

學術期刊

第 012 期

~永恆~

本期內容：

郭榮升老師專訪
相對論簡介

郭榮升老師專訪

為什麼老師當初高中唸大學選擇物理系?有沒有什麼特別的原因?

因為從小比較喜歡數理，不喜歡背，但不代表我不喜歡文科，我很喜歡“活的”文史，因為可以知古人如何思考以及作遨遊世界的美夢，化學因為要背好多東西，而數學總覺得一直在解題、計算，所以我高中時較不怎麼喜歡。在唸物理的過程中雖然用了很多的數學，但數學對我來說就像是一個工具，可以訓練我們的邏輯以及運算能力，可惜的是很多人都把物理當數學唸。物理會用到那麼多數學，是因為在物理中的系統在某一種狀態之下，可以用一些簡單的數學運算（運算符號）來代表很多物理變數，讓它變的簡潔許多；如果能把物理的想法放進數學運算裡面，而數學解出的結果，是一種可以信賴的結果。學物理的樂趣在於你可以有些不同的想法、去天馬行空的想，都是很有意義的，（雖然很多都是無法實現的）。我因為喜歡這樣而選擇唸物理，然後越唸越覺得它有趣。

那當時老師大學唸物理有特別喜歡某一科、或者就打算要研究什麼?又為什麼決定出國唸研究所?

當時是公費生，畢業後就有一個穩定的工作，所以沒想說要唸研究所或是出國去唸書。也不會考慮到未來要做什麼領域，也沒有說特別喜歡哪一科，就是想說將書唸好然後畢業。那時候一定要實習一年才算畢業，實習完當完兵就繼續留下來教書了。在國中教時，因為教的方法跟教材都有比較固定的模式，可能體型跟長相關係吧，有時學校會要求我接一些行政職，不過個人比較不喜歡。剛好在那個時間，周建和老師回物理系教書，自己發覺蠻喜歡他的工作及生活模式，而當時物理系剛好有一個助教的缺我就很幸運的進入物理系。當時系上的老師大部分是國外回來，他們在思考邏輯方面以及宏觀見識方面給我蠻大的刺激，讓我覺得原來物理學起來是那麼美好、快樂。所以就以出國去唸書為主要目標。那時把國中老師辭掉，或許有人會認為放棄工作很可惜。但我覺得人一輩子當你想要做什麼的時候，就給自己一個機會，那當然這個機會裡面，就要看你怎麼去把握跟努力，只要不要留下遺憾就好。

老師去國外是做高能物理，那當初為什麼選擇做高能物理？在做這個當中有什麼

好玩或者辛苦的地方?

其實我當初要出國前，針對著當時很熱門的高溫超導、光電、雷射、固態方面做一些準備。到了國外的時候，也曾經對這些領域嘗試去瞭解，也曾經跟一位從事雷射導彈系統研究的老師學習過，但因為我非美籍而沒有辦法繼續跟著他到亞岡國家實驗室（Argonne National Laboratory）做實驗。剛好有另一位老師邀請我去他參與的實驗室瞭解。當時在聽他介紹研究的領域及方向時，幾乎都不懂，很好奇那是什麼樣的物理，好想嘗試學看看，便加入。當他帶我去費米實驗室（Fermilab）參觀時，碰到了 1988 年的諾貝爾得主，Leon Lederman，他那時是實驗室的領導人，也是我老闆的指導教授，我發現做高能物理，好像有蠻多的挑戰，感覺蠻不錯的。因為是做實驗的，很多儀器無法從市面上購得，需要自己去改裝、製作，從儀器的設計製造以及到訊號讀取分析，都必須了解更深入的電磁學及電子電路原理，花不少時間在這個部分上，但覺得蠻有趣的。記得一開始老闆要求我做出一個分析儀器，開始從電子電路的書中找出各個元件、線路的功用，再畫一個配備圖出來，讓老闆修改後洗出線路板，接著黏元件、測試，就這樣慢慢學。而 Leon 有時候在聊天中，他會從經驗中提出一些很奇怪的點子，會從不同的觀點來看同一件事，我也從中學習如何從不同觀點看，不同的觀點會有不同的結果（相對論嘍），每天就這樣學，有收穫，覺得學的很快樂。

