

電子顯微鏡的原理及應用

孫鐵勇 編譯

上海科學技術出版社

电子顯微鏡的原理及應用

孙鉄勇編譯

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書敘述電子顯微鏡的基本原理，從說明光學顯微鏡的天然限制及其改進與克服的方法起，進而詳述電子在電場和磁場中的運動情形，再講述電子顯微鏡的作用理論，最後方敘述電子顯微鏡的實際用途。

本書說理由淺入深，力求避免應用數學的說明，適合高中學生和一般讀者，亦可給應用電子顯微鏡的工作人員以及大專學校物理系科作為參考讀物。

電子顯微鏡的原理及應用

孫 鈺 勇 編 譯

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出093號

上海新華印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

開本 787×1092 耗 1/27 印張 8 26/27 插頁 1 字數 184,000

(原科技版印 3,020 冊)

1959年6月新1版 1959年6月新1版第1次印刷

印數 1—2,500

統一書號：13119·10

定價：(十四) 1.30 元

編譯者附言

電子顯微鏡的問世給人類帶來了一具探索微觀世界的有力工具，無論在生物學、生理學、物理學、化學、冶金學、地質學、細菌學、農業科學等各方面都有它的踪跡，並且已經給人類帶來了輝煌的成就。

本書的主要目的在於全面地介紹電子顯微鏡的基本原理。

本書基本上是根據 E.F. Burton 和 W.H. Kohl 合著的“The Electron Microscope”紐約 Reinhold Publishing Corporation 1948 年版編譯而成。

全書可分為三部份。首先，講述光學顯微鏡的基本原理及其天然限制，然後比較詳細地介紹光的本性以便闡明此一天然限制的癥結所在、進而闡述其改進方法。

其次，比較全面地系統地介紹了電子的發現和本質及其在電場和磁場中的運動情形，進而敘述電子顯微鏡的基本原理及構造。

電子顯微鏡的作用原理主要根據電子在電場和磁場中運動情形的特質，所以電子顯微鏡也主要可分兩大類：根據電子在電場中的運動特質做成的電子顯微鏡稱做靜電式電子顯微鏡；根據電子在磁場中的運動特質做成的電子顯微鏡稱做電磁式電子顯微鏡。

作為實際的例子，編譯者特別介紹了德意志民主共和國贈給毛主席的 Zeiss Typ-C 型靜電式電子顯微鏡和蘇聯展覽館展出的蘇聯 УЭМ-100 型電磁式電子顯微鏡。

最後，第三部份敘述了電子顯微鏡的一部份實際應用。

由於電子顯微鏡的高度放大率（請參閱前頁照片）和高度分辨率，因此它真是有史以來人類探索自然奧秘的有力助手，而電子顯

微鏡的製造和改進也就成了當前各先進國家科學家們的努力目標之一。蘇聯 1946-1950 年關於復興國民經濟和發展五年計劃（第四個五年計劃）的計劃書中曾明確地指出：“…搞好電子顯微鏡的生產，以使各種科學研究機關中都能使用它”（引文據蘇聯 Ю. М. Кушнир 著，蔣定英、滕砥平譯，“電子顯微鏡”，商務版 47 頁）。從這句話中，我們清楚地看到電子顯微鏡工業的重要性。所以今天來介紹有關電子顯微鏡的知識應該被看作是及時和必需的。

應該指出，電子顯微鏡的應用範圍雖然非常廣泛，其成就也非常巨大，但是它卻並不是一切科學研究障礙的萬靈藥或百寶丹。另外，電子顯微鏡也還存有一些缺點，例如，樣本複製方面的困難、顯微相片的理解方面的困難，此外比較突出的，由於電子顯微鏡的操作必須在高真空內進行，因而就不能觀察活的微生物。但是儘管電子顯微鏡有這許多缺陷，由於其所特具的高度放大本領和高度分辨本領，所以其成就也仍大大的超過了它的缺陷。

本書是專為一般讀者介紹電子顯微鏡基本原理方面的知識的，所以在敘說中力求避免應用數學的說明。

如果本書有助於電子顯微鏡基本原理知識的普及，則編譯者就認為已經達到了編譯本書的目的。

最後，在本書編譯時，承大連醫學院物理教研組齊友徵教授和陳秀文、黃詒焯諸同志以及化學教研組朱兆元教授給以巨大的幫助和指正。初稿承上海第一醫學院生物科陳世驥教授和物理科朱國恩同志以及上海華東師大附中屈肇堃同志詳加校閱並提供了很多寶貴的意見。編譯者對所有這些同志都表示衷心的感謝。此外，限於編譯者的水平，書中難免還存有錯誤和不當之處，編譯者誠懇地希望各位同志提出批評和指正。 編譯者 1955 年 7 月 1 日

