



菲涅耳與光的波動性

邱韻如

長庚大學

yjchiu@mail.cgu.edu.tw

前言

繼 2005 世界物理年、2009 全球天文年、2011 國際化學年之後，聯合國教科文組織將 2015 年訂為國際光之年(International Year of Light and Light-based Technologies，簡稱為 IYL2015)^[1]，希望以此紀念千年來人類在光領域的重大發現及各種光技術的發展。全球各地將在這一年舉辦各種活動，帶領人們認識光及光對人類的貢獻，並以幾個具有里程碑的指標性週年慶^[2]來引領這一年的活動。其中的「兩百週年慶」是尊崇法國科學家菲涅耳(Augustin Fresnel,1788~1827)在 1815 年對光的波動性的貢獻。

說到光的波動性，大多數人可能會立刻想到惠更斯(Huygens,1629~1695)以及楊格(Thomas Young,1773~1829)。說到菲涅耳，認識他的人可能是因為菲涅耳透鏡。菲涅耳和光的波動性有什麼關係呢？本文先從光的繞射現象開始，看看科學家們如何在微粒說與波動說的爭論中一步一步探索光的本質，

以及菲涅耳如何讓光的波動性重出江湖，進而讓科學界接受。

光被障礙物打成碎片

最早觀察到光的繞射現象的是義大利耶穌會教士格里馬迪(Grimaldi,1618~1663)^[3]，他把這個現象以拉丁字 *diffringere* 來命名，也就是「成為碎片」的意思，但他並沒有對此現象作進一步的物理解釋。此現象在他過世後才被發表(1665 年)，牛頓重複他的實驗進行研究，並用微粒說來解釋。在當時，雖然虎克和惠更斯都積極主張光是波動，但是直到十九世紀初，大部分的科學家還是支持牛頓的微粒說觀點。

楊格的波動說不被認同

精通各國語言的英國醫師楊格(Thomas Young,1773~1829)，對光的研究起於對眼睛構造與光學特性的探究，並同時對聲音的傳播也有研究。1801 年他放棄行醫，擔任英國皇家研究院^[4]的全職教授，做了許多光的研究及實驗，還有一系列通俗演講^[5]。1800 年 1 月，他發表波動理論的第一篇論文^[6]，用干涉原理來解釋聲音和光的現象，1803 年更進行著名的雙狹縫實驗。他的波動說受到很多學者的抨擊，雙狹縫實驗也不受到青睞，楊格之後也就轉換跑道，不再進行光的研究。

菲涅耳讓光的波動性重出江湖

法國工程師菲涅耳，從 1815 年初開始研究光的波動性質，工程師出身的他，製作了很多透鏡，並設計不同的裝置，製造干涉條紋，推導出許多公式去解釋反射、折射、雙折射及偏振現象，由此嘗試去解釋光繞射的

N° II.

PREMIER MÉMOIRE

SUR

LA DIFFRACTION DE LA LUMIÈRE,

OÙ L'ON EXAMINE PARTICULIÈREMENT

LE PHÉNOMÈNE DES FRANGES COLORÉES QUE PRÉSENTENT LES OMBRES

DES CORPS ÉCLAIRÉS PAR UN POINT LUMINEUX ^(*).

1. Avant d'entrer dans le détail de mes expériences sur la diffraction et des conséquences que j'en ai tirées, j'exposerai sommairement les principales objections que je me suis faites sur la théorie newtonienne.

Newton ayant posé en principe que les molécules lumineuses qui frappent nos yeux, lorsque nous regardons le soleil, partent de cet

(*) Adressé à l'Académie des sciences, le 15 octobre 1815. — [MM. Poinso et Arago commissaires nommés le 23 octobre 1815.]

Ce Mémoire était accompagné de la lettre suivante de l'auteur à Delambre, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

Mathieu, près Caen, le 15 octobre 1815.

Monsieur,

Je vous prie de vouloir bien présenter à la première classe de l'Institut un Mémoire sur la diffraction, que M. Mérimée, mon oncle, aura l'honneur de vous remettre avec cette lettre.

Peut-être ce Mémoire vous offrira-t-il des raisonnements déjà faits et des expériences connues, que j'ai pu croire neuves, n'étant pas à portée de me tenir au courant des progrès de la science.

La théorie de Newton est encore adoptée généralement. Je ne connais aucun ouvrage dans lequel elle soit attaquée directement, et où l'on donne, ainsi que je l'ai fait, les formules pour calculer la largeur des franges colorées des ombres. Ces formules, jointes aux observations par lesquelles j'ai vérifié leur exactitude, me

1.

