

百 科 小 叢 書 第 八 十 三 種

以 太

周 昌 壽 著



商 務 印 書 館 出 版

UNIVERSAL LIBRARY, No. 83

ETHER

BY

C. S. CHOW

First Edition, July, 1925

THE COMMERCIAL PRESS, LIMITED

SHANGHAI, CHINA

All Rights Reserved

Price
\$.10

中華民國十五年七月初版

(百科小叢書第八十三種)

(每輯十二種定價大洋壹元伍角)

圖(以太一册)

(每册定價大洋壹角)

(外埠酌加運費匯費)

分	總	印	發	著
售	發	刷	行	作
處	行	所	者	者
	所			
各	上	上	商	周
埠	海	海	務	昌
商	濱	北	印	壽
務	盤	河	書	
印	街	南	書	
書	申	路	館	
分	市	北		
館		首		
		寶		
		山		
		路		

以太

目次

- 一 總說……………一
- 二 能媒的由來……………四
- 三 波動說的發展……………九
- 四 能媒的神秘性……………十六
- 五 能媒神秘性的解釋……………二十二
- 六 電磁媒質的能媒……………二十八
- 七 地球對於能媒的運動……………三十九
- 八 羅倫徹收縮……………四十六
- 九 能媒的否定……………五十六

以太（即能媒）

一 總說

能媒這個名詞從前大都譯作以太，是從歐文 *Æther* 的音譯成的。其字源出於希臘語中的 *aithrē*，原意爲燃燒或着火，在十七世紀以前都用來形容宇宙中的天體，說是一切天體都是浮遊在能媒的大海裏面。一直到得十七世紀的中葉，經荷蘭的物理學家惠更斯（C. Huygens, 1629-1695）用來作成傳播光波的媒質以後，方纔有一定的意義，成爲學術上的用語。這個字在英文裏面，又可省寫作 *Ether* 和由酒精裏面提出來的一種芳香性的有機物，字面完全相同，發音也是一樣，但是兩者的意義卻絕不相同，所以最好避去音譯，就不致互相混淆了。

當惠更斯最初用這個名詞的時候，專爲解釋光現象而設，所以稱他爲光媒（*Luminifer-*

ous aether) 後來發見熱效應，化學效應，電磁效應等，都是經同樣的媒質，傳播遠去，遂將原義擴張開來，凡屬於能 (Energy) 的傳播，皆歸之於這個媒質，所以汎稱爲能媒。

物理學界最有興趣的問題，莫過於能媒。最初提出這個假說的惠更斯，固不用說，就是繼他而起的楊 (T. Young, 1773-1829) 也受過當世學者極激烈的反對。試一檢閱一八〇四年發行的愛丁堡評論 (Edinburgh Review) 滿紙皆是痛罵楊的講演的文字。說是他的那種見解，完全是妄想，謬誤，和毫無基礎的假說；又說由他的議論，可以察知他的學問，智識，才力等各方面皆極其淺薄，想要推翻牛頓的假說，實成其爲妄想，只不過貽人笑柄罷了。對於那種批評，楊雖曾著了一本答辯，出版後僅僅賣去一冊，當世的人對於他的態度，也就可想而知了。後來經過夫累涅爾 (A. J. Fresnel, 1788-1827) 等的種種解釋，能媒遂由妄想的假說，一躍而成牢不可破的定論，甚至有謂信能媒的存在，和信自己的實在的程度，完全相等。卽在今日，英國的物理

大家洛治 (O. Lodge) 尙執此說，但是由種種實驗方面，生出來的矛盾，事實具在，又豈空言所能一概抹殺。於是毫無可疑的能媒的存在，又從根本動搖起來，結局遂有愛因斯坦不得不拋棄能媒的議論發生。綜其自產生以至現在，前後不過二三十年，而其位置的變動，竟有如斯之甚，真不可不謂爲出人意料以外的了。究竟當日何以能夠成立？後來又何以能夠如此重要？現在又何以非拋棄不可？拋棄以後又將何以解釋能的傳播？對於這種問題，要想研究的人，必定不少。本書的目的在用力所能及的簡明文字，將上列各項問題，解釋出來，使讀者能得一原原本本的了解，然後纔能作進一步的研究。關於本題的參攷書籍，列舉數種如下：

Encyclopaedia Britannica, 11th Edition.

History of the Theories of Aether and Electricity, E. T. Whittaker, 1910,
Longmans Green & Co.

Einstein's Relativity—A Criticism, D. J. McAdam, 1922, The Gorham Press.
The Ether of Space, Sir Oliver Lodge, 1909, Harper & Brothers.
Äther und Relativitäts-Theorie, A. Einstein 1920, Julius Springer.

二 能媒的由來

關於光的研究，到得牛頓的時代，雖已煥然可觀，但是當牛頓發表他的色論（Theory of Colors）和虎克（Hooke）發表微物論（Micrographia）的時候，一般的學者對於光的傳達是否須要相當的時間，還是未曾解決。最初想用實驗來解決這個問題的人，是意大利的伽利略（Galileo）用兩個觀測者，彼此隔着若干距離，各執一燈，燈上有蓋。當第一人將燈上面的蓋揭開，第二人看見第一人的燈光的時候，立刻也將自己的燈蓋揭開。因為相隔的距離太近，所以光在兩者中間往來一次，所須的時間過短，不能實驗出來。一直到得一六七五年，丁抹的天文學家勒麥

(Römer) 觀測木星的衛星被木星自己遮着成蝕的現象，發見由第一次的蝕到第二次的蝕所須的時間，並不一樣。地球和木星的距離愈遠，這個時間愈長；地球愈和木星接近，這個時間愈減。由這個發見，勒麥遂想到光在空間裏傳達的速度，有一定的數值，並非從前所想像以爲是無窮大的。他以爲由木星的衛星發出來的光，當地球距木星較遠的時候，須通過較長的距離，方能達於地球；當地球距木星較近的時候，只須通過較短的距離，即能達於地球。所以前者接連兩次蝕所須的時間長，後者所須的時間短。由此發見光通過地球軌道的半徑，要八分十八秒又二的時間。用這個時間去除地球軌道的半徑，即得光每秒進行的距離，由是求出光速爲每秒三十萬呎。以這個速度沿地球表面進行，每秒鐘可繞行地球七次又半，這樣大的速度，無怪從前的人無從察知的了。

由太陽傳來的光，已經要八分鐘以上，方能達到地球。由其他的恒星傳來的光，更須經過較

長的時間。譬如最遠的螺旋狀星雲發出的光，非百萬年後不能達到地球。天體間不特無空氣，並且沒有別的物质存在，乃是一種虛無所有的真空。究竟由天體發來的光，如何達到地球？光通過的時候，真空裏面，有沒有什麼變化？這些變化又和什麼事項相關？這種種的疑問，遂漸次發生起來。

就不必依據穆勒 (J. S. MILL) 的論理方法，也可以知到一物體欲加作用於他物體上時，這兩物體的中間，總非有一種介在着的媒質不可。離卻媒質而能遠隔作用，實非想像所能到。試引一個簡單的例來說：譬如有兩人在靜止的水中游泳着，兩人相隔若干尺遠。一人用其手或足擊水，擊處立生一波，此波傳到他一人身上，可以使其搖動，至少也可使其感覺一種作用。假如此時兩人的中間，並沒有水，那麼，這一人無論如何運動他的手足，也不能使第二人受他的些微作用，這是人人所知道的。又如寺院中晚上敲的暮鐘，鐘自身雖然永遠懸在廟裏，未嘗移動一步。但是鐘的作用，卻能傳至遠處，使人聽見鐘聲。鐘隔若干年重量可以不變，可見鐘自身並未發出一

些什麼物質只不過在作一種振動，因此在周圍的空氣裏面，造成一個波動。經過中間的空氣纔傳到遠處的人耳裏。所以達到耳裏的，不過是媒質（即空氣）中的波動，即是音波罷了。

現在再來說光，譬如風雨的黑夜，海岸邊有暗礁的去處，皆設有高大的燈臺，以防船舶不知誤臨險地。試問由燈臺發出的光，何以能傳到船上人的眼裏？由音的傳達類推起來，燈臺裏面事實上既沒有什麼物質逸出，似乎也應該有一種媒質，存在燈火的周圍，由這種媒質生出一種波動，方能傳到船上人的眼裏。燈臺的前面即令有急風吹過，光的傳達依然不受影響；要是音波，卻就免不了要大受妨礙。由此看來，傳光的媒質，和傳音的空氣，迥然不同。不但如此，將電鈴和電燈裝在抽氣機的容器裏，漸漸抽去容器內的空氣，電鈴的聲雖逐漸減小，終至完全消滅，電燈的光卻依然如故。可見傳光的媒質，就是在真空裏面，也是同樣的存在着的。光能通過星體間的真空，也就是這個緣故。

