

第5章 光学仪器的基本原理

Basic Principles of Optical Instrument

§ 5.1 像差色差概述（了解）

§ 5.2 人的眼睛（了解）

§ 5.3 助视仪器的放大本领（掌握）

§ 5.3 目镜（了解）

§ 5.4 显微镜的放大本领（掌握）

§ 5.5 望远镜的放大本领（掌握）

§ 5.10 助视仪器的分辨本领（掌握）

§ 5.11 分光仪器的分辨本领（掌握）

§ 5.1 像差与色差概述 P195

一、单色像差

➤ 单色像差的来源

近轴条件下: $\sin u \cong u$

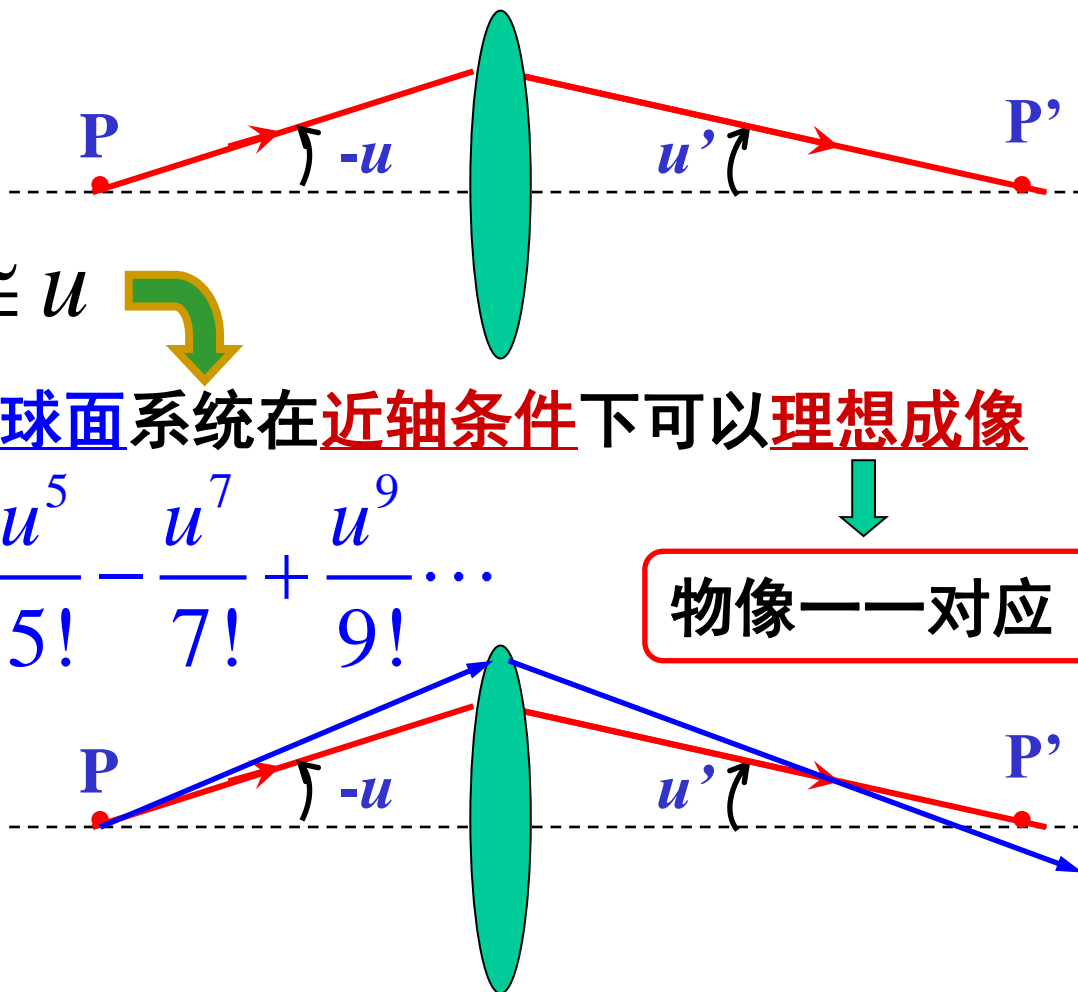
球面系统在近轴条件下可以理想成像

$$\sin u = u - \frac{u^3}{3!} + \frac{u^5}{5!} - \frac{u^7}{7!} + \frac{u^9}{9!} \dots$$

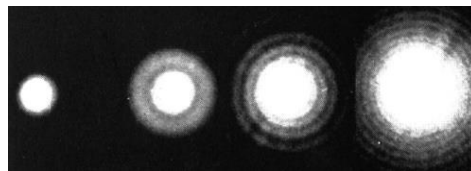
物像一一对应

球面系统不能理想成像，
出现三级以上像差：

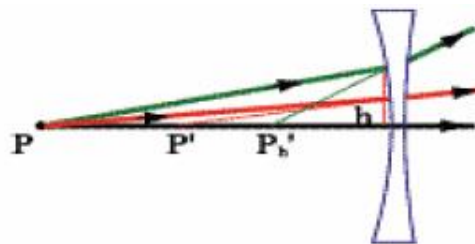
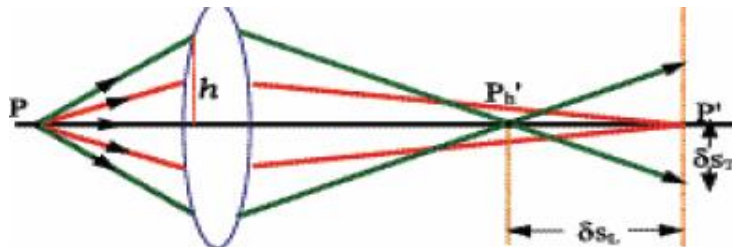
球面像差 (spherical aberration)，彗形像差 (comatic aberration)，
像散，
像面弯曲，畸变 (distortion)。



(一)、球面像差 (球差)

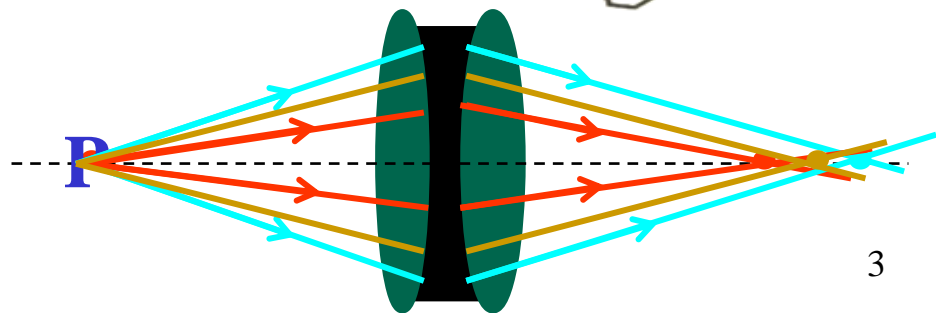
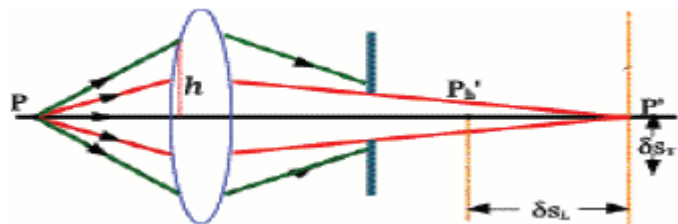


