

自然科學小叢書

洛 治 自 傳

下 冊

林 昌 恆 譯

王雲五 周昌壽 主編



商務印書館發行

自然科學小叢書

洛 治 自 傳

下 冊

林 昌 恆 譯

王雲五 周昌壽 主編

商務印書館發行

中華民國二十八年八月初版

(93329)

自然科學
小叢書
洛治自傳二冊

Past Years, An Autobiography

每部實價國幣貳元伍角

外埠酌加運費匯費

O. Lodge

原著者

林昌

恆

主編者

王雲昌

壽

版權所有
翻印必究

發行人

王雲五
長沙南正路

印刷所

商務印書館

發行所

商務印書館

第十五章 在利物浦所作的科學研究（續）：以太的實驗

現在我要略略敘述我此生所作的一種最重要的實驗，這種實驗費了許多年纔作出來，我作這種實驗本加明·達維斯（Benjamin Davies）自始至終用他光學上的技術給我許多幫助。當時就地球表面而論，對於光的速度是否受地球運動的影響這個問題頗有爭執；因為大家都認為『以太』是傳光的媒介物，於是就發生以太是否被地球帶起走的問題。按照夫累涅爾（Fresnel）的學說，無論在何種情形都有一部分以太為運動的透明物質帶走——其被帶走的以太即是被透明物質所緊束的那部分，透明物質之有折光率就由於那部分的以太，所謂折光率即是光線經過透明物質的時候其被透明物質所曲折的數量。菲左（Fizeau）用他在一八五一年作的很著名而又很有趣的實驗證實這個學說應用到運動的水是正確的，他那個實驗表明光是被水的運動帶起走的，加於光之速度並不是水之全速度，乃僅約有水運動的全速度的一半，按照夫累涅爾

的學說，僅有 $\frac{\mu^2 - 1}{\mu^2}$ ，僅有其全速度的十六分之七，此與音的情形不同。邁克爾孫 (Michelson) 和 摩黎 (Morley) 在那時不久以前曾經實驗恰在地球表面的光的運動。他兩個人發現光的速度是絲毫不受地球運動的影響——這種結果假設以太是同着地球走的就很容易解釋。此外又有一些人研究地球的運動對於光的影響作了別的許多實驗，所有那些實驗都同樣的表明地球的運動對於光是沒有影響。然而這種結論我們又難於接受，因為，如果以太是被地球的運動帶起走的，那嗎這些實驗裏面有一個很早的實驗（即是從一個星球對於光行差 (aberration of light) 的觀察）就要變為很複雜了。喬治·斯多克斯爵士 (Sir George Stokes) 對於這個問題曾經在自然雜誌寫過幾個報告，更在最近，芮里勳爵對於光行差問題又在自然雜誌寫過幾篇文章。我於是把光行差問題拿來研究，我把這些舊實驗都拿來討論過，其中有一些實驗是格林維 (Greenwich) 的欽天監 (Astronomer Royal) 用一個注水望遠鏡 (waterfilled telescope) 作的，有一些是克拉克·馬克士威根據光被隨着地球運動的三稜鏡所折射的情形來作的，又有一些是歐洲大陸的實驗家（例如荷克 (Hoek)、馬斯卡 (Mascart) 等等）作的（見自然雜誌

第四十六卷第五百頁），但是那些實驗都沒有做出結果，做出的結果都表明地球的運動對於光是沒有影響。我於是覺得還值得把邁克爾孫和摩黎的實驗拿來補充一下，他兩個人的實驗異於別的實驗之點在於認為能够檢驗出小數量的第二級作用。如果地球的運動是不帶着以太走，那邁克爾孫作的結果似乎就不能夠解釋；如果地球的運動是帶着以太走的，光行差的理論就複雜了，一切都變得更麻煩了。