這個傳光的媒質，惠根斯最初給他一個名字，叫做光媒，後來通稱為能媒，同時作了一個能媒的模型，用來說明傳光的理。這個模型是用同樣大小的象牙球若干個，懸成一行，將最初的一球提高少許，再行一面放下，一面和第二的球相撞。這個撞擊，即由第二傳到第三，第三傳到第四，以下照樣傳去。能媒傳光的狀況，惠根斯以為也和這種彈性球是一樣。但是光的進行，是沿着直線方向，即是如在途中，遇有障礙物體，即在障礙物的後面，造成一個異常鮮明的陰影。這個現象，在音學裏面，並無類例。即令人在屏風後面立着，屏風前面的聲音，還是可以聽見。對於這個相異的地方，惠根斯的能媒模型，卻不能彀解釋。當時的牛頓另外創出一種新說，稱為光素說（*Corpuscular hypothesis*），來解釋這個現象。以為光是由發光體射出外面的一種微粒子，稱為光素（*Corpuscle*）。光素沿着直線進行，遇着障壁，當然不能通過，所以能生陰影。牛頓當時在學界裏的名位最高，又能解釋惠根斯所不能解釋的直進現象，光素說因此盛行了百餘年。在此一百年

間一般的物理學家都將惠根斯的波動說置之高閣從沒有人去過問一下因此能媒的這個名詞，差不多也就被一般的學者忘卻了。

三 波動說的發展

一七九九年英國的物理學家楊 (Thomas Young) 對於牛頓的光素說，方開始懷疑。以爲若照光素說主張，由兩塊小石相擦而生的火花，和由極熱的太陽放出的光，都同一是光，都以同一的速度在空中進行，實令人難於置信。要是用波動說，就沒有這種缺點。因爲一切的振動，一經彈性體的傳播，總是以同一的速度進行的。因此遂主張波動說爲正當，並進而解釋反射和屈折的現象。在光素說雖不能指出光傳至兩種媒質的界限時，何以有一部分屈折而過，又有一部分反射而回的理由，但在波動說，則大有類例可推，例如音波傳至雲層，卽密度較大之層，必有一部分折回，卽所謂回音。

由上述的見解，於一八〇一年楊更進一步，去解釋牛頓環的現象，成爲歷史上有數的發見。以爲牛頓環中所現的各種色，並非光素說中所謂的誘導振動 (Induced vibration)，實乃包含在投射光內，可用一種方法，由投射光分析出來。其所指的方法，初非獨創，不過將牛頓用來解釋潮汐現象的原理，畧爲改變一下罷了。但是就光學研究的歷史說來，卻爲前人所未會想到的見解。先假定有兩種波動，同時達到能媒中的一點，這一點就非同時作兩種的振動不可。但是同一點在同一瞬間，欲作兩種運動，爲事實所不許。要是第一種波是將能媒推向右邊，第二種波也是想將能媒推向右邊，這一點的能媒當然向右移進兩倍；反過來看，要是第一種波想將能媒推向右邊，第二種波想將能媒推向左邊，結局能媒受此兩種作用，一方也不能移動。這個關係，楊給他一個名字叫做干涉定律 (Law of interference)。若是兩波的波長相同，波狀完全一致，當然不生干涉的現象；要是一波較他一波，遲到半波長，這一個向右的時候，正是那一個向左的時候，彼

此相殺而成干涉可知干涉是由於兩波相差半波長的時候發生的

楊所用的方法，是用不透明體作成一板，上穿兩小孔，極其接近，使紅色光通過小孔，射到孔後的白色屏上，即見屏上所現的影，並非兩個紅點，而為紅黑交錯的一個長條；要是遮住一個小孔，使紅光只由其他一個小孔通過，即和通常所見的一樣，只有一個紅點。這個現象由于干涉定律解釋起來，極其簡單。假定屏上受光的一點和兩孔的距離相等，兩波達於此點，波形完全合一，不生干涉，故現紅色。要是這一點和兩孔的距離，相差半波長，兩波即生干涉，故成黑暗。由同理，由屏上任意一點至兩孔的距離，相差為半波長的奇數倍，皆生干涉；相差為半波長的偶數倍，仍現紅色。故在屏上生出一列紅黑相間的影。黑暗部分中其位置和兩孔最相接近的兩端的差等於半波長，故由兩孔間的距離和板至屏的距離，可以算出由兩孔至此點的距離的差為若干，其二倍即紅色光的波長。對於其他各色的光，都可以用同一的方法，將其波長算出。波動說由此遂成爲

可與光素說相列并論的反對學說了。

對於薄板的色，也可以由此證明。即是投射到薄板上的光，反射後分而爲二；一由薄板受光的面反射而來，一由薄板的底面反射而來。此兩種波同時達於觀測者的眼內，因此生干涉而現出不同的色，這就是楊的解釋。

以上是一八〇二年楊在英國皇家學會的講演的大意，因此挑起了當世學界中最激烈的反感。當時愛丁堡評論 (Edinburgh Review) 的主筆後來任英國財政卿的布魯安 (Brugham) 對於楊的學說，至於破口大罵，當時學者傾信光素說的程度如何，也就可想而知了。

一八〇八年法國的馬呂斯 (Malus) 因研究結晶體的複屈折，於無意中發見了一個奇怪現象，即是以 $52^{\circ}45'$ 的反射角由水面上反射而回的光，和結晶體內起複屈折現象時的兩種光線中的一種，性質完全相同。若果用一個起複屈折的結晶體，來檢查這個反射光，即可知其和通

常的光不同，不能起複屈折。他稱這個現象爲光的極化 (Polarization of light)。於一八一〇年應法國的科學院的懸賞徵文，由光素說將這個現象解釋出來，因此當選。同時又有部盧斯脫 (Brewster) 發表他對於結晶體的研究。在他以前一般的學者，莫不以爲結晶體內起的複屈折，都是和冰晶石內的複屈折一樣。部盧斯脫發見這個完全錯誤的。有許多的結晶體有兩個晶軸的，就沒有複屈折，這種結晶體稱爲雙軸晶體 (Biaxial crystal)，起複屈折的只有冰晶石這一類的單軸晶體 (Uniaxial crystal)。

波動說對於極化現象，固然無法解說，對於結晶體因晶軸數不同而有能生複屈折與不能生的區別，更不能說明。又對於迴折 (Diffraction) 也不能完全說明，因此牛頓的光素說又氣餒萬丈起來。一般反對波動說的人，已爲時機已熟，大可乘此將波動說完全打破，於是一八一八年懸賞徵募關於迴折的論文。誰知結果實成反對，以後不到七年，光素說就一敗塗地不能再起了。

這個反對論文的著者是法國的夫累涅爾 (Fresnel)，其幼年時代，就學既遲，又無出人头地的表現，而其後成就竟能將盛極一時的光素說推翻，使當時崇奉光素說的宿儒如阿拉谷 (Arago) 拉普拉斯 (Laplace) 比俄 (Biot) 泊孫 (Poisson) 等，皆一棄其所信仰，改而崇奉波動說。夫累涅爾入人之深，於此亦可想見得到的了。

夫累涅爾將迴折現象，歸之於二次波 (Secondary wave) 的干涉。又利用惠根斯和楊的方，以精嚴的數學演繹出來，由此求出直稜，有平行邊的狹長不透明體，和有平行邊的狹孔等所生的迴折條紋，結果和實驗完全一致。後來泊孫讀到他的論文，覺得他的議論，還可擴充到旁的問題中去，例如一個圓屏的陰影的中心，應當有一光點存在，當即通知夫累涅爾，以為可用實驗檢查出來。夫累涅爾實驗的結果，果然有此光點，更足以證明他的議論正當。