辛苦的地方，就如上所說，第一個我做的 module，要做出來之前，會覺得完全都沒有頭緒、進度；而剛開始到 Fermi 時是最辛苦的，1980 幾年代 Fermilab 已經全部電腦化，要利用程式操控所有儀器，當時在台灣電腦不發達，出國前沒學過任何程式，但實驗組裡的人以為我會，要我在短時間內熟悉所有監控、數據擷取、以及分析軟體。因為當偵測到訊號，要寫程式去數位化編碼並紀錄，才能讓電腦辨別。一次就是幾千個訊號要處理，所有的測試都要自己寫，花很多時間在這裡，經常半夜沒睡，有時候做到一半躺在地上睡著醒來繼續做，真的很累。

而當時一般做高能實驗的學生要完整學到實驗過程而拿到博士的話大概都是七年到九年之間，大家在那裡學時都是抱著同樣一個想法：“一畢業，就再也無法參加、或者在這麼好的環境下做想做的事。”因為全世界最好的資源都在這裡，所以有些人一畢業馬上申請博士後研究繼續留著。在那裡做研究，有快樂、歡樂、也有痛苦，但現在、回憶起來是蠻快樂的、都是好玩的。

那另外老師也有在做流體力學，那是有什麼特別的原因嗎？

要培養一個做高能實驗物理能力的學生，差不多需要三、四年的時間，做高能物理的人必須要抱持著一個心態“我不急著畢業、我是要來學東西的”，在本校中我都是教一些怎麼去做高能物理的基本能力，之後再到他校去唸博士（現在本系有博班、若同學有意願我還是會指導的），也因此每一年幾乎都歷代單傳。幾年前我去西密西根大學的時候，跟一個在那裡教書的老師聊了一下，知道他是物理博士然後到工程學院去當教授，他用物理的方法來分析工程學院需要的東西。我認為物理系的學生不一定要將自己侷限在物理界，因為往後整個世界幾乎都是在跨領域中，我在國外所碰到電機、資訊工程、軟體工程的教授，或者是在那裡

科技產業工作的人很多都擁有物理背景，到國外去再轉成其他方面。在國外、其實工學院裡面任何一系都需要物理的，像機械、電機、訊號處理等等，很多工程都是欠缺不了物理，所以我想其實我們也可以來嘗試一些新的領域。剛好碰到你們學長姐，有興趣也喜歡做軟體模擬，就開始從事此方面的研究。過程中，發現學工程與學物理的想法有時不相同，模擬過程中所考慮的機制會不一樣，我們可以用物理的想法去改變它原來的機制，這就是物理可以踩出去的一個出發點，對同學們來說、看東西比較會比較廣一點、比較長遠一點。

那關於老師還有其他跟產業合作，那做這個一開始有沒有什麼比較困難的地方？因為高能物理感覺比較像純物理，那轉到產業方面可能會有什麼困難？

雖說高能比較像是純物理，不過我是做高能物理實驗，幾乎每一樣都要接觸一些。舉例來說，那時我用中央研究院的身分在費米實驗室做博士後研究，就是專門在負責設計將訊號快速讀出與分析；另外同時負責整個架構的強韌度及抗輻射性，那就跟機械及物性有關，也一定要去了解這些出問題的地方。另外在協助廠商一些探測儀器製作時，無形中就了解產業界的需要及強弱項。在接觸國內外的廠商時，我覺得國內的做法是投入研發後儘可能在短期內可以回收；而國外的想法是，今天投入了以後把它當成是長期的投資，往後新產品才有創新及主導性。而我也曾到科技公司當顧問去幫他們解決一些問題，因此對產業界的營運、人才架構跟做法，大概也懂一些。在高師我一直認為產學合作可使學生學到很多東西，也讓業界知道高師大不是只有“師大”。有時候碰到很多業界老闆說“高師大不是培養老師而已嗎？”，三條線，因為高師大跟產業界的結合較少，對各位往後的就業而言好像有點不公平。因此我個人覺得目前產學合作的目的，是要跟外面業界說我們也有辦法做、我們的學生也有能力接這種 case，這個比較重要，那說要做到多厲害又是另外一回事。不過還有一個問題，去接產學合作，那有沒有人願意去做？當然還是要老師們帶著學生做，讓你們從中去學，甚至趁機會將同學推銷出去，這樣才有意義。