我就着手計劃一個以太旋轉機(ether whirling machine)看迅速運動的物質是否帶着一些以太走；我腦筋裏面並沒有一定要求出一個正面結果的觀念，我的目的是在如果能够求任何的正面結果，我就給一個機會把牠求出來。我的辦法是把兩塊鋼圓盤拿來迅速旋轉，兩圓盤是夾在一起的，其間相隔約有一英寸，旋轉得很迅速，使光在兩圓盤之間順着圓盤旋轉的方向和逆着圓盤旋轉的方向進行。這個實驗實際上就是重作菲左(Fizeau)的實驗，不過他是用流動的水，我是用兩圓盤間的空間，這一點不同而已。我知道旋轉必然很迅速，除去極好的鋼以外，其他物質都一定不耐用。我就在薛斐爾德(Sheffield)定做兩塊鋼圓盤，直徑有一米突長，使每個平方英寸

都能够勝任六十噸的壓力，我又找馬日爾·普拉特公司 (Mather & Platt) 作一個裝這兩塊圓盤的架子以使用一個堅實的『曼徹斯特』發電機 ("Manchester" dynamo) 來轉動，這個發電機安在一個豎立的軸上，使兩個旋轉的圓盤的桿子和發電機的軸子平行成一直線，用發電機使兩圓盤發動，兩圓盤就平起旋轉，好像一個大陀螺似的。我又設備一個石臺來上這個機器，這個石臺是嵌在實驗室的地板裏面，是從下面用石頭築起來的，周圍留了一些空地，使地板和石臺互不相連。計劃和製造這付機器有許多細節須得注留。這付機器很重，是很穩固的，夾在下面的基石上。電流是從城裏用一百一十個伏特的輸電幹線傳導來的，有時又用多數的蓄電池來補充，所以在不得已的時候能够用到二百個伏特的電壓；即在旋轉得迅速的時候，送來轉動低電阻的發電機都要用許多安培的電量。軸承 (bearings) 是塗油塗得很滑潤的，當其兩個圓盤在平起旋轉的時候，遇着唯一的阻力就是空氣的阻力。直徑有一米突大的兩個圓盤一分鐘能够旋轉四千次；用來維持這種轉動的動力有時要用到九匹馬力左右。在這種情形之下，轉動是很驚人的：風吹得很厲害，實驗光的部分須得用種種方法保護使其不受風的影響。這個機器是安置得很穩固，牠

的構造雖然作得很好，已經使牠的搖動小到最小限度，但是到了某種臨界速度牠還是要顫動。這就是藉運動的物質使以太旋轉的裝置的機械部分。

現在我要描述實驗光的部分。我在實驗室裏面有一個很好的準直儀(collimator)和一付精確的測微望遠鏡(micrometer telescope)，這兩種儀器都是愛撒克·羅伯次博士(Dr. Isaac Roberts)送給實驗室的，作爲一個大分光鏡的一部分。測微接目鏡(micrometer eyepiece)有兩根細絲，都可以用牠自己的螺旋來轉動，任何物體只要有很微的一點移動立刻就可以觀測出來。又有一個干涉儀(interferometer)。干涉儀是一塊微微鍍了一點銀的半透明玻璃板，配上去使從電弧射出來的光經過準直儀以四十五度的角度射在這塊板上，有一半是透射，又有一半是反射。半透射和半反射的這兩柱光爲兩塊完全鍍了銀的平面鏡所阻，又反射到爲正方形的第三邊的第三塊鏡上。每柱光都這樣照射正方形鏡，又反射到半透明的鏡片上，反射在半透明鏡片上的時候，其中有一半的光就射進觀測望遠鏡了。這兩柱光就自然起了干涉作用。干涉條紋(interference fringes)是很明顯的。這些實驗光的鏡片是光學專家希爾格(Hilger)那個公司用特

別技術把牠磨平的。這些鏡片都裝在一個架上，用特別精細設計的方法來配備，使光線完全可以受我們支配。又把裝鏡片的架子和旋轉的兩塊鋼圓盤平起放在一根水平線上，於是兩塊鋼圓盤平起旋轉的時候，光就從四周圍射進圓盤間的空間去了。