迴折現象既已解明，更進而研究極化現象，在此以前，一般的學者皆以音波的類例，衡之光

波即是沿用惠根斯的能媒模型以爲能媒的振動方向與波形傳達的方向是一致的，卽是一種縱波 (Longitudinal wave)，既是縱波，光的振動方向，當然只限波形傳達的一個方向，不能使其在空間裏一個特別指定的方向振動，卽不能使其呈極化現象。故由極化現象推論，光應爲能媒中的橫波 (Transverse wave)。試用一個淺俗的例來說：譬如有一匹猛獸，一面向左右方向搖擺着，一面前進。如其進路中設立一個鐵柵，柵上的木都是直立着的，兩條木的中間距離恰和獸身一樣寬。獸達柵前，因其向左右搖擺着，所以不能由柵縫中通過，只能在柵前左右搖擺罷了。但若來的猛獸，並不是左右搖擺着，而是一上一下的跳動着的時候，到了柵前，柵縫的高處既無限制，獸身當然可以通過。假如有一羣的獸，其中作上下跳動的和作左右搖擺的都各有若干，混在一起，到了柵前，那些作左右搖擺的爲柵阻住，只有作上下跳動的方能通過，這樣一來就可以將振動方向不同的互相分開，和用篩將粗細兩種的細粒分而爲二的方法，完全一樣。這就是

極化現象的構造。獸羣卽是光波，鐵柵卽是電氣石 (Tourmaline) 的結晶。光波未達電氣石前振動的方向，在與進行方向垂直的平面內，有作左右振動的，有作上下振動的，有在兩者中間任何方向的。其中只有和電氣石的晶軸平行的一種振動，方能通過電氣石，其他各種方向一概不能通過。更用一塊電氣石來驗：如果前後兩塊的晶軸，互相平行，光仍一樣通過；如果互相垂直，則能通過第一塊的光，完全爲第二塊遮斷，所以沒有光通過。

夫累涅爾拋棄了舊來縱波的見解，獨創出這橫波的新見解來，將光素說所不能解釋的現象，一一解釋出來，波動說因此遂立於牢不可拔的地位。從此以後，光素說遂無人過問，一般的學者對於能媒的存在，更沒有人敢於懷疑的了。

四 能媒的神秘性

前面曾經說過，就是真空裏面，也一樣的有能媒存在，天空中的星體各在其軌道上運行，其

運動狀況由宇宙引力即可算出，結果和實測完全一致，並不因為這些星體在瀰漫宇宙全體的能媒裏面運動，而受些微的抵抗影響。由此看來，能媒的密度當比一切氣體，還要稀薄。據彈性體的理論，凡是對於形狀變化不呈抵抗如液體氣體等類的物質裏面，只能發生縱波。若要承認夫累涅爾的橫波，就非將能媒認作對於形狀變化能呈抵抗的固體不可。這個結論，極其奇兀，但既將能媒看成通常的彈性體，這就是必不可免的結果。

能媒的神秘性質，還不止此。夫累涅爾因為解釋星行差 (Aberration) 的現象，又將一種神秘性質加到能媒上去。星行差的現象是一七二五年英國的卜拉德賚 (Bradley) 發現的。即是地球上面的觀測者須隨着地球運動，所以由他觀察出來的恒星的方向，和實在的方向不同。用一個淺近的例子來說：由空中降下來的雨，對於地面本是垂直的，但若從進行着的火車中的人看去，總覺是斜向落下的。所以觀測恒星的方向，因為地球運動着的緣故，也是偏向一方的。春分和

秋分的時候，地球的位置恰在軌道上正反對的兩點，所以在這個時候觀測恆星所起的偏向，也正反對。對於這個現象有非加以注意不可的一事。即是由火車上的人觀察，雨雖然是斜向着落下，而由地面上的人觀察卻是鉛直方向。一方面觀測由恆星發來的光行差的時候，無論地球怎樣動着，光的方向依然是直進。即是包圍着地球的能媒，雖經地球在其中衝過，仍然還是靜止在原來的空間中的位置，一毫不受影響。要如此，光線在運動着的能媒中通過，就非隨着這能媒生出彎曲不可，和音波隨風流蕩的狀況一樣。夫累涅爾因此遂假定能媒是靜止着不能運動的。一方面將能媒看成和固體一樣，一方面又將他固定在宇宙的空間框架裏面，使成絕對的靜止，無論別的物體在他裏面怎樣運動，他總不會動搖。這樣的媒質，已經和通常的物質不能相同。即是通常物質的不可入性，到此已不能適用。並且物體的實質內，光也能透過，可見也有能媒的存在。由真空發來的光，進入此種物質，必起屈折現象，即是光在真空中的速度和在各種物質內

的速度不能一樣，兩者的比稱爲屈折率，大多數物質的屈折率，都比1大，即是光在大多數的物質裏面進行速度較在真空中爲遲。一方面據彈性理論得知彈性橫波的進行速度和物質的密度的平方根成反比例，所以若要承認光是能媒中的橫波，須假定各種物質內的能媒密度各不相同。夫累涅爾因此遂想到通常屈折率比1大的物質，其能媒的密度都比真空的密度大，即是所包含的能媒，比真空中的能媒多。物體運動的時候，這多餘的一部分，隨着物體一同運動，其餘一部分即是本來屬於真空的那一部分卻仍舊留着不動。由這個議論，引出一個結果來，可以由實驗方法去證明他的真偽。即是假定物體的屈折率爲 n ，光在真空中的速度爲 c 。在靜止的物體內，光速當爲 $c - n$ ，在運動的物體內，因有一部分能媒隨伴着運動，所以在運動方向的光速應該畧爲增加，據夫累涅爾的計算，應當增加 $c \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$ ，這個係數 $1 - \frac{1}{n^2}$ 夫累涅爾稱他爲隨伴係數 (Dragging coefficient)。一八五一年經法國的斐左 (Fizeau) 由實驗來證明他

的議論和事實完全一致。斐左的實驗，是使同一光源發出來的光分爲兩條，各由一條水管通過，然後又併合爲一。這兩條水管內的水流方向和光線通過的方向是一正一反。在正的管內光速較大，在反的管內光速較小，所以合併後兩者的波動有遲速的差別，應當起干涉的現象。由所起的干涉，即可求出兩者速度的差。實驗的結果，確如夫累涅爾的理論，最近又經邁克爾孫（Michelson）摩黎（Morley）最曼（Zeeman）等實驗，結果也是一樣。

上述的實驗是直接測定流水中的光速度，除此而外，凡是在地球上所行的一切光學實驗，都應該含有地球通過能媒的影響，但是這些實驗的結果，却又不然，都和沒有地球運動時的結果一樣。這是因爲光在各種物質內進行的速度雖各受地球運動的影響，但就全體說來，這些影響彼此恰好相消，所以和事實並不衝突。由這些光學現象說來，總算是夫累涅爾的理論得了勝利。但是同時卻有一個重要問題發生，即是若果承認了夫累涅爾的能媒，就有了一個絕對不運

動的對象存在這個絕對不動的能媒即可表示一種絕對空間，這裏面實含有很重要的意義，後面再爲詳述。

夫累涅爾所假定的能媒的性質，統括起來大約如下：（一）由極化現象知其爲橫波，所以是一種固體；（二）由星行差的現象，知物質中所含有的能媒，係由兩部分合成，一部分隨着物質運動，一部分固定在空間裏面；（三）由一切光現象不受地球通過能媒的運動的影響，知能媒和通常的物質不同，沒有不可入性。這樣的性質，不可不謂爲極其神秘，不特爲常人夢想所不及，亦非常人的理解力所能領悟。總之，他由這樣的見解，居然能將他遭遇的一切現象，痛快明瞭的解釋出來。在他那僅僅三十九年的短生涯裏，能得這樣深遠的造就，也就不可不謂爲是大成了。在這短短的三十九年的生涯裏，一方面作這種高深的研究，一方面爲謀衣食之資，仍非繼續他的技師的職業不可。晚年方被舉爲法國學會會員，後又被英國皇家學會舉爲會員，最後由英國皇

家學會特遣阿拉谷贈刺謨福德賞牌 (Rumford medal) 給他的時候，已經是臨危了，其後不過八日，即長逝而去。死後還有數篇的論文在法國學會裏面保存着，未曾發表。從此以後，一般學者皆傾向能媒一方面的研究，諸說紛紜，愈演愈繁，幾於不可收拾。

五 能媒神秘性的解釋

夫累涅爾死後對於夫累涅爾的能媒，覺得不能滿足，因此提出別種見解的人，確實不少。其中最著名的為德國的斯托克斯 (Stokes)。他以為在空氣中搖扇，風即隨扇而生；在水面行船，船傍的水亦隨船而動；物體在能媒裏面運動，物體周圍的能媒絕對不動的假定，未免與此衝突。因此他以為應該改為物體周圍的能媒，也須隨着物體運動，方屬合理。因為又要能解釋星行差的現象，所以他遂假定在地球周圍的能媒，與地球表面最接近的一部分，和地球完全作同一樣的運動，距表面漸遠，速度也跟着減小，到了恒星的距離，速度即減成零。即是在恒星附近的能媒，對

