

萬 有 文 庫

第二集七百種

王 雲 五 主 編

物 理 學 概 論

(四)

石 原 純 著

周 昌 壽 譯

商 務 印 書 館 發 行

物理學概論

(四)

石原純著

周昌壽譯

自然科學小叢書

王雲五主編
萬有文庫
第二集七百種
物理學概論
第四冊
版權所有翻印必究

中華民國二十四年三月初版

新朱

*C四六二

原 著 者	譯 述 者	發 行 人	印 刷 所	發 行 所
石 原 純	周 昌 壽	王 雲 五	商 務 印 書 館	商 務 印 書 館
		上 海 河 南 路	上 海 河 南 路	上 海 及 各 埠

第八章 相對論及萬有引力

第一節 光及運動中之觀測者

前在第二章第十節處，曾經述及速度無何種變化之均速運動，爲一種相對的觀念，其意義不過指其對於某種基準體，具有若何之速度而已。光之進行與物體運動，誠然不同，但自其以一定速度在真空空間中前進之一點觀之，則此兩者對於觀測者之關係，即作成完全相同，亦無不可。而一方面又知光係以太中之一種波動，舊時以此歸諸以太之彈性，今則以馬克士威之電磁說代之，認以太爲造成電磁場之介質。以太既瀰漫於全部空間之內，無所不屆，則對於以太運動中之觀測者之陣中所見，在以太內發生之光之波動現象上，似應受觀測者自身運動之影響。此問題在光學上，即曾數見不鮮。

一八四二年，有奧國都卜拉 (C. Doppler) 提出都卜拉原理 (Doppler's principle)，證明運動中之觀測者感受之波動，其振數與靜止觀測者所感受之振數不同。此項關係純為相對的。例如觀測者雖在地面上靜止不動，但所觀測之物體，如以大速度進行中之火車，當其向觀測者而來時，所鳴之汽笛，音調增高；反之，當其遠去時，音調減低。對於光波，此原理應亦可以適用。即光源與觀測者，如互相接近時，光之振數應增多，即其譜線應由原本位置向紫色一方移動。反之，如兩者互相離遠時，譜線應向紅色一方移動。此等譜線之移動，可由恆星發來之光觀測之，而最初作此實測者，則為英國之天文學家哈金茲 (W. Huggins)，時在一八六八年。自是以後，此法遂成為求大多數恆星之固有運動之一有力手段，又為表示太陽面上有氣體運動之材料。

都卜拉原理表示光之振數隨相對運動而生變化，同時光行差之現象（參照第七章第十三節）亦可看作表示光之進行方向與運動中之觀測者作相對的變化。但此時所受之影響，為觀測者對於光源之運動，而非觀測者對於以太之運動。如研究光對於運動中之觀測者之速度，則頗複雜。即若將光看成以太中之波動，則其進行速度，僅與以太之性質相關，似與光源之運動與否無涉。

試就雙星之例檢查之，此等雙星係由兩星合成，其中一星繞他一星周圍而轉。如光之速度須增加，光源之運動或減去其影響，則如圖七〇二所示，當其達於B之位置時，光行較速，而達於C之位置時，光行較遲。由此發出之光，經過非常遠之距離而達於地球，應生出極長之時間上之差異。但事實上，觀測雙星時，從未曾遇見有此種事發生。於是進而設想假定光在以太內以一定速度進行，則對於以太作相對運動之觀測者之眼中，是否能判斷光速有此變化？凡信仰力學上運動之相對性及其合成之定律者，對於此項疑問，決不躊躇，立即加以肯定。譬如有一汽車與火車平行進行，在汽車上之人所見火車之進行速度，應加入或減去汽車本身之速度，固無待言。同樣，在運動中之地球上之觀測者，其眼中所見之光速，亦勢必非受同樣之變化不可。



圖 七 〇 二

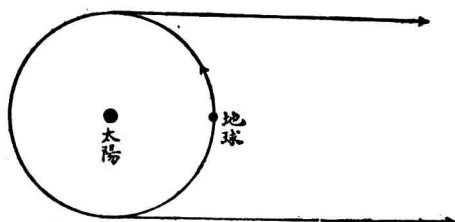
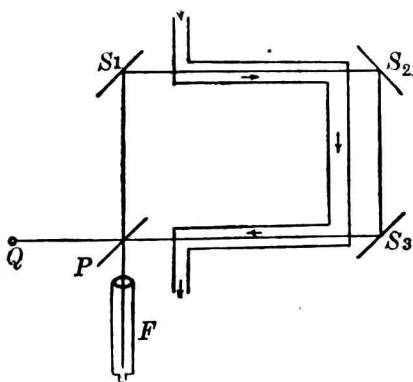