目 錄

編譯者附言	i
-------	---

第一章 視覺	1—11
--------	------

光線的屈折 光線屈折的方向: 折射 稜鏡與透鏡 眼睛
眼睛的視野與視限

第二章 光學顯微鏡	12—23
-----------	-------

視覺缺陷的矯正 如何可以識別單透鏡的成像位置 單顯
微鏡或放大鏡 複式顯微鏡 透鏡和透鏡組的像差 顯
微鏡的分辨率 衍射(繞射)現象

第三章 光是什麼?	24—29
-----------	-------

古代關於光的理論 近代關於光的學說: 微粒說和波動說

第四章 波動及波動介質	30—33
-------------	-------

光線是不是一種波動? 水波的衍射現象 波動的基本知識

第五章 彈性介質內的波動	34—39
--------------	-------

氣體與液體中的波動 固體中的波動 波動在物體內的傳
播情形 物體中的波動速度 光波所需的介質

第六章 光波與顯微鏡	40—50
------------	-------

光的干涉現象 波動說的採納 顯微鏡的分辨限度 分
辨率和放大率 超顯微鏡

第七章 光的電磁學說	51—55
------------	-------

法拉第的力場概念 電場和磁場的介質 光、電、磁三者之
間聯繫的證實 麥克斯韋的光的電磁學說

第八章 電子	56—66
--------	-------

電子的發現 陰極射線的特性 電子的電荷及質量 電

子是一個基本粒子 物質的基本磚塊 電子在勃隆管中的發射

第九章 電子的發射.....67—74

金屬的熱離子發射 塗有氧化物的陰極的電子發射本領 各類電子發射器發射率的比較 次級電子發射 光電發射發光和X-射線

第十章 光的雙重性理論.....75—83

光電效應 波動說的缺陷 量子說

第十一章 電子的雙重性理論.....84—87

波和物質：德布羅意理論 德布羅意理論的實驗證明 電子所具有的波長 電子波和電子射線

第十二章 電子在電場中的運動.....88—98

功、力和功率 水位差與電勢差 電力線和等勢線 勻強電場中的電子運動 非勻強電場中電子的運動途徑

第十三章 電子在磁場中的運動.....99—115

磁鐵與磁場 通電導線周圍的磁場：電磁鐵 磁鐵對通電導線的作用 電場和磁場對電子作用的比較 向任一方向運動的電子進入磁場後的軌道：矢量

第十四章 電子光學 I. 電磁聚焦.....116—128

電磁透鏡 短電磁透鏡 鐵屏電磁透鏡

第十五章 電子光學 II. 靜電聚焦.....129—141

歷史背景 電子射束的靜電透鏡 具有初速的發射電子光線與電子的折射

第十六章 靜電式電子顯微鏡.....142—154

物與像 靜電發散透鏡 靜電會聚透鏡三電極透鏡 三極透鏡的放大本領 四極透鏡及其放大本領 靜電透鏡的分辨率應用白熾發射陰極的可能性 用光電表面或其他方法作為陰極的介紹 現代靜電式電子顯微鏡——德國 Zeiss Typ-C 型靜電式電子顯微鏡

第十七章 電磁式電子顯微鏡.....155—164

發射式電子顯微鏡和透射式電子顯微鏡 複式電磁式電子顯微鏡的歷史 蘇聯 УЭМ-100 型電磁式電子顯微鏡

第十八章 有效放大率.....165—167

分辨率與放大率 有效放大率的實用限度

第十九章 電子顯微鏡的使用.....168—175

樣本的製備 顯微相片的拍攝 顯微相片的理解

第二十章 電子顯微鏡的實際應用.....176—200

天然物體的極微細的細圖 微粒的大小和形狀 (1) 碳黑和填充劑 (2) 粘土 (3) 礦坑內的灰塵 (4) 結晶的與非結晶的煙灰微粒 照相乳劑中銀澱積物的形成 有機物質的分子 纖維蛋白質的電子顯微相片 醫學上的應用 形態學的研究 細菌與抗體間的相互作用 細菌的生命史 由細菌引起的或在細菌內部發生的生物化學效應的地位：特殊染色技術 切片 如何利用電子顯微鏡拍攝立體相片 表面的複製技術