於地球的運動，是完全靜止着的。這樣一來，星行差的問題雖然可以解決，但是要使地球表面的能媒對於地球的相對速度 (Relative velocity) 等於零，非得要能媒裏不起渦動 (Vortex motion) 不可。設想水為絕對不可壓縮的物質，並且範圍極廣，一直延到無窮遠，內裏面有一個球體以 v 的速度在水內運動。某一瞬間球體所占的空間，到了其次一瞬間，即成了真空，他一部分的水立即流到此處來作補充，同時球體前面的水，原先占據着的空間，既為球體奪去，此一部分的水，必須移往他處。所移去的地方，即是球讓出來的真空部分。即是在球體前面的水，非沿着球表面，滑到球體後面不可，所以球體周圍的水，對於球面的相對速度不能等於零。計算的結果，通過球心作一平面和球的運動方向成垂直，這個平面和球面相交的圓周上各點的相對速度最大，其值應等於 $\frac{3}{2}v$ 。由此看來，斯托克斯的兩個假定恰相矛盾，當然又是疑問。

德國的蒲朗克 (Planck) 因為避去斯托克斯的這種矛盾，所以假定能媒和水不同，是可以

壓縮的。在地球附近，因受重力作用，密度極大，等於在無窮遠距離的密度的 e^{11} 倍。所以地球和能媒的相對速度，在地球表面，至大也只不過 $\frac{1}{1000}c$ ，用去說明星行差的現象，並無防礙。但是地球表面的能媒，因為壓縮的結果，其密度比較未受壓縮時既增大了五萬倍，那麼，光在裏面傳達的速度，就應該受相當的影響。蒲朗克卻仍假定光是以同一的速度進行，不能不謂為是一個破綻。並且能媒既能壓縮，同時就應該有縱波存在，而事實上卻從沒有發見過能媒中的縱波。

能媒是否可被壓縮，姑且不問，就是物體運動的時候周圍的能媒，隨着一同運動的假說，也非得有相當的實驗根據不可。關於這個問題，英國的洛治 (Lodge) 曾作過一個實驗：用兩個圓盤，作迅速的轉動，使同一光源發出來的光分爲兩部分，一部分順着圓盤間能媒轉動的方向射來，一部分逆着能媒轉動的方向射來，復合爲一以入觀測者眼內。兩種光因進行時所取的路不同，不能同時達於眼內，所以生出干涉的條紋。然後停止圓盤的轉動，再測一次，這干涉的條紋，依

然毫無變化。由是可知兩圓盤間的能媒，並不隨着圓盤運動。不但如此，要是能媒完全隨着物體運動，夫累涅爾的隨伴係數即成爲1，又和斐左的水管實驗，不能相容。因此種種的矛盾，斯托克斯和蒲朗克的能媒，當然不能成立，只好又回到夫累涅爾的假說。

夫累涅爾假定的能媒，一方面有固體的性質，一方面對於天體的運動不現抵抗，雖使人難於想像，然也不是絕對不可解的。英國的克爾文 (Lord Kelvin) 曾經引了一個淺近的比喻，來作解說。如將膠或糖等類的物質，製成一條棒，或是一塊板，用手指敲去，即能發音，這是固體的性質。但若在這種物質的薄片下面貼上一片橡樹皮（即製瓶塞的軟木），上面加一鉛塊，使全體的比重和水相等，然後浸在水內，這樣放着一兩個月後，橡樹皮已從膠片當中穿過，浮到水面上來，鉛塊已沉到水底下去了。橡樹皮所受的浮力作用，和鉛塊所受的重力作用雖不甚大，也能緩緩的穿過膠片，從這一點看來，膠片又和液體的性質是一樣。即是同一物質，因所受的作用不同，而

呈異樣的性質，作用過激則同固體；作用過緩則同液體。用極大的速度拋石子出去，如投出時的方向和水平相近，則石子雖遇水面亦不沉下，轉被水的彈性反射而出，也就是這個緣故。光的振動每一秒間約為 10^{15} ，即一億的一千萬倍。對於這麼快的振動，能媒現固體的性質，當然並不足奇。至於天體的運動，其速度遠在光振動之下不知其若干倍，所以能媒對於這種運動，現出流體的性質。這樣說來，夫累涅爾的能媒，似乎並沒有什麼神秘不可解的地方。克爾文由此並推算出能媒的密度每立方糵等於 5×10^{-16} 。比鋼的彈性不過六億分之一。不過由一方面說來，能媒的密度雖然如此之小，但是對於天體的運動不能完全不生影響。這種影響在實際上究竟能不能表現出來實在還是疑問。或許牛頓的宇宙引力定律，應用到天體的時候，極為準確，這種影響無加入計算內的必要也未可知。並不是前此所說的完全沒有不可入性。這樣一來，能媒雖仍和通常的物質的性質微有不同，然實沒有方法可以避免，因為有種種事實的要求，非如此不可。

既將能媒認成一種具有彈性的物質同時不可想到的就是縱波橫波的問題在通常的彈性物質裏面，縱波和橫波，皆屬可能。光既是能媒裏面的橫波，那麼，能媒中的縱波又是什麼呢？實際上除了光以外，並未曾發見有這種縱波的存在。由理論說來，要沒有這種縱波的存在，只有兩個方法：一個是使縱波的速度等於無限大，一個是使他等於零。換句話說：前者認能媒是完全不可壓縮的，後者認能媒是完全可以壓縮的。能媒要是不可以壓縮，密度就不能變化，密度不變化就和夫累涅爾的理論不能一致。能媒要是可以壓縮，密度可以變化的問題雖然得了解決，但是這樣的東西，和扯緊了的橡皮一樣，自身具有一種收縮的性質。要使瀰漫在全宇宙內和物質內的能媒，不自行收縮，非得要有一個框架在外面將他扯緊不可。這樣一來，愈入愈迷，更不容易想像了。據克爾文說這些事是否真實，雖不是我們能夠憶斷的，但要因為解釋光現象，一定非要這些不可，這就是真實的證據了。照他這樣說來，所謂能媒的神秘性，並沒有什麼不可解的地

方，反轉一切的物質，纔是神秘不可解的。能媒是物質裏面最簡單的一種，其他如空氣，水，玻璃等類含有許多的複雜性質，爲我們所不能領悟的。決不能因爲我們見慣了的緣故，就將這神秘的程度減低的。

以上是克爾文對於能媒的解釋，就是洛治也是這樣的主張。本來由論理推出來的必然結果，卽是真理，除此以外，當然沒有別的方法去求。現在由理論方面賦與能媒的性質，當然不能因爲是奇妙的緣故，就拋棄不問。不過克爾文他們所到達的路徑，是不是必然的，還大有研究的餘地。他們抱定了一個觀念，要將能媒解釋作彈性物質，以爲傳達波動，非得要有這樣的媒質不可。由這個前提出發，當然要取他們所造的那條路，問題只在這個前提能不能夠成立。解決這個問題，不在光學方面而在電磁學方面。

六 電磁媒質的能媒

古時對於電的見解，認爲是在物質裏面流動着一種非物質的流體，有陰電和陽電兩種的區別，含有電的物體的周圍，發生一種引力或斥力的作用，和宇宙引力的性質相類。電在物質的流動的時候，即生電流，電流周圍的空間，起磁力的作用，所以假定磁性完全由於物質內有小電流流動着的時候，纔發生的。對於這一方面的研究，到十九世紀的正中，逐漸進步。其着眼點專在於含有電或磁的物體，以爲這些物體，在空間內雖相隔着若干的距離，也能相互作用，即是一種遠隔作用（Action at a distance）。至於究竟這種作用是由一物體直接跳過中途的距離加到他一物體上去？還是在兩物體間夾着的空間自身，能夠傳達這種作用？當時還沒有人想到。後來英國的法刺對（Faraday）於無意中由實驗方面發見出一個新奇現象。即是將兩塊絕緣金屬板，裝置在互相平行的位置，使其成爲一個蓄電器（Condenser），用驗電器（Electroscope）來檢查他的電容（Electric capacity），結果得知兩板間所夾着的物質不同，電容亦異。兩板間單是空