如果只是要顯著的干涉條紋等邊三角形的形式最好，以半透明的鏡片爲底，以兩塊全反射的鏡片爲腰就作成了；但是這種配備和奇數邊的任何配備都只能使光迴照一次。用四方形的形式，我能够使光迴照三、四次光線纔再會聚在半透明的鏡片上。這種現象是由補足成四方形的第四塊鏡片作成的，把四方鏡傾成斜角，光射入和射出的時候，入射光和出射光就只輕輕的掠過四方鏡。我繪有一張光線軌道圖，載於自然雜誌第四十六卷第五〇一頁。

我這個實驗在一八九三年的皇家學會哲學會刊 (Philosophical Transactions of the Royal Society) 是完全描述了的，這個實驗是一個很仔細，很費了些力纔作成的光學上的實驗。干涉條紋在那種情形之下是極敏感；光柱軌道裏的空氣有任何波動都會使干涉條紋因之波動而變成各種形像。各種情形都必須十分穩定，溫度必須內外一致。鏡架用四邊形，兩柱光就都走平

行線，不走同一的路線。兩柱光走同一的路線（用三角形的鏡架就會發生這種現象），光柱就不這樣受擾動；干涉條紋就可射在一個慢子上，現出一個很燦爛的花樣——這是一個頗美觀的實驗，我名之爲『干涉條紋的萬花筒』（“interference kaleidoscope”）。我在皇家學院把這個實驗做來給大家看，撐鏡片那塊鐵板是放在講演桌上的幾個橡皮球上，所以就重重的打桌子也不會擾亂平衡。要作出干涉條紋來表演，這種方法確實比其他任何方法所得的結果都好。

著名的邁克爾孫干涉儀（Michelson interferometer）（在這種干涉儀上，兩柱光走的路線是完全不同）雖然就別的作用而論，是有牠種種的大優點，但是遠較易於受擾動。我用的菲左那種干涉儀是特別適合於我那種實驗，我作那種實驗，圓盤的轉動是可以增加順着圓盤轉動走的方向的光柱的速度，又可以減少逆着圓盤轉動走的方向的光柱的速度。

我看了許久只看見許多僞作用，但是，因爲這些作用逐漸逐漸的被排除，結果如我所半意料的，這些作用就都消滅了。我亟於要看兩圓盤是否也完全是這樣。我看見了反射在兩圓盤裏的干涉條紋，當其由於空氣在鏡面吹動而發生的擾亂被遮斷了和一切僞作用被排除盡了的時候，這

種干涉條紋是仍然不動的。空氣的作用是不隨圓盤旋轉的方向而變動，而一切真實作用則都是隨圓盤旋轉的方向而變動的。在各個實驗中，圓盤旋轉的方向逆轉一次，光進行的方向也就反逆一次；通常一切應注意防範之點我都妥爲防範了。

我又在兩塊圓盤之間再安置一塊圓盤，使這塊圓盤和其他兩塊圓盤絕緣，使牠能够從中央軸針來通電使牠的電位到很高，我又重複作這種實驗看受了電的這三塊圓盤轉動的時候是否發生任何作用。加的電位是足以使各圓盤偶爾彼此發生火花；但是干涉條紋是仍然不動。通電是看不出有甚麼作用。我承認那時我是以爲既然通電給每個原子都在以太上開一條小溝使原子按振動的絃或振動的音叉的方式振動（那時我們認爲原子是振動的），通電是要起作用。

最後我又把一大塊軟鐵捲起來，使很扁平的球的兩半成爲一塊大磁鐵的南北兩極，使光能够通過兩極間的狹道，因爲有一個大線圈纏着直徑有一英尺大的心，軟鐵就起磁化作用。這就是我們那時所謂的強磁場。因爲那塊軟鐵是很重，我雖然不能把這個實驗作來使軟鐵塊轉動得很快，但是據我看見的，起磁對於光是並沒有作用。撐住這塊軟鐵的梯級軸承（step-bearing）是很