1. 形状：弥漫圆斑。
2. 成因：透镜表面为球面，宽光束经过透镜不同环带的光线折射后与主轴交点不重合。



3. 大小：球差的大小与透镜表面曲率半径 r 、折射率 n 等有关。
4. 消除方法：

- ①加光阑限制远轴光线
- ②将会聚透镜和发散透镜结合起来使用。
- ③采用菲涅耳螺纹透镜，如：电影和舞台照明灯、汽车前灯、投影仪的聚光器等。



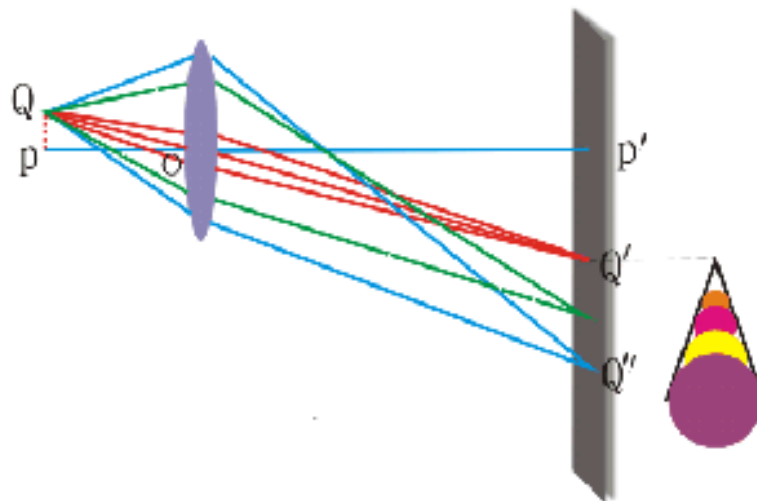
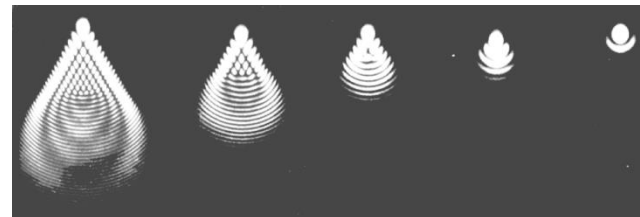
(二)、彗形像差

1.形状：形似彗星。

2.消除方法：

A. 加光阑限制宽光束。

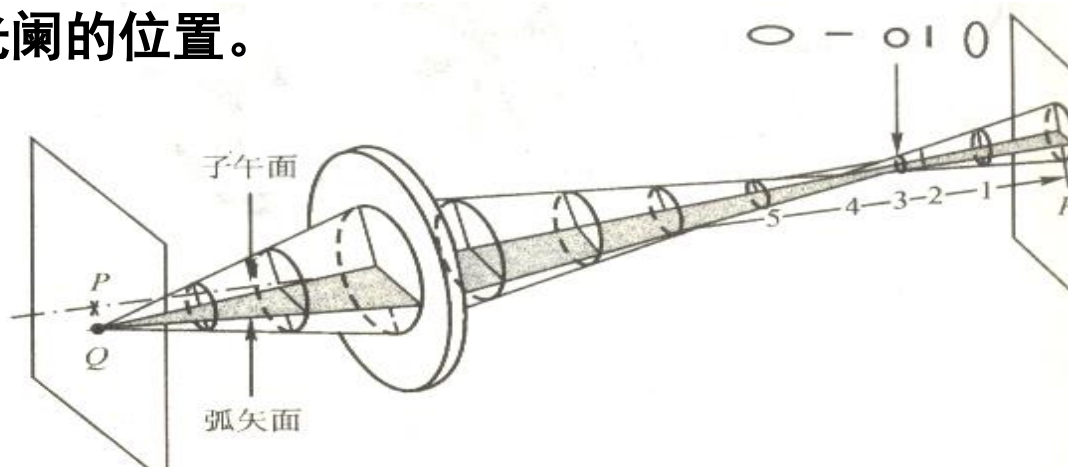
B. 用粘合透镜。球、慧差要求条件不一,不易同时消除.若一个透镜能消球差,则慧差也小。