氣的時候，電容甚小；用玻璃或堅橡皮（Ebonite）等類，夾在兩板中間，電容即增大。電容增大，無異兩板間的電力增大，可知兩板間相互作用的電力的大小，完全由於兩板間夾着的物質而定。這樣看來，兩板間的夾着的物質，對於傳達這種作用不能說是完全沒有影響。因此法刺對纔創出一個學說，以為電力之所以能彀傳到遠處的物體上去，全由於中間物質的媒介。因為電力在真空裏面也是一樣的傳達，所以假定傳達電力的這種媒質，和通常的物質不同，或許就是傳達光波的能媒也未可知。磁力也和電力一樣，遂先由磁力入手，用他的這種見解去研究。在磁極的周圍撒布鐵粉，鐵粉即沿着磁力作用方向順次排列，由此可以尋出傳達磁力的路徑，法刺對稱他為磁力線，現出磁力線的空間的媒質，稱為在極化的狀態（Polarized state）。對於電力的研究，亦復如是。法刺對一生的研究，皆集中於這個能媒的極化狀態上面。

法刺對的後繼者為英國的馬克斯維耳（Maxwell）由理論方面將法刺對的假說證明，並

由靜電力和磁力推廣開去將電流周圍的媒質狀態以及電流變化時的媒質狀態都包括進去。結果若使電流的方向一反一正，即是使生電振動時，周圍媒質內的電力和磁力，也起振動，這種振動以一定的速度在媒質內傳播開去。並且由理論算出傳達電磁振動的速度，是一個有限的數值。據馬克斯維耳計算的結果，在真空裏面這個速度的數值，恰和光的傳播速度一致。又由理論推出電力和磁力的方向彼此互相垂直，同在和傳播方向成直角的平面內，即是一種純粹的橫波。由此遂想到光也不外是電力和磁力的一種波動罷了。假使沒有馬克斯維耳的理論，無論是誰萬也料不到光是電力和磁力的波動，由此可以想見他的理論的價值的偉大了。

其後一八八八年德國的赫芝 (Hertz) 由實驗造出實際的電振動，證明確有這種電磁波存在，並且還證明了這種電磁波的性質，完全和光波一樣。馬克斯維耳的理論，因此更得了直接的證明。現今關於電磁波自身的研究，以及關於光波與電磁波間相互關係的研究，種種結果，皆

足以證明光波和電磁波實屬同一的波動，絲毫的疑點也沒有了。這樣一來傳播光波的能媒也就是傳播電磁波的媒質了。

光波雖然和電磁波是同一的現象，那麼要解決光是否能媒裏面的彈性波，只須檢查電波和磁波能否和這種彈性波一致即足。換句話說，即是電和磁能否作成物質的彈性來說明？對於這個問題，當然有不少的學者提出種種的學說，將電磁現象當作力學的性质加以解釋，結局究竟並沒有一個人能夠自圓其說。一直到得十九世紀的末葉，還有一部分的人向着這個目標努力進行，卻不料正在這個時候關於電子方面的研究大為發展，其結果遂將這個希望完全推翻。

關於真空放電的研究，起原於陰極線(Cathode ray)的發見。陰極線由無數細微的粒子組成，比通常的分子原子等更小，帶有若干的陰電。無論由何種物質放射出來，這種小粒子總是具有同一的電量和同一的質量。發光體的分子的裏面，也有這種小粒子不絕的運動着，和陰極線

的小粒子完全一樣。帶電的物體運動時，即發生一種惰性的質量。由這種種事實，遂想到一切物質的分子原子，都是這種微小的帶電粒子集合而成的，稱爲電子 (Electron)。由電子的假定，就理論方面推出電子的集團，應有些什麼性質，即可說明各種物質具有的性質。即是不惟不用彈性的理論去解釋電磁的現象，反轉由電子的性質去解釋物質的彈性。由這個立足點即是由現今所謂的電子論 (Theory of electron) 看去，能媒業已不成其爲彈性的媒質，只不過是傳播電力和磁力的媒質罷了。並且這種媒質決不能看成和通常的物質一樣。因爲電子論主張一切物質都是由電子集合而成的，能媒既然是充滿電子和電子間的空間的媒質，其自身當然不能再成電子。因此可以推知物質的彈性是由電子集合成爲一種特殊狀況，方能表現出來，所以能媒不能具有這種性質。由此看來所謂能媒的密度，所謂能媒的彈性，完全沒有意義，所以能媒不成其爲物質，只能認爲是傳播電力和磁力的一種媒質罷了。

最初假設能媒的時候，原是因為要傳播光的波動非得有一種媒質不可。但是現在得出來的結論是說這個媒質和通常的物質完全不同，所以我們對於這種論理似乎尚須加以反省。物質不存在的空間裏面，其所以一定非有非物質的能媒不可的道理，完全是因為不如此就不能認識出空間裏面所起的物理的作用或其變化。我們要求能媒存在的唯一理由，就是用來作成這個認識的對象。因為真空裏面，不特沒有物質存在，並且在我們的想像上，對於一切現象也是空虛的，所以不能成爲物理現象的對象體。若果承認有這種能媒存在的必要，他的存在就絕對的不能由物理的實驗檢查得出。那麼，物體在他裏面運動着的時候，應該成什麼狀況又成爲我們的問題了。

前經馬克斯維耳由理論推出來的各種關係，都是就物體靜止時而言，能媒對於物體自然也是靜止着的。這些關係雖經過種種實驗的證明，但對於運動中的物體究竟怎樣，卻還未曾研

究過，假使力學裏面所說的運動的相對性可以完全應用那麼物體運動的結果和物體靜止不動而觀測者向着反對方向運動的結果，就非完全一致不可。由這個假定求出來的推論即是赫芝定律，承認能媒隨着物體一同運動。這個議論恰和前面對於光現象的斯托克斯的學說相同。斯托克斯的學說和斐左的實驗矛盾，赫芝的學說和實驗不能相容的事實，不久也就陸續被人發見出來。其中最有力的爲一九〇三年德國愛痕發特 (Eichenwald) 的實驗。

將玻璃或堅橡皮等類的誘電體 (Dielectric) 放在蓄電器的兩板的中間，使蓄電器帶電，然後迅速使誘電體運動，即生一種電流，在周圍的空間裏面造成一個磁場。這個現象最初由羅琴 (Röntgen) 發見出來，所以稱爲羅琴電流 (Röntgen current)。因爲誘電體所帶的誘導電 (Induced electricity) 和蓄電器的金屬板上所帶的電，恰相反對，所以金屬板不動但使誘電體運動時，無異使誘導電運動，即成爲誘導電流 (Induced current)。愛痕發特將這個實驗畧

加變動，使金屬板和誘電體兩者同時運動，若果觀測者也隨着作同一的運動，那麼，全體皆以同一速度運動，彼此間並無相對的運動，其結果應該和全體靜止着的時候完全一樣。所以金屬板上和誘電體上即令帶有靜電，也決不會有電流發生。就是沒有隨着共同運動的觀測者看去，也應該是一樣，不會發生電流。這是由赫芝理論推出來的必然的結果。換句話說，誘電體上誘起的電，隨着誘電體共同運動，符號和金屬板所帶的電相反，其量則相等。兩者同時運動的時候，成了互相反對的兩種電流，其量既相等，所以恰相抵消。但是愛痕發特實驗的結果，金屬板和誘電體同時運動時，這種電流並未完全消滅，依然存有若干。若果將誘電體上發生的誘導電流，分作兩部分來看，一部分屬於能媒，一部分屬於物體；屬於能媒的固定不動，屬於物質的隨時運動，在這種狀況下發生的電流的量，就恰合愛痕發特實驗的結果完全相等。

和赫芝理論不相容的實驗，還有一個，是一九〇四年威爾遜（Wilson）實驗的。用金屬板

兩面連同兩板間夾着的誘電體在磁場裏面迅速運動若磁力方向和板面平行誘電體的兩面上即起誘導電。金屬板和誘電體既然是共同運動，當然無所謂相對運動，照赫芝的理論推論，這種情形和將金屬板及誘電體看成靜止，將磁場看成是向反對方向運動時完全一樣。這樣一來，誘導電全部皆應發生在金屬板上，不應有威爾遜的實驗結果了。若果將誘導電也分作兩部分，屬於能媒的固定着不動，只有屬於物質一部分的發生於金屬板面，其結果即和威爾遜的實驗完全一致。

由上述的實驗，可以證明赫芝的理論完全不能成立，還是羅倫徹 (Lorentz) 的將能媒認為絕對靜止的假定，似乎合理些。羅倫徹的理論，是將物質假定為電子的集合體，電子在他的周圍的能媒質裏面造成一個電力場，電子運動的時候，即造成一個磁力場，但是能媒卻絕對靜止着不動。這一點和夫累涅爾對於光現象的解說，大體一致。兩者不同的地方，夫累涅爾是假定物

