

The World of Science Encyclopedia

牛頓

現代科技大百科

資訊與電腦



Newton

牛頓現代科技大百科 19 資訊與電腦

出版者 / 牛頓出版股份有限公司

負責人：高源清

原著作名稱 / Infotechnology

原出版社 / Equinox (Oxford) Ltd.

譯者 / 劉光新

發行所 / 牛頓出版股份有限公司

地址 / 臺北市和平東路二段107巷25-1號一樓

電話：7061976 • 7061977 • 7059942 • 7062470

郵撥 / 1179402-3 牛頓出版股份有限公司

製版 / 詮盛彩色製版有限公司

印刷 / 仲一彩色印刷股份有限公司

單冊定價 / 新臺幣 750元

初版 / 1989年12月15日

出版登記證 / 局版臺業字第3139號

法律顧問 / 林樹旺律師

● 版權所有 • 翻印必究 ●

本書如有缺頁、破損、裝訂錯誤，請寄回本社更換。

Printed in Taiwan, R.O.C. 1989

ISBN 957-627-000-6

ISBN 957-627-093-6

總編輯 / 劉君祖

科學主編 / 陳育仁

科學編輯 / 高孟忱 • 劉曼君 • 李傳楷 • 曾月卿

柳絲絲

美術主編 / 洪家輝

美術編輯 / 傅華麗

封面企劃 / 陳融賢

The World of Science Encyclopedia

Infotechnology

Editor

Mike March

Designers

NiKi Overy

Frankie MacMillan

Picture Editor

Alison Renney

Picture Researcher

Mary Fane

Design Consultant

John Ridgeway

Project Director

Lawrence Clarke

Advisor

Steve Connor

Contributor

Jack Meadows

Index

Barbara James

John Baines

Production

Joanna Turner

Clive Sparling

Typesetting

Anita Rokins

Media Conversion

Peter MacDonald

Computer graphic illustrations
produced by Alex Quero of
4i Collaboration at Imagine

