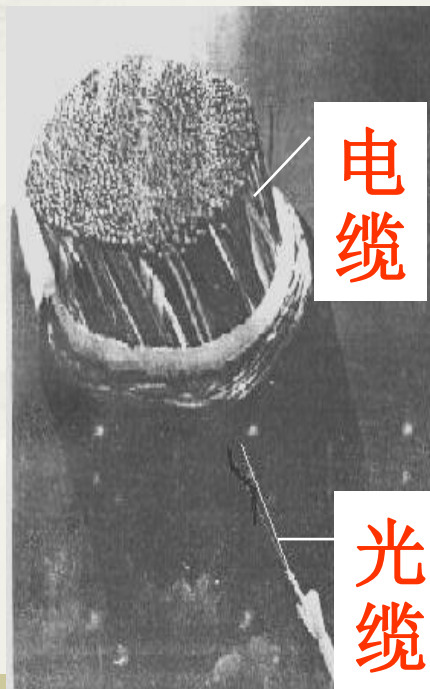
光纤的应用

* 应用领域

- * 光通信：把大量光纤集成束，并成规则排列即形成传像束，它可把图像从一端传递到另一端。目前生产的传像束可在每平方厘米中集5万像素。
- * 光纤具有抗干扰性强，容量大，频带宽，保密性好，省金属等优点而广泛用于通讯、国防、医疗、自控领域。



图中的
细光缆
和粗电
缆的通
信容量
相同



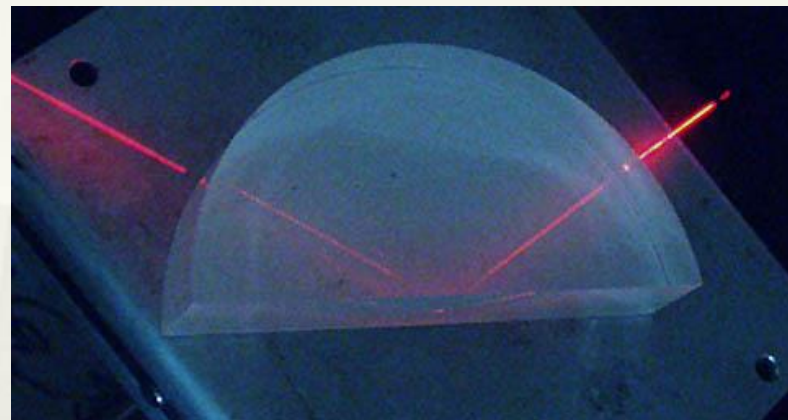
4. 全反射的应用2

② 全反射棱镜

* 棱镜是常用光学元件之一，它分为全反射棱镜和色散棱镜。

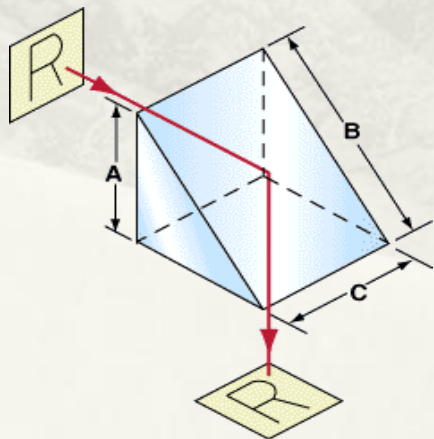
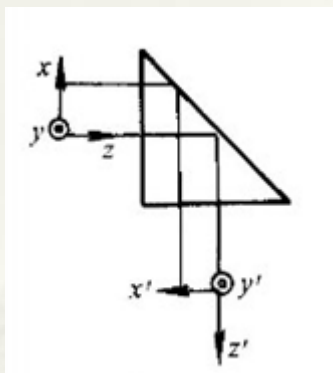
* 全反射棱镜

