

從「已知用火」到駕馭太陽

紀念光研究一千年

適用國中自然【八上】光、影像與顏色

一千年前的1015年，生於今日伊拉克南部的阿拉伯學者伊本海瑟姆（Ibn al-Haytham）寫了七冊《光學之書》（Kitab al-Manathir，英文Book of Optics），為人類首篇光學研究，敘述眼睛構造、視覺理論與光的物理特性。海瑟姆被視為第一個科學家，因其所得皆透過謹慎的實驗與紀錄而來。海瑟姆提出人能觀看，是因為光線照射到物體後反射至眼睛，而非過往認為的眼睛發出光線照亮物體；他也提出大氣使光偏折，研究出光在曲面折射的數學公式，並試圖做實驗解釋彩虹、日食與月食等現象。

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

科學生

科學閱讀素養課程

一千年後，人類發明各種光源點亮夜晚、發射衛星捕捉星光、用光纖網路串聯起全世界，短短一百多年的時光，光學科技改造了人類的文明與生活，也改變了運作千萬年的地球生態。



【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

科學生

科學閱讀素養課程



一千多位科學家與各方人士1月19、20日齊聚「光之城」(City of Light) 巴黎，正式為「國際光之年 (International Year of Light, IYL) 」拉開序幕。聯合國教科文組織 (UNESCO) 將2015定為國際光之年，以此紀念千年來人們在光領域的研究足跡及各種光技術的發展。

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

科學生

科學閱讀素養課程

2015恰逢許多光學里程碑的周年：1015誕生首篇光學研究、1815菲涅爾提出光的波動性、1865年馬克士威發表光電磁傳播理論、1905愛因斯坦提出光電效應與1915廣義相對論、1965彭齊亞斯與威爾遜測量到宇宙微波背景輻射。

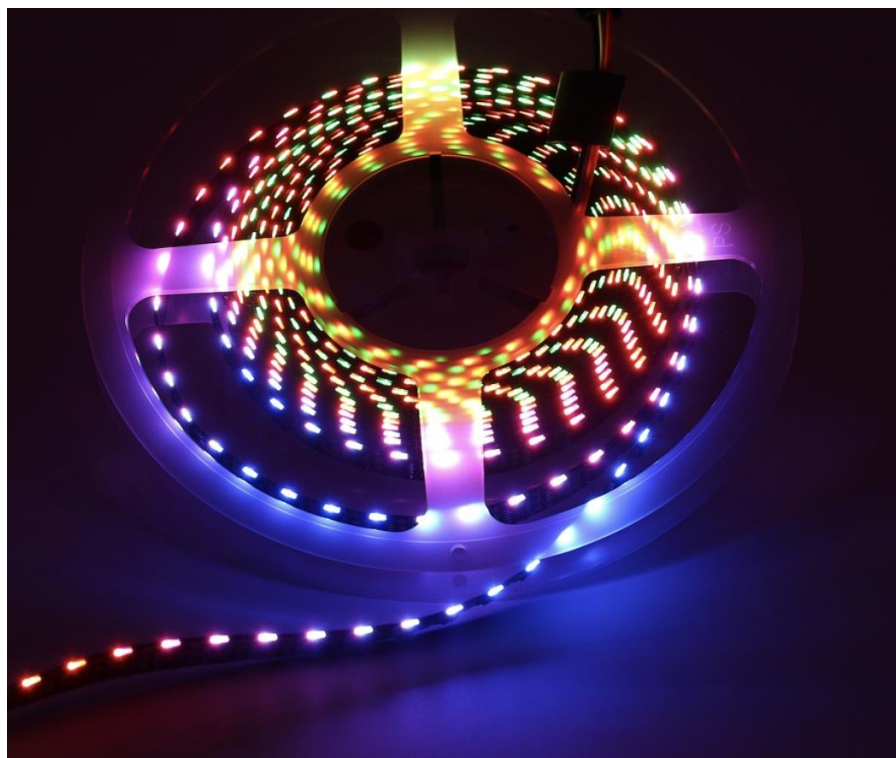
包含台灣在內，全球共71個國家地區共襄盛舉光之年，用一整年時間舉行光學科技相關的演講與活動，提醒光在人類生活扮演的重大角色，並討論如何以光科技解決當前問題。