那您覺得物理系畢業生的出路可以有哪一些？

畢業後的出路很廣，讀高師大物理系不一定就是要當老師，只是你們可能對自己的信心不夠，或許你們會懷疑我們除了課堂上的力學、熱學、光學、電磁學等…好像沒有學到可以學以致用的東西。但是許多業界就是缺這樣的人才，他們需要基礎科學的人才，因為已經有許多專業領域的實作人才，他們培養的是技術和工作，而我們物理系培養的是思考，從根本解決問題，進而改善目前技術所面對的困境。因此像物理系這樣出身的有許多機會，研究如此，跨領域也是。舉個簡單的實例：有家賣高檔測試儀器的廠商，要我推薦學生到公司上班當銷售員（好聽一點叫作市場工程師，薪水還蠻高的），需要的人員要懂儀器的運作原理，如果一台儀器 40 萬，業務員不了解其原理，也許只能講出其 10 萬的價值，如果客戶一問便不知所措，那就……。總之，給自己一個機會做自己想做的事，勇敢去做，現在所學的基礎，說不定在你畢業後，某個場合當面臨到問題時，或許會回想起你曾經在學習中讀過，可以好好的釐清甚至於用來解決問題。

那您覺得物理系學生大學四年應該要具備怎樣的能力?

在大學裡念了四年的物理，除了需具備其專業知識外，最需要的還有語言及溝通能力，畢竟一踏出學校，進到社會去面對事物及人，就是語言及溝通上的考驗，更何況現在國際化正大力推展，面對的是語言跟宏觀。另外，還有思考邏輯的能力，念書時，不要想解題目解完就算了，思考題目給你的狀況與情境，往後現實上還會碰到各種情況，才能利用所學的邏輯去思考解決它，學習多方面思考，觸類旁通。

關於國內外物理研究所的差別?

沒有正確的答案!近年來台灣的研究所以研究能量大增，其實國內外的差異減少，但在大量發展之下是否需要考量到精緻化? 當你到國內一個研究所，可能會很跟著大家要快速完成研究做出結果，這時可能尚須考量如何將學來的硬知識消化吸收，變成真正自己內在的軟知識，往後才能更上一層樓。一般國內研究所比較會急於成果，會把研究的部分學習的很專精，但對其他領域的碰觸機會就會減少，有好有壞很難定論。而到國外研究所學習也有利弊，因為去的國外大學，是一個大熔爐，學生來自世界各地，在這樣的環境刺激下，當在討論同一件事時，會接觸不同地方背景、不同出發觀點、不同的思考邏輯，眼界自然就廣，這麼一來你也學到如何以不同的思考方式。另外有個不同的地方是解決問題，國內往往會給一個問題，只要要用你所學的知識或相關資訊就可以迎刃而解，而在國外往往會給個狀況，必須運用其他方面所學來配合解決它，往往一個問題得翻好幾本不同領域的書。當然，國內也會有老師會給學生這樣的訓練，但是多少還是會牽涉的時間上的壓迫，就較少有如此訓練的機會。這就是我一再鼓勵同學找機會出去看看，不是觀光，去個半年一年，看看國外的環境以及用何種心態在學習，如何對自己未來幾十年要如何度過的付出，那你就可以自己回答國內外的差異了。

給物理系學生的建議

或許在學習或考試過程中受到挫折，被老師當掉，那就再學一次吧!也許第二次你會更加了解。隨著年代在轉變，隨機應變，不管你當初為何選念高師大物理系、或許是一些無可奈何的想法都無妨。思考當你畢業後你要如何走下去，儘管要跨別的領域或嘗試新事物都行，給自己一個機會嘗試，選擇好後盡力完成它，不要花額外的時間走你以後不會走的路，"敢一點"。