(三)、像散

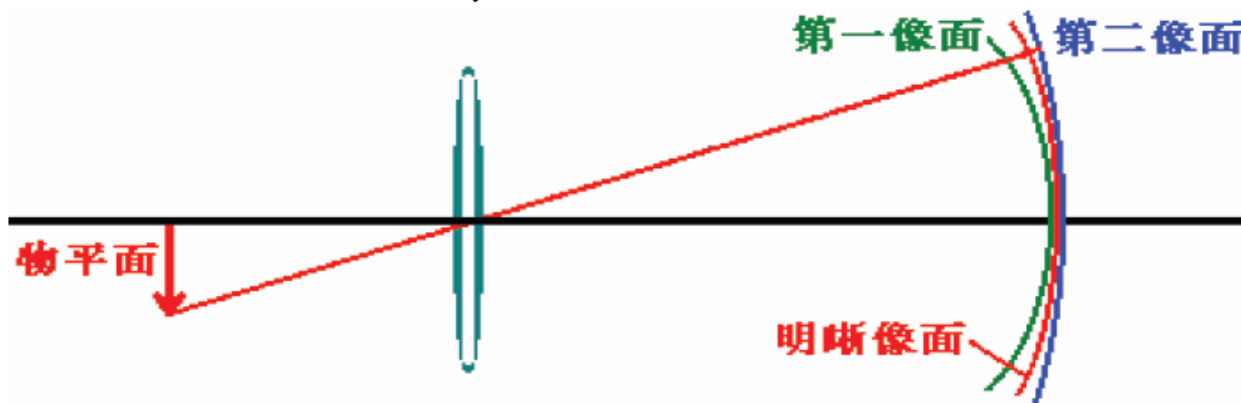
1. 特征： 远离光轴的点物窄光束经透镜成为像散光束。横截面是椭圆。

2.消除方法： 适当选配系统各球面的曲率半径、各介质的折射率及合理确定有效光阑的位置。



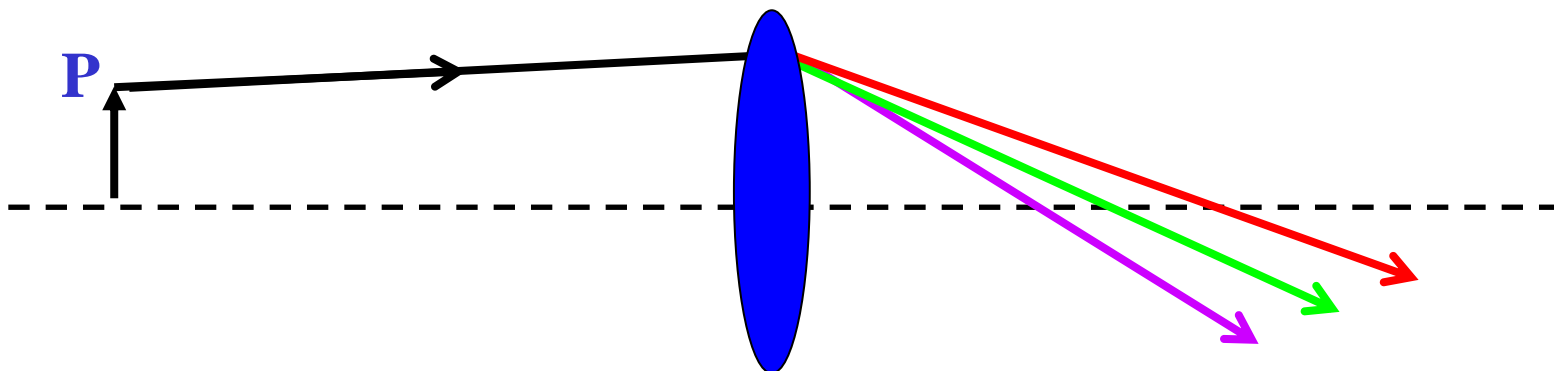
(四)、像面弯曲

1. 现象：对**较大物**平面经透镜后成的像是抛物面。
2. 消除方法：采用组合系统，适当地选配各透镜的焦距和折射率。

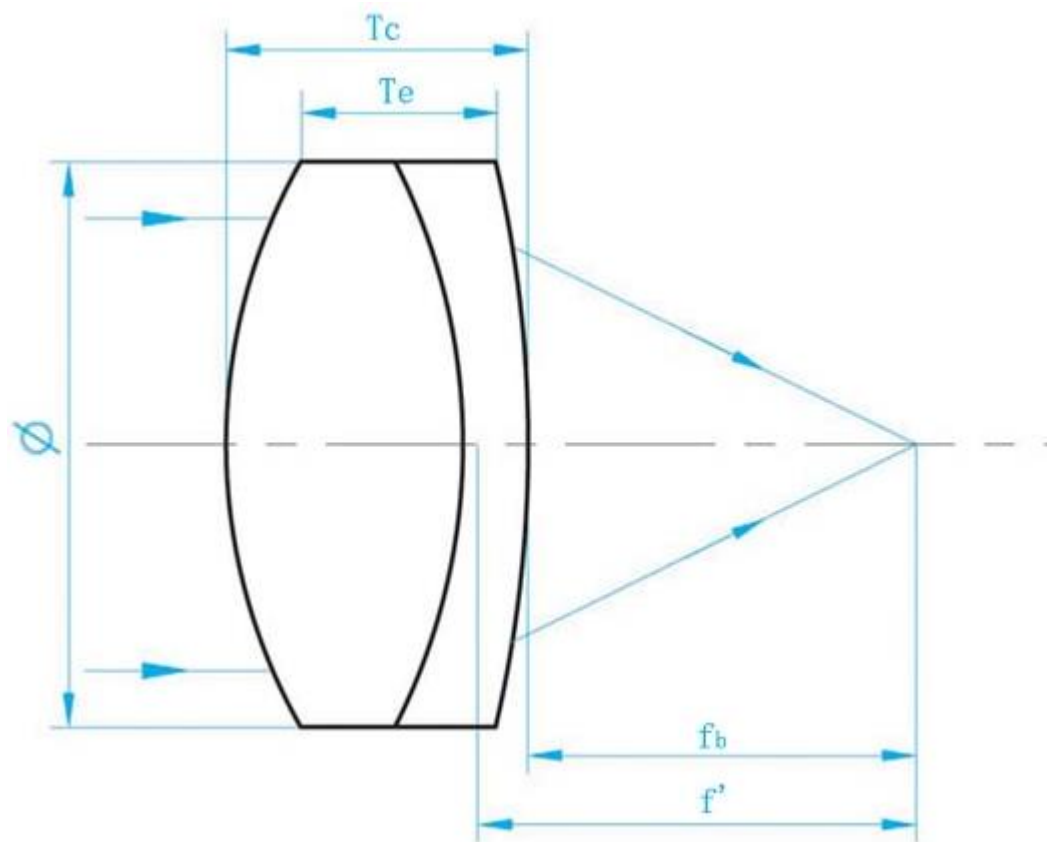
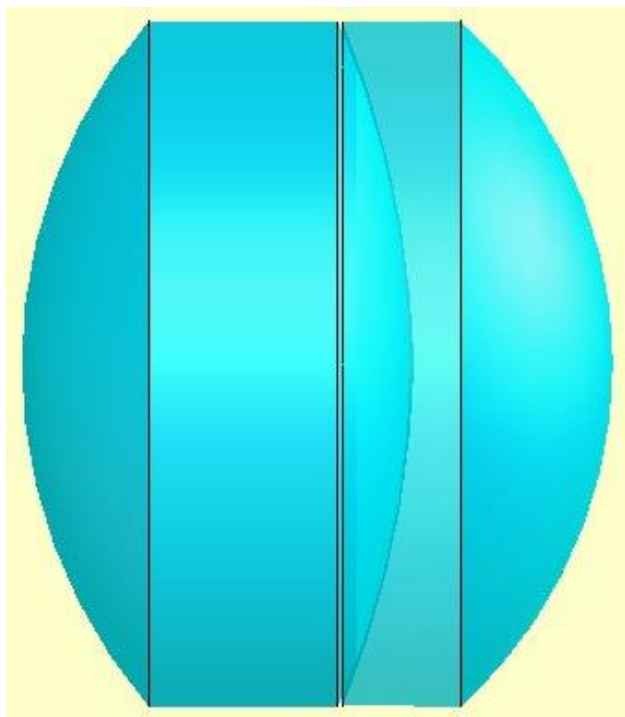


(五)、色差

1. 现象：白光入射，像的边缘呈现颜色。
2. 原因：不同波长的光在介质中折射率不同。
3. 消色差方法：粘和透镜。可对选定的两波长,用两个(多个)材料反号光焦度的焦距适当的透镜粘和而成。



➤ 商用消色差透镜

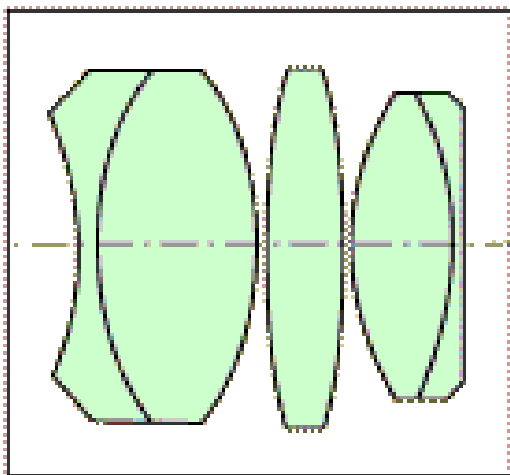


双分离消色差透镜具有较大孔径并且有很高的成像质量. 当用来聚焦和准直时, 凸透镜或小曲率半径的面通常朝向准直光, 当用来成像时凸透镜必须朝向物距或像距较长的一边.

➤ **目镜 (eyepiece)**：用来观察前方光学系统所成图像的目视光学器件，是望远镜、显微镜等目视光学仪器的组成部分。为消像差，目镜通常由若干个透镜组合而成，具有较大的视场和视角放大率。



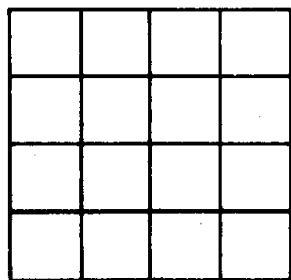
实用的目镜结构



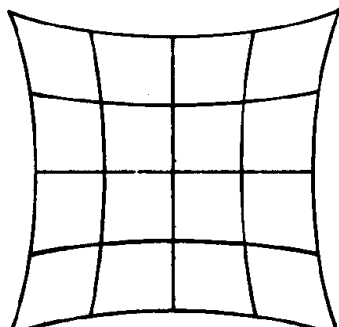
复杂结构的主要目的：
消除像差

(六)、畸变

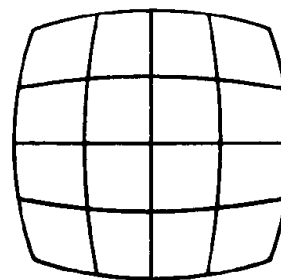
1、现象：像和物不能保持几何相似。



物平面



枕形畸变



桶形畸变

2、成因：由于物点离主轴的距离不同，而使得横向放大率不同所引起。

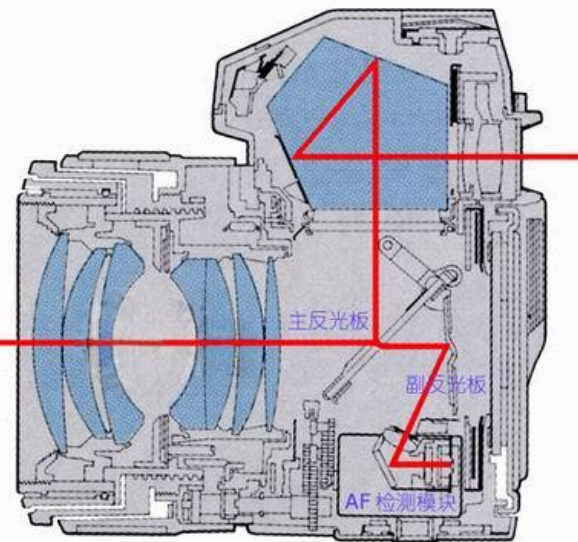
3、特点：畸变并不影响成像的清晰程度，而只改变像的几何形状。

4、消除 ①两种畸变的组合。

②将光阑放在一组相同对称透镜中间。

➤ 知识窗：单反相机

单镜头反光照相机（Single Lens Reflex Camera，缩写为SLR camera）又称作单反相机：**取景与拍摄成像**是通过同一镜头进行的（所见即所得）。



优点：镜头可卸，可换；能使用滤光镜等摄影附件；能灵活控制光圈和快门；不存在视差问题



佳能



尼康



宾得



富士



奥林巴斯

缺点：机身高且厚，重量重；反光镜弹起来的一瞬间还会出现机械震动和噪音；从按下快门钮到启动快门的时间间隔也比其它照相机略长；使用小口径镜头在光线较差的环境中取景、调焦，会因取景屏较暗而产生困难，易造成聚焦失误。

手机：
智能拍摄
美颜算法
AI，深度融合技术
等等等等
社交需求



V.S.