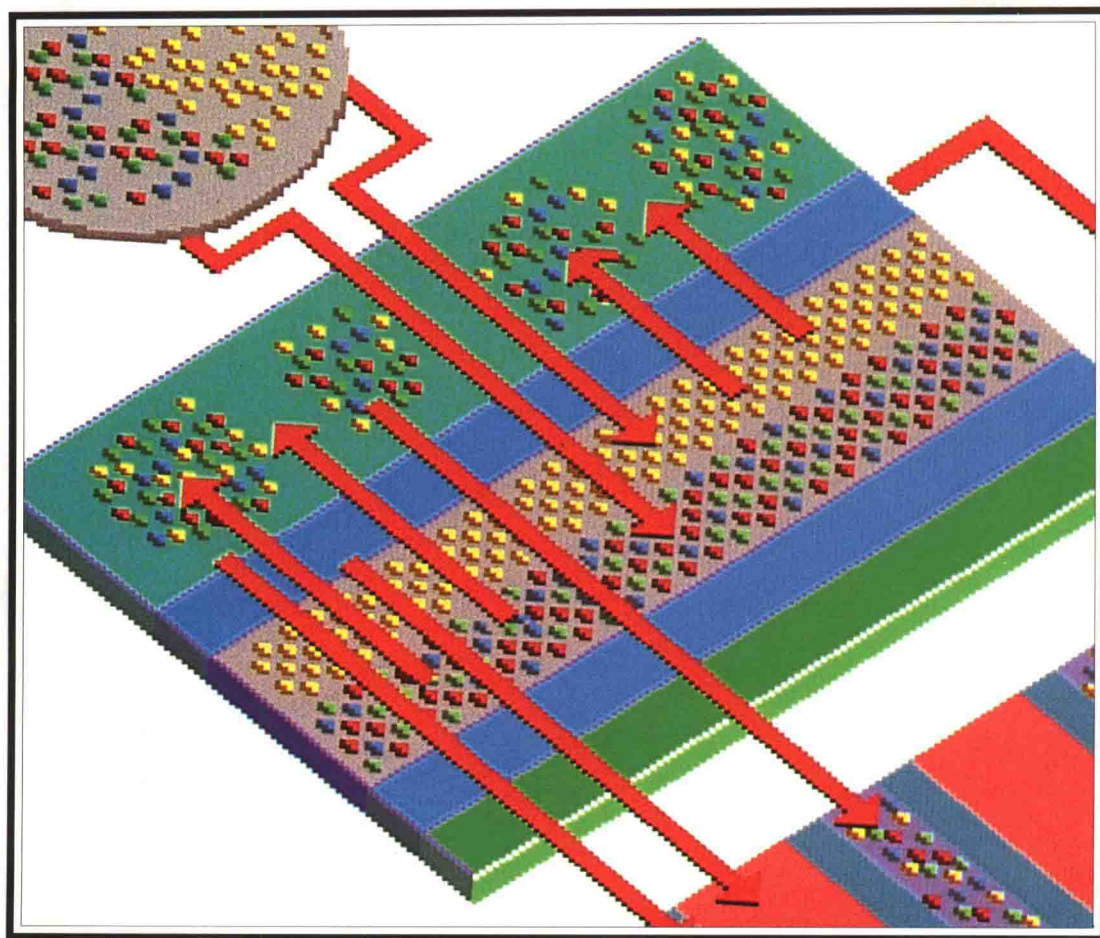
The World of Science Encyclopedia

牛頓

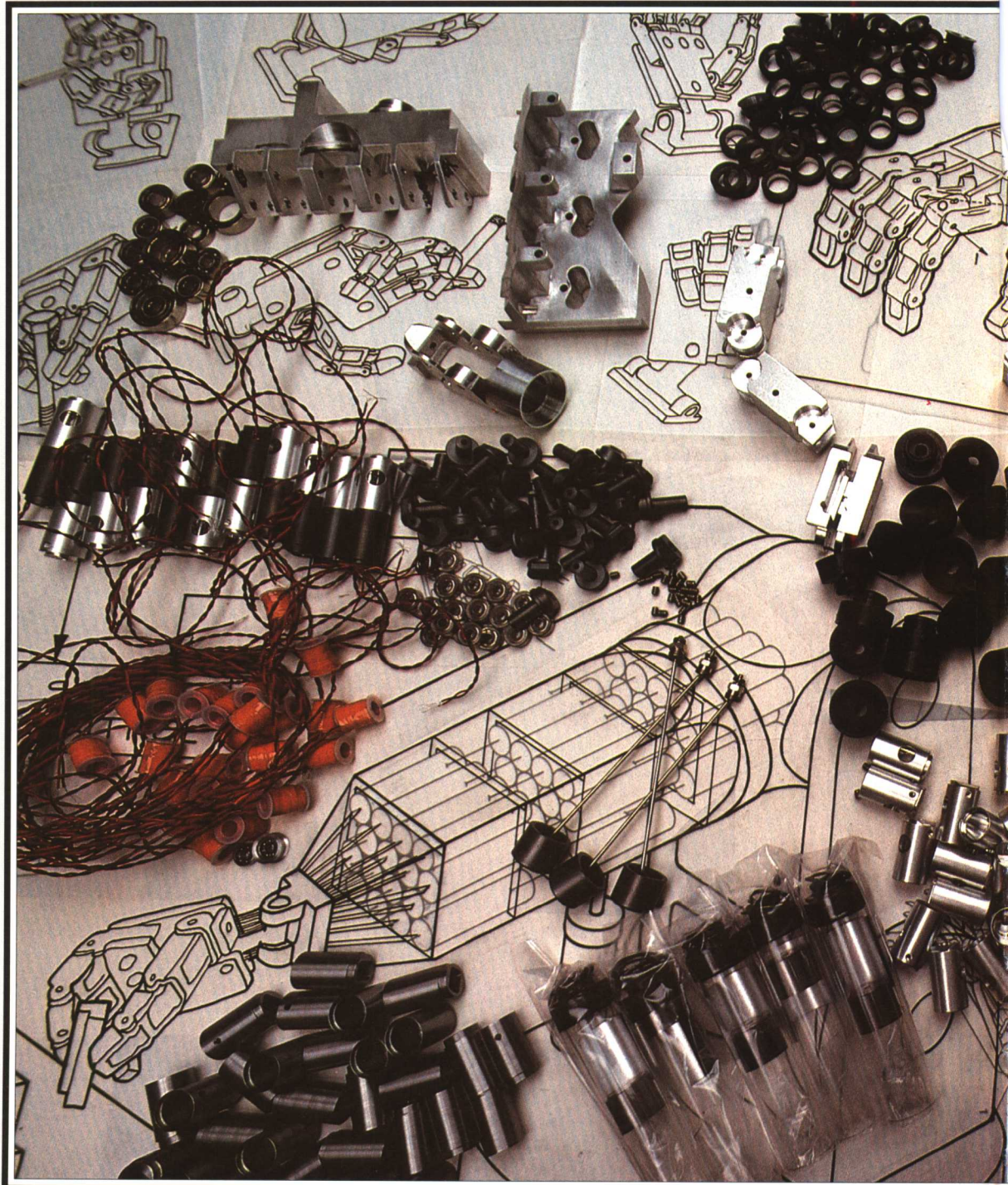
現代科技大百科

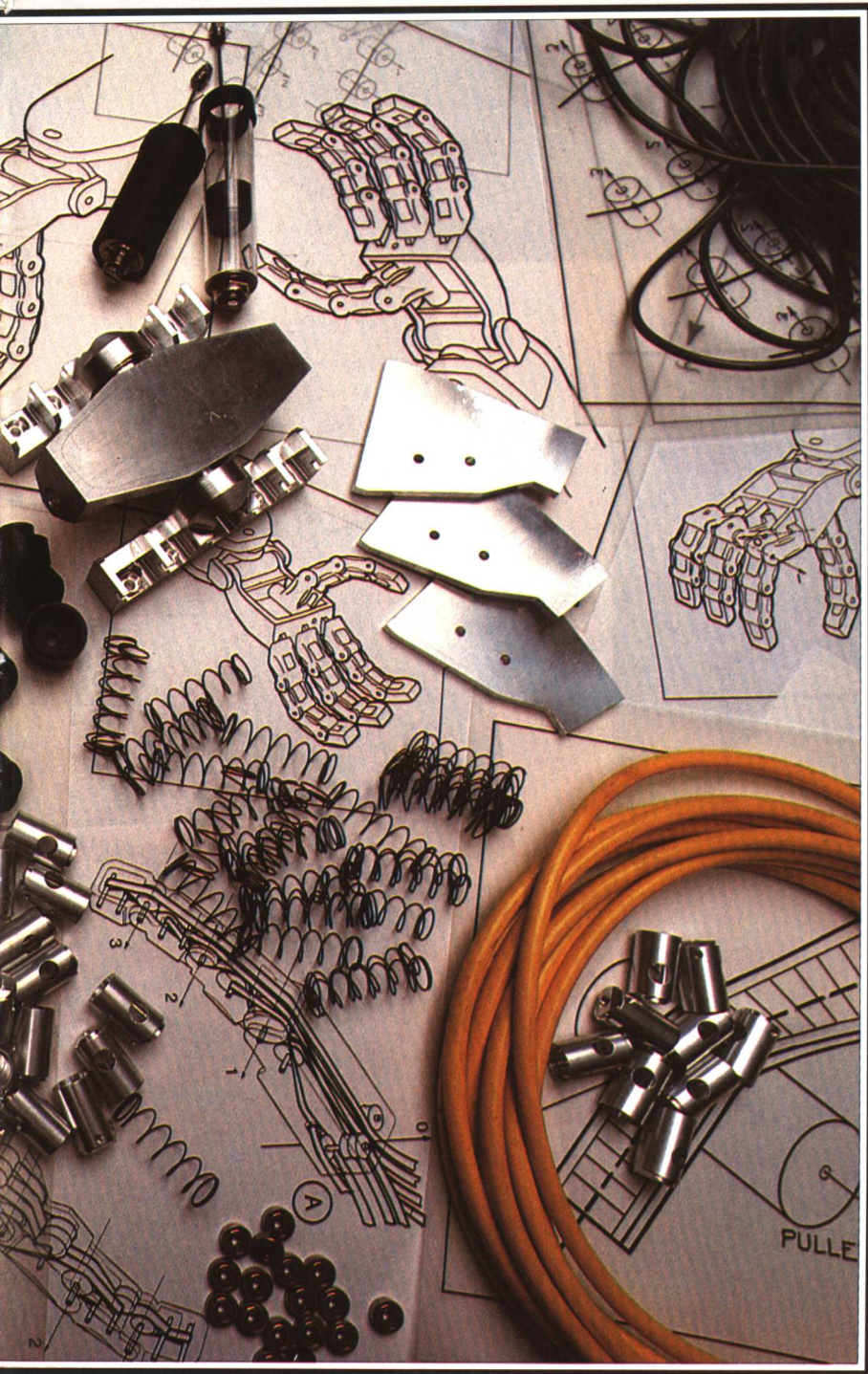
資訊與電腦

Rm969/01



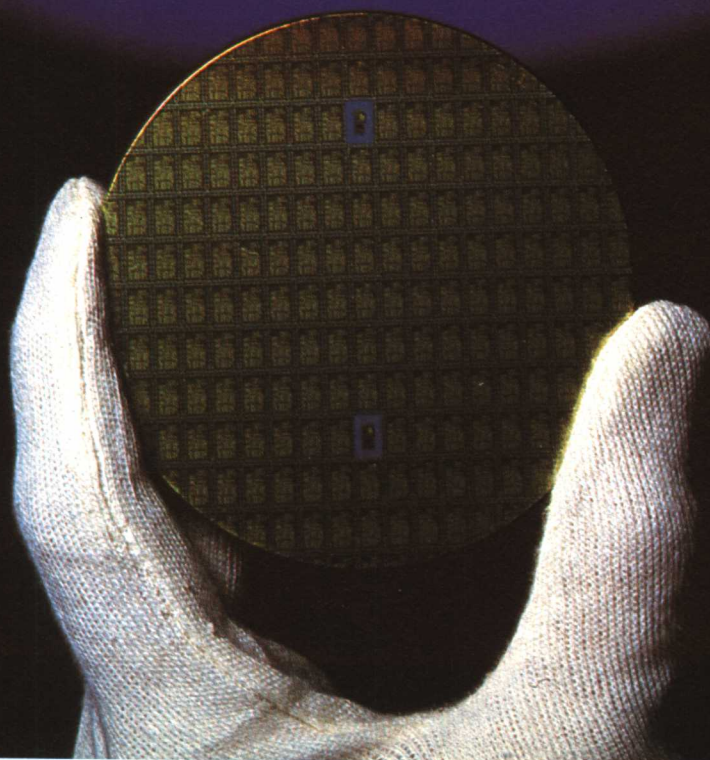
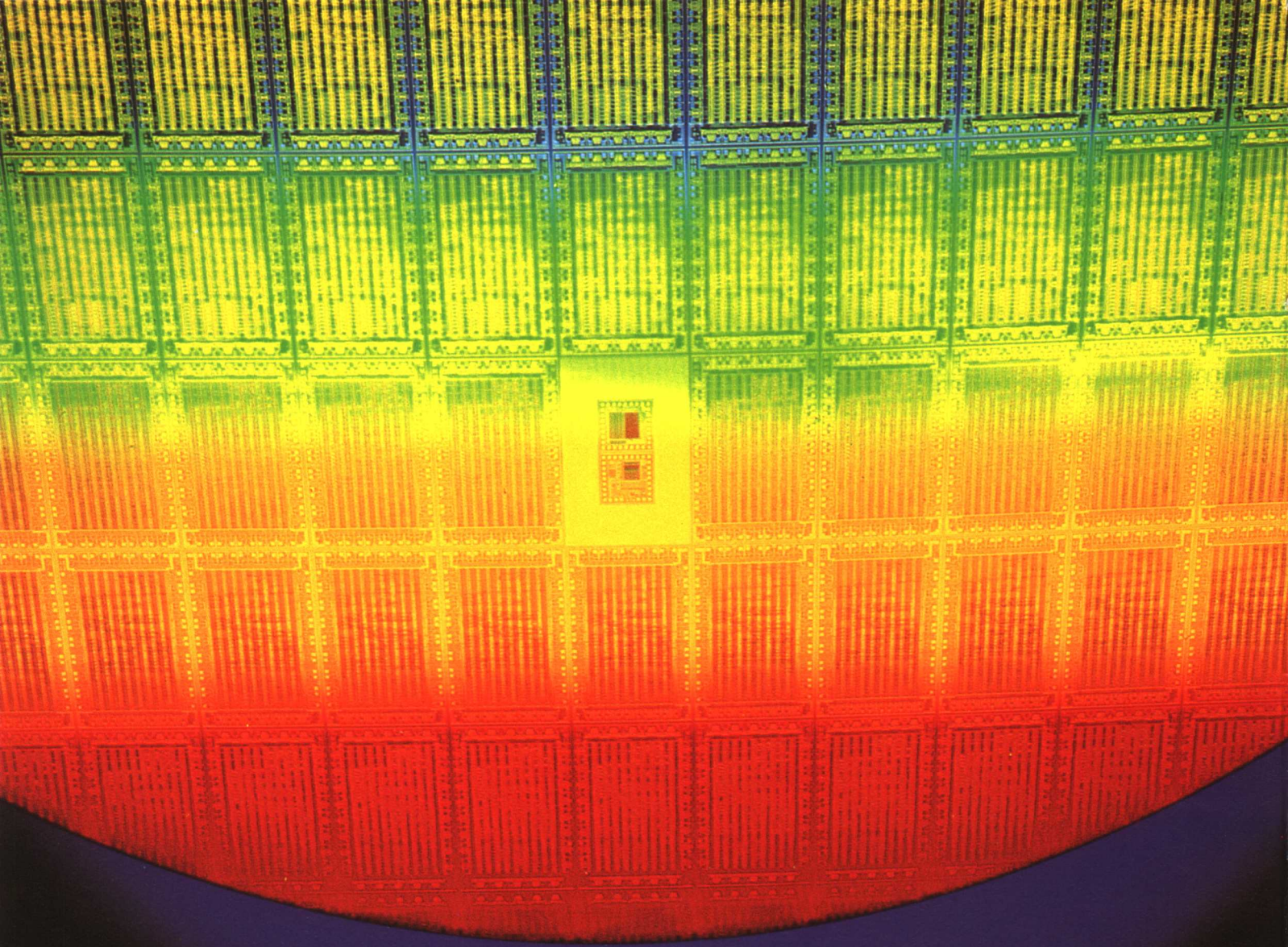
牛頓出版公司