第一章

視 覺

人類的眼睛真是一件非常奇妙的光學儀器，比任何一件由人類所設計製成的更奇妙數千萬倍。它既擴展了我們對四周物質世界的觀感，因而也就是使我們能成為世界上有意識成份的主要關鍵。但是，由肉眼看到的景象雖已如此驚心動魄，五花八門，然而却仍遠不能滿足我們的好奇心理。我們還渴想着觀察肉眼看不到的東西，想把視線一直伸展到很遠很遠、我們視野以外的星球上去，並且也還想鑽進極微細的物質內部，進入到微觀世界中去。為了能達成這個目的，我們就不得不請求人工的協助：在天文學範圍內製成了望遠鏡，而在微觀世界的研究領域中則發明了顯微鏡。

當我們在眼睛和被觀察物體間插進人工的光學機構時，一般的目的，無非是想把被觀察物體的形像放大一下。在“被觀察物體——助視器——眼睛”這個聯繫中，眼睛始終是不可缺少的部份。在這本小冊子中，我們主要要談的是顯微鏡。而這也僅不過是上述聯繫中的一個環節而已。

在講述這個問題以前，下列兩點是必須首先熟知的：第一，物體乃是靠它散射或反射的光線才被察見的，第二，物體的位置總是被認作在最終進入眼睛的這條光線方向中的。這第二點更是絕大部份錯視的基本原因。

光線的屈折 下述簡單的幻術能很好地說明光線由一種透明

介質進入另一種透明介質時所發生的特殊情況。在空水罐底部放一銅元，加以足夠照明，使人們能由上部觀察到它。現設有這樣一位觀察者，他把頭部固定在這樣的位置上，使他的視線擦過水罐邊緣時，恰巧看不見銅元（圖 1a）。如果，觀察者保持其視線不動，向水罐中注滿清水，這時銅元就可看見了（圖 1b）。圖中虛線表示光線由銅元射入眼睛的表觀路徑。但是我們知道銅元的位置並沒有改變。所以光線由銅元射入眼睛的實際路徑乃是由點線所表示的。

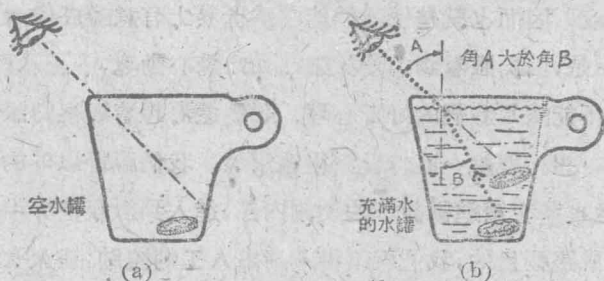


圖 1. 光線由水中進入空氣中時的屈折情形。

另一個這種錯視的例子，就是在日落時，當太陽實際上已經落入地平線以下後，在一段相當長的時間內，我們仍舊能夠看得見

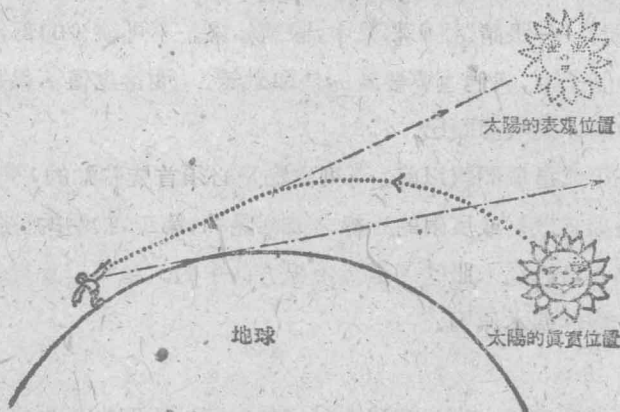


圖 2. 太陽落山後，我們看見太陽的情形。

它，其原因是這樣的，由太陽發出的光線，在經由密度不同的大氣層時，如圖 2 所示那樣，漸漸被偏折而向下彎轉。我們的視覺根據最終進入我們眼睛的光線的方向，就引起了錯視，以為太陽尚未落山。