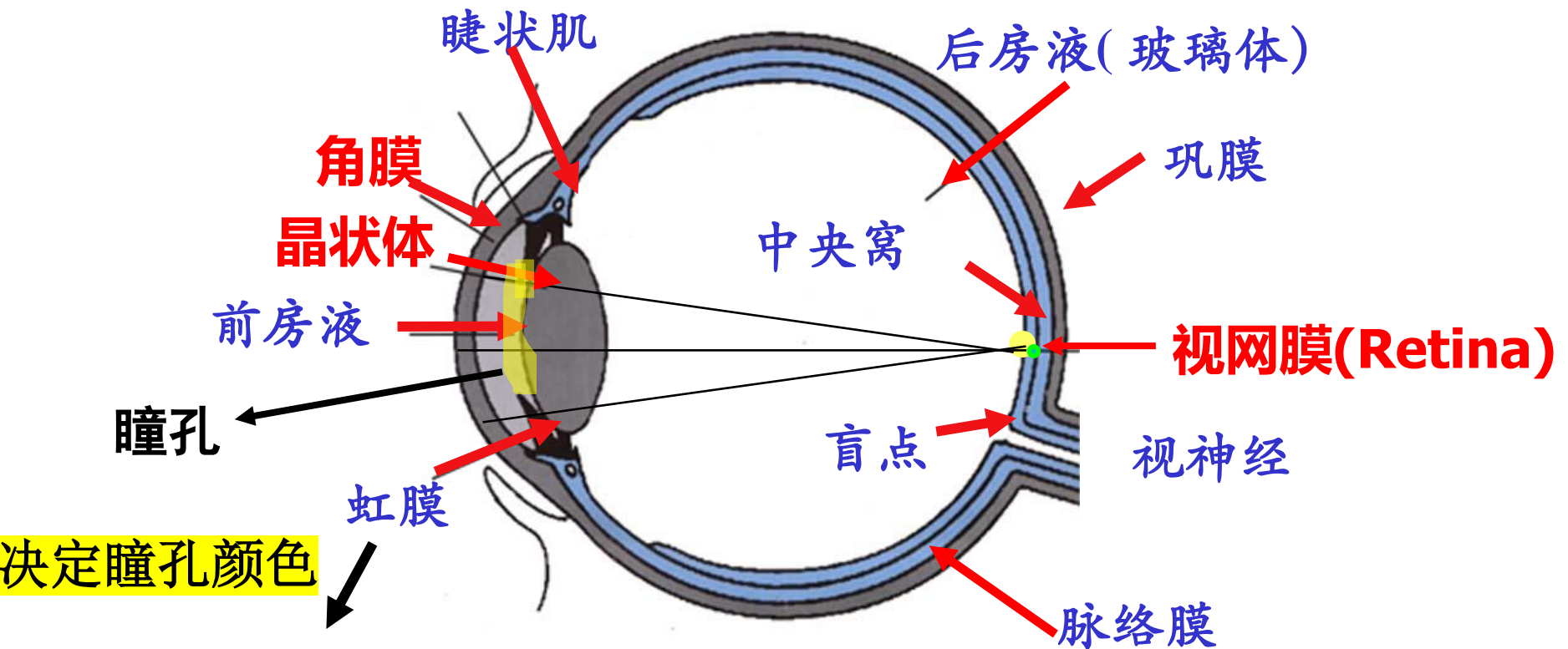


拍好后也能调整景深效果。

杀青后还想更改焦点或调整虚化效果？没问题。iPhone 在手，几下轻点、几个轻扫，轻松搞定。这种神操作，连专业摄影机都羡慕。

§ 5.2 人的眼睛

一、人眼的结构



2010年前 [史蒂夫·乔布斯](#) (Steve Jobs) 在iPhone 4发布会上介绍视网膜技术时的场景，乔布斯是这样阐述的：“当你所拿的东西距离你10-12英寸（约25-30厘米）时，它的分辨率只要达到300ppi这个‘神奇数字’（每英寸300个像素点）以上，你的视网膜就无法分辨出像素点了。”

The image shows a screenshot of the Meizu MX4 Pro product page, specifically the Hi-Fi section. The page features a large, high-contrast image of a vinyl record. The Meizu logo is in the top left. The navigation bar includes links for 手机 (Mobile), Lipro, 声学 (Acoustics), 配件 (Accessories), PANDAER, Flyme, 服务 (Service), 社区 (Community), 企业服务 (Enterprise Service), and APP下载 (APP Download). A search bar with '魅族18' and a shopping cart icon are on the right. The main content area has a dark background with the text 'Retina Sound' and a paragraph about Hi-Fi audio quality. The bottom of the page has the text 'MX4Pro - Hi-Fi - 魅族官网 (meizu.com)'.

MEIZU

手机 Lipro 声学 配件 PANDAER Flyme 服务 社区 企业服务 APP下载 魅族18

MX4 Pro 概述 设计 mTouch Hi-Fi 参数

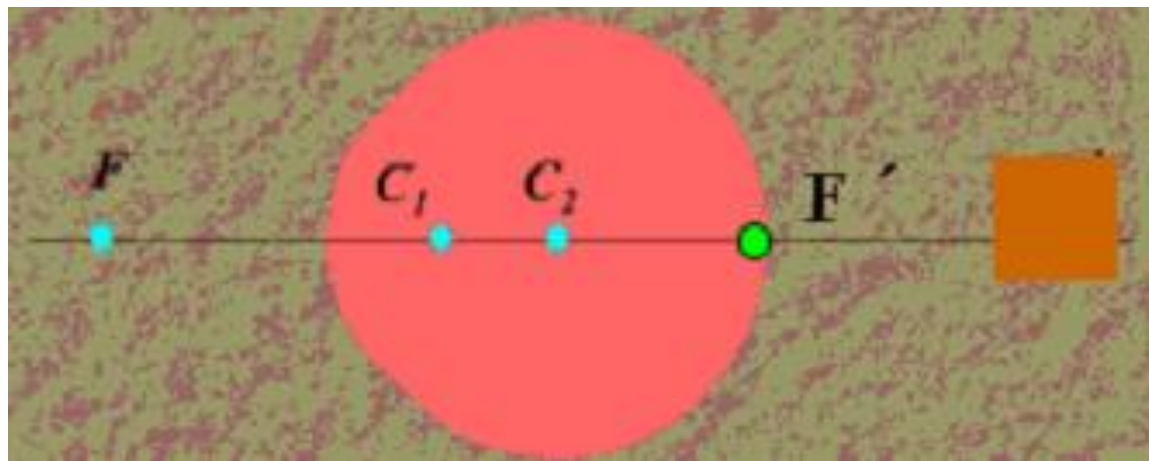
Retina Sound

我们将 Hi-Fi 播放器材具备的元器件移植到手机上，
并毫不缩水达到相近的音质水准和听音表现。
这不是魅族第一次挑战音乐听感的巅峰，
但不同以往的是，我们在手机上做到了。

MX4Pro - Hi-Fi - 魅族官网 (meizu.com)

二、简化眼

人眼简化成只有一个折射球面的光具组。



水晶体的折射率 $n' = 1.33$;
视网膜曲率半径 $R_2 = 9.8 \text{ mm}$;
像方焦距 $f' = 22.8 \text{ mm}$;
折射面曲率半径 $R_1 = 5.7 \text{ mm}$;
物方焦距 $f = -17.1 \text{ mm}$
光焦度 $\Phi = 58.48 \text{ m}^{-1}$