- * 主要用于改变光传播方向并使像上下左右转变。
- * 一般玻璃的折射率 >1.5 ，则入射角 $>42^\circ$ 即可。

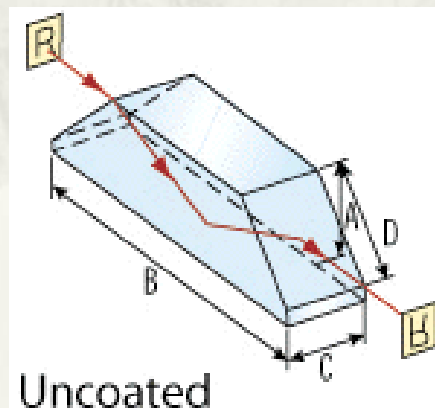
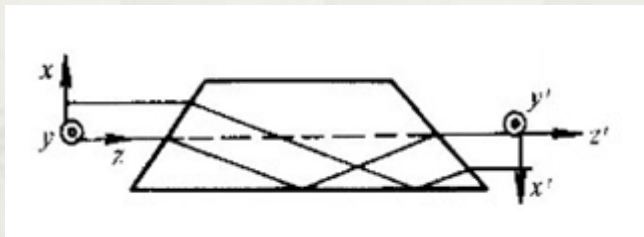


全反射棱镜（一次反射）

a) 直角棱镜：
改变光路方向



b1) 道威（Dove）棱
镜：倒像镜

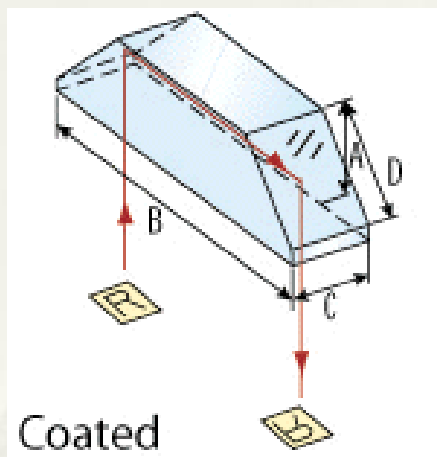


结论：

1. 可以改变光的传播方向
2. 像的坐标系发生变化，例如右手系 \rightarrow 左手系

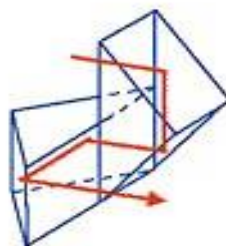
全反射棱镜（二次反射）

b2) 道威棱镜：反方向

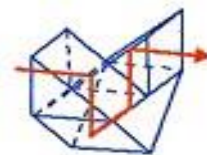


c) 普罗（Porro）棱镜：原方向、左右、上下倒像

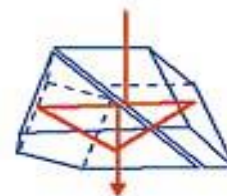
Prisms 85% + light transmission ranges



Porro 1
>90%



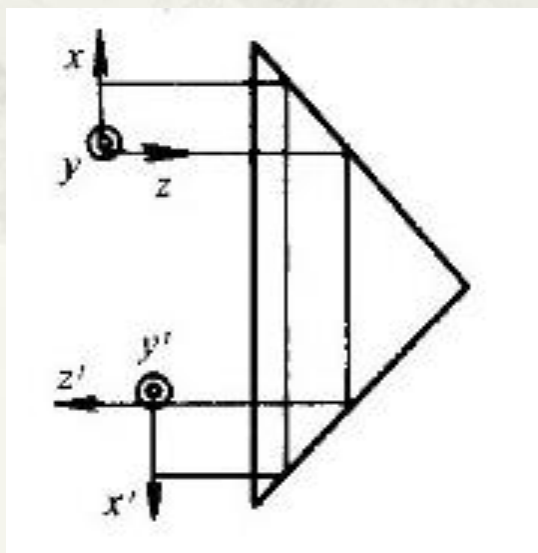
Porro 2
>90%



Pechan
<85%



Abbe König
>90%



结论：

1. 可以改变或者不改变光的传播方向
2. 像的坐标系不发生变化

Homework week 2 (due-date, next Wednesday)

- * 1. 书P34 习题1-4, 1-13