這兩種現象，可說是人們對於光學觀察的最初紀錄的一部份，大約在紀元前五十年時就已經為人們知道了。

光線屈折的方向：折射 從圖 1b 的粗率觀察中，可以約略察知光線由水中進入空氣時的偏向情形：出射到空氣中的光線和水罐邊所成的角度，或說得更確切些，與水面垂直的直線間的角度比由銅元在水中射出的光線和此垂直線間所成的角度要大一些。一般地說來，當光線由光密介質（如水）傾斜地進入光疏介質（如空氣）中時，光線總是向遠離分界面法線（即分界面的垂直線）的方向折射的。

我們也可以反過來進行這實驗。當我們用手電筒燈光斜向射入玻璃缸中的水面時，我們就能見到由空氣（光疏介質）進入水（光密介質）中的光線總是向接近分界面法線的方向折射的（圖 3）。光線由一種透明體進入另一種透明體時改變行進方向的這一現象就稱做折射。



角B小於角A

圖 3. 光線由空氣進入水中時的屈折情形。

稜鏡與透鏡 對於玻璃塊和凸透鏡能使穿過它的光線改變方向的這一事實，我們大家是多多少少有些經驗的。實際上，所有這

類現象都可以用光線穿過三角形狀的均勻玻璃塊(稱做稜鏡)的情形來解釋的(圖 4)。

設在 P 點放置一蠟燭,某觀察者的眼睛則位於 E 點。今在視線 EP 間,插入一玻璃稜鏡 ABC ,則蠟燭的位置就好似移到了 Q 點。沿 PE 方向行進的光線在 K 點發生了偏向,以致不能射入觀察者的眼睛。射入觀察者眼睛的光線是另一條 PG 。這條光線,當它在 G 點由光疏介質(空氣)進入光密介質(玻璃)中時,它在玻

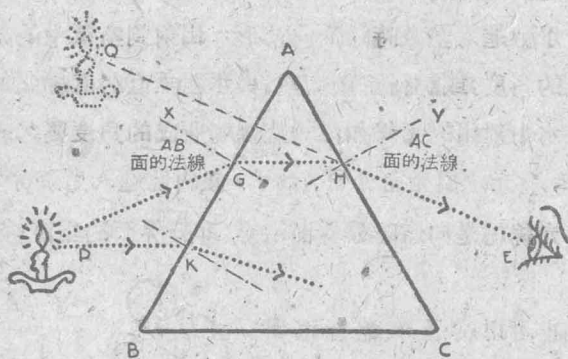


圖 4. 光線被稜鏡偏向的情形。

璃中的行進方向與 G 點界面的法線所成的角度一定比角 XGP 為小;而當其由玻璃中射出,再進入空氣中時,角 YHE 又將大於光線 GH 和 AC 面的法線間所構成的角度。因此觀察者才會根據最終進入眼睛的光線 EH 感覺到蠟燭的位置好似移到了 EHQ 的方向之中。

弄清楚了稜鏡偏折光線的情形,那末,對於簡單透鏡能把光源或明亮物體“聚焦”在一塊幕屏上的作用,也就變得容易瞭解的了。

我們有時喜歡在一個明亮物體(O , 圖 5)和幕屏,例如手掌間放上一個凸透鏡,以使在這樣的幕屏上形成該物體的圖形(如圖 5

中的 I)。透鏡和幕屏的位置須加以調節,使幕屏上所成的圖形更為清晰。假如這實驗是在暗室中進行的,並且用罩子把光源的一部份遮蔽,只使通過透鏡的光線射出,並且如果在光線通過的區域中散有煙霧時,就可非常清晰地觀察到光線自 O 點向 I 點偏向的實際途徑。

