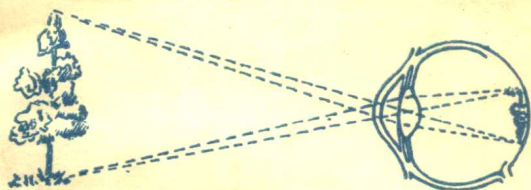


物理基本知识

光和眼睛

陈 振 华



科学普及出版社

光 和 眼 睛

陈 振 华

科 学 普 及 出 版 社

1958年·北京

总号: 502

光和眼睛

著 者: 陈 振

出版者: 科 学 普 及 出 版

(北京市西直门外柳家湾)

北京市书刊出版业营业登记证出字第091

发 行 者: 新 华 书

印 刷 者: 北 京 市 印 刷 一

(北京市西便门大街乙1号)

开 本: 787×1092 1/32 印张: 1 1/8

1958年6月第 2 版 字数: 29,500

1958年6月第1次印刷 印数: 2,020

统一书号: 13051·95

定 价: (9) 2 角

目 次

光的基本性質	1
眼睛的構造	7
眼睛怎样看見物体	12
眼的調節	14
眼睛的缺点和眼鏡	17
我們怎样清楚地看到物体	25
兩只眼睛的視覺	30
电影为什么会动	36
早晚的太陽比中午时大嗎	39
紅花綠叶	43

光的基本性質

(一)發光體和不發光體 太陽、電燈泡里灼熱的燈絲、燃燒的柴炭等，本身能夠發光的物體，叫發光體，或叫光源。棹、椅、衣服、書本等，本身不發光，沒有受到光源的照射時，我們不能看見的物體，叫做不發光體。玻璃、水、空氣等光可以通過的物體，叫做透明體；鐵、石頭、木料等光不能透過的物體，叫做不透明體；像毛玻璃、油紙等能夠透過一部分光的物體，叫做半透明體。

(二)光的直綫傳播 能傳播光的物質，叫媒質。組織均勻的媒質，叫做均勻媒質，例如空氣和水等。光傳播的方向，叫做光綫。當太陽光從一個小孔射入暗室裡，由浮游空中的塵埃，可以看到光的路徑是一直綫，所以知道光在均勻媒質裡是沿直綫傳播的。

光的直綫傳播也可用小孔成像來觀察，把燭焰放在刺有一個小孔的硬紙板的前面，在硬紙板後面放個紙屏，在

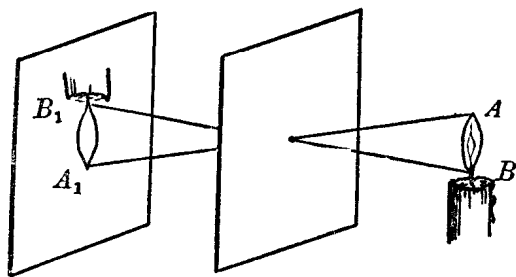


圖 1

紙屏上就可以看到一個倒立的燭焰像。燭焰上 A 點發出的光綫，筆直地通過小孔，射到屏上的 A_1 點，成一個小亮點；B 點發出的光綫通過小孔，射到屏上的 B_1 點，成一個小亮點；

燭焰上各點所發出的光綫通過小孔後順序地在紙屏上排列成倒像 $A_1 B_1$ 。這小孔成像的現象，2,400 年前（戰國時代）在我國“墨經”里就有具體的記載了，那時候作者墨翟已經知道光是直綫傳播的，並且他第一個用小孔成像的實驗來證明它。