容易發熱，因為輦鐵很重就把軸承兩面中間的油擠出來了，於是輦鐵就開始發煙。

我作此等一切實驗的結果都表明盡我的力量去作都絲毫不能把光的速度改變一點。那時還沒有『相對論』（"theory of relativity"）現在相對論的論據就是『光在空間的速度是絕對一定。』

以太實驗機是費了許多錢纔作成；我的朋友喬治·荷爾特（George Holt）這個大航商把這筆款完全由他一個人付了，他還偶爾下來看我用這付機器作實驗。這付以太實驗機在以後有個時間攝的照片現在我還保存得有一張，頗有一些部分是用慢子掩着的，在照片上是看不甚清楚，像上照着本加明·達維斯在那裏作實驗，喬治·荷爾特在那裏調整機器的轉動，我就坐在那裏袖手旁觀，我們三個都小心謹慎的坐在圓盤的平板下面，恐怕鋼圓盤的飛動把我們的頭砍掉。然而要看光的實驗的時候，如果我們不用照像機，我們就須得把頭伸在圓盤的平板裏面去看。我爲防備危險起見，我就把一個小鍋爐切成兩半，使兩半恰恰切合，把牠立起放着，作爲一個擋子或哨廂，望遠鏡的接目鏡就插入這個哨廂裏面。我要看光的實驗的時候就站進哨廂裏去。要圓

盤旋轉得極快的時候纔須得這樣做；我們計算鋼的張力即在圓盤旋轉到極快的時候還是有完全的餘地。但是我學工程的朋友奧斯本·倫諾爾茲（Osborne Reynolds）總叫我小心一點，恐怕圓板有意外的毛病，在那種情形毫無疑義是有生命的危險。圓盤在垂直平面旋轉像圓鋸的時候，我們是可以站在火線外面；但是圓線繞着一個立軸旋轉的時候，我們除了蹲着以外，我們就不能站在火線外面了，在這種情形簡直就不能看光的實驗。

這付機器有示速器和別的許多配件。我交給皇家學會的備忘錄除了描寫以太的實驗以外，還記了別的許多東西。那本備忘錄是討論光行差全般問題的文章，又討論了以太的各種運動所可發生的後果；我討論了在那些情形之下反射定律和折射定律是準確到甚麼程度，我又討論了其他許多理論上的細節問題。我希望皇家學會把這篇文章（這是我此生最費力作成的文章）用作一篇柏克講演文（Bakerian lecture）來發表和討論。約瑟夫·拉摩耳爵士（Sir Joseph Larmor）是那次的秘書，但是他沒有想到這點，確實別的也沒有人想到這點。他們不知道我這個工作所費的勞力；結果我只在一次普通的開會讀了一篇短論文。我以後纔知道他們那時是很想

找一篇柏克講演文，如果他們早知道我那種情形，他們一定很高興接受我這篇文章。那就是我錯誤的地方。我沒有向一般人宣傳我在作甚麼東西，我又沒有預先告訴他們我將有甚麼東西發表。

磁場對於光速影響的實驗

我作了這篇文章以後，我又作一篇文章再論儀器的配備，拿到一八九七年的皇家學會哲學會刊上去發表。在那些時候我已經用干涉儀作過別的種種實驗，想改變光的速度。我有一個重要實驗是把光拿到沿磁場的方向放射。把四個電線圈（bobbins）放在光線經過的方形路程裏，使光能夠穿過這幾個電線圈，有一半以一個方向進行，另有一半又以其他方向進行；隨着又用電流加強這些電線圈的作用，而觀其對於干涉條紋的影響。電流一通進去，溫度立刻就增高，就發生擾亂作用；但是在電線圈的構造上是已經盡量的避免擾亂作用，在光通過的狹道和纏有導線的銅盒之間是放有一層水來使這些電線圈冷卻。我在這些電線圈裏面另用別的東西（例如二硫化碳）不用空氣來做實驗；但是實驗的困難還更大——更有許多因溫度增高而發生擾亂的現象；