從「已知用火」到光纖網路、駕馭太陽：光科技與人類文明

夜幕降臨，華燈初上，人工光源徹底改變了人類的夜晚活動型態。在夜晚光源只有星星和月亮的年代，夜晚的可見度大約只有幾公尺，對人們而言，晚上意味著一天的勞動與社交互動告一段落，所有人都要從戶外回到屋內，會在外遊蕩的只有危險與不良份子。晚上出外遊走這件事最早可追溯到17世紀法王路易十四頒布法令，將巴黎街頭掛上燈籠，接下來的公共照明系統還有燃燒鯨魚油的燈具、19世紀出現的煤氣燈、刺眼

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

的弧光燈，直至19世紀末電燈登場。隨著工商時代發展，漸漸地人們在夜晚工作、從事娛樂活動、發展各式24小時服務。



LED是另一波照明革命，三位日本科學家赤崎勇、天野浩與中村修二於1990年代開發出高品質藍光LED，在此之前的半世紀只有紅光與綠光LED，藍光的加入得以配製出白光LED，延伸應用於照明、液晶螢幕、手機面板螢幕的背光晶片等。

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

LED照明節省了90% 的能源，發光效率可達每瓦200流明，壽命可輕而易舉達到幾萬小時，遠遠長於其他照明技術（一般白熾燈泡發光效率約每瓦24流明，平均壽命約1000小時），三位科學家也因此貢獻共同獲得2014諾貝爾獎。

「醫學影像技術的突破從光學開始。」台大光電工程所教授孫啟光說，光學望遠鏡讓人類往天空探索，從此知道地球非宇宙中心；而光學顯微鏡是第一個醫學影像儀器，讓人開始了解人的內部組成，也造就了細胞病理診斷。醫學影像技術讓醫師觀察人體內部構造、協助診斷與分析病

情，其他常見的醫學影像儀器還有核磁共振、X光、電磁斷層掃描（CT）等等，除核磁共振外，也都與光有關，只是並非一般所看到的可見光。

1960年梅曼（Theodore Harold Maiman）製出第一台雷射，雷射發明逾半世紀，在醫療到消費性電子產品、通訊、軍事科技等領域皆扮演舉足輕重的角色，例如運用雷射治療眼科、皮膚科與牙科疾病；常見的用品如DVD播放器、條碼讀取機；軍事武器以雷射標定瞄準等。雷射也是尖端研究的重要工具，目前有十幾位諾貝爾獎得主的研究與雷射有關，除了雷射本身，還有全像片、雷射冷卻、玻色-愛因斯坦凝聚態。

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

科學生

科學閱讀素質課程

現代生活大量依賴的網路、雲端服務，就靠光纖傳送大量訊息，1966年高錕研究發現，減少玻璃雜質，便能解決光藉著玻璃全反射傳送的途中，訊號嚴重衰減的問題，進而達到長程通訊，此研究克服了光通訊長久以來的障礙。光纖具有體積小、訊號衰減低的優點，且光纖不受電磁干擾，每條光纖可用不同波長的頻段獨立傳送訊息，因此光纜能傳送的訊號大量而準確，被譽為光纖之父的高錕獲2009諾貝爾獎。

人類一直嘗試駕馭太陽的能量，早在1839年，法國物理學家貝克雷 (Alexandre-Edmond Becquerel) 就發現了光伏效應，即某些材料照

到光時會產生微小電流，但要等到一百多年後的1954，三位貝爾實驗室的科學家才發明出第一個能有效將太陽能轉換為電能的矽基太陽能電池，當時該電池在太陽直射下的效率只有6%左右，現在先進的太陽能電池已可達到40%。太陽能發電的應用觸角開始延展，例如太陽能車、海水淡化系統等。現今太陽能應用尚未成為主流，但氣候變遷的威脅愈來愈緊迫，帶動替代能源的需求，國際能源總署（IEA）估計，到2060年，太陽能科技可望提供世界三分之一的能源。