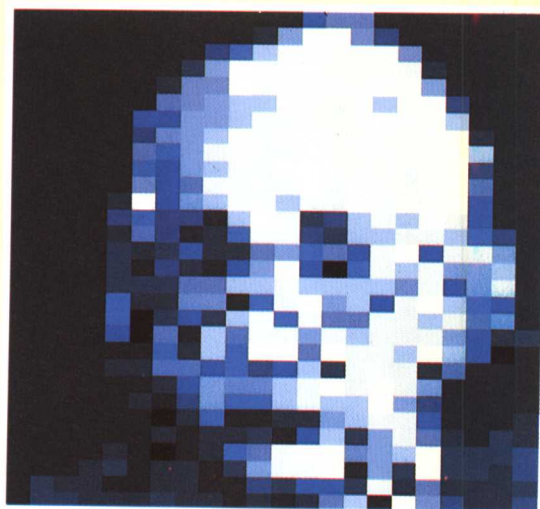
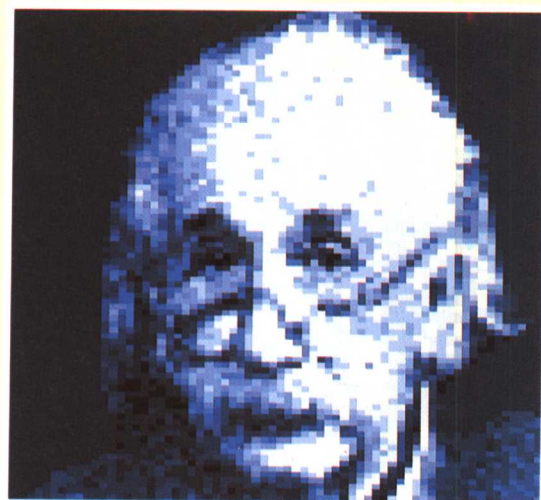
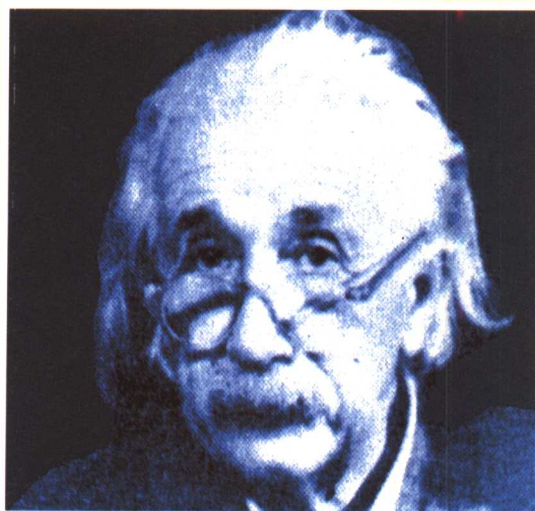


目 錄

1	資訊與感官	5
2	語言與資訊	29
3	電腦與資訊	49
4	處理資訊	67
5	人工智慧	87
6	資訊與社會	107
語 彙		127
索 引		128



資訊和知識……感官是資訊的接受器……眼睛如何運作……人類和動物的視覺……解釋視覺資料……人類和動物的聽力……回聲測深……人類的大腦……大腦和感官……大腦是資訊的處理器……三種記憶體



▲圖中為 $E=mc^2$ 的發現者——愛因斯坦(Albert Einstein, 1879~1955)的三幅臉部圖像。由上到下的每幅圖像，傳遞的資訊依次減少，使得辨認更加困難。

所有的生物——包括人類、動物、植物，都不斷地發出和接受新的訊息。這些訊息中，有的為它們所接受而加以利用，有的則否。例如，科學家寫下了一個公式 $E=mc^2$ ，知道的人會看而且讀它——那就是這個訊息被讀者的感官(sense)所接受並且傳到了大腦(brain)。不過這種生理活動僅僅是第一步，依照電腦的術語來說，就是「輸入資訊」(inputting the information)。要想正確地吸收資訊，必先確實地了解資訊的意義。這個資訊是否對讀者有意義？如果答案是肯定的，那它又是否能夠被接受並儲存在大腦中以備將來之用？ $E=mc^2$ 這個基本公式是計算核子反應中所能產生之能量。如果讀這個公式的人，因而要去建造核子彈，就表示這個資訊已被接受了。在資訊的名詞中，這種去建造核子彈的舉動就是所謂的「輸出」(output)。資訊是我們用來彼此溝通的，而知識的高低在於我們大腦對該資訊處理的複雜程度。人類如何獲得和處理資訊——換句話說，就是如何將資訊轉換成知識——是現代科技研究中一項極重要的領域。

感官

人類如何彼此溝通呢？已往，我們認為只有五種感官——五種去感受周遭環境的方式——那是用來當作接受資訊的管道，它們分別是視覺(sight)、聽覺(sound)、嗅覺(smell)、味覺(taste)和觸覺(touch)。研究感官知覺(perception)的科學家指出，我們實際上有超過五種以上的感覺去接受外界的刺激。例如有人將自己眼睛閉上並用頭代替腳站立，一樣能夠感受到他們是倒立的(upside down)，這是為什麼呢？答案是我們耳朵內部有一種構造——所謂的半規管——它能「告訴」我們站立的方向。又如果一個人騎腳踏車正要倒向右邊，則他必須將前輪轉向那一個方向才能避免翻倒呢？這個問題通常要花一兩秒才能解答。但是對一個騎在腳踏車上的人，他就能又快又正確地反應過來。我們的平衡構造發出方位的訊息給大腦，而且立刻反應。一般而言，收集有關我們本身活動的資訊，不僅僅是靠一個感官；當我們在「看」電視時，同時也在「聽」電視。視覺和聽覺都是生理感官，看是接受和分析光波，聽則是分析聲波。嗅覺和味覺則是化學感官，可感受物質中的特別成分。當化學物質以某一形式到達鼻子和舌頭時，資訊便被傳遞引起反應，造成感受。生理感官處理的能力比化學感官快，而且能夠傳遞更遠的距離，所以人類大部分依賴視覺和聽覺，而此二者也就負擔起大部分的資訊責任。