質內部的能媒，密度比外面的大，其屬於物質固有的部分，和物質共同運動；而羅倫徹是假定能媒並非彈性體，不能有密度的差別，只能成爲一律均勻的電磁媒質，無所謂物質內部和物質外部。物質和真空之所以不同，完全由於有電子存在的緣故。在物質內部的能媒，因爲受電力作用，而呈極化狀態，同時在分子或原子裏面的電子，趨集於一方，也成極化。物質在這個狀況底下，能現出電學的特性或光學的特性。物質運動的時候，能媒雖然固定着不動，但是物質固有的電子的極化狀態，卻隨着物質共同運動。所以物質上面現出的誘導電，不外就是由電子的極化狀態現出的。這個見解和愛痕發特和威爾遜的實驗，恰好一致。不僅如此關於光學上的一切實驗，都和羅倫徹的理論一致，尤其是斐左的實驗所要求的隨伴係數，也和羅倫徹的理論完全相同。

由這樣推論起來，可見能媒完全是傳播電磁現象和光現象的媒質，絕對靜止着不會運動。但是這種絕對靜止的能媒，能否成爲我們認識的對象，很有詳細討論的必要。

七 地球對於能媒的運動

前節所述的羅倫徹理論，是假定能媒爲絕對的靜止，由此來說明一切電磁現象和光現象。只要能夠完全說明出來，就可以說我們由物理學方面認識有這種瀰漫空間的能媒，縱令我們的眼直接不能看見我們的手直接不能接觸，也無所礙於其爲認識的對象體。我們既然是用物理學的定律去保證他的存在，所以只要我們所期待的完全認識，限於物理學定律所能保證的爲止即足。前節所述的各種實驗，雖足以證明羅倫徹的理論，確無可疑，但僅僅如此，還不能判斷一切的結果。所謂一切結果，應當特爲注意，並非指認識爲直接或間接而言，關於這一點最易引起誤解，所以有特爲表出的必要。

由能媒爲絕對靜止的事實，引起的第一問題，爲對於能媒作相對運動的地球，其表面上所發生的光現象或電磁現象，究竟當受何種影響？若是實際上能將這種影響求得，並能用數量表

出，則地球對於能媒的相對運動的速度，當然也可以決定。對於這個問題，先從光現象考察，最初有阿刺各關於通過稜鏡的光的方向的實驗。地球對於能媒的運動，當時雖不明瞭，但總預想成和對於太陽的運動，相差不遠。於是遂使光線沿着地球運動的方向和沿着反對的方向，通過稜鏡，比較其結果，並無差別。其後刻忒勒 (Kettler) 又於一八七三年用一種裝置，使同一光線分而

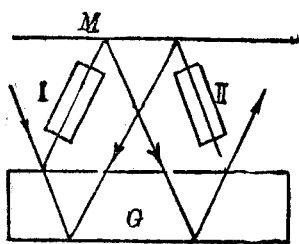


圖 1

為二，各沿不同的方向，通過水管，然後再使其相重，即可見干涉條紋。但是這個裝置，無論放在任何方向，都沒有變化。（圖中 *I* 和 *II* 為相等的水管，*M* 為鏡面，*G* 為玻璃板，光的進行方向用箭頭表示。）其後克令卡 於一八七〇年作一實驗檢查光線通過氣體所生的景線，其波長是否受地球運動的影響？所用的裝置如下圖：*P* 為稜鏡，*I* 為充滿氣體的長管，其方向正對地球運動的方向。用鈉蒸氣 實驗的

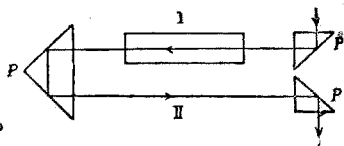


圖 2

結果，認為景線的位置似畧有移動，恐怕大約由於觀測上的錯誤。後來於一九〇一年更經哈加 (Hagga) 重行實驗一次，証明的確沒有變化。

此外斐左於一八六一年實驗斜向玻璃板通過的極化光的極化面 (Plane of polarization) 的轉動，是否受地球運動的影響。累力 (Rayleigh) 於一九〇二年更就起極化面轉動的結晶體作同樣的實驗。諾德邁爾 (Nordmeyer) 於一九〇三年實驗由發光體向一定方向射出的光強，是否受地球運動的影響。各種結果，皆成否定，即是一切這一類的光學實驗，並不受地球運動的絲毫影響。

不特光學現象如此，就是用電磁現象來實驗，結果仍然一樣。羅琴 (Röntgen) 於一八八八年將磁針安放在水平的蓄電器的平板上，以為板上的電，既隨着地球運動，當然成爲一種電流，對於磁針即應發生效應。但實驗的結果也是否定的。得庫多爾於一八八九年將二個完全相等

但卷向相反的圈 (Coil) 安放在平行的位置，使電流通過其中，然後去檢測在此兩圈中間的第三圈內所起的誘導電流。全體要是靜止着的時候，第三圈所受前兩圈的誘導作用，恰相抵消，但既隨着地球運動，似不能不有相當的影響。哥尼斯柏格爾 (Königsberger) 於一九〇五年將蓄電器放在強電磁場內，用導線連結蓄電器的兩金屬板，全體既隨着地球運動，就應當和前節所述的威爾遜實驗一樣，蓄電器的板上有電現出。但是這種種實驗的結果，依然只能證明其不受地球運動的影響。

以上所述各種光學現象和電磁現象，實驗的結果皆證明其不受地球運動的影響。看去雖覺可異，其實和夫累涅爾及羅倫徹等的理論，並不矛盾。因為在這些理論裏面，雖也假定有絕對靜止的能媒，但是對於這種能媒作相對等速運動的觀測者看去，只要其速度比較光速不十分大，定律即不生變化。即是由這種理論導出來的一切關係式，對於這些觀測者，都成同一的形式。

實際地球在太陽周圍轉動的速度雖因時節不同畧有遲速差別然大體總不能過光速的萬分之一，恰能適合上述的條件，所以實驗的無結果，正足以證明這個理論的正當。再用數學上的言語來說，對於運動中的觀測者的關係式，其中并未含有運動速度和光速度的直接的比，只能含有其二乘以上的比，為量極微，所以不生影響。就地球運動的例說，這個比的二乘，已在 10^{-10} 。即一億分之一以下，非有極精密的測定，決不能實驗出來。要有這種精密程度的實驗，方能認識出地球對於能媒的運動。所以要判定地球對於能媒的運動，當以發見這種精密程度的實驗方法為先決問題。

解決這個重要問題的為美國的邁克爾孫 (Michelson)，於一八八一年，想出一種實驗，其大體的裝置如下圖所示：由光源 S 射出的光線，斜向通過玻璃板 G ，分為互相垂直的兩條光線，一向鏡 M 一向鏡 N ，而此兩鏡與 G 相隔的距離互相等。由此兩鏡沿原行的路徑反射而回，彼此

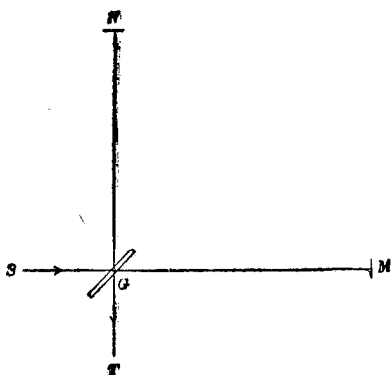


圖 3

相重複合爲一而成 T ，遂生干涉現象。將全體裝置轉動，可使 GM 或 GN 兩者之一，正向地球運動的方向，其餘之一即正與地球運動方向成垂直。實驗的目的，是在檢查將 GM 轉向地球運動方向時的干涉條紋，和將 GN 轉向地球運動方向時的干涉條紋，有何區別？就理論上說起來，這個例中，並沒有地球速度對光速的比的直接影響現出，只含有這個比的二乘的影響。這個比的二乘爲值雖極小，但用的既是干涉條紋，所以不難察見一光波波長的幾分之一的移動。假使這種移動果然存在，確能由實驗檢出。邁克爾孫其後更於一八八七年與摩黎(Morley)共同將這個實驗加以改良，再行精測一遍。但其結果卻大出乎預料以外。理論上

以爲一定可以現出的影響實驗上些微的變化也沒有要說是因爲測定的精密度不夠因此引起的誤差，則未免過大。羅倫徹的理論對於光現象和電磁現象，都以爲是沒有矛盾的了，現在遇着這個實驗，又不能自圓其說起來，非加以相當的修改不可。