因為光是直綫傳播的，在不透明物體的後面，光綫被遮斷了，那塊黑暗的区域，叫做影（圖 2）。如果光源是一個點，影的部分就完全黑暗，這影叫做本影。如果光源較大，影上能

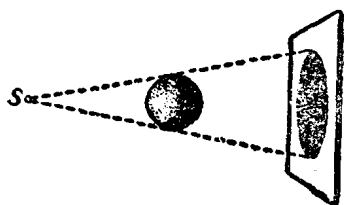


圖 2 影的形成

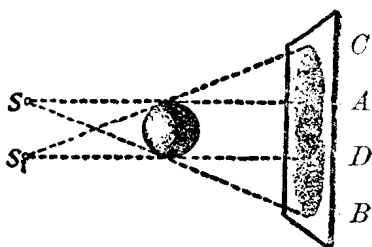


圖 3 半影的形成

受到一部分光綫而不能受到全部分光綫的区域，成為一暗淡的影，叫做半影。圖 3 中 AC 和 BD 部分就是半影， AD 部分是本影。

（三）光的速度 光是電磁波的一種，叫做光波。它的傳播速度很大，在真空中是每秒 299,796 公里，粗略一點，可說是每秒 30 萬公里。光在空氣里的速度和在真空中差不多，在別的透明媒質里的速度比在真空中小。光在水里的速度大約是真空里的 $\frac{3}{4}$ ，在玻璃里的速度大約是真空里的 $\frac{2}{3}$ 。

（四）發光強度 光通量 照度 各種光源發光的強弱是不同的，有的發光很強，如太陽，有的發光很弱，如燭焰。就是同一個光源所發的光，在各方面的強弱也不一定相同。例如扁燈芯的煤油燈，跟燈芯扁平面垂直方向發出的光比沿扁平方向發

出的光強些。發光強度用國際燭光做單位，就是一隻特殊構造的电燈在規定電壓下，沿某一規定方向所發出的光，如圖 4 所示。

光源不斷地向四周發射光能，在單位時間內通過某一面積的光能的多少，叫做這面積的光通量，它的單位叫做流明。離發光強度為 1 國際燭光的點光源 1 米遠，在 1 米^2 的球面上的光通量，正好等於 1 流明。

物體單位面積上所受到的光通量，叫做照度。它的單位叫做勒克斯，就是 1 國際燭光的點光源，在距這個光源 1 米遠地方的照度。物體和光源的距離越遠，物體上的照度越小，塵埃、煙霧等也會使照度減小。

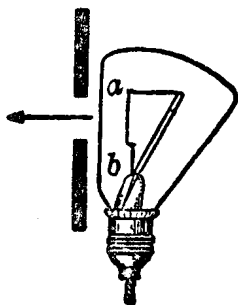


圖 4

(五)光的反射和折射 光綫射到兩種媒質的界面上就分成兩部分，並且改變了傳播的方向。一部分由界面反回原媒質的現象，叫做光的反射；另一部分進入另一媒質里傳播的現象，叫做光的折射。在圖 5 里，射到界面上的光綫 SO 是入射綫，

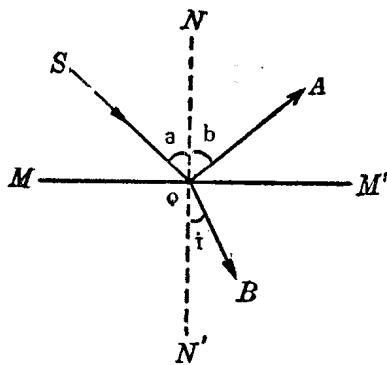


圖 5

從界面反射回來的光綫 OA 是反射綫，進入另一媒質里的光綫 OB 是折射綫。在入射點 O 垂直於界面的直綫 NN' 叫做法綫，法綫和入射綫所夾的角 a 是入射角，法綫和反射綫所夾的角 b 是反射角，法綫和折射綫所夾的角 i 是折射角。

光綫射到兩種媒質的界

面时，反射光和折射光的强弱跟入射角的大小有关。当入射角增大时，反射光的强度随着变大，折射光的强度随着变小；如果入射角逐渐减小，反射光的强度就随着变小，折射光的强度逐渐变大。例如在平静的水面上，远处物体发出的光线，由水面反射到眼睛里，比近处物体由水面反射来的光线来得明晰；如果在船上观察河底的情形，就比在岸上观察来得明晰。因为在船上观河底，河底射出的光，几乎垂直于水面，入射角很小，折射出的光线的强度就大。

折射光线和入射光线方向改变的程度，我们常用折射率来表示。光从真空中射入某种媒质时的折射率，等于光在真空里的速度与光在某种媒质里的速度的比值，这比值叫这种物质的绝对折射率。光由空气里折射入别的物质时的折射率和绝对折射率几乎相等。例如空气的绝对折射率是 1.0029，水的绝对折射率是 1.333。如果折射率大于 1，折射角就小于入射角，折射光线折向法线；如果折射率小于 1，就是折射角大于入射角，折射光线远离法线。

