

科學圖書大庫

# 相對論圖說

譯者 張富昌

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

# 相對論圖說

徐氏基金會出版

財團 徐氏基金會  
法人

# 科學圖書大庫

## 相對論圖說

基本定價 2.00

譯者 張 富 昌  
美國密蘇里大學化學博士

出版者 財團法人徐氏基金會  
發行人 鍾 廖 權  
地 址 台北縣新店市中正路284巷3號  
電 話 917-9077~8  
電 傳 911-7618  
郵政劃撥帳戶第00157952號

承印廠 大原彩色印製有限公司  
地 址 台北市武成街35巷9號  
行政院新聞局登記證局版臺業字第3033號  
中華民國八十一年二月廿一日初版四刷

---

本書如有裝訂錯誤或缺頁敬請『刷掛』寄回調換  
ISBN 957-18-0106-2 版權所有·不許翻印

## 譯 序

愛因斯坦是舉世公認的偉大理論物理學家，受他影響的不僅是物理界，而是普及全世界的人類。由於他的質量與能量等效的理論，促成了原子彈的製造，以及今日核能的廣泛應用。

相對論在基本觀念上有極大貢獻，它打破了傳統對時間及長度的觀念，認為時間及長度都是隨着速度而改變的，愛因斯坦將長度、寬度及高度的三度空間擴展到含有時間度的四度空間，用以解釋宇宙現象，他以時空曲度觀念取代了牛頓的萬有引力觀念，能夠更準確的預測行星的軌道。

本書從頭到尾讀一遍，即能對狹義相對論及廣義相對論有概略之認識，它告訴你以太是否存在，光是否要在介質中通過，是否可以使時光倒流或進入未來的世界。

本書摒棄艱深難懂的數學，只把由數學式所導出的結論以淺顯而口語化的文字說明。極適合於一般青少年閱讀，啟發他們對自然科學的興趣。

# 目 錄

|                |     |
|----------------|-----|
| 譯 序            | 1   |
| 第一章 星 光        | 1   |
| 第二章 光及反射鏡      | 10  |
| 第三章 無法克服之困難    | 22  |
| 第四章 天才愛因斯坦     | 30  |
| 第五章 狹義相對論      | 38  |
| 第六章 長 度        | 52  |
| 第七章 時 間        | 64  |
| 第八章 時間機        | 74  |
| 第九章 質 量        | 80  |
| 第十章 $E = mc^2$ | 92  |
| 第十一章 何謂相對論     | 97  |
| 第十二章 廣義相對論     | 99  |
| 第十三章 物品之形狀     | 105 |
| 第十四章 理論之證實     | 113 |
| 第十五章 宇宙的範圍     | 119 |
| 第十六章 最後的奧秘     | 125 |
| 索 引            | 130 |

# 第一章 星 光

$E=mc^2$  這一公式已同貝多芬第5交響曲的前四章及蒙娜麗莎神秘的微笑一樣地深植人心（圖1-1），它常使人聯想起原子彈爆炸時那一大片不祥的蕈狀雲，因為它說明了能量等於質量乘以光速的平方，字母C用來表示光速，它是常數（Constant）的第一個字首。

接下來的幾章裡會解釋光如何為一“常數”，目前只要瞭解光速是非常之快（186000哩/秒）就足夠了，光速的平方即是光速乘以光速，這是個很大的數目，當它乘以即使是很小的任何質量時，都會得到非常



圖1-1 第五交響樂章

大的能量值，這說明了只有 110 磅重的鈾所製成的原子彈落在廣島時，所產生的能量就足以摧毀整個城市。

本公式寫於 20 世紀初的 1905 年，當時，包括愛因斯坦在內的任何人都不会想到它與原子彈有任何的關連。在那些時候，跟其他的物理學家一樣，愛因斯坦思考許多問題，其中一個包括本公式在內的特殊問題，就是本書往後所要討論的。

現在，爲了要瞭解本公式及整個事件產生的歷史背景，我們將問題擴大到某一時期物理學家們所關心的星光問題，特別是，“星光如何在真空的太空中穿過？”我們又如何將微細如星光而真實如原子彈的事物編織成有關連的脈絡？這故事的開始可追溯自公元後的第二世紀。



