

愛因斯坦

創造

相對論的經過

蘇賢錫

國立臺灣師範大學物理系

衆已週知，當1922年愛因斯坦（Albert Einstein）獲頒諾貝爾物理獎時，他未能去斯德哥爾摩參加當年12月的頒獎典禮，因為他早已答應在那個月份去訪問日本。1922年12月14日，愛因斯坦在日本京都大學以「我創造相對論的經過」為題，發表演講。這是應京都大學哲學教授西田的邀請所作的一場即席演說，聽衆包括學生與教職員。愛因斯坦本人沒有預備講稿。他是用德文演講的，當場由石原擔任翻譯。石原是日本東北大學物理系教授，在1912～1914年期間曾經師事索末菲爾（Arnold Sommerfeld）和愛因斯坦。石原細心整理演講筆記，1923年把它以日文發表在月刊雜誌「改造」上。石原的筆記是唯一留存下來的愛因斯坦演講記錄。最近小河把日文筆記的一部分譯成英文，發表在「日本科學史研究會誌」上。

然而，國際物理學界人士不容易獲得小河的譯文與石原的早期筆記。雖然如此，愛因斯坦本人早期對自己的構想之出發點所作的說明，目前顯然在歷史上具有重大意義。因此，日本茨木縣日立公司研究員小野把愛因斯坦的整個講詞從石

原的日文重新譯成英文。最近有人爭論，1905年愛因斯坦提出特殊相對論時，他是否知道邁克生-莫雷實驗（Michelson-Morley experiment）？愛因斯坦的這篇講詞顯然有助於使人明白其真相，同時，這篇講詞也可以使人更加明白愛因斯坦對相對論的許多看法。以下是全部講詞。

※ ※ ※

要說明我是怎樣到達相對論的概念，這並不容易，因為有很多隱藏著的錯綜複雜之事來激發我的思想，而且在概念發展的不同階段，每一個思想的衝擊也不同。現在我不打算把它們全部說出來，也不去提到我在相對論方面所寫的論文。我要簡單敘述，和這個問題有直接關係的我的思想的發展經過。

17年多以前，我第一次想到要開發相對論。雖然我不能正確地說，這種想法來自何處，可是我確信它是包含在運動物體的光學性質問題中。光在以太（ether）的大海中傳播，而地球在以太中運動。換言之，以太和地球做相對運動。我曾試著在物理文獻中尋找以太流動的具體實驗證據，卻是失敗了。

然後，我自己想去證明以太對地球的相對運動，換言之，地球的運動。當我第一次想到這個問題時，我沒有懷疑以太的存在或地球在以太中的運動。我想過運用兩個熱電偶來進行下列實驗。放幾面平面鏡，使來自一個光源的光線被反射到兩個不同的方向；一個方向與地球運動方向平行，另外一個方向與地球運動的方向反向平行。如果我們假設被反射的二光線之間有能量差，我們可以利用兩個溫差電偶來測量所產生的熱之差額。雖然這個實驗的想法和邁克生的很相似，但是我沒有嘗試這個實驗。

我在學生時代思考這個問題時，我獲悉邁克生實驗的奇怪結果。不久，我得到結論，如果我們承認邁克生的結果是事實，那麼，地球對以太

做相對運動這種概念是不對的。這樣，我踏上了特殊相對論的第一條路。從此以後，我開始相信，雖然地球繞著太陽運行，地球的運動不能用任何光學實驗來偵測。

1895年，我有機會閱讀洛倫茲（Lorentz）的專文。他在第一級近似計算中，討論並且完全解決電動力學的問題，換言之，他略去不計比 v/c 更高次的項，其中 v 為運動物體的速度，而 c 為光速。我假設洛倫茲的電子運動方程式，在運動物體的參考座標中和在真空的參考座標中都可以成立（這正如洛倫茲原先所討論者），然後想去討論菲索（Fizeau）的實驗。當時，我深信馬克斯威爾（Maxwell）和洛倫茲的電動力學方程式是對的。而且，假設這些方程式在運動物體的參考座標中可以成立，其結果則導致光速不變的觀念，但是這種觀念與力學所用的速度加法定則發生矛盾。

這兩個觀念為什麼互相矛盾？我知道這個問題實在很難解決。我幾乎花了一年的時間，嘗試修改洛倫茲的概念，以便解決這個問題，卻是沒有成功。

在伯恩（Bern）的一位朋友貝索（Michele Besso）偶然把我救出來。我帶這個問題去拜訪他的那一天，天氣很好。我開始和他交談如下：「最近我在研究一個難題。今天，我來這裏和你一起向這問題進攻」。我們討論這個問題的每一個細節。然後，忽然間我抓住了這個問題的關鍵所在。第二天我再去拜訪他，連招呼也沒有打就說：「謝謝你，那個問題我完全解決了」。時間觀念的分析就是我的解答。時間不能下以絕對的定義，而時間和信號速度之間有不可分隔的關係。利用這個新觀念，我首次能夠完全解決所有的困難。