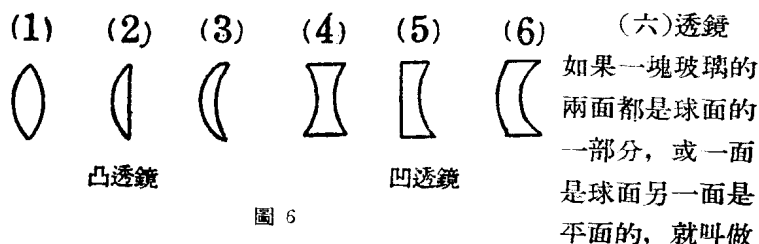


圖 6

透鏡。透鏡可以分为二类：一类是凸透鏡，它的中央部分比边缘厚，另一类是凹透鏡，中央部分比边缘薄，如图 6 所示。凸透鏡又有三种形式：双凸透鏡(1)平凸透鏡(2)和凹凸透鏡(3)。凹透鏡也有三种形式：双凹透鏡(4)平凹透鏡(5)和凸凹透鏡(6)。

連接透鏡兩球面中心的直綫（平凸和平凹透鏡為通過一球面中心和另一平面垂直的直綫），叫做透鏡的主軸。任何透鏡的主軸上都有一个特殊的点，凡是通过这点的光綫，都不会因透鏡的存在而改变方向，这个特殊的点，叫做光心。跟主軸平行的光綫（太陽光可以看作平行光綫），通过凸透鏡后，經折射而会聚于主軸上的一点，这点叫做凸透鏡的主焦点。跟主軸平行的光綫通过凹透鏡后，經折射而向外發散，如果把这些發散光綫，向鏡后延長可相交于主軸上的一点，各發散光綫好像由这点發出的，这点叫做凹透鏡的虛主焦点。每个透鏡都有兩個主焦点，分別位于透鏡的兩側，不过凹透鏡的主焦点是虛的。焦点到光心的距离，叫做焦距。对于用同样材料制造的透鏡，它們的焦距和透鏡兩面的球面半徑有关，球面半徑越小，就是透鏡的曲率越大，它的焦距就越小，折光作用越大。在兩边的媒質相同时，透鏡兩面的焦距相等。

發光体的光或被照物体的反射光通过凸透鏡以后，由于折射的結果，在鏡后可以得到物体的像。如果凸透鏡放在燭焰和紙屏之間，移动透鏡到适当位置时，紙屏上能出現一个清晰的燭焰的倒像。

如果燭焰和透鏡的距离小于透鏡的焦距时，任何調整在紙屏上都不能現出像来。但是眼睛靠近透鏡来看由透鏡透过来的燭焰，就可以看到一个比燭焰大的正立的像，这个像只能用眼睛隔着透鏡来观察，但不能在紙屏上映出来，这个像叫做虛像。物体放在凸透鏡的焦点以內，所成的虛像总是比原物体来得大，因此凸透鏡常作放大鏡用。

透鏡所成像的位置和物体的位置及焦距的大小有关，設物体到透鏡光心的距离为 a （簡称物距），像到光心的距离为 b （簡称像距），透鏡的焦距为 f ，那么它們的关系是：

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

如果透鏡的直徑比較大，那么和主軸平行的光綫通过透鏡的邊緣部分，折射后不能会聚在焦点上，而在焦点和鏡面之間和主軸相交，曲率較大的透鏡，更是显著。因此所成的像，輪廓模糊，这种現象叫透鏡的球面像差。

(七)光的色散 截面是三角形的透明体，叫三棱鏡。讓太陽光綫通过細縫，射到暗室里的三棱鏡上，光綫經過三棱鏡的兩次折射以后，在白屏上分散成相当寬的一列美丽的彩色光帶，彩色有一定的排列次序是：紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫七色，兩色相隣接的地方沒有明显的界限。这种把白光分散成色帶的現象，叫做光的色散。由色散形成按一定次序排列的色帶，叫光譜。