圖 七 〇 三

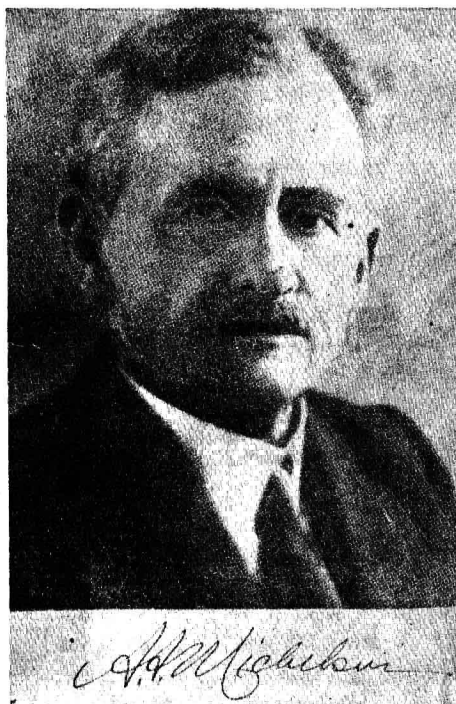
例如圖七〇三所示，當某一季節，循地球軌道運動之方向上，用望遠鏡觀測一恆星。由此經過半年之後，即軌道上之運動方向，已正相反對之時，再觀測此同一之恆星。照理此兩次觀測所得之結果，應有光對於此事之相對的速度差異。但望遠鏡之折射率，與光之速度有關係，故前後兩次觀測時，其透鏡之焦點，應各生在不同之位置上。阿刺各曾作此實驗，但其結果並未曾認出焦點位置之差異。

結果既與預期相反，故此問題之解決，頗形困難。一八四五年經斯托克斯提出一種假說，以為地球運動時，其內部及周圍之以太，均被地球曳引而去，作同樣之運動，欲由此說明此結果。至於物體運動時，其內部之以太，究竟如何運動，尙不得而知，為欲明其真相，乃有一八五一年

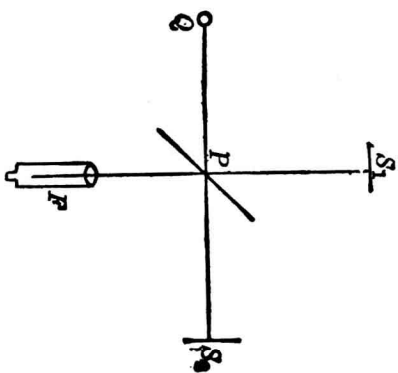


圖七〇四 斐左之實驗 由光源 Q 發出之光，分為兩部分，一部分由 P 反射而回，一部分則透過。反射光經由 $S_1 S_2 S_3$ 等之順序，透過光則經過正相反對之順序，同入於望遠鏡 F 中。在光之進行方向上，沿箭頭所示之方向使水流過，欲由干涉觀測光波互相所受之影響。

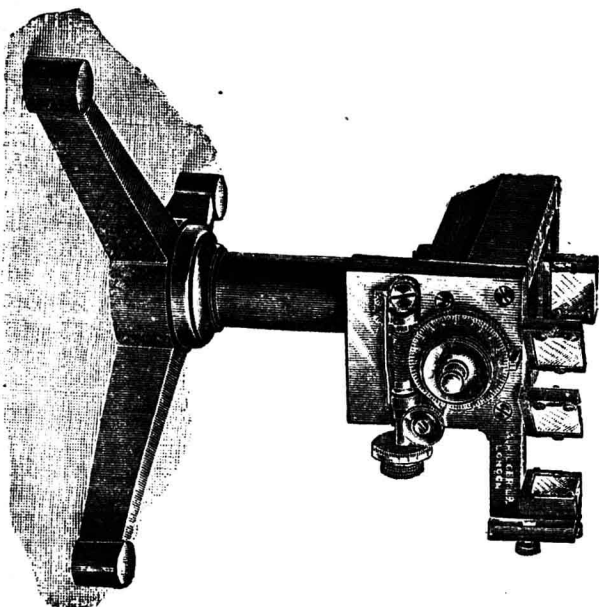
斐左之實驗。如圖七〇四所示，即在流水中送入與之同一方向及反對方向之光，由此觀測其所之影響。其結果與當時夫累涅爾之理論，即水內之以太，有一部分與水作共同行動之說，頗相一致。此後又有英國亞立，於一八七一年盛水於望遠鏡之鏡筒內，作光行差之觀測，其結果，仍與夫累涅爾之說一致。此項夫累涅爾理論，本係根據以太之彈性論而得，後經羅倫徹 (Lorentz) 由電子論（參照第九章第九節）上，假定以太靜止不動，即可將夫累涅爾之公式導出。在夫累涅爾所謂之一部分以太，在電子論上，實不外物質內之電子之