◎本文感謝 洪郁淳、薛安智 將訪問內容擬成初稿

◎特別感謝 郭榮升老師 接受訪問 以及對內容做最後修訂

相對論簡介

撰文 馮維祥

相對論的創立至今也有百年了，對大多數一般民眾而言這似乎是難以理解的理論，只不過是因為違反了人們的直覺常識(例如：時間延遲、長度收縮...等)。這也難怪，當狹義相對論在 1905 年剛問世時可是引起了德國一批科學家聯署反對愛因斯坦所發表的相對論理論。諷刺的是，那批科學家好像沒有人真正看過愛因斯坦的理論，以致於愛因斯坦說：「為什麼要一百個反對相對論的科學家？如果相對論是錯的只要一個就夠了」。上述只是想說明就以常識而言，一般人和科學家都是一樣的，不過如果看過愛因斯坦的論述，就能明白這些結果的推論邏輯是很嚴密的。

在 1905 年相對論的原始論文並不叫相對論^[1]，而是《論運動物體的電動力學》^[2]，由此顯示狹義相對論的創立，馬克斯威爾^[3]的電磁理論扮演了相當重要的關鍵。由馬克斯威爾方程式所導出的電磁場波動方程式可得電磁波在真空中的傳播速率為

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (1)$$

其中 ϵ_0 ：真空介電係數(vacuum permittivity)； μ_0 ：真空磁導率(vacuum permeability)

而光又是電磁波的某一小段波段，因此光速也就是電磁波傳播的速度(真空中)。此外，愛因斯坦又引入了伽利略的「相對性原理^[4]」來思考光速的問題，且讓我們來看從伽利略的相對性原理及馬克斯威爾的理論中得到了什麼樣的訊息。首先想像 A、B 兩人分別在太空(真空)中的兩間實驗室(假設實驗室環境接近真空)做電磁學實驗製造電磁波，而兩間實驗室以速度 v 作相對運動，根據相對性原理，若 A 不向外看則並不能得知自己本身是否有在運動；同理，B 亦如此。假設此時 A 測量自己製造的電磁波傳播速度，顯然地就是 c ；而當 A 測量 B 所製造的電磁波傳播速度呢？答案還是 c ，雖然有人可能會問：可是 A 和 B 有相對運動，怎麼還會是 c 呢？但是別忘了在真空中 ϵ_0 和 μ_0 都是常數，因此光速 c 亦為常數，不管觀察者彼此間的相對速度，而相同的觀點套用在 B 上也成立。因此由以上思考可提出狹義相對論的兩大假設：