2

現象。當年 10 月 25 日，他提交了他的第一篇關於光的性質的論文，這篇論文有 25 頁，圖 1 是第一頁。他所做的這些實驗，楊格早已做過，且於 1800~1804 年間撰寫數篇論文及演示實驗，論述光的波動理論，但在當時的時空背景下，並沒有多少人理會楊格的想法。菲涅耳在做這些實驗時，並不知道楊格已有相關的研究及演示實驗。

當時法國科學院的院士阿拉戈(Arago, 1786~1853)^[7]在閱讀研究 1815 年這篇論文之後，成為法國第一個改信波動說的學者，並把菲涅耳的論文寄給英國的楊格，楊格也因此重拾光的研究。當時許多重視數學推導的學者如拉普拉斯(Laplace, 1749~1827)、泊松(Poisson, 1781~1840)等都覺得菲涅耳的數學推導不嚴密而不願接受他的理論。在反對意見的刺激，以及與楊格的通信討論之下，菲涅耳做了更多的努力，應用數學分析把波動理論弄得更完整，其中他採用了惠更斯在 1678 年提出的點波源原理並加以發揚光大。這個所謂的「惠更斯原理」，就是每個波前都可以看成是許多點波源組成的原理，後來被稱為 Huygens-Fresnel principle。1818 年，菲涅耳提出一篇關於繞射的研究報告，並於次年獲得法國科學院 (French Academy of Sciences) 的大獎。

擱置光的波動研究達十多年的楊格，因菲涅耳而重啟研究。原本被抨擊得體無完膚的波動理論，因為菲涅耳而重出江湖，得到更完整的論述。

1821 年菲涅耳與阿拉戈合作研究光的偏振，肯定光是一種橫波，兩年後他發現圓偏振光和橢圓偏振光，並以光波動理論解釋偏振面的旋轉。不過，當時科學界對光的性質仍然沒有統一的見解，直到 1849 年，傅科(Foucault, 1819~1868)與菲佐(Fizeau, 1819~1896)兩人測量出光在水中的速度比在空氣

中慢，才使得光波動說獲得決定性的勝利。

讓透鏡瘦身 燈塔光遠傳

1819 年，菲涅耳被提名為「燈塔委員」，1822 年他將傳統的透鏡做了改良，不僅節省了許多透鏡的材料重量，還讓光束更強照得更遠(圖 2)，至今仍被廣泛地使用於世界各地的燈塔裡。這種「菲涅耳透鏡」已普遍出現在我們的日常生活中，如攜帶方便的名片透鏡、投影機或許多燈光的鏡頭等等。

天妒英才 留名鐵塔

菲涅耳於 1823 年當選為法國科學院的會員，並於 1825 年成為英國倫敦皇家學會的會員。但天妒英才，菲涅耳在 1827 年罹患肺結核而英年早逝，得年僅 39 歲。在他有生之年，他對於光學所做出的貢獻並沒獲得學術界普遍的認知。他的許多論文，一直等到他往生後多年，才開始被法國科學院發表印行。

在艾菲爾鐵塔上刻有 72 位知名法國科學家及數學家的名字，本文所提到的菲涅耳、阿拉戈、拉普拉斯、泊松、傅科、菲佐等都留名於此。

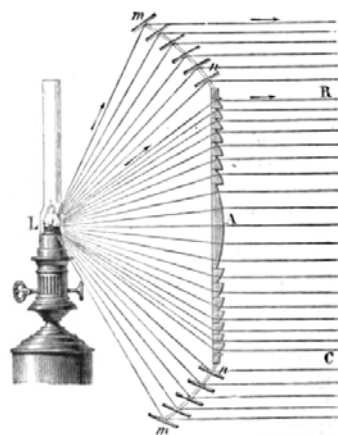


圖 2：燈光與菲涅耳透鏡(by Adolphe Ganot, 1872)

附註

[1].IYL2015 官網：<http://www.light2015.org/Home.html>

[2].這些里程碑週年慶包括 1015 年阿拉伯學者海什木(Ibn Al-Haytham 或稱 Alhazen, 965~ 1040)發表五卷本光學著作、1815 年菲涅耳提出的光的波動概念、1865 年馬克斯威爾提出的光電磁傳播理論、1905 年愛因斯坦的光電效應理論和 1915 年廣義相對論,以及 1965 年彭齊亞斯和威爾遜發現宇宙微波背景等。

[3].順便一提,在 1640~1650 期間,格里馬迪與 Riccioli(1598-1671)進行了許多自由落體與單擺的實驗,支持與肯定伽利略的研究。

[4].皇家研究院(Royal Institution,簡稱 Ri)成立於 1799 年,鑑於當時英國皇家學會(Royal Society)已淪為倫敦的社交俱樂部而成立的推展科學的機構。Ri 設有講堂和實驗室,定期舉辦公開科普演講。楊格是第二任教授,任期不到二年。直到 1803 年戴維(Davy,1778~1829)接任第三任教授後,Ri 演講大為轟動,他於 1821 年任用法拉第(Faraday,1791~1867)為實驗助理,法拉第在此揮灑一生。1973 年起,Ri 設置法拉第博物館供民眾免費參觀。

[5].這些演講於 1807 年集結成冊,其中第 23 講引用干涉概念來解釋水波,此裝置就是目前學校水波槽實驗的原型。還有經典的光的雙狹縫演示實驗,在第 39 講。(The Prism and the Pendulum by Robert Crease, 2003)

[6].阿拉戈(Arago,1786~1853)早年參加過子午線的測量工作,之後大都在巴黎科學院及巴黎天文台服務,他在科學上有許多成就,除了拔擢菲涅耳之外,他在 1812~1846 年間一系列科普講座,對天文學的推廣有很大貢獻。

[7].Thomas Young, Outlines of Experiments and Inquiries Respecting Sound and Light. The Philosophical Transactions of the Royal Society,London. published 1 January 1800.