圖七〇五 邁克爾遜



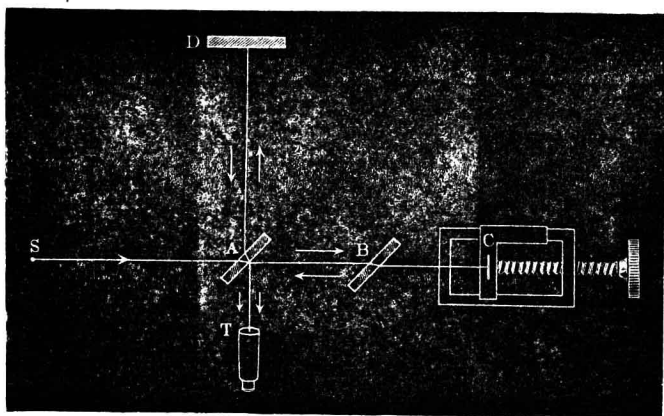
圖七〇六 邁克爾遜之實驗



圖七〇七 普通之邁克爾遜干涉計

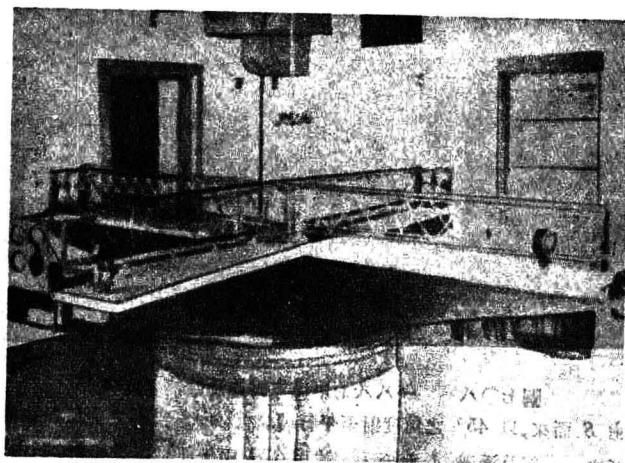
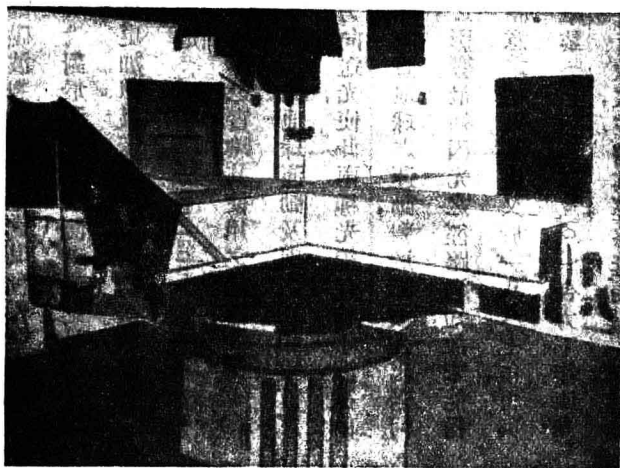
電磁波對於光所生之某種影響而已。

對於運動之觀測者，光速是否不變，欲更加以嚴密之研究，則有美國之邁克爾遜（A. A. Michelson），於一八八一年所作之實驗。其使用之儀器，如圖七〇六所示，循地球運動及與之正相垂直之方向送光，使此兩種光線互相干涉，欲由此檢查地球之運動，對於光波生出若何之影響。最初因光之徑路過短，故未能得滿意之結果。其後又於一八八七年，再與摩黎（E. W. Morley）合力工作，使光往返數次，並將其徑路延長一一米。結果



圖七〇八 一八八七年邁克爾遜及摩黎之實驗

光由 S 而來，以 45° 之角度射至平行玻璃板 A ，一部分之光反射後向上而去，一部分透過 A 而至 B 。試用 C, D 兩平面鏡接受此光，則由 D 反射而回之光，透過 A 後，即與由 C 折回之光經 A 反射後，同歸一途。從望遠鏡 T 中，可以見到此兩種光線互相干涉而生之條紋，