三、人眼的调节功能

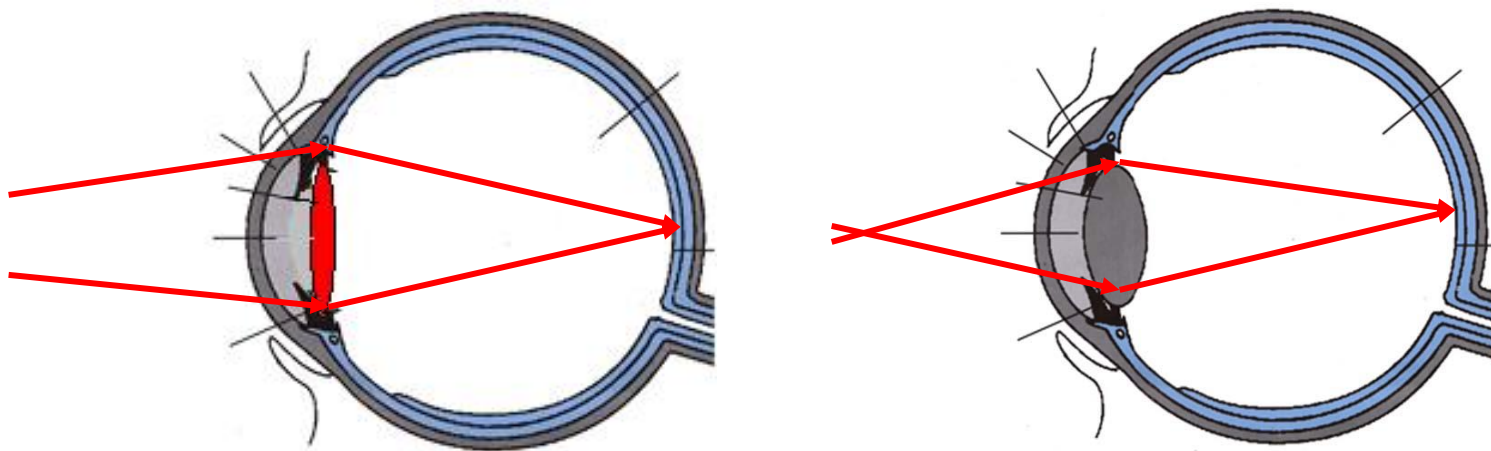
调节方式：**自动调节**和**被动调节**（矫正）。

1、自动调节：靠睫状肌的松驰或紧张来改变晶状体的曲率半径，从而改变人眼焦距。

① 自调节的限度：近点和远点之间。

远点：睫状肌完全**松驰**，晶状体曲率半径最大，**晶状体变薄**。

近点：睫状肌最大**收缩**，晶状体曲率半径最小，**晶状体变厚**。



- ② 近点、远点和调节范围随年龄的增长而变化；
幼年—7~8cm；成年—25cm；老年—1~2m--近点变远。
幼年—无限远；老年—数米--远点变近。

③ 正常眼眼前25cm处-----明视距离。

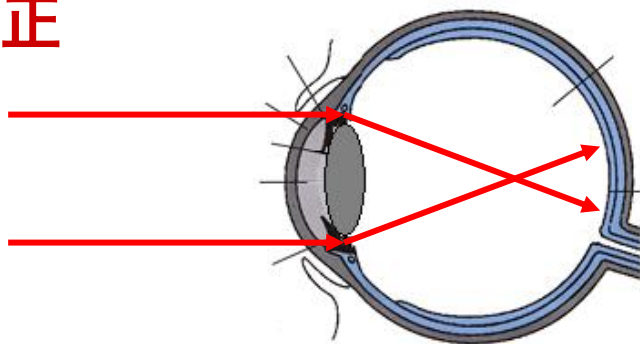
2、人眼的缺陷及矫正——被动调节。

① 近视眼：远点在有限远处。

② 远视眼：近点比正常眼远。

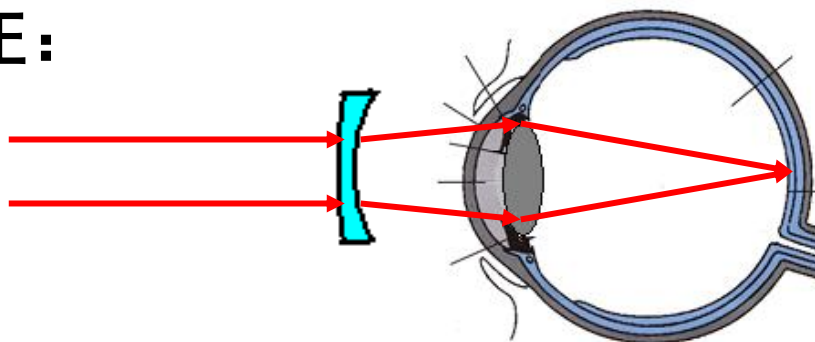
近视眼及其矫正

(1) 成因：



晶状体太厚，折光能力太强，成像于视网膜前。

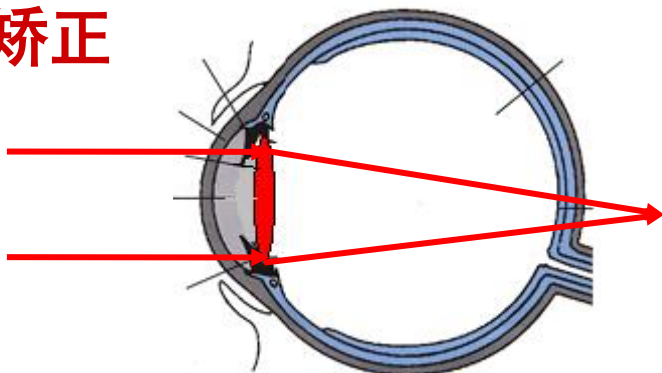