情歌與舞蹈的顏色：光與藝術

光也撩撥著人們的情感。畫家以光影描繪情感的氛圍與張力；自4世紀開始，彩繪玻璃將自然光化為燦爛奪目的藝術品，教堂、古蹟、清真寺常以彩繪玻璃述說古老的傳說故事，光彷彿是具有生命的精靈，觸碰人們靈魂深處的悸動；演唱會、主題樂園，常見雷射光激發高昂情緒與驚呼聲；攝影與電影捕捉當下的光，讓時空與光線永恆駐足。而若要說以玩弄光影為業、融會各種藝術元素的魔術師，大概莫過於劇場燈光設計

師，自15世紀的文藝復興時期，便開始有藝術家認知燈光設計的重要，利用燈光調節影響觀眾情緒。

「其實我比較看重的是影子，未必是光，」劇場燈光設計師車克謙說：「光的角度或是光在物件上造成的陰影對我吸引力比較大。我觀察影子的構成，去發現光源是什麼。」車克謙經驗豐富，曾操刀高雄世界運動會主場的開閉幕式、幾米音樂劇《向左走，向右走》、《地下鐵》等各式戲劇與大型戶外展演。

「光可以幫助一個物件，也可以毀了它。」而燈光設計就是讓觀眾看到想讓他看見的細節，隱藏不想讓人注意到的地方。運用燈光的亮度與色澤導引、加強觀眾的情緒是設計師的基本功。舞台上的演員在說故事，燈光也在說故事，燈光協助帶出戲劇的動線，有時也暗示戲劇的隱喻與伏筆，車克謙笑著說：「有時候燈光還要克制表演慾，不要太『愛講話』。」過多過強的光會失去焦點，或讓觀眾一片昏花，什麼也看不到。不同展演需要的光不一樣，如舞蹈表演大部分只有簡單布幕，幾乎全靠光影創造出山林、海洋、竹林等意象，帶領舞者與觀眾穿梭不同空間。

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

車克謙說，平常會強迫把眼睛當照相機，從環境中記錄光的狀態和屬性，如冬天的光、紐約城市的光、午後咖啡店的光。對聲音的感受也是創作靈感來源，聽著旋律，車克謙便不自覺在腦中編織場景的顏色與氛圍，他舉例，例如搖滾樂大概就是紅色、黃色、橙色加上一些閃爍效果，情歌則要看是男聲或女聲、或熱戀或憂鬱，紫色、藍色、粉色都有可能。

「No light, there is no space. (少了光，就沒有空間存在) 」知名劇場設計師羅伯·威爾森 (Robert Wilson) 常將這句話掛在嘴邊。他認為，

「因為有光，黑暗才真的變黑。因為黑暗，才感受得到光線的明亮。這就是空間的基本概念，也是空間的原理。」光決定了許多事物，形成敘事結構與節奏，「它可以跟音樂合作或是對抗，讓事物變得明顯或晦暗，為動作定下秩序。」[1]

全球光害地圖的反思：我們正在失去夜晚

燈光點亮了人類的文明與生活方式，我們用人造燈光點亮夜晚至今不過一百多年，已顛覆了人類與生態經過千萬年演化而適應日夜交替的習性，

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

科學生

科學閱讀素養課程



人工照明改變人類生活型態，但也帶來各種問題，一些國際組織與研究單位發起各式活動呼籲大眾正視光汙染。

國際暗空協會（International Dark-Sky Association, IDA）致力於保護夜間環境、推動適當照明，IDA將光害定義為：「所有人工照明的負面影響，包括天空輝光（sky glow）、刺眼的強光

(glare)、無端闖入的光線 (light trespass)、雜亂的光線 (light clutter)、夜晚受損的能見度以及浪費的能源等。」光汙染的影響層面不只是我們再也看不到經典老歌所唱的「Starry Starry Night」，光害也代表著浪費能源、干擾生態，全世界至少有三成左右的脊椎動物、六成左右的非脊椎動物屬於夜行性，再加上習於暮色或清晨出沒的生物，就不難想像光害的影響層面有多廣闊。[2]