視覺

視覺的構造——眼球(eye)——基本上是一個充填著液體的球。前方透明的部分——角膜——和水晶體隔著一層液體，而水晶體和感光體(視網膜)之間隔著更多的液體。射入的光束經過角膜折射一次，再經過水晶體又折射一次，最後將外面景物成像在視網膜上。水晶體能夠依景物距離的遠近而調整，使其能夠聚焦。角膜的重要性在水中游泳時就能容易地感覺出來，因為水的折射性質和角膜很接近，所以在水中我們如果不戴防水的蛙鏡，那看東西就很困難了。魚類和水生的哺乳類就克服了這種問題，因為牠們有大曲度的角膜，折射性質和水不同。

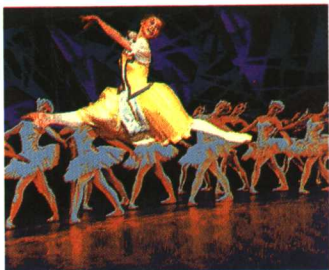
視網膜有許多感光細胞，能偵測由角膜、水晶體所成的影像，然後這些資訊集中到視神經再傳給大腦。感光細胞以它們的形狀可分為二種——桿狀(視桿)和圓錐狀(視錐)。每隻眼睛中這些細胞的數目都超過百萬，並散布在視網膜表面，但是在視神經的地方則沒有這種感光細胞。這些沒有感光細胞的地方，就叫做「盲點」。平時我們無法察覺，但是我們可以很容易地證明它的存在。在視網膜上相對於盲點的構造就是視窩，它的感光程度非常敏銳，可以用來觀察微小的事物，有人可以看到一百公尺外的硬幣就是靠它的功能。茶隼(kestrel)也有類似的視力構造，所以即使翱翔在一公里上的高空也能察覺地下的老鼠。

人類因為雙眼前置於頭部，所以能夠分辨物體的遠近——就是我們所謂的雙眼視覺(binocular vision)。拿兩根火柴棒放在一臂之遠處，然後將一根移向眼睛直到我們的眼睛能夠分辨兩根火柴棒有遠近差異時，這兩根火柴棒會相距多遠呢？大部分的人都能在不過火柴棒厚度的小距離內分辨出遠近的差距，這是對於相對距離的一種非常精密的感覺。

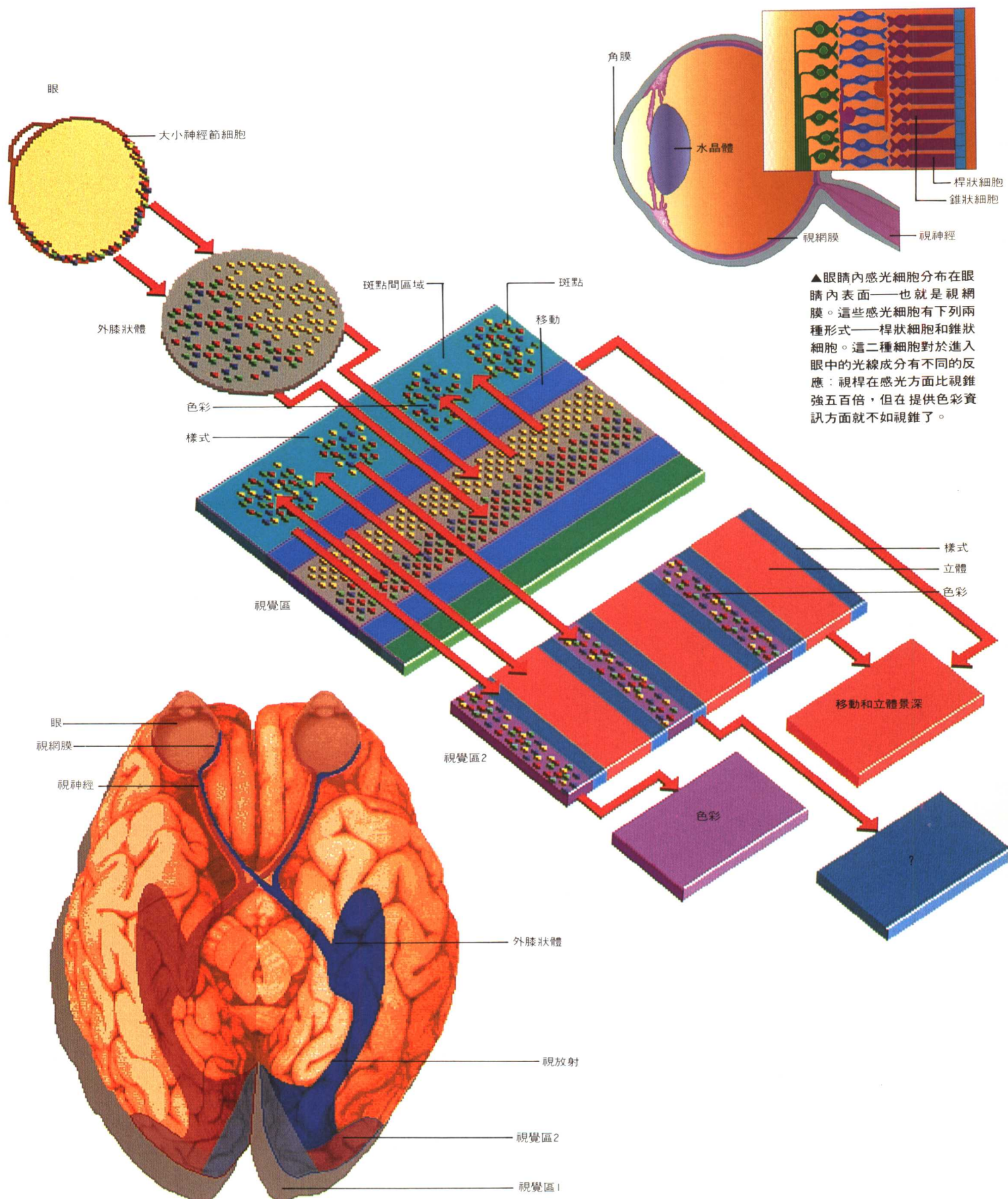
但是人眼並非完美的工具。大部分的光學儀器常有「像差」(aberration)的苦惱，眼睛也不例外。對大部分單一透鏡而言，球面像差(spherical aberration)會導致影像模糊，可算是最常見的缺點，這是因為穿過中心的光線所形成的影像，並不會和穿過邊緣的光線所形成的影像在同一位置成像所致。人類角膜和水晶體能夠利用虹膜(眼睛的有色部分)來校正這種像差。光線經由瞳孔(由虹膜圍成的孔洞)進入眼睛，而改變瞳孔的大小，不僅能調節進入眼睛的光量，而且也改變光線在水晶體中的分布。如果瞳孔收縮，則光線主要由水晶體的中央部分進入眼睛，那麼由邊緣光線所產生的影像就減少了。所以當我們仔細注視一件東西時，我們的眉毛就會自動皺縮起來，使得瞳孔變小。

很多人有近視(shortsightedness)，最主要的原因是因為眼球前後直徑過長，所以經過水晶體的光線往往聚焦在視網膜前面。(同樣地，遠視的人就是因為眼球前後直徑過短，光線聚焦在視網膜後方，所以造成遠視的情形。)這種缺陷通常使用人工透鏡來加以矯正(如框式眼鏡或隱形眼鏡)。然而球面像差有時可能有些作用，例如近視者注視一行文字而感到模糊時，可以藉著從一張硬紙板中的針孔來看文章而有所改善。這是因為文章只由部分水晶體接受，而有比較好的焦點。

►此頁下端的圖案顯示出大腦中的橫截面，而位於其上方的圖則是說明視覺資訊在腦中分析的途徑。來自兩眼視網膜的資訊傳入各自的視神經。這些視神經在進入大腦時相互交叉，來自視網膜左側的視覺資訊進入右大腦半球；而另一大腦半球則接受來自右側的視覺資訊。進入大腦視覺皮質的視覺資訊，呈現出景象的輪廓和景深。大腦內，分析視覺資訊的部分，垂直分布在視覺皮質垂直面上不同的點，而且也分布在其水平面上之不同區域。