(2) 矫正：



配戴用凹透镜做成的近视眼镜。

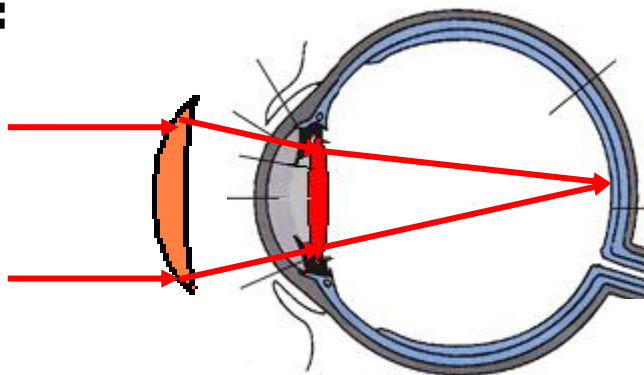
远视眼及其矫正

(1) 成因：



晶状体太薄，折光能力太弱，成像于视网膜后。

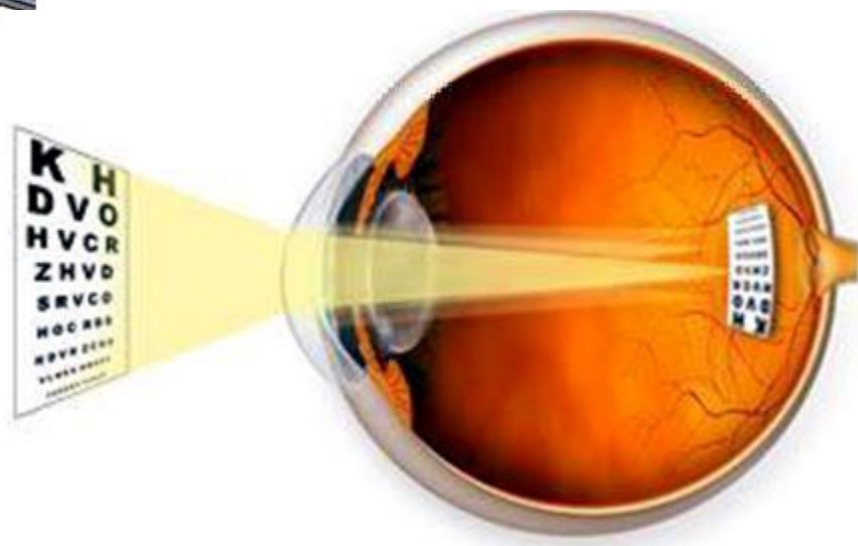
(2) 矫正：



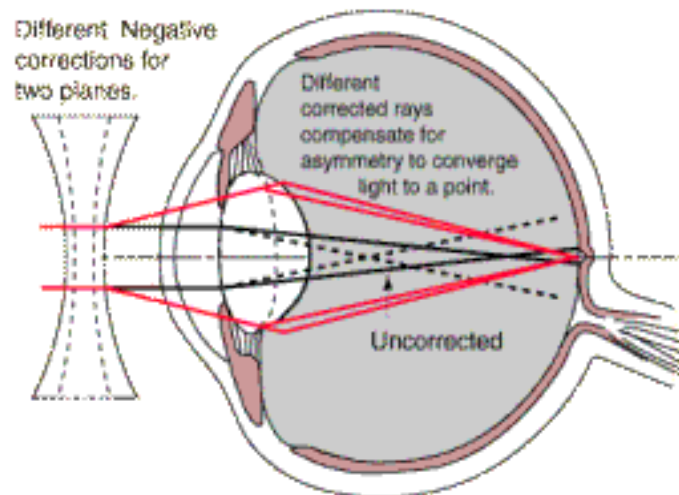
配戴用凸透镜做成的远视眼镜（老花眼镜）。

散光眼：角膜为椭球面的人眼（像散眼）。

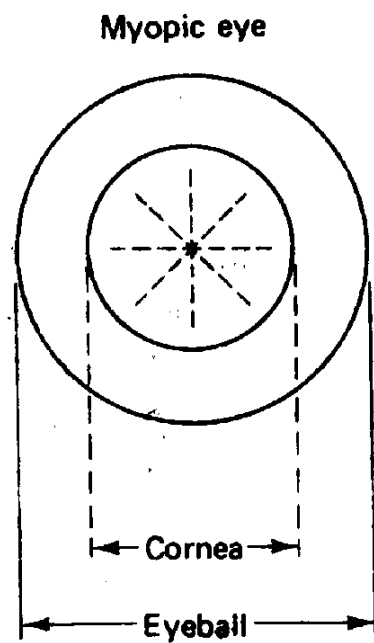
成因：椭球有两个对称平面，包含长、短轴，有两个不同的焦距—像散。



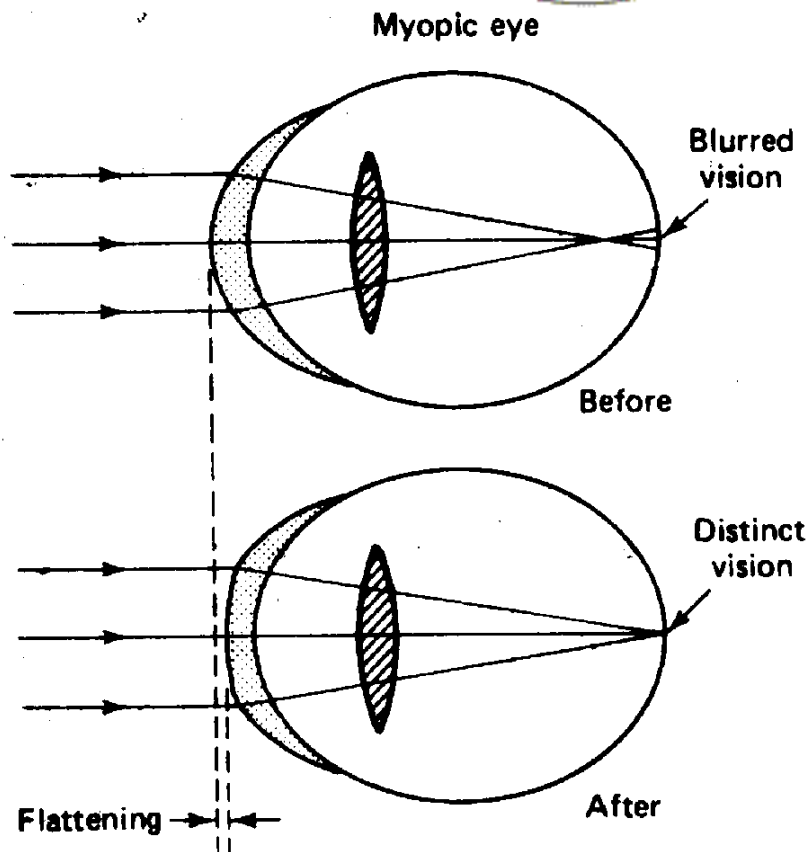
矫正方法：戴柱面透镜。与散光眼的像散相抵消。



近视眼的激光手术治疗

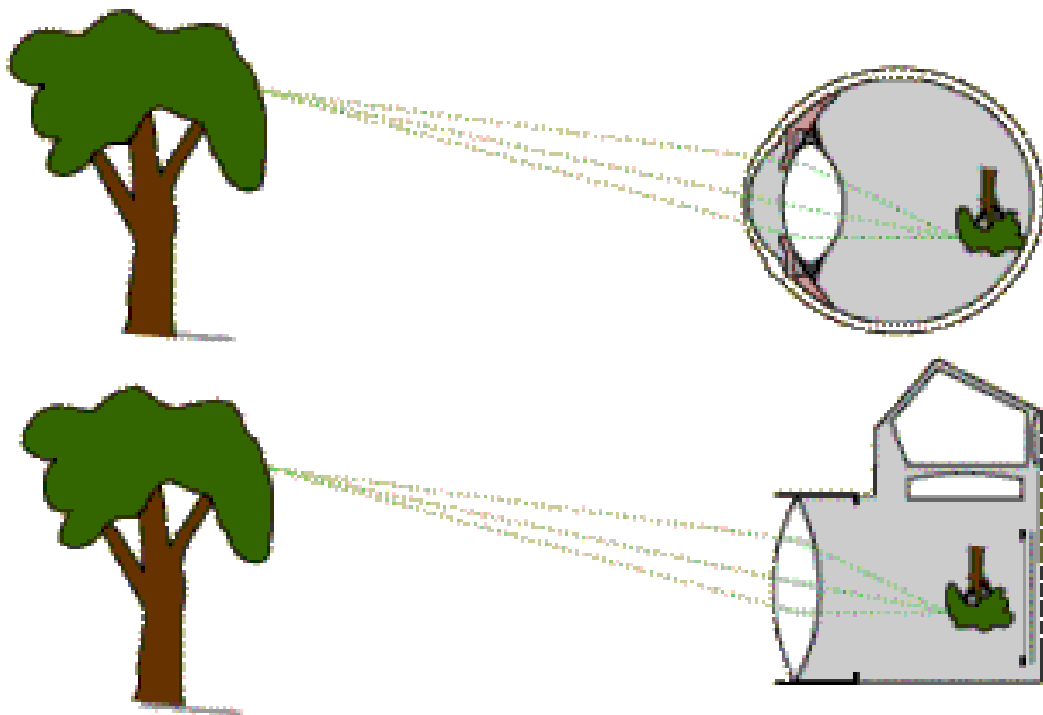


治疗前



四、人眼成像

物体在视网膜上成的是缩小、倒立的实像。来自物体的光线通过瞳孔，经过晶状体成像在视网膜上，再经过神经系统传到大脑，经过大脑处理，我们就看到了物体。