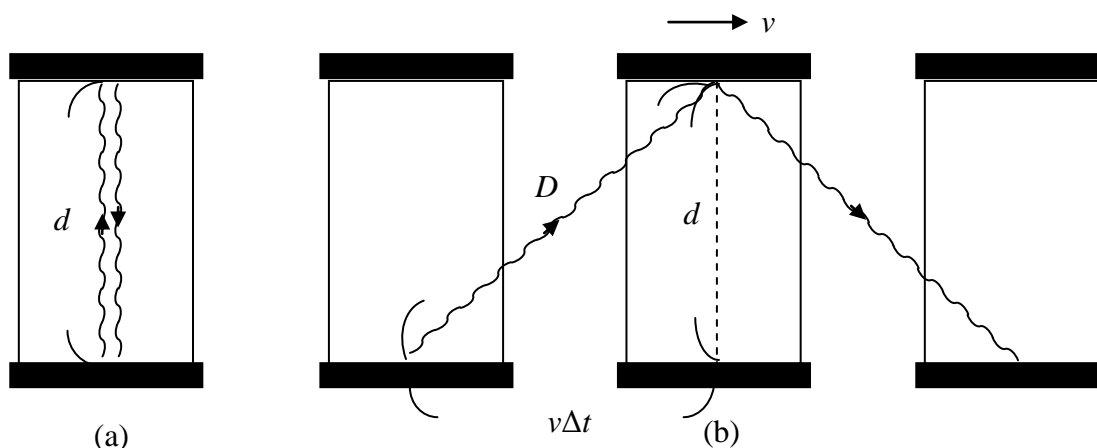
(一) 相對性原理

對所有的慣性參考座標而言物理定律必須有相同的形式。

(二) 光速不變原理

對所有的慣性參考座標而言光在真空中行進的速率皆相同。

且看我們如何由此兩大假設得出時間延遲及長度收縮等現象：



圖(1) 考慮以 v 速度(相對於地面)行進之車廂，在車廂內的觀察者從車內地板向車內天花板發射一道光束經天花板上的鏡子反射再回到車內地板

(a)車內觀察者所看到的情況 (b)地面觀察者(對車廂的相對速度- v)所看到的情況

(1) 時間延遲

想像一列火車相對於地面以等速度 v 向右行進，考慮一節車廂內觀察者 A 以手電筒由地板向上照射天花板上之鏡子後反射回來。整個過程中，對 A 而言，光線行進的路徑是垂直地板方向上下來回，如圖(1)(a)所示；然而對地面觀察者 B 來說，光線似乎是走斜的方向打到車廂內天花板再回到地板，如圖(1)(b)所示。如此一來，對 A 及 B 兩人來說，光所走的單程距離分別為 d 和 D 並不相同，而根據光速不變原理，光速對 A 和 B 而言又必須要相同，這將導致一個結果，整個過程對 A 和 B 來說所經過的時間分別為 $\Delta t'$ 和 Δt 必須不相等才能保持光的速率不變。由以上推論，對某一個事件的發生過程，其所經過的時間對不同參考座標系而言，並無絕對性，也就是說，事情發生的時間間隔會隨所選取的參考座標而不同。

以下將量化分析 $\Delta t'$ 和 Δt 的差異：

對 A 而言光從地面到天花板所經時間

$$\Delta t' = \frac{d}{c} \quad (2)$$

對 B 而言光從地面到天花板所經時間

$$\Delta t = \frac{D}{c} = \frac{\sqrt{d^2 + v^2 \Delta t^2}}{c} \quad (3)$$

由(2)、(3)整理得

$$\Delta t = \frac{d/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \gamma \Delta t' \quad (4)$$

其中，

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (5)$$

所以，

$$\Delta t = \gamma \Delta t' \quad (6)$$

而 $\gamma > 1$ ，因此 $\Delta t > \Delta t'$ 即為時間延遲效應。在這個例子中，所謂時間延遲的意涵為，在 A 的慣性座標系發生某一事件所經過的時間，在 B 看來會過比較久一點，也就是說 A 所做的動作在 B 看來會變得比較慢^[5]。舉個例子，

若 $v = \frac{4}{5}c$ ，代入(5)式得 $\gamma = \frac{5}{3}$ ，也就是說，假設 A 揮個手經過 $\Delta t' = 3$ 秒，

由式(6)則 B 看起來卻是過了 $\Delta t = 5$ 秒。另外，從式(5)可發覺 v 必須小於 c ，否則 γ 將為虛數，在物理上無意義。因此，物體運動速率的極限為光速。

(2) 長度收縮

由於某事件發生過程對於不同參考座標而言會有不同的認知，因此對於長度測量的過程也勢必會有不同的結果。

想像一台以等速度為 v 向右行進的車，此時地面有一觀察者 α 想要測量這台車的長度，由於 α 已知道車行進的速度，他只要選一定點等車頭經過此定點時按下碼表(t_1)計時後再等車尾經過此定點按停碼表(t_2)，記錄下其時間間隔 Δt ，再將其時間間隔乘以車速即為 α 所量得之車的長度

$$L = v(t_2 - t_1) \equiv v\Delta t \quad (7)$$

然而車上有另一觀察者 β 也看到了 α 測量的過程，因此他看到 α 量車頭車尾這兩動作之過程所經過的時間有時間延遲之現象 $\Delta t' = \gamma \Delta t$ (8)

而 β 也可由外在環境得知自己的車速，而他觀察 α 按下碼表(t'_1)及按停碼表(t'_2)之時間間隔為 $\Delta t'$ ，因此 β 所測得自身之車的長度為

$$L' = v(t'_2 - t'_1) \equiv v\Delta t' \quad (9)$$

由(7)、(8)、(9)整理得

$$L = v\Delta t = \frac{v\Delta t'}{\gamma} = \frac{L'}{\gamma} \quad (10)$$

而 $\gamma > 1$ ，因此 $L < L'$ 即為長度收縮效應。在此例子中，所謂長度收縮的意涵為， α 測量移動中車體的長度會比 β 測量靜止車體長度要來得短^[6]。