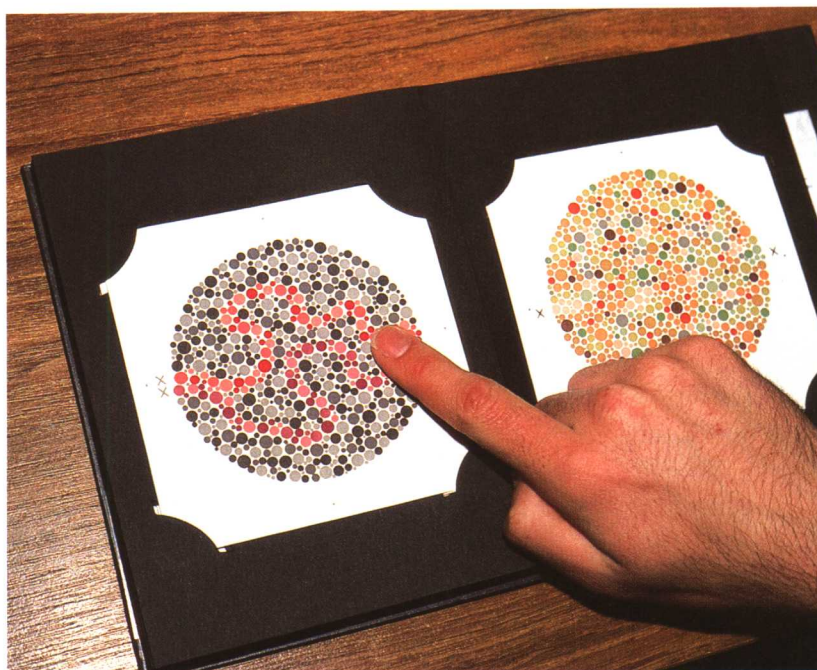


▲為了能夠看清東西，我們的視覺會將景像分解成一連串的步骤。最上面的圖像表示被視覺認知的景象最後的統合，它是由下面三幅連續圖案片斷組合而成。第一幅提供了圖案的色彩，第二幅確認出景物中動態的相關訊息，最後一幅是辨認動作和景深的存在。這三幅圖像共同組合出一個三度空間的影像。



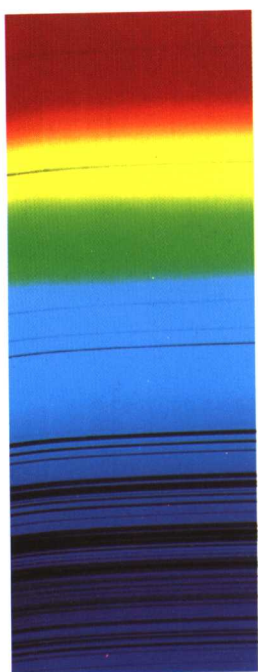
古希臘人分辨色彩種類的字彙比現代人來得少。

► 這是兩種色盲(color blindness)測試的卡片。這些卡片的特徵是由許多色點所組成，例如紅色點排成某一形式，其旁邊分布著綠色小點。有正常視力的人能夠依照指示而說出紅色的形狀，而患有紅綠色盲的人就不能正確指出。



▼ 在自然界，色彩常用來作為警告和吸引之用。毒箭蛙身上亮麗的紅色斑點常令其他動物望之卻步；危險的毒蛇、蜘蛛和植物也經常展現出紅色警示訊息(warning signal, 在交通號誌上也是一樣)。相反地，紅透的蘋果、獬狒的臀部和聖誕老人的古代裝扮，都是以其獨特的方式去吸引他人。





▲這是人類所能看見的部分電磁頻譜(electromagnetic spectrum)。我們所謂的「光」通常是指來自太陽的白色光，但事實上白光是由紅、橙、黃、綠、藍、靛和紫這七色光組合而成。如果太陽光經由一個玻璃稜鏡分光，那麼七種顏色光便會分別呈現出來。另一種相同的色彩光譜則是由雨滴反射太陽光所形成的彩虹。

►當物體和背景成強烈對比時，會導致人類在視覺上的光錯覺(optical illusion)，這也說明了人眼如何認知色彩和明暗度。右圖中，雖然每一個中心方塊由上到下似乎深淺不同，但實際上，它們的灰度都相同。事實上，因為較大的方塊本身置於相同的白紙上，所以我們所見到的方塊黑白對比依次減低。

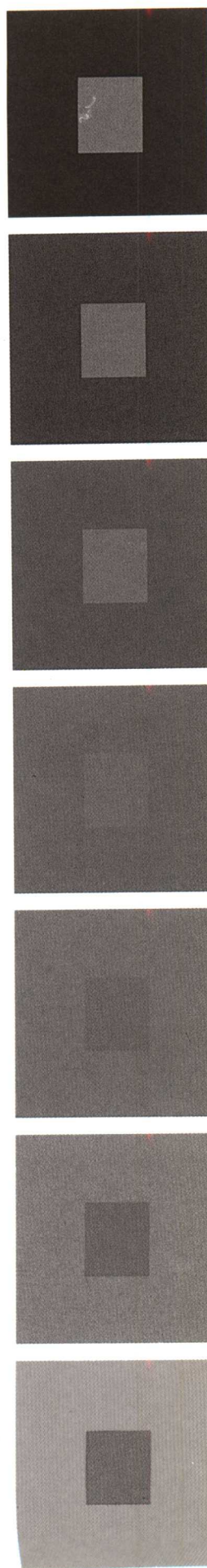
光學儀器的另一個缺點是「色差」(chromatic aberration)，它發生於光源是混合波長的光線時，例如白光是由很多顏色的色光混合而成。如果這些光於不同距離聚焦，就會發生影像模糊的情形。人類的眼睛為了解決這個問題，於是不得不限制我們所能偵測的光譜範圍。我們常說，可見光的光譜是由紫到紅；實際上，視網膜能夠偵測到比這些更廣的範圍。許多花朵的花紋只能在紫外光下顯示出來，所以蜜蜂能夠偵測而我們不能，這是因為紫外光被我們眼內的水晶體過濾掉了。但是如果病人的水晶體被摘除，則會發現視網膜能看到紫外光。

色彩知覺(color perception)是非常主觀的，而且變化之大因人而異。此外，對大多數人而言，同樣的灰色中有一紅點或有一藍點，看起來就會不同。色盲是一種遺傳性的視網膜缺陷，在男性約有十二分之一的可能性，但是在女性則較少，約百分之一。這種缺陷通常在於紅綠色的分辨，偶爾也有藍黃色的混淆。但即使是沒有色盲的人，他的色彩知覺也會隨著年齡而改變。

色彩知覺也會隨種族而有所不同，有關色彩的字彙(vocabulary)並非均同時在各語言(language)中出現。對大多數文化而言，最早有關色彩的字彙是黑色和白色，紅色其次，再來是黃色、綠色和藍色。從字彙的研究加以判斷，古希臘人能夠分辨顏色的字彙比現代人少。也許這就能解釋為什麼他們用令人迷惑的字眼「暗酒色」來形容地中海的顏色。人類強調基本色調是黑白二色，這種現象可能足以解釋人們多年來都能夠很愉悅地接受黑白電影的原因。紅色之所以成為重要性為第三的顏色，乃是因為本質上紅色是攻擊或危險的警訊。

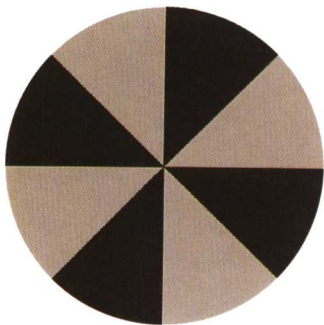
人類的眼睛除了能夠看到和分辨顏色之外，猶能夠正確地處理光線的明暗度。在一個光線測量表的一端，強光足以使得我們必須闔上眼瞼以保護眼睛免於受傷害。弱光下，眼睛有許多方法控制所接受的光量，瞳孔可以擴張或收縮，而使得進入眼睛內的光線增加或減少。如果你在暗室中坐在朋友旁邊，過了一段時間後，打開手電筒檢查他的瞳孔。你將會發現，剛開始，他的瞳孔會為了適應黑暗中的房間而變得很大；但是經手電筒一照射，瞳孔便會立刻縮成一個小黑點。

眼睛能夠防止過多光線進入而有平衡的能力。視網膜偵測光線是利用化學變化，視網膜中視錐細胞和視桿細胞內的化學物質和光起反應，失去原本的粉紅色(這現象如同有色的化學物質在曝光一段時間後便會褪色)。褪色現象在眼睛內只持續一瞬間。這種化學變化傳給視神經後，化學物質就回復成原來的顏色。如果光的亮度持續很高，褪色現象就會持續。深色的東西吸收光線，褪色的東西則會反射光線，因此，如果大多數的視網膜均已褪色，那麼額外進入的光線就會被反射出去。這種平衡作用就能主動地限制強光在視網膜上的作用了。