白光通过三棱鏡为什么能分散出各种顏色来？这是因为各种色光在真空或空气里的速度都一样，但在别的透明体里各色光的速度是不一样的。各种色光在玻璃里的速度以紅光为最大，紫光为最小，其他色光的速度都在紅光和紫光之間。因此各种色光的折射率也不相同，紅光的折射率最小，紫光的折射率最大。其他色光的折射率在紅光和紫光之間。因为各色光的折射率不一样，通过三棱鏡后的偏折程度就不一样，所以分散成一条色帶了。

因为玻璃对各色光的折射率各不相同，所以跟透鏡主軸平行的白光，通过透鏡折射后，各色分散，不能会聚在一点，紅光的折射率最小，会聚于距透鏡較远的一点，紫光的折射率最大，会聚于距透鏡較近的另一点，其他各色光会聚于这两点之間，因此透鏡所成的像，常有彩色的邊緣，因而模糊不清。这种因光的色散而引起的缺点，叫做透鏡的色差。

眼睛的構造

每个人都有兩只眼睛，一切光的現象，都要用眼睛来观察。眼睛的構造和作用跟照相机相像。眼睛的整个形状近似球形，所以叫它眼球，它的直径大約是2.5厘米，它的前后略呈压缩，利用六条肌肉使眼球能在臼座內作任何方向的转动。眼球的主要組成可以分为下列几部分，如图7：

(一)巩膜 眼球的最外一層为坚韧白色的膜，叫做巩膜。它的功用是保护眼睛的内部以免受伤，并保持眼球成一定的形状。在眼球后部占全眼球 $\frac{5}{6}$ ，的巩膜是不透明的，眼球前部占全眼球 $\frac{1}{6}$ ，是透明的。

(二)角膜 巩膜前部的 $\frac{1}{6}$ 透明部分，叫做角膜，向外方凸出，好像凸面的表玻璃，沒有血管，光綫由这里射入眼內。

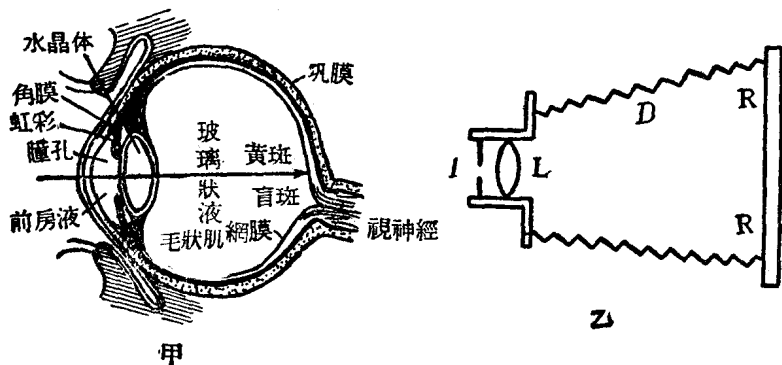


圖 7

正常眼睛的角膜，前表面頂点的曲率半徑为7.7毫米，后表面頂点的曲率半徑为6.8毫米，厚度为0.5毫米，它的折射率为1.376。角膜和巩膜交界处有一环形的小管，沿着角膜的边緣，叫做許氏管，它是眼球內前房液流入靜脉所經的道路。

(三)脉絡膜 巩膜的里面有一層不透光的黑色薄膜，叫脉絡膜。脉絡膜是由粗細不等的纖維組織交織而成，并有細密如網的毛細血管分布着，它的功用是輸送养分到眼中，是滋育眼睛的血管膜；除这層血管膜之外，还有一層薄膜，兩膜的中間含有黑色的色素細胞，来吸收眼內的漫射光綫，使眼球內部成为完全黑暗，以免扰乱視觉，这和照相机內部的黑色有同样的作用。