圖 1-2 托勒米，雖然他的影響極深遠，但是却没有他的傳記，甚至一般書籍中也沒提到他的理論及著作。

雖然住在希臘亞歷山卓的托勒米 (Ptolemy) 之生平甚少有人知，只知道他生長於公元後的第二世紀，但是他在天文學，地理學及數學上的成就却強烈地影響世人達 13 世紀之久。在他許多理論中最重要之首推“地球爲宇宙中心”的概念，簡言之，地球是不動的而包括行星在內的所有天體都是繞着地球運行，托勒米將其理論寫在有 13 冊之數學集錦中，今日稱之爲“Almagest”。

托勒米進一步用幾種似乎很合理的論證來支持地球不動是宇宙中心的理論，他說，因爲所有的物體墜落於宇宙的中心（亞里斯多德的主張）以及所有墜落之物體似乎都掉至位於中心之地球，所以地球必定是宇宙的中心，更

進一步說，如果地球是轉動的話，那麼垂直上拋之物體就不會掉落在原來的位址，而事實上却是掉回原來位址。因而地球必定是完全靜止的，而不是某些人所說的每 24 小時轉動一次，這種托勒米理論在中世紀時成為無懈可擊的定論。

和希臘之傳統一致，托勒米主張行星在天際沿着圓形的路線運行以肯定對稱及調和之概念。爲了要解釋每個人都已觀察到的現象，就是行星在夜晚的天空有時向左有時向右移動，托勒米創造了複雜的小循環（epicycle）和均輪（deferent）理論。他想像行星在一被稱為小循環（或周轉圓）的圓上運行，而小循環的中心又環繞着地球外被稱為均輪的軌道上運行（圖 1-3），隨後的幾世紀裡，觀測技術日益精確，小循環和均輪理論是愈來愈難被接受了。

托勒米宇宙論中最後敘述行星與地球間的距離較行星與恒星間的距離爲近，他相信恒星是附屬於一個大的透明球狀天體內，天體外又有另一個天體，如此一個一個的天體相鄰接，末端之天體稱為原動機，它是其他天體運行的原動力。

在一個受宗教及聖經支配的世界裡，托勒米的理論帶來了安全感及舒適感，人是天地萬物的中心，宇宙只是個模糊不清淡淡的影子而已，人們滿足於現狀連發問的欲望都消失了，在中世紀時，聖經以及古代史的教師們偶而會提供些似是而非的答案，至少在當時的人們已感到滿意了。

1543 年一位名叫哥白尼（Copernicus）的波蘭僧侶，首先打破了十三世紀以來自以爲是的滿足（圖 1-4）那年

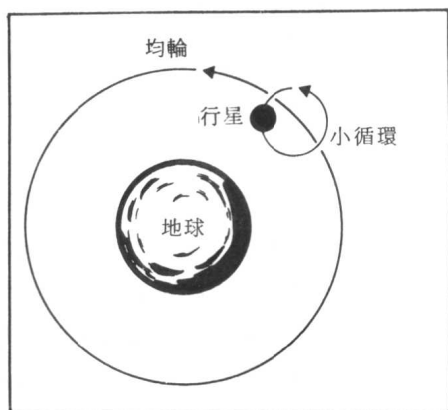


圖 1-3 小循環及均輪系，爲解釋行星對於遠處恒星時前後漂移的現象，所發明的複雜理論。



圖 1-4 哥白尼是個聰慧的學者，直到去世時才發表他的著作，以免受到教堂譴責，他的大作“天體運行”却從 1616 年至 1835 年被教會查禁。

，他出版了一本“天體運行”的書，它指出包括地球在內的所有行星都是環繞着靜止的太陽在運行，地球除了以自己為軸線自轉外尚環繞着太陽作圓形路線的公轉。在建立了太陽系的觀念後，哥白尼成功地消除了以小循環理論難以說明的許多地方。

哥白尼於 1473 年生於波蘭東部，他上過好幾所大學，包括 Cracow 大學及帕度亞（Padua）大學，最後得到教會法之博士學位，但是他涉獵非常之廣，精於數學，天文學，醫學以及神學，由於他在天文學上的聲望日增，1514 年他被邀成為拉特蘭教堂評議會的一員，它是由教會掌權人士組成。負責曆法的改善及其他事