在敘述修改羅倫徹的理論以前，還有一個重要的實驗，是關於電磁方面的，也呈同一的結果，不能不詳說一下。這個實驗是一九〇三年特魯吞 (Trouton) 和諾布爾 (Noble) 兩人作的。用極精確的扭秤 (Torsion balance) 來檢查在地球上使蓄電器充電時，是否有轉動偶力出現？加電到蓄電器上，蓄電器即增加與之相當的能，若是蓄電器隨着地球運動，這些電能，當然就應該生出電動量 (Electrical momentum) 來。一方面動量也和能相同，須遵從常住定律，其總和始終不變。所以電動量要是增加了若干，就一定在反對一方面發生與之相當的機械的動量，使蓄電器的板起轉動。而這個偶力的數值，以板面對於地球運動方向成 45° 的傾斜時爲最大，並

且和運動速度對於光速的比的自乘爲比例。但是實驗的結果，卻是否定的。

八 羅倫徹收縮

一方面由邁克爾孫和摩黎的光學的實驗，他方面由特魯谷和諾布爾的電磁的實驗，都不能將地球運動的影響觀測出來。而此兩種實驗的精密程度，又遠在觀測所生的誤差以上，可知地球運動所生的影響，必異常微小。和最初所預期的則以爲至少也應當有和地球速度對光速度的比的自乘相比例的影響出現，豈不大相懸絕。事實既然到此地步，當然只有將理論的缺陷求出，去加以修改的一途。而且要求解決這個問題，非有從來所未曾想到的大變革不可。這種變革在一八九五年曾經由菲次澤刺德(Fitzgerald)和羅倫徹偶然想到過。他們兩人都曾假定以爲一切運動物體，在運動的方向上，須起相當的收縮。如運動的運動爲 v ，光速度爲 c ，則只須假定收縮爲原長的 $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ 倍，即和實驗完全符合。邁克爾孫和摩黎的實驗，光線沿着地球運動

方向往復一定距離所需的時間比較沿着垂直方向往復同一距離所需的時間本應畧長光波到達既較遲，自不免有干涉條紋現出。但若將前者的距離看成因為地球運動不得不收縮，則光線在此既已收縮後的距離中往復一次，所需的時間亦當畧短。所以結局仍然和後者的時間相等。所生的收縮，只要為原長的 $\frac{1}{c^2 v^2}$ 倍，即可由計算求出兩者所需的時間完全相等。又在特魯吞和諾布爾的實驗裏面，也因為蓄電器的兩板間的距離畧起收縮，所以轉動偶力不能發生。這種沿着運動方向所生的收縮，通稱為羅倫徹收縮。

羅倫徹收縮的假定，固然可以說明上述兩方面的實驗，但是這種假定，從頭就不容易使我們的思惟能夠滿足。這是因為我信用從來的力學定律過深，不易去想到毀壞他的緣故。但是實際上的物體，沒有一種能夠絕對不改變其形體的。所謂完全的剛體，不過是理想上的物體罷了。然而一般每每以為各種物體，也都能保持其一定的形狀，非受力的作用，不會起形體的變化，雖

受同一的力作用，亦因其彈性强弱不同，所生的變形有大小的差別。物體若作等速運動，即不受力的作用，由力學定律想來，當然也就沒有發生變形的道理。但是羅倫徹收縮卻與此相反，一切的物體不必受力的作用，只要在運動的狀態，都有這種收縮，且收縮的程度，不問物體是軟是硬，都是同樣的，可由其運動速度而定，這一層尤其令人不易了解。究竟須從何處去求其物理的原因，雖說是比假定的自身，還覺困難，但要承認這個假定，卻非先將這的難題解決出來不可。

羅倫徹的假定裏面，實含有許多不可思議的事實，和我們歷來思惟論理不能相容。譬如物體運動的速度愈大，則其收縮的程度，也隨着加增，到得物體的速度達到光速的時候， $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ 即成爲零。所以任何物體在這種狀態的運動時，其運動方向的厚均成爲零。如有一運動物體其速度比光速更大，則 $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ 成爲虛數，直不能爲之說明。實際上使一物體得這樣大的速度的方法，我們既未曾知道，而這種運動的存在也未曾經驗過來，不過從來的力學，對於這種想像，當

然是容許的。所以要是承認羅倫徹收縮，同時就不能不承認這種物體消失其厚處那麼容納物質的空間，又須怎樣去想像呢？真成爲不可收拾的迷陣了。

究竟還有沒有其他方法，可以免去羅倫徹的假定，而又能將邁克爾孫的實驗正當解釋出來？誰也知道羅倫徹的理論是將光源的運動認爲對於光速度不生影響。實際上光源無論如何運動，其周圍的能媒既是絕對靜止不動，則由其波動傳出的光，當然以能媒所固有的速度傳播開去。不過光源的運動速度，要是比波動傳播的速度還大，就不能成通常的波形。就是在邁克爾孫的實驗裏面，若果地球連同地球上的光源都是這樣快運動，羅倫徹的收縮假定，就不能夠完全適用。所以由絕對靜止的能媒的假定說來，羅倫徹的理論好像很爲正當，但仍止於一個假定，大有可以容疑的餘地。若是依照昔日牛頓的光素說，光是由光源發射出來的微粒，那麼，沿着光源運動方向射出來的，其速度應增加光源運動的速度，沿着反對方向射出來的，其速度應減少

光源運動的速度，方能與力學原理相符。就由波動傳播着想，或許也應這樣。由光有能，有運動量，等項事實着想，這個假定尤其沒有不正當的地方。這樣一來，在邁克爾孫的實驗中，沿着地球運動方向進行的光，因和光源同時運動，所以對於能媒的速度應當增加地球的速度。故由運動着的地球上看去，對於地球的速度完全和未曾運動時的速度相同。往復的時間不生差異，即由於此。只須將光速度這樣假定，就無須去想像那樣不可思議的收縮，立可將邁克爾孫的實驗說明出來，恐怕大多數的人都抱着這種見解，也未可知。不過這種思想，和赫芝的理論一樣，將能媒認為是和物體共同運動的，故其相對性的結果，當然沒有地球運動的影響，雖和邁克爾孫，特魯吞，諾布爾等的實驗符合，卻和前面第六節中所述的實驗結果衝突。若果離開這種能媒運動的假定，去承認光速度和光源運動有關係；那又明明和二重星的現象矛盾。二重星是說在同一點的周圍沿着同一軌道運行的兩星，由軌道面去觀察由這種星體發出來的光，因為兩星的運動方

向互相反對，所以一方遠離一方接近，這個時候要是光速與光源的運動有關係，那這兩者之間，就當現出差異來。這個差異雖不甚大，但當光達於遠距離的空間時，時間上就生出極大的差異。實際去觀測二重星時，並不見有這種差異發生，可知光速總是一定不變的。因此一來，爲勢又不能不反於羅倫徹的理論了。

一般的人對於羅倫徹的理論正在驚嘆不置躊躇未決之時，羅倫徹卻進而去求對於由運動而生的收縮事實，不能不存在的物理的原因。並且要想由他的理論的根據即物質的電子的構成去求。他以爲一切物質莫不由電子構成。其中含有帶陰電的和帶陽電的，彼此之間，相互受引力或斥力的作用。物體能保持一定的形狀，由於這些引力斥力，互相平衡的緣故。但一方面想起來；帶電的物體運動當生磁力。所以物體運動的時候，力的平衡狀態，不能不發生變化。於是他遂斷定羅倫徹收縮不外即是由此而來的。這個議論的巧妙，的確可以令人嘆服。在歷來的力學

和電磁學的範圍內，能將那樣不可思議的現象，一毫不缺的完全說明出來，真爲常人所難想到。但再一冷靜思索起來，即可發見這個證明裏面，還包含着有不少可以懷疑的地方。最大的難點，爲僅有電力或磁力不能使分子原子得實際平衡的靜止位置。這個事實由電磁理論很容易證明出來。即是分子或原子的位置，不能由純粹的電磁力去決定，總須還有別種的力參加，方能成爲物體的彈性。所以當物體運動的時候，電磁力雖生變化，究竟能否如羅倫徹所說，引起物體的形體上的變化，實不能不有可疑的地方。

羅倫徹的理論既有上述的疑義不能解除，於是更有人提出一種問題，假定收縮果爲事實，則其直接結果是否可以由實驗去檢查出來？一九〇二年累力(Rayleigh)想到物體果生收縮，則其變形的結果當引起光的複屈折現象，因用長管充滿淨水或二硫化碳，向種種方向詳細檢查，不能發見少許的變化。又如玻璃等類物質，實際上雖確能因壓縮而生複屈折現象，但無論用