※ 請觀看影片：[Losing the Dark - Flat Screen Version](#)

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

美國國家光學天文台（National Optical Astronomy Observatory, NOAO）也發起國際性的公民科學家活動「全球光害地圖計畫（Global at Night）」，介面有20幾種語言，號召全球公民上傳資料，描述自己所在地區的夜空明亮度、天氣狀況，藉此蒐集全球光汙染資料。去年2014共有來自94個國家、17,500次的觀測數據，八年下來已從115個國家累積了近十萬筆觀測數據。[3]

中央大學光電系教授孫慶成說，照明的服務對象是眼睛，但我們現在有許多照明發出的光都是不必要的，而這些多餘的光就四處亂竄，闖入夜

空、干擾視線等，例如一般路燈，有五分之一的光浪費在打往水平或天空方向，造成天空輝光。要解決光害其實沒那麼困難，孫慶成說，要達到適度照明，透過調整照明裝置設計就能改善，孫慶成帶領的中央大學團隊設計的LED照明可讓98%的光與能源都貢獻於照亮街道，而非照亮夜空，節能達40%至60%。孫慶成認為，良好的照明應該是：「照亮回家的路，也將天空留給星辰。」

現實生活中也有類似例子，國立科學博物館植物園的燈光造景即是一例，每天入夜後兩個小時半，植物園外的LED燈將七彩變幻光芒投射到八層

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

科學生

科學閱讀素養課程

樓高的溫室桁架與玻璃帷幕，周末的燈光秀以234組燈具將植物園妝點為光雕藝術品。這些LED燈來自回收燈具，一天電費不超過新台幣35元，且燈光照射角度經過設計，光線只落在建築物上，不會進入夜空，也不會進入溫室影響植物作息；舊金山一家叫作民間暮光（Civil Twilight）的公司讓路燈隨月亮光線而自動調節亮度，讓夜間的亮度維持平衡，尋回夜晚自然氛圍，並減少四分之三的照明費用。

讓光更人性：光對人體的影響

「光對人類有直接、長遠、且重要的影響，光無所不在。」孫啟光說，首先就是視覺，人類如何看到萬物便是藉由光線照射物體後，反射進入眼睛的視網膜、視神經，到大腦解讀。他開玩笑地說，他不清楚一般人如何感受光，他自己被太陽曬的時候就很有感覺。

孫啟光研究專長為非侵入式的生醫影像，他說，開發光電醫材必須確認許多事情，才能進到臨床實驗、對病人負責。現在許多生醫影像技術使

使用的是與雷射手術差不多波段的光源，但作為非侵入式觀測人體與動手術（破壞組織的）的光源應該要分開，使用不同顏色（波段）的光。

「身為一個科學家，我想要了解更多人與光的互動關係。」孫啟光對於光和人體的互動特別感興趣，光如何影響人體？有的光波段會傷害人體，有的不會，劑量也可能造成差別；不同組織對光的反應也不同，例如光可以穿透眼球到達視網膜，卻不能穿透人體其他部分，我們的基因演化設計了不同器官對光有不同反應，目的又是什麼？

工研院光電所設有台灣首座國際級的人因照明實驗室，研究在不同情境與時間下，各種光線配置對人的清醒程度、情緒、工作效率、神經系統等生心理影響，探討適合的人因照明參數。市售照明光源常見眩光與LED藍害問題，當眼角餘光直接或經物體反射看到光源（如書頁上的小光點），刺目的燈光導致無法清晰的觀看物體，此干擾為眩光，眩光會讓眼睛不適，易疲勞、注意力不集中；藍害則會讓視網膜變質，甚至造成白內障，為不可逆的傷害，但相反的，藍光也可用於治療季節性憂鬱，端看如何適切地使用光源。光源閃爍也漸受重視，有研究指出閃爍的燈