項。

當哥白尼對天文學作進一步探討時，托勒米的宇宙學說愈來愈不能令他滿意，由於天文學觀測準確度的增加，已經無法用托勒米的學說準確地計算天體未來移動的位置，哥白尼最後的結論是一定還有較簡單的宇宙體系，他的研究顯示甚至希臘人都早已有太陽是宇宙中心的概念，哥白尼將此種假設應用在他的計算裡，雖然這不是個更簡單的宇宙體系，但其結果却完全吻合。

他的宇宙系缺乏簡單性的部份理由是他保留了行星是繞着一個規律的圓形軌道運行的觀念。雖然確信理論的正確性，因為害怕教會權威人

士的反對，哥白尼很明智的沒有將他的學說立即出版。一直到他去世的那天，1543年5月24日，“天體運行”一書才公諸於世。

九十年後的1633年，哥白尼學說的真實性被伽利略（Galilei）（圖1-5）證實，他是第一個使用望遠鏡觀測天體的天文學家。伽利略證實了地球是環繞着太陽轉動，它不是宇宙的中心。爲了怕激怒教會，伽利略寫了一本“世界二大體系的對話錄—托勒米及哥白尼”。書中有三人作曖昧性的對話，一人支持亞里斯多德的理論，另一人支持哥白尼，而第三人則爲教會的教義辯護。起初，本書獲得廣泛的好評，但是，數個月後，在羅馬的權威聖職人員宣佈本書事實上是支持哥白尼觀點的，著者只是故做曖昧的姿態而已，於是，伽利略被迫放棄他的發現，發誓絕不再以任何方式教授或討論哥白尼的學說，最後，經過可怕的宗教法庭審理後，他被捕入獄，在牢中受了八年的\*苦難。

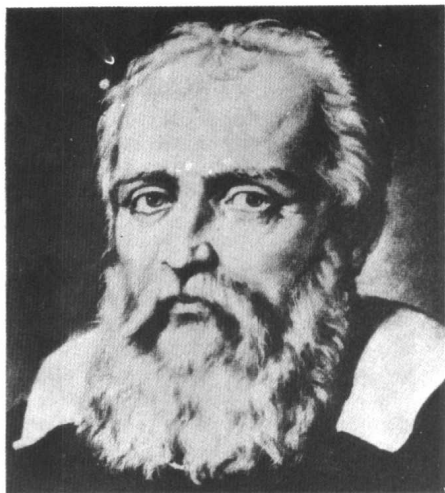


圖 1-5 伽利略是第一位用望遠鏡的科學家，他有許多發現，包括月亮上的坑洞及銀河是由百萬顆以上恒星所組成的事實。



圖 1-6 牛頓，對科學的研究是如此的廣泛與徹底，幾乎是另一位亞里斯多德。他的影響是如此的深遠，以致於在他死後一百年內，沒有人在他原先研究過的題目上有重要創見。



圖 1-7 克卜勒，是出名的數學家，雖然他對占星術比天文學更感興趣，但他却發現了行星運動律。

哥白尼本人感到猶豫的理論已經使人們對宇宙的觀念有了二個主要的改變。一是，即使地球不停地在移動，恒星仍然維持其固定之位置，爲了便於解釋，哥白尼加大了宇宙的範圍，他正確的宣稱，因爲恒星距離我們太遠了，因此位置上些許的改變就無法測得到。其次，如果地球在移動，那麼亞里斯多德所說的所有的物體都墜落於宇宙中心的理論就是錯誤的了。

正確的答案被牛頓解開了，他最後寫出了控制墜落物體的定律，即是萬有引力之概念（圖 1-6）。哥白尼這種向古代權威挑戰的理論在今日稱爲

“哥白尼公轉”。

早在 17 世紀，伽利略宣佈他在天文學上劃時代發現的同時，天文學家兼占星家的克卜勒（Kepler）圖 1-7 測得行星環繞太陽運行的軌道是橢圓形而不是圓形（圖 1-8）至此對行星運動才算能真正的瞭解。不久，太陽在宇宙中也失去了它高高在上的地位，因爲天文學家發現太陽只不過是夜空中無數恒星中的一顆而已。

19 世紀時，除了太陽被認爲只不過是一顆恒星外，尚發現太陽與其他恒星間亦相對的移動。事實上，每一種天體，不論是恒星，行星或彗星都在宇宙中向各方向移動，宇宙中絕對沒有任何物體是靜止的，每