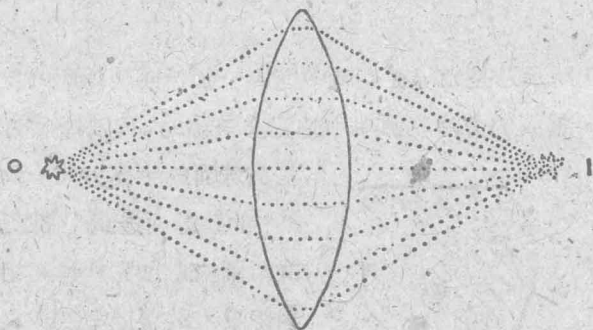


圖 5. 透鏡彎曲光線的情形。

在 I 點構成的圖形就稱做物體 O 的像,而為獲得清晰的像把透鏡和幕屏的位置移動調節的過程則稱做透鏡的聚焦。

假如我們把任一透鏡當成是由無數稜鏡構造組成的話(如圖 6 所示),那末透鏡的這一作用是非常容易解釋的。由圖 6 看來,

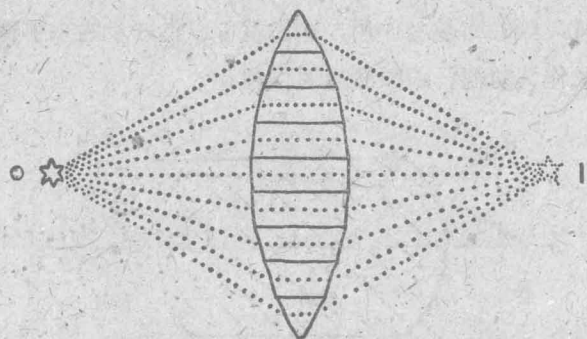


圖 6. 透鏡可以視作由許多稜鏡斷片所組成的情況。

從 O 點發出，經過各稜鏡部份而透出的光線，的確是有可能都經過 I 點的。

在圖 6 中，稜鏡的斷面數目愈大，那麼這稜鏡的表面輪廓結構也就愈接近於普通的凸透鏡。凸透鏡的表面是球面狀的。然而我們也可不藉上述稜鏡結構的辦法而把光線穿過透鏡的情形描繪出來。

圖 7 所示乃是光線從空氣中進入一個表面是球面的玻璃塊中的情形。構圖的方法與圖 4 中是完全一樣的；玻璃球面的法線 N

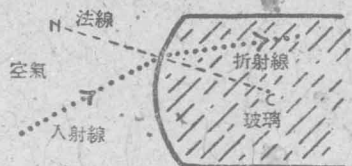


圖 7. 光線穿經單一玻璃面時的途徑。

恰與球面的半徑方向一致。在圖 8 中的雙球面透鏡（或厚凸透鏡）的構圖情形也完全與此相同。入射線 OP_1 的偏向程度與表面的曲率是有關的，或者換句話說，與球面的半徑是有關的；例如，與圖 8

中的長度 C_1P_1 和 C_2P_2 是有關的。半徑愈短，表面的曲率就愈大，光線也就偏向得愈厲害。這種偏向就決定了所謂表面的放大本領或凸透鏡的放大本領。

根據這樣的凸透鏡作用，我們就可以進一步的來解釋眼睛的作用以及作為助視器的顯微鏡的作用。

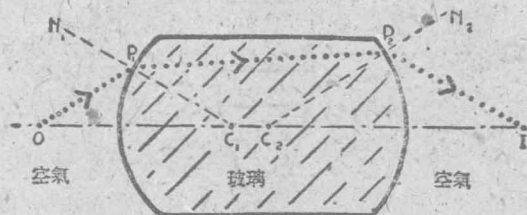


圖 8. 光線穿經玻璃透鏡的二個曲面時的途徑。

眼睛 眼睛是一架天然的照相機，是一切照相機的雛形。眼睛內各部份的結構與作用完全可以與普通照相機中各對應部份互相比擬對照。

最簡單的照相機就是所謂針孔照相機——這乃是一個密不漏光的小暗盒，在盒面的一邊中央有一針孔，在針孔的內對面上則放有一塊照相底片（圖9）。

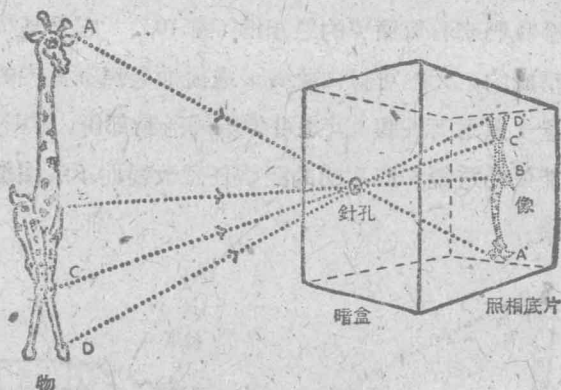


圖9. 針孔照相機。

如將此暗盒的針孔對向一物體，例如動物 AD ，開啓針孔使光線進入盒內，那末在底片上就會留下動物 AD 的像。這像的形成是這樣的。面對針孔的動物的每一部份都能發出光線射入針孔。獸體表面任一部份散射的光線強度完全依賴於該部份的天然色彩。實際上黑色斑點不散射光線，而白色部份散射的光線最強。由獸體表面任一部份發出的光線既然都是直線進行而穿過針孔的，那末這些光線都會在針孔處彼此相遇後再行分開，各繼續其原來的方向直線行進射達照相底片。這樣，來自動物頭部 A 點處的光線，在穿經針孔後將射達底片上的 A' 點，並使該點的底片根據其強度變黑。物體表面的陰影部份和光亮部份使底片精確相應地