(四)虹彩 在角膜的后面和脉絡膜相連接的，有一彩色的薄膜，叫虹彩。虹彩是由平滑肌纖維組成的薄膜，含有毛細血管和色素細胞。虹彩的顏色由所含色素的多少来决定，我国人的眼睛多呈黃棕色，小孩的眼睛多数近于黑色，西洋人的眼睛多呈藍色。虹彩的中央有一圓孔，这是瞳孔。光綫由瞳孔射入眼球里，因虹彩的平滑肌纖維有兩種不同的排列：一为环形肌，当它收縮时，能使瞳孔縮小；另一为輻射肌，当它收縮时，能使瞳孔放大。由于兩種平滑肌的作用，可以改变瞳孔的大小，来調节射入眼球內的光通量。所以虹彩的作用，相当于照相机的光圈。在光亮的照明下，瞳孔的直徑等于2—3毫米，在微弱的照明下为7—8毫米。

(五)網膜 脉絡膜的內表面的大部分是分布着一層很薄的玫瑰色的神經纖維膜，叫做網膜，布滿着視神經末梢，將后半部表面完全遮着，我們的視觉完全由这層發生。網膜是視神經纖維的分支，包含許多复杂的層次。圖8表示網膜截面的放大，有箭头的一边为光綫射入的一面，圖中的Ⅰ为脉絡膜的一部分，Ⅱ为和脉絡膜相联的一層，它的細胞具有黑色的色素，所以叫色素細胞層，它的主要作用是吸收光綫，使不致透出網膜。Ⅲ为圓柱細胞和圓錐細胞層，由圓柱細胞和圓錐細胞所組成，這兩種細胞都是感光細胞。但圓柱細胞只能区别明暗，圓

錐細胞除了感光以外，還能區別顏色。圓柱細胞約有幾億個，分布在網膜的周圍部分。圓錐細胞約有七百萬個，絕大多數分布在網膜的中央部分。由中央部分向外擴展，圓錐細胞逐漸減少，而圓柱細胞逐漸增加，靠近網膜的邊緣部分，幾乎完全是圓柱細胞，視神經末梢終止在這些細胞上。Ⅳ和Ⅴ為兩個神經細胞層。圓柱細胞和圓錐細胞里都含有一種感光物質，當光綫照射到網膜上時，圓柱細胞和圓錐細胞就發生化學變化，引起興奮，以刺激形式傳達到第一層的神經細胞，再傳到第二層的神經細胞，最後由視神經傳入大腦，發生視覺。所以網膜是使眼睛發生視覺的主要部分，和照相機的底片相似。

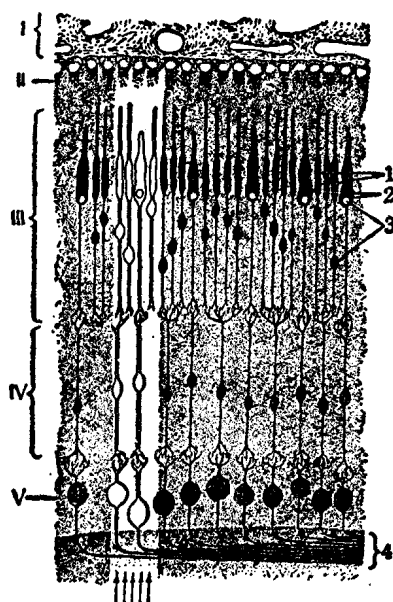


圖 8 網膜的構造

- Ⅰ. 脈絡膜的一部分 Ⅱ. 色素細胞層
Ⅲ. 圓柱細胞和圓錐細胞層 Ⅳ. Ⅴ. 兩個神經細胞層 1. 圓柱細胞 2. 圓錐細胞
3. 圓柱細胞和圓錐細胞的細胞核
4. 神經纖維（下面的箭頭表示光綫；白色的部分表示在光綫的作用下，在網膜中興奮了的神經細胞）

（六）黃斑 網膜的中央正對瞳孔的地方有個微小凹陷部分，四周略呈黃色，叫做黃斑。黃斑的中央，有一直徑大約為0.25毫米的微凹區域，叫做中心凹，這裡的網膜特別薄，沒有圓柱細胞，只含有最大多數而且分布很密的圓錐細胞，每平方毫米上約達12,000條，它是網膜上白天對於光綫感覺最靈敏的部