圖七〇九 一九〇五年摩黎及密勒之實驗

上爲全體之外觀，下爲取去其蓋後之狀況。

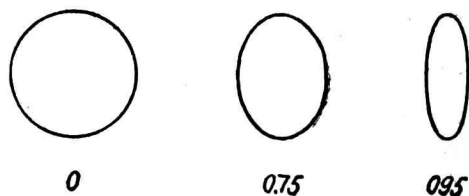
依然無干涉上之影響，實不能不令人驚異。換言之，即將地球看作對於以太靜止不動時，與此並無絲毫不同。但從別一方面着想，地球確繞太陽周圍作其公轉，並且太陽系之全體對於恆星亦有其運動。事實上雖有此項地球之運動，而光之速度並不因之變化，其理究安在？當時學界對於此項疑問，欲求其解而不得者，頗不乏人，成爲一激動最甚之中心問題。

各種欲解決此問題之計畫，一一失敗以後，直至一八九二年，乃由英國之菲次澤刺德 (Fitzgerald)，及荷蘭之羅倫徹 (H. A. Lorentz)，各不相謀，提出同一極其大膽之假定，即

凡在運動中之物體，必在其運動方向上受一定比例之短縮，如圖七一〇所示之狀況。又因邁克爾遜之實驗結果，不能表出地球運動之影響，欲由此假定說明。命 v 表地球之速度， c 表光速，則只須假定此項短縮之比例爲

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

即得。此項假說，雖極其玄妙，但在當時，較此

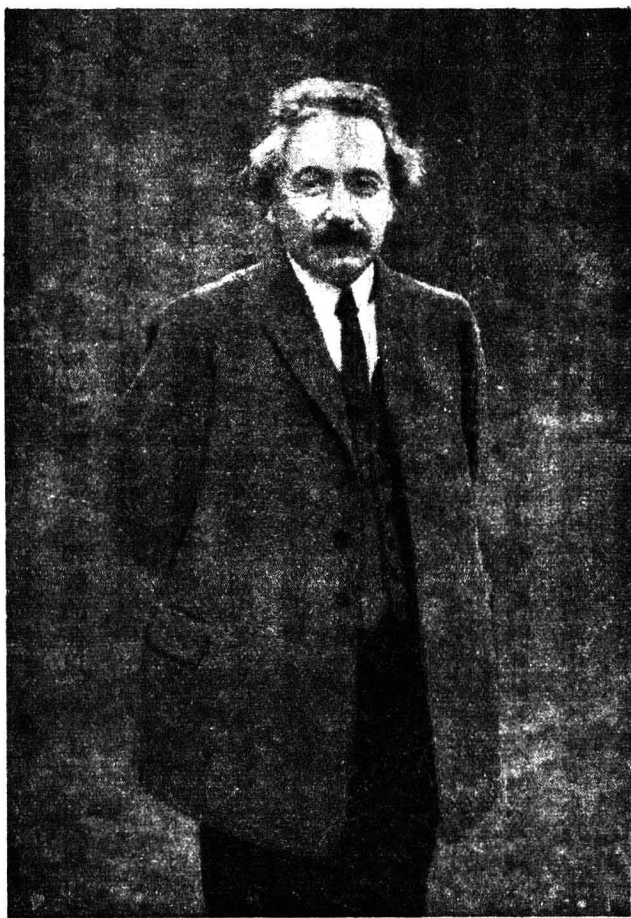


圖七一〇 菲次澤刺德及羅倫徹之短縮
球運動則縮成橢圓，數字表球速與光速之比。
若球速與光速等時，球即成爲無厚之圓板。

更爲適切之說明，實無人能想到。其後於一九〇五年，摩黎又與密勒（Miller）合力再作一遍邁克爾遜之實驗，結果仍與前同。

第二節 愛因斯坦之相對論

前節所述菲次澤刺德及羅倫徹提出之收縮假說，雖能將實驗上之事實說明，但若欲賦與理論方面之基礎，則頗爲難。當天下英才正爲此問題絞盡腦汁之時，乃有愛因斯坦（A. Einstein）者，於一九〇五年，發表其獨到之卓見，將此類難題，一掃而盡，實不能不謂爲牛頓以後之第一天才也。據其所說，在收縮假說中所謂之運動物體，係指對於以太運動者而言。此時之以太爲絕對靜止不動，卽以之作爲一切運動之絕對的基準體。歷來力學上所得關於運動（速度）之相對性，因以太之出現，似不得不就此消滅。但一方面無論由阿刺各之實驗，由邁克爾遜之實驗，由菲左之實驗，由亞立之實驗，均不能表示地球或其他物體，對於此種以太，有何種運動。愛因斯坦以爲此種結果，或由於硬行牽出以太，遂生此兩重（卽理論的及實驗的）之謬誤。由此見地，遂否認以太之實體的