舉個例子，若 $v = \frac{4}{5}c$ ，代入(5)式得 $\gamma = \frac{5}{3}$ ，也就是說假設 β 量到的車體長度為

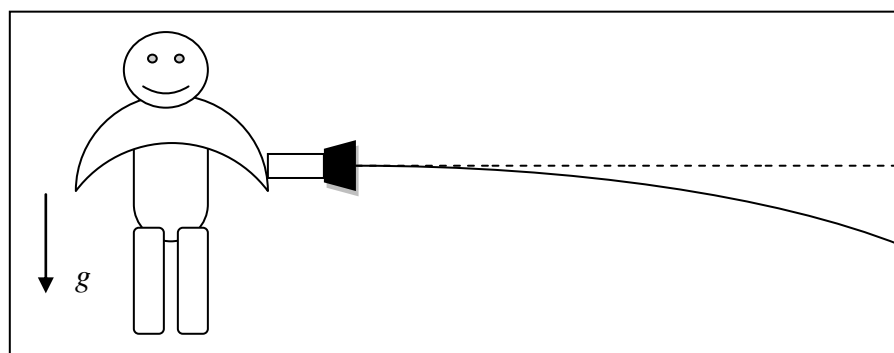
$L' = 5$ 公尺，由式(10)則 α 測量到的長度卻是 $L = 3$ 公尺。

除了上述兩個由相對論導出之現象外，尚有其他現象如：相對論的都普勒效應^[7]...等，有興趣的讀者可參考相關的教科書^[8]。在本文章中我們只做概念性的介紹，不希望有太多的數學式子。

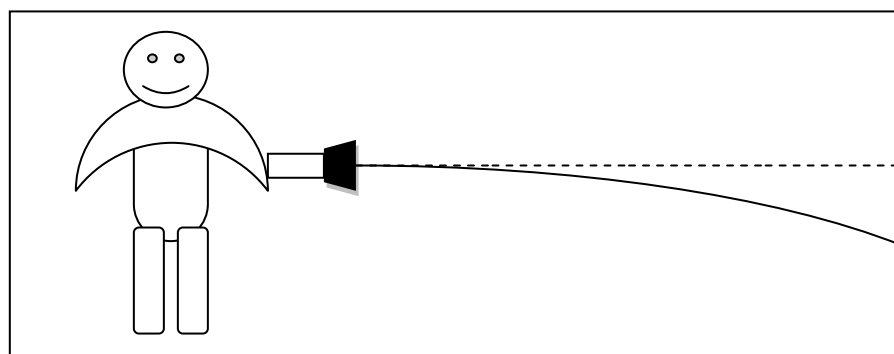
然而狹義相對論尚有其不足之處，也就是它只是適用於慣性座標系，並不考慮重力或加速度等現象。愛因斯坦也明白這一點，因此在他完成狹義相對論便開始思考如何將狹義相對論推廣並建構一個滿足相對論性的重力理論，畢竟牛頓的重力理論^[9]與狹義相對論是不相容的。

據愛因斯坦回憶，在 1907 年時，突然想到如何將狹義相對論加以廣義化，當時他回想著牛頓被掉落的蘋果砸到頭的故事^[10]，只不過愛因斯坦的故事更令人費解。「當時我坐在專利局辦公室的椅子上突然靈光一閃：如果一個人以自由落體落下，此時他不會感受到自己的體重。」也就是說如果你從高樓跳下來時，在落下的過程中你將感覺不到自己的體重。愛因斯坦在稍後寫道：「我震驚不已。這個簡單的思想實驗對我產生極深的啟示，就是這個啟示引領我發明相對論。」他稱這個啟示為「我這一生中最快樂的想法」。讓我們來進一步解釋這個想法，當一個人坐電梯時假設纜線突然斷掉，此人感受不到自己的體重，因此他彷彿是在一個慣性參考座標系中；另外，當電梯加速上升時，此人會感受到自己的體重增加了，在看不到電梯外的世界的情況下，他同樣無法區別是地球的重力場增加了還是電梯加速上升。這個原理後來被稱作「等效原理」，意思是說重力和加速度是等效的。