就像照相機一樣，眼睛能夠控制光量進入時間的長短，這在光線微暗的時候特別重要。當光線強的時候，照相機的快門能夠控制曝光時間短一點；光線弱的時候，曝光時間長一點。眼睛在偵測微弱的訊號時，會累積較多的光，平時在光亮的地方只需要五分之一秒，而在黑暗的地方卻需要半秒鐘之久。這就是為什麼像棒球或板球這些需要快速反應的運動，最容易受到光線不足的影響。在最好的情況下，眼睛幾乎要閉上了才能偵測到微弱的光線，也就是小到十個光子(photon)的光源(一光子是所有光偵測器所能偵測到的最小單位)。要能達到這種敏銳度，眼睛才能完全適應黑暗。這也就是為什麼天文學家在使用望眼鏡觀測模糊的物體之前，常要花上半個小時的時間去避免接觸任何光線。

視網膜內的感光細胞——視錐和視桿——並非均勻排列，這是因為這兩種細胞有不同的性質。視錐在強光下較能發揮作用，而視桿則對弱光處理較佳。視網膜中對光線最敏感的地方——視窩——則只含有視錐細胞，因此在強光下特別有用。為了要看清模糊事物，影像便會在視網膜中有視桿存在的地方形成。這就是為什麼天文學家建議用「側視」(averted vision)去觀察微弱的星光——也就是觀看該待測星體的一側。視錐是視網膜中負責辨別顏色的部分，可分為三羣，每一羣吸收特殊的色光，然後結合這三羣細胞的反應，就可能看到光譜中的任一種顏色。在光線較微弱時，顏色會褪色，因為光線大多由視桿接受，而非視錐，所以在月光下能看到的顏色便很少了。



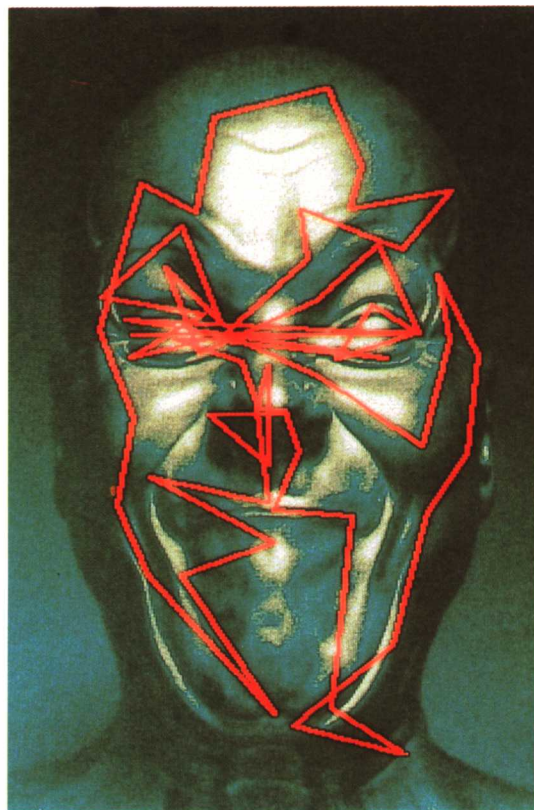
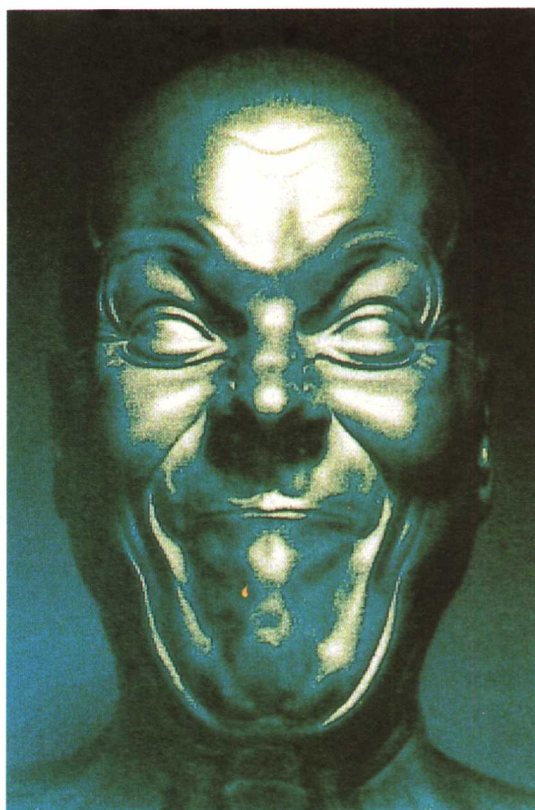
▲我們的眼睛具有一種基本傾向，那就是我們會用對比的角度去看東西。上圖是一個灰色的馬爾它十字(Maltese cross)在一個圓形的黑色背景中，或是黑色的十字在灰色的背景中呢？顯然地，這現象也發生在別的例子中，而且反射出來的光量也相同。不過，我們的瞳孔會根據我們究竟是把圖形看成一個黑十字或灰十字而改變其大小。

►蓋上右圖而凝視左圖數秒，你是否注意到自己最專注的，是這幅圖畫的那個部分呢？通常我們的眼睛會迅速地從感興趣的某一點跳至另一點，然後再回到圖中對比最強的区域。右圖中的線條便描繪出我們注視左圖的典型路徑。

►我們的眼睛常會被強光所吸引。大部分的人在注視這張圖片時會注意到落日，而後才注意到照片上的車燈。就像每個在夜間駕駛的人都知道，要避免看到對面車道上迎面而來車子的前燈，是非常困難的一件事。

除了我們流覽景物時，我們會使眼睛很明顯地移動(eye movement)之外，在平時，我們的眼睛仍會持續著不為人注意的小動作。不斷的重新聚焦，似乎是為了清楚地看見東西的必要程序。事實上，眼球的肌肉不斷地在運動，因為眼睛的正常位置並不是肌肉最鬆弛的時候。當眼球肌肉鬆弛時（例如在睡覺或死亡時），眼球是向上的。在電影中，醫生撐開重傷患者的眼瞼以檢查患者是否還活著；如果眼球是向上的，這就表示病人可能已經死去了。事實上，人類眼睛的設計較有利於向下位置的視力，顯而易見地，這是為了有利於行走時向前偵看的目的。但此結構較不利的是，我們或許因此較少注意到位於頭部上方的事物，諸如低矮的屋樑等，而可能造成其他方面的傷害。

當眼睛掃描範圍較大的物體時，會隨著一些標準型式來移動。最尋常的是一系列的快速跳動，眼睛能記錄被看到的每一點，然後繼續移動。舉例而言，你不能持續地讀完這整篇文章，而是你的眼睛由本文中某一行的一個字跳到同一行的另一個字。而後文章所有內容之所以被吸收，部分是因為眼睛能掠取每一個字周圍的小部分區域，因此眼睛的移動乃提供了一些類似一系列並排照片般的事物。但是通常並不需要觀看整篇正文。當要吸收個中意義時，讀者會不斷地嘗試從內容中摘取精華，因為在大多數的正文中，語言顯示相當程度的重複性，並因為可以猜想下個字將是何義，所以通常不用讀每個字便能擷取出其中的意義了。



很快地瞄一眼下列排成三角形的一些字

巴黎

在這個

這個春天裏

大部分的人起初都會略過第二個「這個」，因為他們會主動地猜想，這段本文是有關於「巴黎」和「春天」這兩個關鍵字，而不是「這個」。

閱讀(reading)並非純粹是被動的活動。在真實的感覺裏，我們依照我們的方式重新創造本文。這種現象在圖畫也是一樣的。眼睛先是注視著某一部分的圖案，隨後再跳到其他部分，就如閱讀文章一般。熟練的藝術家會在作畫時有某種程度的強調，以吸引我們的眼睛自動地注意到該部分。有趣的是一幅畫的鏡像通常不會產生相同的效果；我們的眼睛首先會觀察圖畫不同的地方，此時藝術家的苦心就付之一炬了。

人們的眼睛在看一件運動中的物體時，如果情況允許的話，可以很平順而連續地移動。在網球比賽時，觀眾的眼睛就是一個很好的例子，眼睛能平順的移向一邊，然後再跳向另一個方向。眼睛所採取的移動方式視當時情況而定。有時候我們知道眼睛在怎麼動，有時候卻是自動移動的，例如在閱讀的時候。