圖七一一 愛因斯坦

存在，最低限度亦不認其爲運動之基準體。自否認以太以後，即提出下列之兩個原理，以作代替。即

(一) 一物體之運動速度，對於一切觀測者爲相對的。在以等速度互相運動中之觀測者之眼中，即對於一切慣性系，任何自然定律之形式均不變。

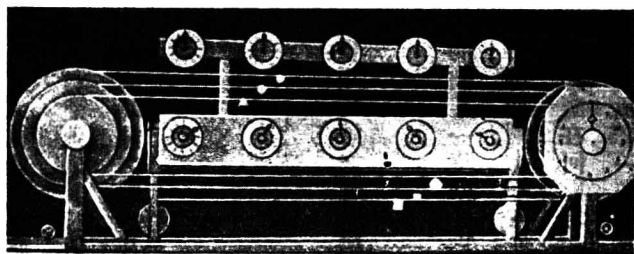
(二) 光之速度對於任何之觀測者，均取同一之值。

其第一條曰相對論假說(hypothesis of relativity)；第二條曰光速度不變假說(hypothesis of constancy of light velocity)。第一條將運動之相對性，擴張到一切自然律之上；第二條係由各種實驗所得之結果歸納而成。愛因斯坦之相對論，即建立於此兩種假說之上。

愛因斯坦之相對論之物質，在於其光速不變之原理中。按通常之物理學，如物體運動之速度爲 v ，觀測者本身之速度爲 u ，則此觀測者眼中所見物體之速度，當兩者在同一方向時，應等於 $v+u$ ，當兩者在反對之方向時，應等於 $v-u$ 。此中僅有一個例外，即 c 之值成爲無限大時，此物體之運動狀態，不隨觀測者之運動而變。但在愛因斯坦之相對論中，光之速度本爲一定之有限值，而其效用乃與上述之無限大速度相同。因之，一般速度合成之定律，亦不得不變化。於是愛因斯坦

特別製成一種特殊尺度及時計，用以測定長度及時間。此項特殊尺度及時計，隨觀測者之運動狀態而變。前述菲次澤刺德及羅倫徹之收縮假說即不外尺度之變化而已。時計之變化，亦與羅倫徹所假定之局所時 (local time) 相一致。

假使尺度及時計，果作如是變化，必將由此導出種種結論，均與吾人日常之經驗相反。因此，一般學者對於相對論，一時頗難置信。世俗之驚異，更不待言。第一愛因斯坦主張光速為極大之速度，較此更大之速度，為不可能。假定有一種現象存在，其中現出之速度，較光速猶大。則在以某一速度運動中之觀測者，必將目擊原因與結果顛倒之事實。即先見結果，然後始見其原因。此無異破壞因果律 (law of causality)，當然不能得人承認。但時計面上所示之時刻，隨觀測者而異之事實，亦為從來信奉



圖七一二 表示有相對運動之時計之關係將上列所排之時計，一律撥成同一之時刻，下列之時計則以一速度運動，其中中央之一時計雖與上列者一致，而其左右之時刻，則不相同。

絕對同時性者所不許。即各個觀測者共同想像之現在之一時刻，實際上或彼此互異，亦未可知。故所謂過去，所謂將來，決不能絕對爲之決定。又運動中之時計，其運動進行愈速，則其時針之轉動愈遲。如時計之運動速度達於光速，其時針將永不移動，雖歷永久，亦不知有時間之經過。凡此種種，決非舊力學所能想像得到之事實。

第三節 時間空間之四次世界

一九〇八年德國青年數學家閔可夫斯基 (H. Minkowski) 曾用巧妙之幾何學表示法，將愛因斯坦主張之相對論，整理成爲一完整形式。其思想如下：

用圖示法表出物體之運動時，如僅將物體所取徑路記出，決不能將某一時刻此物體究在某一點點表明。欲表明之，非將各時刻存在之物體之位置，一一記入不可。例如圖七一四所示，設想一點沿一定方向 x ，作等速度運動，當時刻 t 等於 $0, 1, 2, 3, \dots$ 之時，此點應在何處，均一一記出，如(8)更推廣至於在此等時刻中間之各位置，亦連續記出，則成爲(9)所示之一傾斜直線。在幾何