若干枚相重，亦不能檢出其對於地球運動所生的影響。後來一九〇四年，又經布累茲得出同一的結果。又特魯吞及郎肯 (Rankine) 於一九〇四年想到導線因短縮的結果，對於電的抵抗應當減小，因將長導線延着地球運動的方向放着，送電流通過其上，依然不見有些微的變化。總括起來說，羅倫徹收縮對於在能媒中靜止着的觀測者，雖為必有，但對於連同地球運動着的觀測者，則些微也不能覺察。邁克爾孫的實驗，也是因為在地球上的緣故，所以不能將短縮的效果檢查出來。

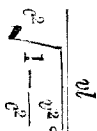
這層事實還有更進一步加以分析的必要。先就用測尺直接測定物體的長度說，地球上一切物體的長，皆須各受相應的短縮，就是測尺自身，也得要是受同一比例的短縮，所以用測尺去量其他的物體，數量上當然不能顯出變化。邁克爾孫的實驗，可以證明此理。不過究竟一切物質所生的收縮，是否完全為同一的比例，僅僅這一個實驗，似嫌不足？因欲除去此種疑點，摩黎和密

勒 (Miller) 更於一九〇五年，另用不同的物質，將邁克爾孫和摩黎的實驗，再演一遍。邁克爾孫的實驗，係將全體的裝置，放在一個極大的砂石台面上，砂石台又浮在水銀池中，以備轉動時不受些微的妨礙。而摩黎和密勒的實驗則不用砂石而用白松，結果依然相同，故知一切物質，無論其為石為樹，其收縮的比例總是一樣的。用測尺在地球上測物體的長度，既然不能發見變化，同時在地球上測光的速度，無論是在地球運動的方面，或是在垂直的方向，當然也就不能不相同的了。假使不相同，光在圖 3 的 GM 和 GN 的方向往復所費的時間即決不能一樣。光速為經過的距離與時間的比，由地球上看來，光在 GM 和 GN 往反的速度應是一樣。更由一方面說起來，由靜止於能媒的觀測者看去，能媒既然各方向皆為同一的性質，當然也不能不一樣。然而由後者看去， GM 的長，卻比 GN 短縮了許多。這種種的關係，究竟能否並存不致互相矛盾，實屬一大問題。而這個問題的解決，卻不容易。不過羅倫徹於一九〇四年更發出一種奇妙的想像，來解釋這個問題。即是

依據歷來的想法，無論在何種地方，應該都可以決定一定的時刻，和指示時刻經過的時計。但關於光的進行，對於能媒運動着的時候，所認識的時間，當和一般的時間不同。即是在地球上測光的進行時，非容許因地點不同而致時間有異不可。例如在圖3的G點，雖將地球上的時計和能媒的時計較準，而在與此相隔的M點，此兩者的時計，就不能示同一的時刻。若地球的運動在GM的方向，則地球上的時計當較在能媒中的時計，畧為進前。時刻隨地而易，同時兩時計的時間的長，也彼此不同。簡單的說，即是能媒的時計在空間的一切場所，皆示絕對的時刻，而欲測光的進行時，卻非在地球上或其他之運動座標系上，各就不同的地點，為之定不同的時間不可。此種時間羅倫徹稱之為局所時 (Local time)。就同一地點而言，示局所時的時計，比示絕對時的能媒

中的時計，當遲 $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ 倍。又在任何地點，將此兩種時計配準使其示同一的時刻時，在相對運

動的方向相隔 l 距離的地方，局所時所示的時刻，當較絕對時快，無論用何時計去測光速，結果都是以同一的速度傳播而去的。



照着這樣假定，則

羅倫徹的理論若將這些補正加進去，即和實驗上的事實完全一致。不過長度的收縮雖由電子論的立足論解釋清楚，而測光的速度，何以一定要用局所時的理由，卻未能解釋出來。要想得真正的理解，非對於時間的根本概念，再加以一番考察不可。不特時間為然，即其他各種物理學的量，在運動的體系上，苟非加以相當的變化，決不說明種種的電磁現象——例如特魯吞和朗肯的實驗即對於電流的抵抗不變——要求得根本的解決，於是遂使靜止能媒的假定，為之動搖起來。

九 能媒的否定

由上述各種實驗的事實遂令能媒以及關於電磁現象的種種理論皆陷於不得不受變動
的厄運。幸得羅倫徹爲之一再補綴，故雖百孔千瘡，也還能夠勉強敷衍過去。羅倫徹的努力，及其
成就，實足令人欽佩不置。實際上一切新原理的萌芽，莫不蘊蓄於羅倫徹的理論裏面。時機一到，
卽當勃發不已。今日相對性原理所必要的一切關係式，幾於無一不曾爲羅倫徹求得，只不過所
用的言語微有不同而已。因他對於歷來的力學定律以及先驗的 (a priori) 時空概念，皆力求保
守，故雖假定運動物體當生收縮，然仍作成是電磁力的作用，努力去求力學的說明。雖因解釋光
進行的定律而假定局所時，然仍承認絕對時爲真正的時間，局所時爲假設的時間。至於何以要
有這種假時間？除卻說是因爲對於能媒運動着的緣故而外，並不能更進一步說明。卽是時間的
絕對性到此已瀕於破壞的境况，只得假借絕對靜止的能媒的名義，以爲抵禦而已。然而能媒之
不可捉摸依然如故，雖經羅倫徹等輩苦心慘澹，終不能得事實的證明，於此遂推想到能媒自身

的存在，實有可疑。主張抹殺能媒的人爲建設相對性原理的愛因斯坦，他以爲所謂真空並非對於現象空無所有的意思，遂假定其中能起種種作用，空間自身卽爲能的所在地。實際上一切物質所有的能，由現在這種見解說起來，都不外構成物質的電子周圍的空間中所存在的能。實在的空間本來就有這樣的性質，並非絕對空虛的。這種假定是對於真空的虛無性的先驗的見解，從根本加以推翻。因爲論理的方法已窮，當然只好將先驗的見解內容，加以一番反省，不能永久不加修改完全承認。因此一來，遂開闢一條新的路徑出來。像這一類的實例很多，愛因斯坦否認真空的虛無性，卽其一種；否定的結果，遂成爲空間的自身爲現象的所在地。又如空間和時間的獨立性，卽在任何的空間中都可以一義的決定同時刻，也是一種先驗的見解，經愛因斯坦否定以後，其結果遂使空間的長短和時間的久暫，都不成爲絕對一定的了。譬如說測尺的長爲一尺，地球繞行太陽一周爲一年，若由不同的運動狀況觀察，都應畧有不同。各人的結果雖各不相同，

就其本人而言則均屬正當，不能說某人的結果有誤。這就是將空間時間的絕對性的先驗的見解否認以後，用相對性來作代替的意見。因此一來，我們歷來所有的思想，皆非大變特變不可。一切的自然現象的定律無論對於何種觀測者，皆非取同一形狀不可。一切觀測者的立足點，對於自然現象，皆保有絕對平等的權利，這就是相對性原理的要點。

愛因斯坦又將宇宙引力的問題包括入其相對性原理裏面，其結果尤足使人驚異。從前以為時空的概念，可以離開物體獨立存在，這種先驗的見解也被愛因斯坦推翻了。他以為空間是和物體的自身密接結合着的，須假定物體存在的地點，比起遠處來其空間的形狀以及時間的長皆不相同。不但這樣，假使宇宙中一點物體也沒有，則空間的廣延以及時間的長，都成為零。什麼也不存在的空虛的空間，只不過是一種幻想，決不能成為理想的究極。空間時間以及其中發生現象的物體，在我們的思惟裏面彼此相離存在，是原理上不可能的事。

採用愛因斯坦的這種見解，事實上既沒有能媒存在的必要，一切對於能媒的懷疑，當然也無從發生。至於有人以為不用能媒，何以說明光波電波的傳播，這尤其容易作答。愛因斯坦的空間，既然不是絕對空虛的空間，而為具體的物理的空間，其中當然有構成物質的電子存在，電子的周圍當然為可以發生電力的空間。這種空間當電子運動的時候，即可傳播光和電。其傳播光和電的狀況，宛如空氣中音波進行的狀況一樣。但僅僅類似，實不能成為空間，非有能媒存在不可的理由。沒有能媒就不能使空間中發生波動的思想，仍然是因於空虛空間的舊見解，忘卻了愛因斯坦的新空間的假定。傳達波動的性質既在於空間的自身，當然就沒有能媒存在的餘地。互數百年未能解決的疑問，一旦消歸烏有，其快人之意何如！