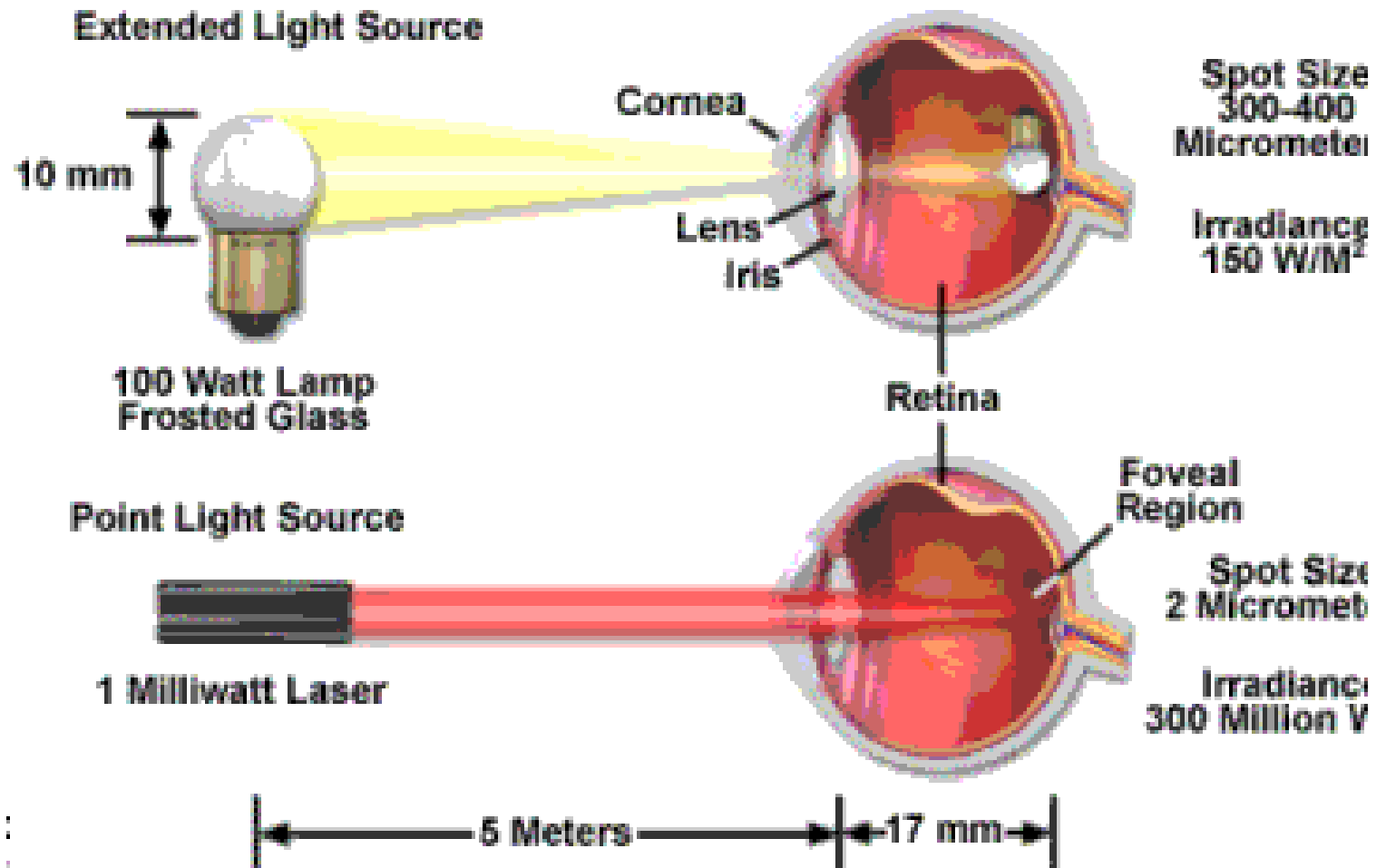


小知识

很小的婴儿看到的東西是倒着的。如果你朝上拿一根小棒給一個小嬰兒，你會看到他伸手拿的時候，會向你手的下方去拿，這是因為在他的眼睛里看到的是倒着的，即小棒是朝下的。等嬰兒再長大一點，根據經驗和視覺神經的調整，他看到的影像就正過來了。

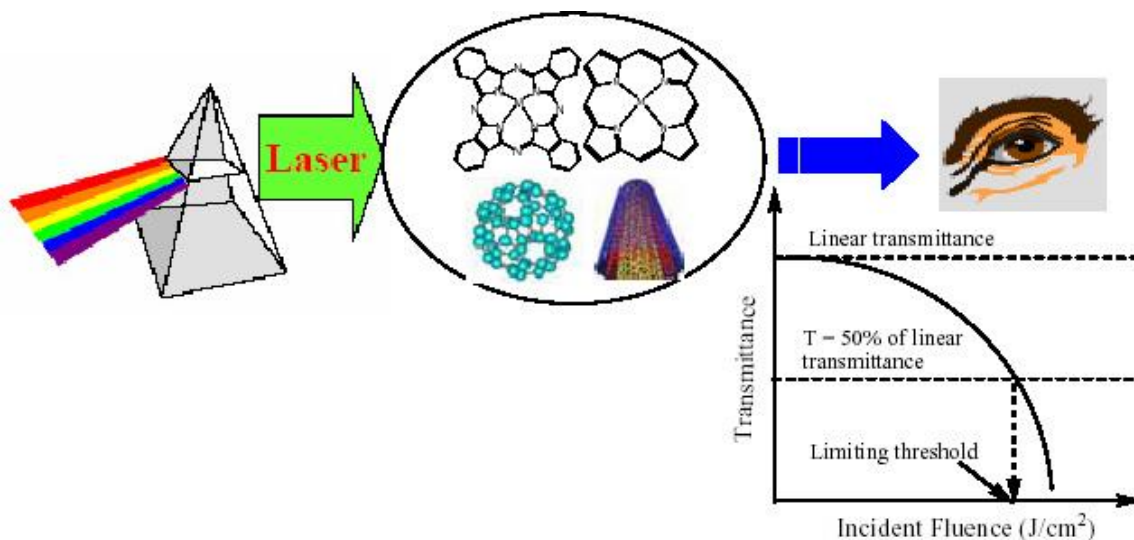
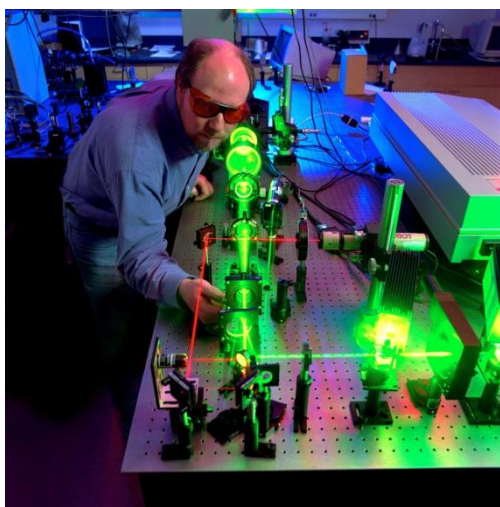
五、人眼防护

Extended and Point Source Power Density at the Retina



➤ 光学前沿：光限幅器 (Optical Limiter)

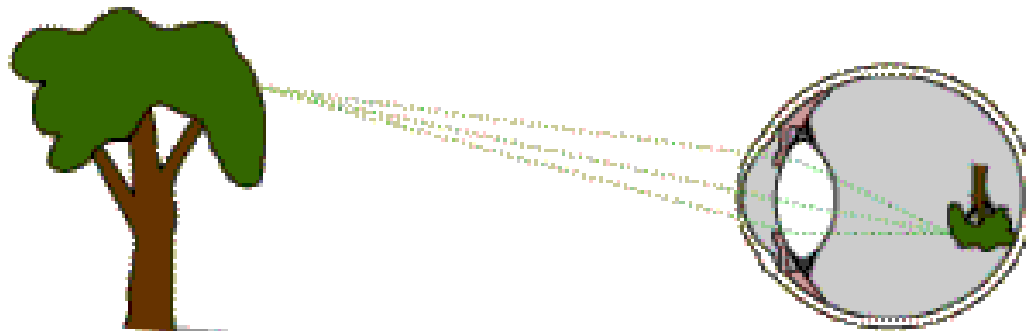
光限幅(optical limiting): 指当材料被激光照射时,在低强度激光照射下材料具有高的透过率,而在高强度激光照射下具有低的透过率.光限幅过程是利用光学材料的非线性吸收、非线性折射或非线性散射等非线性光学效应来实现的。