分。控制眼球的肌肉，可以轉动眼球，使所觀察的物体的像，恰好落在黃斑上，網膜的外圍部分只作感受視場一般景像用。

在中心凹里的每一个圓錐細胞都有一條單獨的視神經纖維聯絡着，每一个神經節細胞，只接受一个圓錐細胞，当中心凹受到光的刺激时，所發生的兴奋，可以迅速的傳达到腦中樞，同时因为每个圓錐細胞都有直接和腦中樞連接的視神經，所以只要一个圓錐細胞受到光的刺激时就可以引起清楚的視覺。因此，中心凹就成了白晝对于光的感覺最灵敏的部分，离中心凹越远，灵敏度越差。在中心凹以外的網膜上，10个圓錐細胞和一个神經節細胞聯絡，250个圓柱細胞和一个神經節細胞聯絡，所以，網膜的周圍部分，对于光的感覺比較緩慢。

根据波立克的測量，圓錐細胞的大小是不一致的，在中心凹的中心点的圓錐細胞最小，它的直徑只有1微米 $\left(\frac{1}{1000}\text{毫米}\right)$ ，分布的密度最大；在中心点以外的中心凹区域，圓錐細胞的直徑是2微米；在中心凹的邊緣还没有和圓柱細胞混合的区域內，圓錐細胞的直徑为3.3微米。在白天視覺的敏感度跟圓錐細胞的大小及其分布的密度有关系，如果以中心凹的中心点的視覺敏感度定为1，那么在黃斑周圍的敏感度为 $\frac{1}{2}$ ，在網膜最邊緣部分的敏感度为 $\frac{1}{40}$ 。在暗光下的視覺敏感度恰相反，在中心凹最差，离中心凹較远的地方敏感度較大，但是網膜邊緣都是圓柱細胞，所以在暗光下的視覺是圓柱細胞的作用，只能分出明暗，而看不出顏色来。

(七)盲点 在視神經进入眼球的一点，沒有圓柱細胞和圓錐細胞，所以这一点不能發生光的感覺，叫做盲点；盲点在黃斑的下方，



圖 9

离黃斑很近。盲点的存在，可用圖9来証实，將左眼閉合，單

独用右眼注視圖中的+字，当圖距眼睛大約 20 厘米时，圖中的方塊消失不見，而圓点能看見；如果將圖移近时，方塊又出現而圓点消失不見；如果再移近时，圓点又出現。如果圖距眼睛在 20 厘米以外，虽注視+字，而圓点和方塊都同时可以看見。这是因为圖在离眼睛 20 厘米处时，方塊的像恰好在盲点上，移近时圓点的像恰好在盲点上，不能引起視觉，所以我們就看不見它，如圖 10 所示。

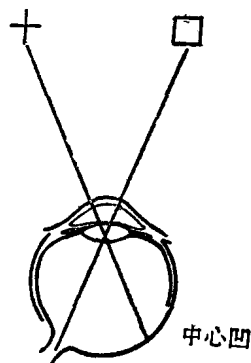


圖 10

(八)水晶体 虹彩的后面有个像双凸透鏡作用的透明体，叫水晶体，是由很多層極薄的密度不同而有彈性的角質体所組成的。最外一層比較柔軟，最內一層比較堅硬。它的后表面的曲率較前表面大，正常水晶体前表面的曲率半徑是 10 毫米，后表面的曲率半徑是 6 毫米。它的折射率逐漸向內增加，最外一層約為 1.405，中間一層約為 1.429，最里一層約為 1.454。为簡便起見，可以取 1.4371 作水晶体折射率的平均值。由于水晶体各層的折射率不同，可以糾正凸透鏡的球面像差及色差等缺点，正如望遠鏡的鏡頭用兩種折射率不同的玻璃拼成，可以消除色差一样。

(九)毛狀肌 和巩膜內層上的脈絡膜相連接并附着于水晶体周圍的肌肉，叫做毛狀肌，水晶体就嵌在毛狀肌的中央。毛狀肌是由多層彈性膜組成的，除支持水晶体外，由于它的放松和收縮，还可以改变水晶体兩面的曲率。