感光，把底片洗印後，就得到了該動物的相片。

針孔照相機雖然很有趣，並且也可以作為科學上的實驗，但是由於種種條件的限制，所以很不實用。首先，進入針孔的光線非常少，所以曝光時間就得加長，這樣就只能限於拍攝靜止的物體。其次針孔與照相底片間的距離是固定的，因此無法調整焦距，所以不能使照像的某一部份比別一部份更明晰清楚。

現在讓我們來看看簡單的照相機（圖 10）。它乃是帶有凸透鏡的暗盒構成的，光線可經由此會聚透鏡而聚焦在盒內的照相底片上。暗盒上還附有蛇腹（就是可伸縮的活動部份，俗稱皮老虎）部份，它能使凸透鏡和底片間的距離任意改變而不致漏進任何不需要的光線。

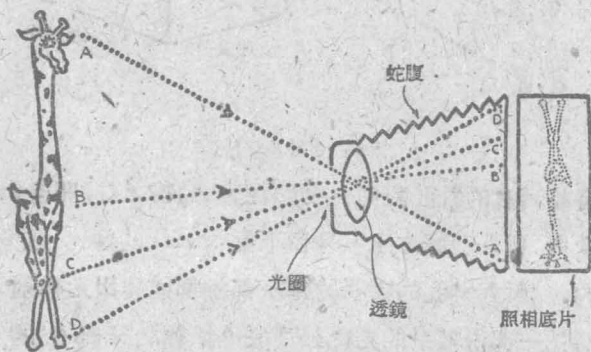


圖 10. 普通照相機，右邊附圖表示由照相機背後可見到的像。

與針孔式照相機相比較，這種照相機的優點是：由物體任一部份會聚到像的相應部份處的光線較強，因此為使底片產生一定效應所需的曝光時間大大縮短了。所以也就有可能拍攝“瞬時的”活動物體。

根據照相機的作用原理，我們就能理解人眼的一般作用情形。

眼球實在就是一個球形的暗盒，其大部份內壁上均佈有一層稱做視網膜的敏感薄膜，也就是靠這層薄膜才把光線的感覺傳遞給腦子(圖 11)。與普通照相機的情形完全一樣，要物體在眼中

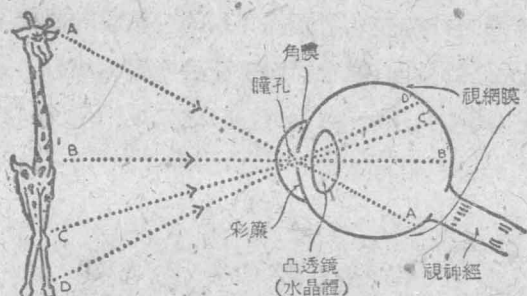


圖 11. 眼睛成像的情形。

所成的像最為清晰，必須調節到它恰巧在視網膜上。但是眼睛作這種調節並不靠改變凸透鏡與底片的相對位置，而是藉水晶體本身的大小與形狀的特殊調節，使像總是形成在與眼睛瞳孔永有固定距離的視網膜上。假如我們要察看一件較遠的物體，我們就自動地調節水晶體以使遠方物體的像聚焦在視網膜上；當物體愈來愈接近眼睛時，水晶體也能經由某種肌肉控制以使各個新位置上的物體都能清楚地察看到。一個正常的人能非常舒適地察看較遠的物體，在凝視某些特別的物體時也不會感到費力。但當一個人仔細地注視近物體時，眼睛就會感到疲勞吃力。要使近於 25 厘米的物體在正常眼睛中聚焦是頗為費力的。這個最短距離就稱做眼睛的明視距離，乃是視覺最重要的天然限制。無論我們利用什麼樣的人工協助，如顯微鏡，來幫助眼睛察看物體時，最終看到的物體或物體的像，總是位在離眼睛約 25 厘米遠的地方。

眼睛的視野與視限 正常眼睛的視野非常廣大，視距範圍也