愛因斯坦從等效原理預測了一些現象，如光線在重力場的影響下會彎曲。因為重力場和加速度是等效的關係，當年牛頓被落下的蘋果砸到時其實可看成牛頓往上加速撞到靜止不動的蘋果。讓我們以圖(2)加以說明此概念如何解釋光線在重力場下會有彎曲的現象：



(a)



(b)

圖(2)
等效原理說明重力場和
加速度是等效的

(a) 在重力加速為 g 之
重力場中對自己正
前方發射雷射光

(b) 在等加速度 $a=g$ 上
升之火箭內對自己
正前方發射雷射光

$a=g$



圖(2)(a)和(b)所描述的情況根據等效原理是相同的，因此我們可藉由圖(2)(b)去理解為何光線會因此而彎曲。從圖(2)(b)來看，對太空船外的慣性座標觀察者而言當光線剛射出時(火箭上升速度為 v_1)直到打到對面牆壁時(火箭上升速度為 v_2)這段期間內火箭速度均勻地增加，光線當然會偏離本來的目標，因為火箭的速度改變了。此效應等效於重力場下的情況，因此光線在重力場作用下應該也要會偏折。

然而直到 1915 年，廣義相對論才真正問世。從等效原理出發到廣義相對論，愛因斯坦又花了 8 年的時間。一開始是因為愛因斯坦找不到能夠描述等效原理並加以推廣成廣義相對論的數學工具，因此他求助於他的大學同學格羅斯曼^[11]問說是否有描述這種情況的數學工具。格羅斯曼真是愛因斯坦的好朋友，他告訴愛因斯坦一套黎曼^[12]在 19 世紀就已發展好的「黎曼幾何學」也許能幫助他發展廣義相對論，因此愛因斯坦就在好友的協助之下研究了黎曼的「彎曲的空間與曲面」理論。隨後愛因斯坦與格羅斯曼於 1913 年聯合發表了一篇學術論文，在文中宣告了一個新概念：我們所認為的地心引力，其實正說明了時間空間是彎曲的這個事實。然而愛因斯坦犯了一個錯誤，所以他們並沒能找到一項公式來說明時空彎曲程度以及質量與能量之間的關係。經過一些錯誤及不斷的嘗試，終於在 1915 年發現了正確的公式，而這套彎曲時空的理論被稱為「廣義相對論」。

廣義相對論首次得到驗證是在一個很特別的情況，1919 年，一支前往西非的英國探險隊在某次日蝕的時候，觀察到一顆星星發射出地一道光線在太陽的附近些微偏折。這種現象直接證明了時空彎曲的概念，也顛覆了歐幾里德(Euclid)於西元前三百年寫下的《幾何原本》之後人們對宇宙的認知。此外廣義相對論的問世也直接地加速了宇宙學的發展。

隨著量子力學的發展及粒子物理的發現，當時絕大部分的物理學家開始對廣義相對論失去興趣。一方面是因為廣義相對論的場方程式為非線性之偏微分方程，只有在對稱情況下才有解析解，而當時電子計算機又不夠發達；另一方面，受限於當時的儀器設備，所能做的驗證廣義相對論的觀測實驗，都做得差不多了。廣義相對論因此被冷落了一段時間。直到 1970 年代，電子計算機(電腦)興起後，開始可以模擬一些更複雜的星體的重力場行為後，廣義相對論才又開始漸漸復甦。再加上後來 1999 年觀測發現宇宙正在加速膨脹，愛因斯坦場方程式中的宇宙常數才又被拿出來熱烈探討。此外，廣義相對論目前還是為現代宇宙學的基本框架。

當前廣義相對論正面臨更多宇宙學現象的挑戰。廣義相對論管轄了宇宙大尺度結構下的行為，而量子力學管轄著小尺度的物質行為，它與量子力學之間的相容性和重力量子化的問題更是當前物理學界的難題。