\* 1980 年 11 月，教宗保祿二世下令重審伽利略一案，結果尚未公佈。



圖 1-8 克卜勒的行星運動第一律說；各行星環繞着以太陽為中心的橢圓形軌道運行。

一物體都相對於另一物體在移動，要瞭解這種現象還得費一番工夫（圖 1-9）。

1800 年楊格（Young）及 1814 年夫瑞乃（Fresnel）提供了令人信服的證據，顯示光是由波組成的；此波與我們在靜止的湖面投下石頭所產生的波不同。數年後，一個名叫法拉第（Faraday）的傑出實驗物理學家用力線描述在磁場影響下的電場，以及在電場影響下的磁場（圖 1-10）。



圖 1-9



圖 1-10 法拉第，雖然他受的正規教育不多，但他可能是世上最偉大的實驗天才，當他研究電學時發展的“場概念”，後來成為愛因斯坦相對論的基礎。



圖 1-11 麥克斯韋，雖然不太出名，但所有物理學家都知道他。他寫出法拉第所發現的電場之方程式，因而建立了場論，成為物理學上很重要的一分枝。事實上它是如此的重要，以致於愛因斯坦生命中最後四十年都專注於場論上。

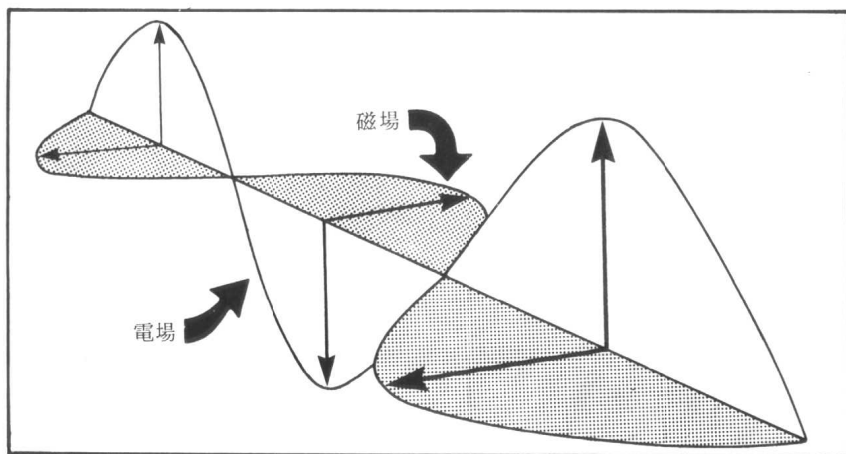


圖 1-12 電磁波是電場以 90 度通過磁場

在1862年，與牛頓同樣有名的麥克斯韋（Maxwell）將光之性質延伸為電磁理論（圖1-11），依照這理論，光含有一電場（圖1-12）而以90度的直角穿過一磁場。假如這是真的，光如何能通過空無一物的太空呢？如果將一個球投入靜止的湖中，同時有一個瓶子在附近漂浮，可以看到波從撞擊的地方四散開來，通過瓶子時使瓶子上下的擺動，然而瓶子仍然停留在湖中原來的相對位置（圖1-13），雖然在瓶子附近的水會上下的擺動，但是水本身並不會從撞擊的地方向別處移動，真正移動的是波而不是水。爲了要看波，我們必須觀察波所通過像水一樣的某些介質，否則“波”就看不到了，19世紀的科學家知道如果要看到波，一定要有介質，同時也瞭解在外太空中空無一物，是真空的，因爲星光一定要有介質才能通過，於是他們接受了麥克斯韋的建議，使古代希臘人認爲太空中有“以太”的觀念復甦，並且設法去發現它。