可能造成偏頭痛，也有較為極端的例子，日本曾有光敏癲癇症患者因看了神奇寶貝卡通，承受不住皮卡丘放電時劇烈的光線變化而送醫。

工研院光電所工程師趙偉成說，光對人的影響主要可分為視覺、心理、生理、生物四個層面，視覺是指對於眼睛的影響，例如藍害與眩光；心理與生理層面是人體照光後的「生理回饋」，如心跳、血壓、皮膚阻抗、腦波訊號等，與神經系統有關；生物層面則是對賀爾蒙的影響，如現在常見學者研究照明對褪黑激素、生理時鐘的影響。後三者難以完全切割，

不過生物效應與生心理層面之間的交互影響、運作機制尚未有充足的研究。

良好的光線對人如此重要，在某些地區，照明是急待解決的經濟與健康議題，世界上約有15億人口依賴蠟燭或是會產生對人體有害氣體的煤油燈度過漫漫長夜，這些人口多為發展中國家的居民，夜晚缺乏足夠照明使得白天須工作貼補家計的孩童無法夜晚學習讀寫，學業落後，甚至醫院也無法於夜晚運作。UNESCO光之年的重要計畫之一便是在這些地區推廣可攜式的太陽能LED照明，以期打破當地的惡性循環。

光科技的未來

「台灣的光電產業產值大約占了全世界五分之一！」兼任光電學會副理事長的孫慶成說，台灣的光電產業舉足輕重，其中又以LED照明、顯示器、太陽能為主。對於光科技的發展趨勢，孫慶成勾勒一連串的藍圖：

「未來大概是眼睛張開所看到的一切東西都與光相關！」光科技深入資訊（含顯示與感測）、能源、照明領域，光既是能量來源，也是訊號。試著想像這些場景：或許車子不再需要人為駕駛，而是雲端控制；可能所有資訊濃縮於一副眼鏡上；可能手機只有一片指甲般大小，這些藍圖

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

科學生

科學閱讀素養課程

必須利用無數感測器以及取得、傳輸、顯示、儲存大量資訊的技術，這便是奠基在光電技術之上，與物聯網、雲端的概念合流。

孫啟光希望，國際光之年能喚起大家對光的重視，了解光的多面向，特別是光對人的影響，也希望台灣能進一步發展更多人本應用之光電產業。

光電學會以提出光電效應的

{ "type" : " block" , " srcClientIds" : ["3499b1ad-7165-43f2-8256-e5dd5686e0a6"], " srcRootClientId" : " " }愛因斯坦為主角，設計了光之年主燈擺在三月台中的元宵燈會。光電學會秘書長黃建璋說，接下來

【從「已知用火」到駕馭太陽】 紀念光研究一千年

科學生

科學閱讀素養課程

的一年會舉行50至100場巡迴演講，並與各大學光電系所合作辦營隊。台北天文科學教育館一月底也舉辦為期七個月的「光的奧秘」特展，內容包括以LED與投影建構模擬宇宙大霹靂的通道、展出太陽能應用與福衛五號的光學望遠鏡，也有利用光線折射、反射原理設計的視覺遊戲。

1999諾貝爾化學獎得主阿米德·齊威爾（Ahmed Zewail）在巴黎光之年開幕式上呼籲大家對話以解決世界的需求。歐洲物理協會會長、IYL策劃委員會會長約翰·杜德里則說，光科技在生活中的角色如此重要，這

是光學與光電社群與大眾交流知識的機會，「我們只有一次機會，舉行慶祝很不錯，不過我們得盡快開始工作了！」

備註

1. 耿一偉，《羅伯·威爾森——光的無限力量》，台北：國立中正文化中心，2009。
2. Paul Bogard，陳以禮譯，《夜的盡頭》，台北：時報文化，2014。
3. [全球光害地圖計畫](#)；[中文版介面的光害地圖](#)

訪問之外的參考資料

1. [UNESCO 國際光之年官網](#)
2. [Optical Society](#) , 〈 New LED Streetlight Design Curbs Light Pollution 〉 , 2013
3. Clifford A. Pickover , 顏誠廷譯 《物理之書》 , 台北：時報文化 , 2013 。
4. 光之年巴黎開幕報導編譯來源： [〈 Light Is Power, Inspiration, Source, Say International Year of Light Speakers 〉](#) 、 [〈 Solutions enabled by light inspire at International Year of Light celebration 〉](#)