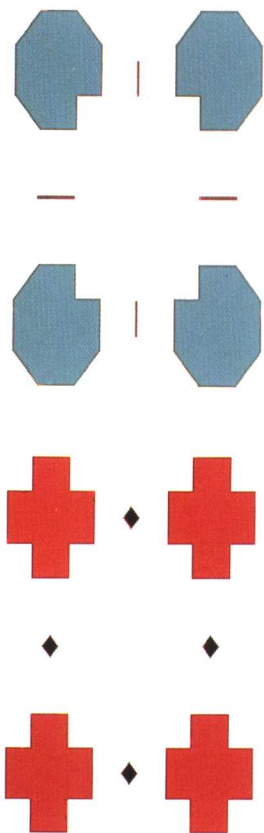
我們如何記錄周遭的環境，完全視眼睛的限制而定。例如，看電影主要就是依賴眼睛的反應時間和貯存影像的能力。電影放映出一連串的靜止影像，一個接一個出現，而能展現出動態效果。電視也是類似的原理。電視螢幕是用三種細微的色點——紅色、綠色和藍色——布於其上來構成。眼睛不能分解這些色點，所以把它們看成一體。藉著改變其相對色彩強度，這三個原色就能在我們眼睛中呈現彩虹的所有顏色。

影像並非只是被動地被眼睛接受；大腦一直忙著試圖去了解進來的視覺資訊，這對人類或動物來說都是一樣的，就如同在小鵝身上所做的實驗一樣。鵝之飛行輪廓類似於老鷹之飛行輪廓的反方向。小鵝相當害怕鷹，當這個影子以「鵝」的方向移動時，小鵝會很高興；當然這個影子朝向反方向時，小鵝會有恐懼的反應。換句話說，視覺辨識(visual recognition)並非只看目標物的真正外表，也要考慮該目標物存在的背景狀況。

視覺經驗的思考方式，最好是由沒有視覺經驗的人(盲人)來形容。例如盲人會把盤子內所有的食物吃掉，而明眼的人會略去一些不吃。似乎是視覺經驗幫助我們決定食量的多少。更甚者，我們理解空間的方式與我們是否實際看到它的存在有很大的關聯。明眼的人會將樓梯視為一個單位，但盲人卻會想成一連串分開的階梯。當盲人重新獲得他們的視力時，他們不能了解所看到的形狀和顏色，必須得花上幾年的功夫，才能用一般明眼人的字眼來解釋這世界，這是一種相當有趣的現象。

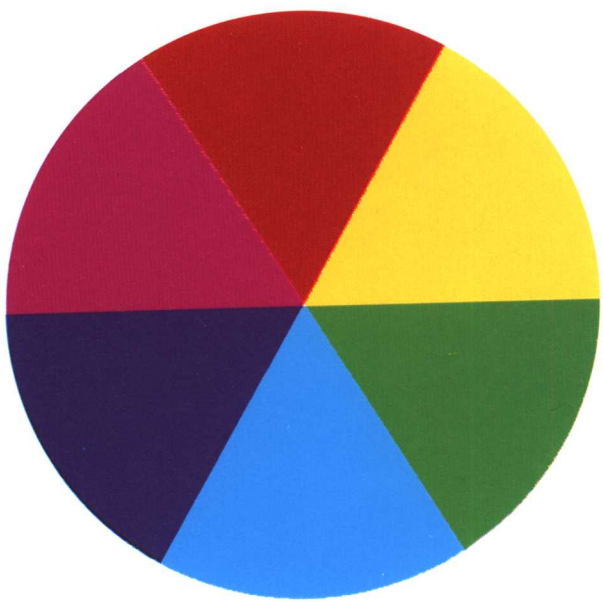
►若將某種色光從白光中分離出來，那麼留下的部分就是其互補色。例如紅色光被分離出來，剩下的光就是藍綠色光。傳統上，藝術家常利用所謂的「色輪」(color wheel)來顯示色彩的差異；色輪上的互補色出現在相對位置的扇形上。互補色也會影響被反射的光線，因此如果有一個物體能夠吸收白光中的黃色光成分，那麼它在反射光下就會呈現出靛色。

▼這是一隻兔子還是一隻鴨子？這就得看你是用什麼方向看它了。相同地，天鵝飛翔時的輪廓和老鷹反方向飛翔的輪廓相同，因此小鵝在看到這種「輪廓」是以反方向移動時，就會變得非常害怕。



▲眼睛會依照所見而自行給予定型。上組的角板，看起來是不完整的片斷，眼睛就會重整這些碎片，使我們感覺好像看到中間有一個長方形。而下組的角板，看起來就非常完整，所以不會立即產生中央有一個長方形的意念。





藝術中的色彩

十九世紀時，科學家對光線的性質以及人類眼睛對光的反應這兩方面的了解，提供藝術家們很大的刺激。其中最大的影響是法國化學家希弗赫爾(Eugene Chevreul, 1786~1889)首先將研究成果應用到巴黎著名的高布林壁飾花毯(Gobelin tapestry)的染料上。在其著作「色彩調和及對比原理與其在藝術方面的應用」(The Principles of Harmony and Contrast of Colors and Their Application to the Arts, 一八三九年)中，希弗赫爾以其在工業研究方面的經驗，討論並排的不同顏色如何影響人們的視覺。

第一位受其影響的藝術家是戴拉克魯瓦(Eugene Delacroix, 1798~1863)，他後來有關物體色彩和投射的陰影之搭配的畫作和較早期的畫作大異其趣。物體和影子的相互作用，在早期印象派畫家莫內(Claude Monet, 1840~1926)和皮薩羅(Camille Pissarro, 1831~1903)的畫作中有進一步發揮，咸信這兩位大師都擁有取自希弗赫爾研究的第一手知識。

往後的科學家諸如著名的赫姆霍茲(Hermann von Helmholtz, 1821~1894)和馬克士威(James Clerk Maxwell, 1831~1879)，也研究色彩視覺並將其應用到藝術的領域中。其中最具代表性的人物就是新印象派畫家塞拉(Georges Seurat, 1859~1891)，他重新建立一套以色彩和對比的科學理論為基礎之全新藝術。

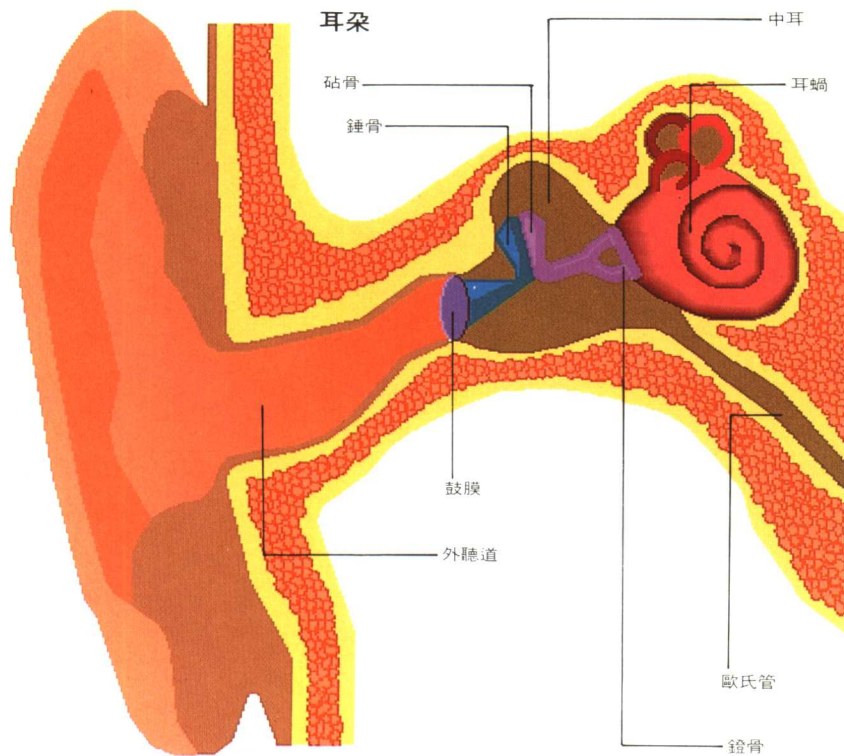
塞拉先以黑白二色來確定其對平衡理論之了解，而後便以彩色來驗證。特別值得一提的是，他做了有關「互補色」的實驗。如果你注視一個鮮紅色的圓點然後閉上眼睛，將會看到此圓點的短暫「後像」(after image)，但它是綠色而非紅色。綠色是紅色的