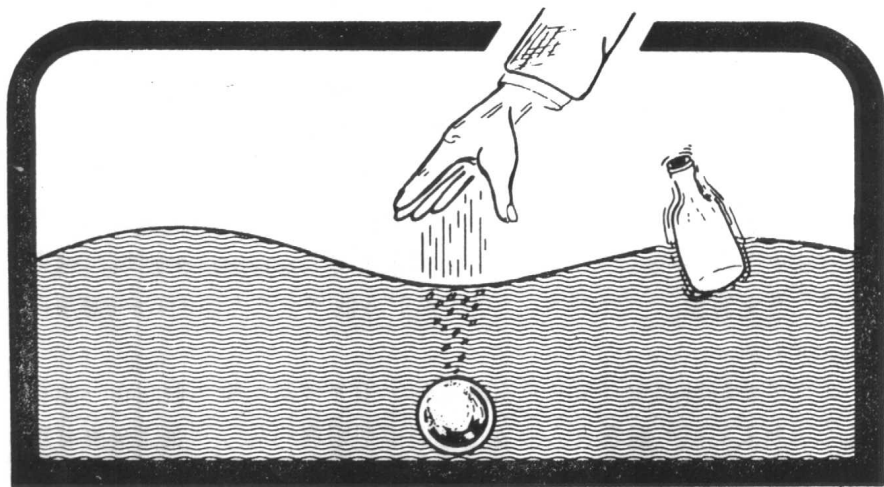


圖 1-13 十九世紀的科學家相信波必須在介質中通過。

## 第二章 光及反射鏡

以太的概念是爲了解釋星光如何在空無一物的太空中穿過而建立的，以太被認爲充滿了整個太空以及能穿透所有的物質，否則光如何能通過空虛的太空以及固態的玻璃片？以太也被認爲當所有的天體移動通過時是完全靜止的，本質上，19 世紀的科學家看到的宇宙就如同魚看到的海洋一樣。在魚的眼中，其他的生物在似乎是靜止的水中移動，同樣的，在科學家的眼中，天體似乎是在靜止的以太中（圖 2-1）移動。行星，彗星，恒星，流星都在完全靜止的以太中倉促地穿過。

科學家更進一步推斷，如果可以測定地球在靜止的以太中移動的速度，人們就可求得地球相對於整個宇宙的移動速度了，測得地球這種“絕對運動”後，人類即可證實以太是的確存在的。

1879 年一位名叫邁克耳孫（Michelson）的年輕海軍軍官（圖 2-2）展開實驗，斷續的進行了八年，而在同當代一流的化學家莫雷（Morley）合作時達到了高潮（圖 2-3），他們合作的成果稱爲“邁克耳孫—莫雷實驗”，於 1887 年在美國俄亥俄州克利夫蘭的 Case 應用科學學院完成。

爲了要瞭解邁克耳孫—莫雷的實驗，須先做個比喻，假想在一個有風的晴朗天氣裡，觀看友人無線電控制模型飛機的飛行。在完全沒有風的情況下，飛機每小時速度爲 10 英哩，現在風是由東吹向西，當然這會影響飛機的速度。如果飛機向東逆風飛行時，速度小於每小時 10 哩，而飛機向西順風飛行時，速度當然大於每小時 10 哩。