应用： 可利用材料的光限幅效应保护眼睛和器件免受强激光伤害。

§ 5.3 助视仪器的放大本领

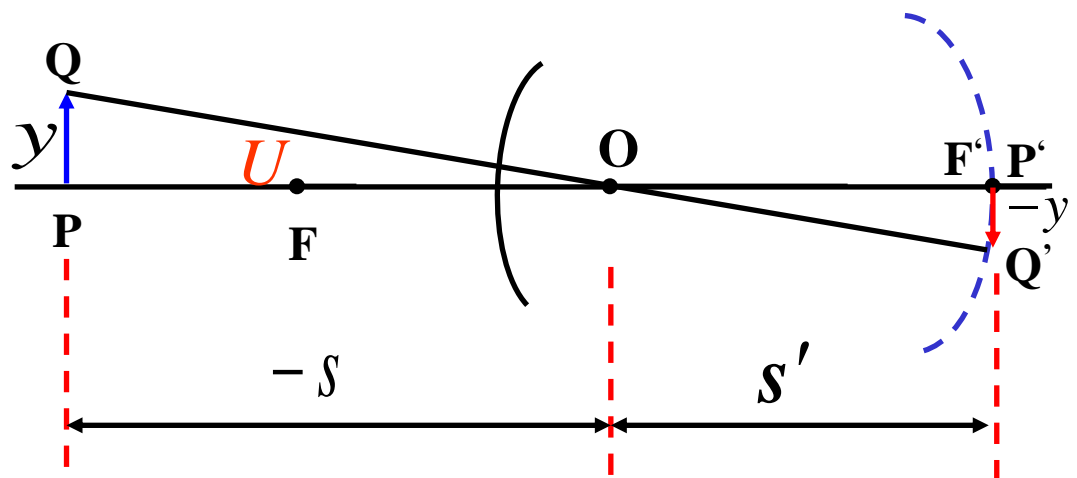
一、人眼的视角



定义：被观察物对人眼光心的张角。

视网膜上像的长度由物体对光心所张角度的大小来衡量（ U ）。

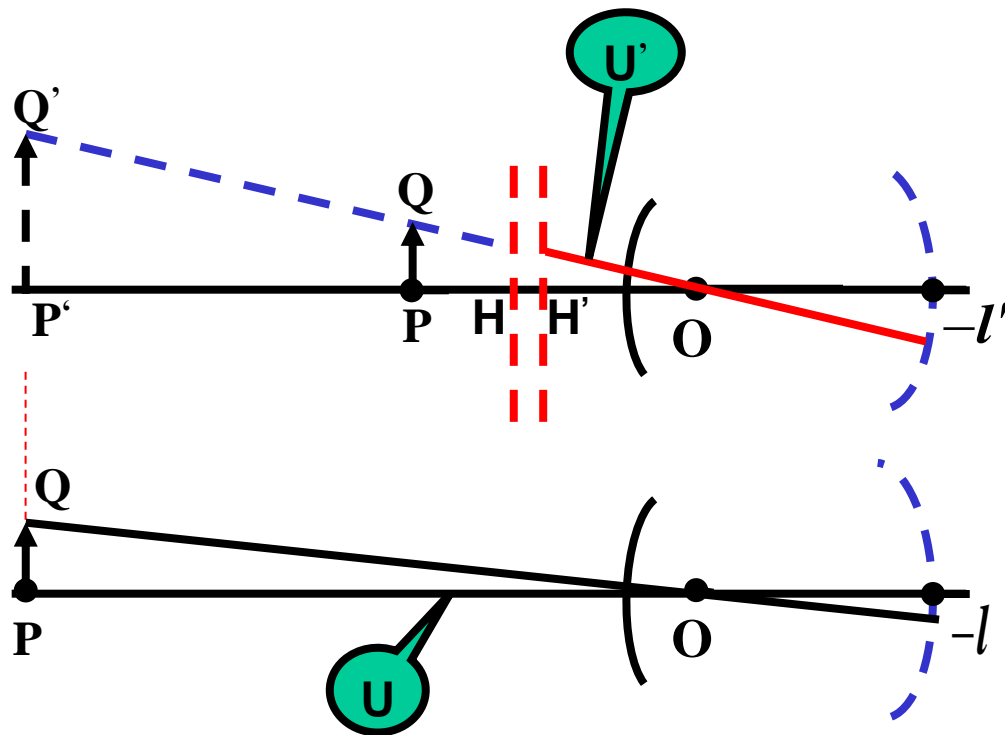
$$U = \frac{y}{-s} = \frac{-y'}{s'}$$



一切助视仪器设计的出发点就是增大人眼的视角

二、放大本领

$$M = \frac{l'}{l} \approx \frac{U'}{U}$$



说明：

- ① 须将物放在**同一特定位置**比较两像大小。
- ② 放大镜和显微镜：明视距离处（25cm）；
望远镜：无穷远处。

➤ 知识窗：放大镜(Magnifier)

放大镜：用来观察物体细节的简单目视光学器件，是焦距比眼的明视距离小得多的会聚透镜。物体在人眼视网膜上所成像的大小正比于物对眼所张的角（视角）。

放大镜按**外表分类**可以分为便携式放大镜和台式放大镜

按**使用人群**分为老年人阅读放大镜\儿童放大镜\户外便携放大镜\
专业鉴定测量放大镜



台式放大镜



便携式放大镜

三、放大镜

最简单的放大镜—凸透镜

使用放大镜的视角：

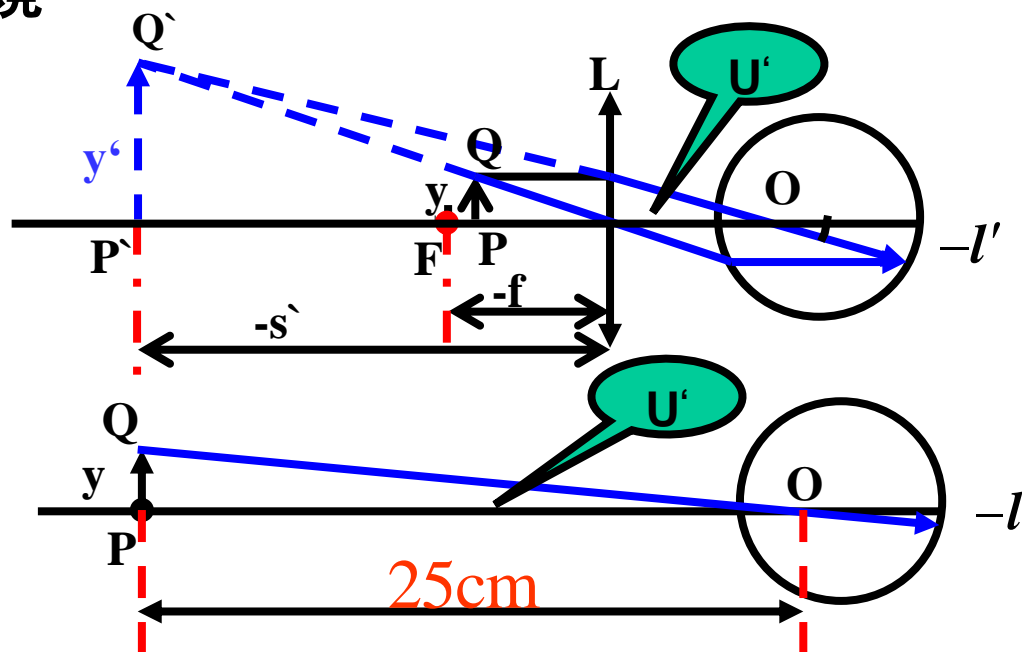
$$U' \approx \frac{y'}{(-s')} \approx \frac{y}{(-f)} = \frac{y}{f'}$$

未用放大镜的视角：

$$U = \frac{y}{25}$$

放大镜的放大本领：

$$M = \frac{U'}{U} = \frac{25}{f'} \quad (f' \text{ 以 cm 为单位})$$



➤小结：

§ 5.1 像差概述

球差，色差

§ 5.2 人的眼睛

人眼结构，简化眼，人眼的调节功能，人眼成像，人眼防护

§ 5.3 助视仪器的放大本领

人眼的视角，放大本领，放大镜

➤作业： 4-1、2、5

➤下次课内容：本章剩余部分