(十)前房 水晶体將眼球的內部分为大小不同的兩部分，在角膜和水晶体之間的部分，叫前房。其中充滿一种透明而粘滯性很低的液体，叫前房液，是供給角膜和水晶体的养料的。

它的折射率为 1.3365，跟水的折射率相近。

(十一)后房 在水晶体后面和網膜之間的部分，叫后房。其中充滿了含水分很多粘性很高的透明膠質，叫玻璃狀液。它的折射率为 1.3365，跟水的折射率很相近。

角膜、前房液、玻璃狀液和水晶体都能使光發生折射，它們的合并折射率为 1.409。它們合成的光心就是眼睛的光心，在水晶体的里面而靠近水晶体后表面的地方，光心到角膜前表面的距离为 7.3 毫米，到后焦点的距离为 15 毫米。当 正常眼完全休息时（就是向远处看时），后焦点恰在網膜上。通过眼球的光心和黃斑中点的直綫，叫做眼睛的光軸或眼睛的軸綫。

角膜、前房液、水晶体和玻璃狀液的合并焦距，就是眼睛的焦距，眼睛的兩個焦距是不相等的，一般在眼睛內的焦距为 15 毫米，眼睛外的焦距为 20.7 毫米。

眼睛怎样看見物体

眼睛前方的焦点在角膜的前面 13.75 毫米的地方，平常我們看东西时，物体和眼睛的距离都在眼睛的前方兩倍焦距以外，所以由物体射来的光綫，經眼睛折射后，在眼球內的焦点和距光心兩倍焦距的点之間造成一倒立縮小的实像。如果物体的像恰好落在網膜上，刺激視神經，傳达到大腦就能引起視觉。物体在網膜上成像的情形，如圖 11 所示。这和照相机的作用很相似。

網膜的感光作用是由于化学变化，当光射到網膜时，組成網膜的物質就發生化学分解作用，在这分解过程，刺激視神經，就發生光的感覺。这种化学变化，可由血液的流通使它还原，每当眼皮閉合眼球內黑暗的瞬間，由于血液的滋育，使它还原成原来的物質。至于由这种化学变化怎样会产生光的感

覺，到現在還沒有明了。

根据光学中透鏡生像的情形，我們知道網膜上所成的像是倒立的，上下顛倒、左右交換的。但我們对所看到的物体，並沒有倒轉的感覺，

这是什么緣故呢？

因为人的感觉是从眼睛的網膜上所成的像得来的，而人們自出生以来，就認識網膜上的倒像的原物是正立的物体，正像反而認為

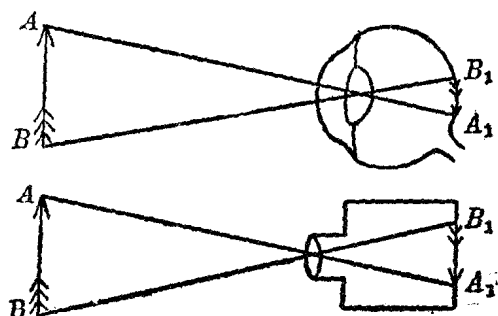


圖 11

是倒立的物体，經過了長期的訓練，這已經習慣成自然了。

为了証明这是一个習慣問題，心理学家斯脫賴頓曾經做了一個有趣的實驗，他用二塊焦距很短的凸透鏡裝在一个管子的兩端，做成一個小型的室內望遠鏡，牢固而緊密地裝在他的右眼上，使旁邊不漏光，再用不透光的東西把左眼遮起來，他只能通過右眼的望遠鏡來看東西。因為望遠鏡所成的像是倒立的，所以他的網膜上所成的像應該跟原物体一樣是正立的。但他的大腦里的感覺跟平常完全相反，覺得天翻地復，天在下面，地在上邊，所看到的人和動物都是腳在上邊頭在下面左右相反地倒立着，一切的桌子和凳子也都是腳在上邊，桌面和凳面在下面，覺得很混亂，不習慣，他要拿上邊的東西，手卻伸到下面去了，要拿左邊的東西，手卻伸到右邊去了，覺得自己的手太不聽指揮。雖然他對這種混亂現象很不習慣，但還耐心的訓練下去。他白天經常戴着這望遠鏡，到晚上睡覺時，一拿下望遠鏡立刻把右眼也用不透光的東西遮起來，不讓它見光，早晨起