例如，風速是每小時 6 哩，向東逆風飛行，則飛機的時速是 4 哩。向西順風飛行，則飛機的時速變成 16 哩。如果飛機先向東飛 2 哩再回

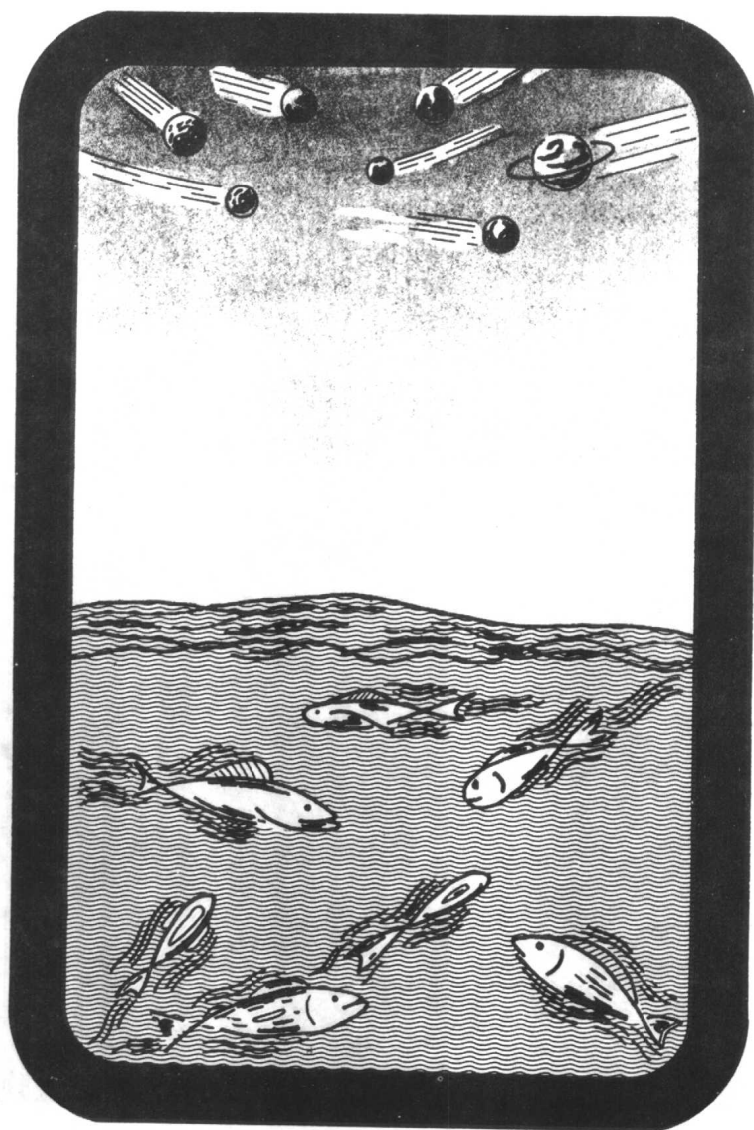


圖 2-1 十九世紀的科學家們認為天體在以太中運動就如同魚感到自己在水中的游動一樣。

頭向西飛2哩，則所須的時間是 $5/8$ 小時或者 $37\frac{1}{2}$ 分鐘（圖2-4）。

假設風繼續由東向西吹，飛機則向北先飛2哩再轉頭向南飛2哩，則發現全程正好須要半小時（圖2-5），飛機向北或向南飛行的速度都是每小時8哩，這是在此條件下飛機所能達到的最大速度，因為風向是試圖將飛機朝西吹，要先抵銷這一部份的阻力。

上述實驗的重點是發現飛機在空氣流中先逆向再正向飛行所需的時間（ $5/8$ 小時）比橫切氣流再調頭飛回原地所需的時間（ $1/2$ 小時）要長。雖然邁克耳孫與莫雷在當時從未聽過有無線電控制之模型飛機，但是他們却使用類似的裝置來進行實驗，在真正敘述他們所做的實驗以前

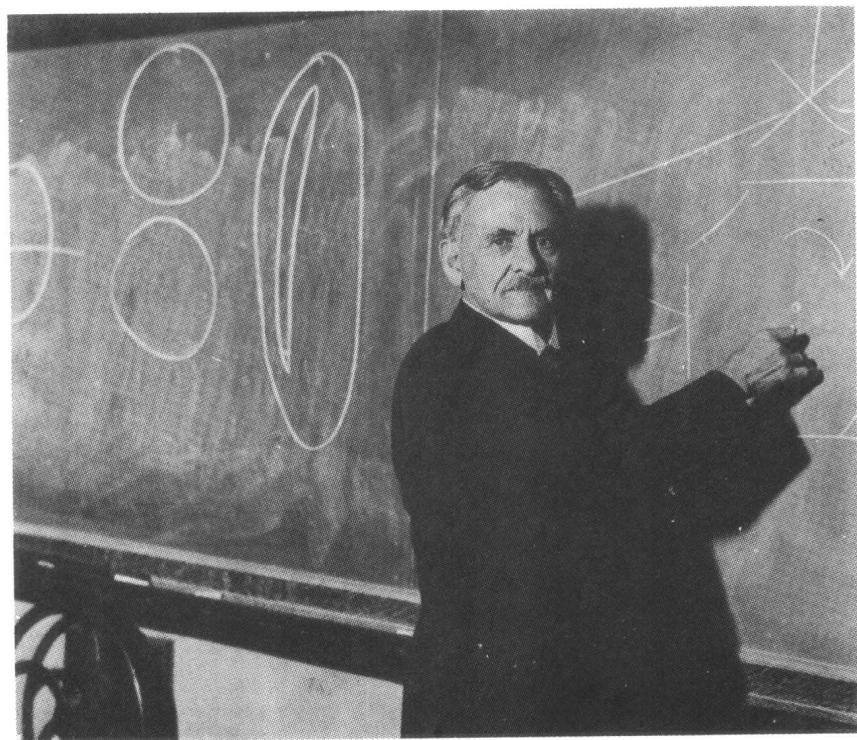


圖2-2 邁克耳孫出生於普魯士，成長於內華達州及加州，畢業於美國海軍學院，是第一個獲得諾貝爾科學獎的美國人。