補色，其他顏色也都有其相對的補色。補色對藝術家而言非常重要，因為它影響了我們的視覺感受。當某一顏色置於其補色之背景上時，會有最大的對比效果。塞拉是以所推展的「點描法」(pointillist)作畫而聞名，他知道小點自遠處看來是模糊地融和成一個中間色，所以他完全使用小的藍、黃、紅和黑點來構成畫面。就靠這四種顏色，而僅改變各種色點的出現頻率，即能創造出油畫中的很多陰影效果。塞拉在人類色彩視覺這方面的研究成果，可算奠定今日彩色印刷和彩色電視機的基礎。

▲湯瑪斯(Debbie Thomas)在一九八八年布達佩斯世界滑冰錦標賽中的演出。她專心於遠方的某一點，所以即使身體在旋轉，依然能使頭部長時間維持在靜止狀態。其間，她必須很快地移動頭部並迅速地閉上雙眼，以便能趕上身體的轉動。如此才不致於頭昏眼花而失去了平衡。

►聲音由外耳收集經過聽道而後集中於鼓膜。鼓膜的振動導致三塊小聽骨一連串的運動，這三塊小聽骨即構成所謂的「中耳」(middle ear)。這些振動依次傳遞到「內耳」(inner ear)。內耳是螺旋狀的管子，其中充滿液體。管內液體的運動會擾動約二萬個髮細胞，這些髮細胞就將液體流動的訊息轉換成電波，經由聽神經傳入大腦。在內耳中，螺旋的不同部分分別負責偵測不同音調的聲音。



聲音

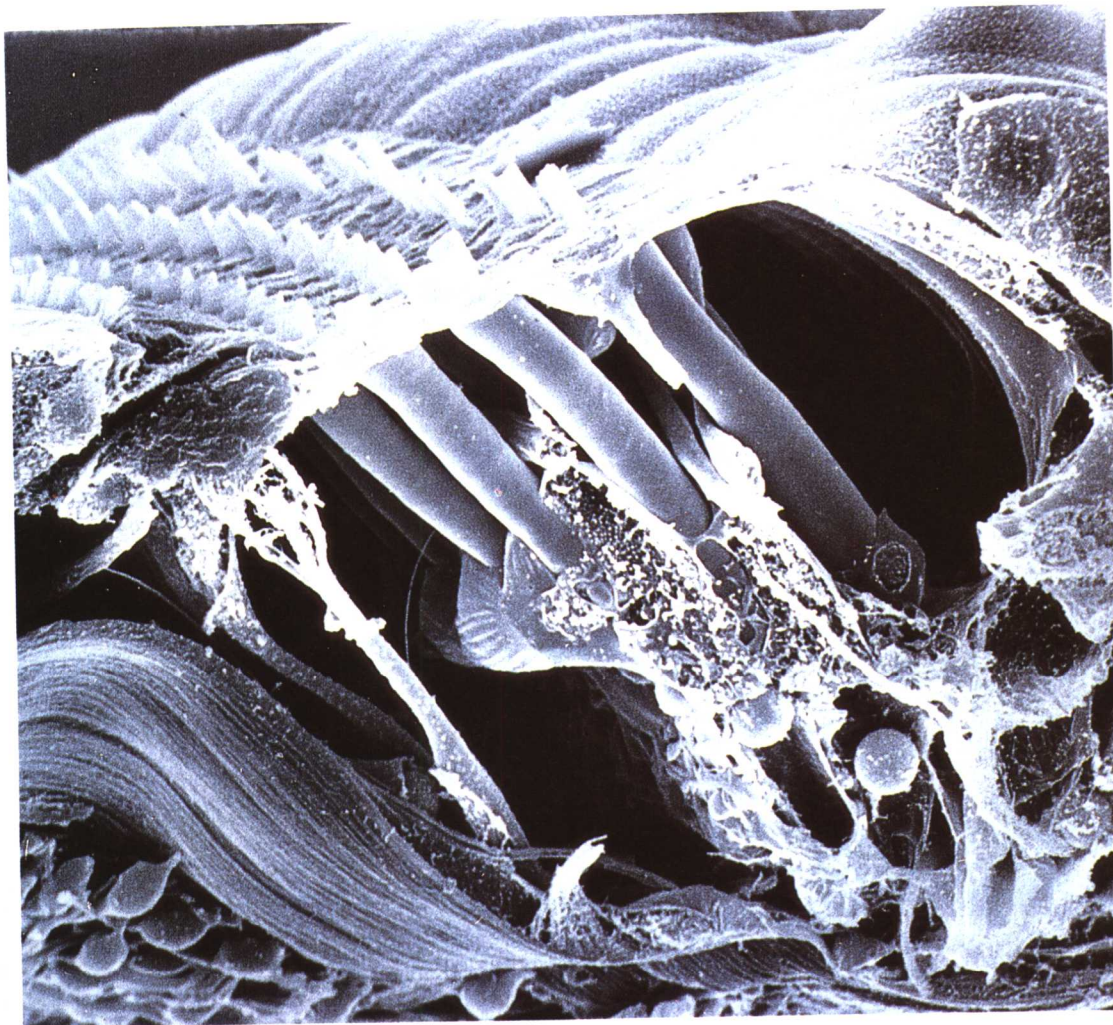
對一個盲人來說，聽覺是一個簡單而且最重要的感覺；對明眼人而言，聽覺是一僅次於視覺的重要感覺。就像光線一樣，聲音的傳遞也是利用波動；但是光線可以通過真空地帶，例如我們可以看到星光，而聲音卻需要介質來傳送振動。在地球，這種介質主要是大氣，但聲音仍可藉液體諸如海洋中的水來傳送。除此之外，固體也可以傳聲。人類可以聽到聲音的振動，頻率(frequency)範圍從每秒鐘振動約二十次(即二十赫, 20 Hz)到二萬次。振動的頻率就是一般我們所謂的音調，不過我們聽到的音調也同時取決於其他因素，諸如聲音的響度。

中耳的三塊小骨調整能通往內耳的聲音強度，就如同瞳孔調整能進入眼睛的光線強度一般。我們的兩耳之所以能夠幫助我們判定聲音的來源，主要係藉由進入雙耳的聲音強度差，這個原理和兩眼能夠分辨事物的遠近是一樣的，然而，耳朵辨別位置的能力比眼睛要差許多。耳朵能夠很公正的分辨出接近背景的聲音，這就是為什麼大部分的人較喜愛立體音響，而不喜愛單聲調音響。但來自頭部上方的聲音，耳朵就不易分辨出來，所以大部分的人很難從聽到的引擎聲中去判定飛機的位置。

耳聾(deafness)通常被認為是無法聽到微弱的聲音，也可以解釋為無法聽到特別的音調。典型的例子是愈高頻的音調愈不易聽見。這種耳聾通常使交談的內容語意不清如同失去音量，因為不同語意有不同的頻率，例如英文字母「d」和「b」是低調的音(兩者皆約四百赫)，而「s」和「th」音調則較高(兩者皆約在三千赫)。有這類耳疾的人會將英文字「sad」聽成「add」。



▲►狗、貓和猴子所能聽到的頻率範圍比人類高。例如三萬到四萬赫的哨音會引起德國狼狗(Alsatian dogs)的注意，但我們卻聽不到。人類只能聽到頻率範圍在二十赫到二萬赫之間的聲音，其中最靈敏的部分，大約在五千赫左右。管弦樂隊在調音時所對的音是中央C上的A音，其頻率為四百四十赫。聲音的強度(或稱相對響度)的測量，是以貝或是分貝為單位。小舞廳中以擴大器播放的搖滾樂，可能到達令人耳朵覺得難受的程度。在噪音量超過這個程度以上的地方工作的人們，就得戴上護耳器以保護聽力。



◀掃描式電子顯微鏡所攝得的人類內耳橫切面放大圖。圖中所示即為螺旋器，也就是負責將聲音訊號轉換成神經脈衝的器官。這些充滿液體的螺旋器，大約被放大了五百倍。位於內耳的部分髮細胞清晰可見。液體的流動和聲音的音調有關，螺旋器內不同部位的髮細胞測量不同的音調，因此傳入大腦的神經脈衝會根據所接受的音調不同而改變。