在五個星期中，特殊相對論完成了。我沒有懷疑，從哲學觀點來看，新理論是合理的。同時

，我發現新理論和馬赫（Ernst Mach）的論點一致。在一般相對論中，馬赫的論點被合併在內，相反地，在特殊相對論中，馬赫的分析只有間接的暗示。

這就是我創造特殊相對論的經過。

二年以後，也就是1907年，我首先想到一般相對論。這是突然想起來的。我對特殊相對論感到不滿意，因為它限制在互相以等速度作相對運動的參考座標而不能適用在作一般運動的參考座標中。我努力去除這個限制，並且希望能用公式來描述一般問題。

1907年，斯塔克（Johannes Stark）要我寫一篇關於特殊相對論的專文，要發表在「放射能」期刊上。當我在寫那篇專文時，我發現除了引力定律以外，所有的定律都可以在特殊相對論的架構上來討論。我希望找出其原因，但是我不能輕易達到這個目標。

最不能令人滿意的一點如下：雖然慣性和能量之間的關係已經由特殊相對論作明確的表示，但是慣性和重量之間的關係，或重力場的能量，沒有清楚的說明。我覺得這個問題不能在特殊相對論的架構內來解決。

有一天，忽然間突破性的事情發生了。在伯恩專利局，我坐在椅中，突然我想到一件事：如果一個人自由落下，他對自己的重量一定沒有感覺。我嚇了一跳。這個簡單的思維實驗給我很深刻的印象。這個使我踏上重力理論的路。我繼續思索：落下的人被加速，那麼，他所感受的，他所判斷的，都是發生在加速參考座標中。我決定要把相對論推廣到有加速度的參考座標上。我覺得一定要這樣做才能同時解決重力的問題。落下的人對自己的重量沒有感覺，因為在他的參考座標中有新的重力場，而這重力場抵消了地球的重力場。在加速參考座標中，我們需要新的重力場。

當時，我不能完全解決這個問題。再花了八

年的時間，我終於得到完全的解答。在這段時間，我只能獲得這個問題的部分答案。

互相之間作加速度運動的系統是等效，馬赫是堅持這種想法的人。這種想法和歐幾里得幾何學發生矛盾，因為歐幾里得幾何學不能應用在加速參考座標中。不參考幾何學而描述物理定律，好像是不用語言來描述我們的思想一樣。爲了表達我們自己，我們需要語言。爲了描述我們的問題，我們應該尋找什麼呢？這個問題一直沒有解決，等到 1912 年，我才想到高斯（Karl Friedrich Gauss）的表面論可能是解開這個秘密的答案。我發現高斯的表面座標在解答這個問題上，具有非常的意義。直到這時，我才知道李曼（Bernhard Riemann，係高斯的學生）深入討論過幾何學的基礎。我偶然想起蓋色（Carl Friedrich Geiser）在我的學生時代（在蘇黎克）講解幾何學時，曾經討論過高斯理論。我發現幾何學的基礎在這個問題上有深遠的物理意義。

當我從布拉格回到蘇黎克時，我的數學家朋友格羅斯曼（Marcel Grossman）在等著我。以前我在伯恩專利局工作而數學文獻不容易入手時，他曾經提供數學資料給我，幫助過我。首先他教給我李奇（Curbastro Gregorio Ricci）的研究成果，後來教我李曼的理論。我和他討論過是否可利用李曼理論，亦即利用線段不變性的觀念，來解決這個問題。1913 年，我們就這個題目寫了一篇論文，雖然我們不能獲得正確的重

力方程式。我進一步研究李曼方程式，結果只是找到了許多無法達成預期結果的理由而已。

經過兩年的努力後，我發現在我的計算中犯了錯誤。我回到原始利用不變性理論所建立的方程式，並設法重建正確的方程式。兩個星期以後，正確的方程式出現在我的面前！

關於 1915 年以後的我的研究，我只願意談到宇宙論的問題。這是關於宇宙的幾何學和時間的問題。這個問題的基礎來自一般相對論的邊界條件和馬赫所討論的慣性問題。雖然我並不完全明白馬赫對慣性的看法，但是他對我的思維有莫大的影響。

我把不變性的觀念應用在重力方程式的邊界條件來解決宇宙論的問題。最後，我認爲宇宙是一個封閉系統，而把邊界除去。結果，慣性變成交互作用物質的特性，而如果沒有其他物質來發生交互作用，慣性應該消失。利用這個觀念，我相信能從認識論的立場來充分瞭解一般相對論。

以上就是我創造相對論的簡短歷史過程。

（取材自

PHYSICS TODAY/AUGUST 1982）