註解：

[1] “相對論”是由普朗克(Max Karl Ernst Ludwig Planck,德國物理學家,1858~1947)所命名的。愛因斯坦本人並不怎麼喜歡這個名字，因為他認為這個詞常常造成一些不了解“相對論”哲學家對他的理論作不當的解讀，他曾說他寧可叫它“不變量理論”。

[2] 從這名稱就可知道，愛因斯坦所發表的狹義相對論著實建立在電動力學(電磁學)的基礎上，並非憑空想像出來的理論。另外，這篇論文的名稱與他對物理學往後發展的影響力來看，算是相當地謙虛。

[3] 馬克斯威爾 James Clerk Maxwell (1831~1879) 蘇格蘭 物理學及數學家。將法拉第(Michael Faraday,英國物理學家,1791~1867)所作的電磁學實驗結果歸納成四組方程式，即「馬克斯威爾方程式」，代表著電與磁現象的統一。

[4] 伽利略 Galileo Galilei (1564~1642) 義大利 數學 物理 天文 及 哲學家。「伽利略相對性原理」最原始的描述為力學定律在慣性參考座標中具有相同的形式，任何力學實驗都不能區分靜止和等速運動的慣性參考系。後來被愛因斯坦推廣到包含電磁學在內的物理定律，稱為「狹義相對性原理」，也就是狹義相對論的基本原理。而再後來愛因斯坦又將此原理推廣到非慣性參考系，稱為「廣義相對性原理」，即廣義相對論的基本原理。

[5] 嚴格來說，某事件在同一地點發生的時間間隔稱為「原時(proper time)」。在這個例子中，A 發射光線後回到地板時是同一地點，但對 B 而言則不是回到同一地點。簡單來說，原時是某特定觀察者所看到某事件發生過程之最短時間。

[6] 嚴格來說，觀察者測量靜止物體的長度稱為「原長(proper length)」。

[7] 都普勒 Christian Doppler (1803-1853) 奧地利 數學及物理學家。其著名的都普勒效應(Doppler effect)即為他所發現並以他的名字命名，此現象說明波源及觀察者有相對運動時，觀察者看波源頻率會與波源本身不同。雖然“相對論性都普勒效應(relativistic Doppler effect)”也有類似的情形，但兩者物理上的原因很不同。

[8] 可參考 *Classical Dynamics of Particles and Systems*, Marion & Thornton, Ch14。

[9] 牛頓的重力理論認為重力可瞬間傳播到空間中任何一點(傳播速率無限)，但是這與狹義相對論的光速不變(傳播速率有限)是明顯衝突的。

[10] 牛頓被蘋果砸到頭的故事據說是虛構的，我們姑且拿它來說明等效原理。

[11] 格羅斯曼 Marcel Grossmann (1878~1936) 瑞士 數學家。愛因斯坦的大學同學及好友。在大學時期，因為愛因斯坦不想去上他比較沒興趣但又必須修過的課，格羅斯曼替他想了個法子「你就在圖書館研究你有興趣的物理，而他盡量將課堂筆記抄仔細一點，等要考試前在將筆記借給你。」在畢業之後也曾幫愛因斯坦找到一份專利局的工作。

[12] 黎曼 Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826~1866) 德國 數學家。對數學分析及微分幾何做出重要的貢獻。繼高斯(Johann Karl Friedrich Gauss,德國數學及物理學家,1777~1855)之後建立黎曼幾何學。

參考資料：

1. 《愛因斯坦-百年相對論》，by Andrew Robinson，林劭貞、周敏 譯
2. *Introduction to Electrodynamics*, by D. Griffiths
3. *Relativity, Gravitation and Cosmology-A Basic Introduction*, by Ta-Pei Cheng
4. *Classical Dynamics of Particles and Systems*, by Marion & Thornton
5. 維基百科(人物名稱 中英對照)

指導老師：郭榮升 老師、黃建文 老師

監 製：周欣毅

主 編：馮維祥

發 行：國立高雄師範大學 物理學系 學術組

日 期：2011 年 4 月 初版