只用空氣還容易做許多。我又用硫化亞鐵 (ferrous sulphide) 和氯化鐵 (ferric chloride) 的溶液來做實驗。在偽作用或不能變還原的作用排除盡了以後，我無論用甚麼東西來作，都作不出光的速度有改變的結果。

然而我並不認爲我這個實驗是最後的實驗。按拉摩耳 (Larmor) 的一個學說，如歐拉 (Euler) (好像是這個人) 所首先認爲的一樣，沿磁力線是必有以太的流動。在我的意見，我就認爲以太的這種流動一定是極緩慢。我用來檢驗這種流動的方法確實是很敏感，以太有合理速度的任何流動都可以檢驗出來；但是光的速度如果每秒增加一呎，那還是和沒有增加差不多。我想以太流動的速度縱然在特別強的磁場也一定還是很小的。所以啊，如果要觀測磁力的影響，用的磁場是必須比我那時所用的還要強許多纔觀測得出來，須用的磁場要像卡匹察博士 (Dr. Kapitza) 有一次在卡汾底息實驗室 (Cavendish Laboratory) 有一瞬間產生的磁場那樣強纔可以——那時的磁場之強，如果不用鋼把發生磁場的線圈很牢固的包緊像包爆炸物一樣，就會把線圈都振斷。這種很強的磁場只存在一秒鐘的幾分之一；但是如果有了相當長的一柱光能够以兩個相反

的方向射入磁力有相當強的磁場內，那時照像板上的干涉條紋是應有一些移動。約在五年前的時候，我曾經同卡匹察博士談到擔任作這種實驗的事情。最近我又見着他，他說愛因斯坦 (Einstein) 最近又向他建議請他作類此的實驗。他於是就開始認真考慮這個問題。他知道這種實驗是很費錢，或者要費到四萬鎊；如果能夠作出一個正面的結果，我認為那對於以太性質的研究會大放光彩，會使我們能夠算出未知的以太常數。我並沒有期望我此生能夠看見這種實驗的成功；但是如果現在有人能夠作這種實驗，我相信只有卡匹察博士了；我希望他以後把這個工作擔任起來。我以前有一個時間希望邁克爾孫 (A. A. Michelson) 同我合作這個工作，因為他是一個光學實驗大家。

查理·帕生斯爵士 (Sir Charles Parsons) 對於我這種思想很熱心贊助，他屢次自動的願意資助我作這種實驗，或用其他方法使我能夠作這種實驗。那時我還沒有把實驗計劃想好來領受他這種的盛意，現在是太晚了。我作過一篇文章敘述我對於這種實驗所作的一種重要嘗試，又用我的意見推測將來的結果，那篇文章載於一九〇七年四月出刊的哲學雜誌第十三卷四八八

頁至五〇六頁，文中又引了拉摩耳 (Larmor)、湯姆孫 (J. J. Thomson)、赫維賽德 (Heaviside) 和克爾文 (Kelvin) 的意見。我對於這個問題在一九一九年五月那期的哲學雜誌裏面用比以前更粗淺的方式又討論過一次。

邁克爾孫摩黎實驗和斐慈革拉德收縮

現在我們要折轉來講邁克爾孫實驗，並盡可能的方法加以解釋。這種實驗的理論已有人從各方面討論，可以說這種理論是沒有甚麼錯誤。就光在地球上兩地間的往返雙程來測量，光的速度是不受地球任何運動的影響，因此地球對於以太無論有任何運動，光的速度都是一定，這種結果普通一般都接受。現在的相對論認為觀察的人無論是怎樣的動，光的速度都是一定，這是相對論的根本假定；現在的相對論不僅認為光往返兩地間雙程的速度是一定，並且認為牠單程的速度也是一定——這個假定現在還沒有甚麼實驗能夠證明，但是也沒有甚麼實驗能夠指出牠不對。