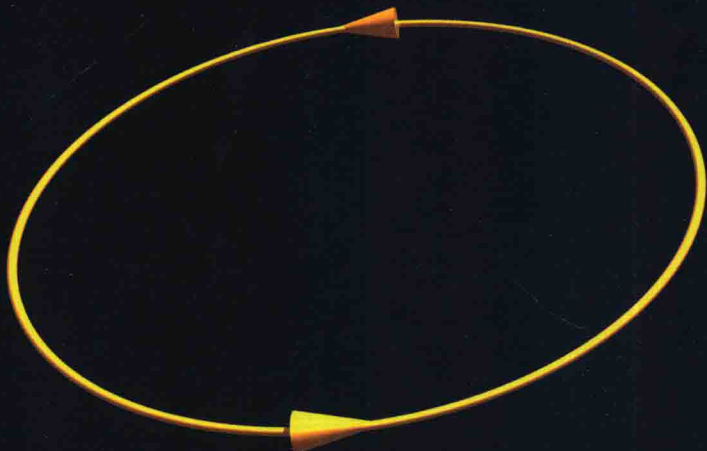


ABC of Relativity 「相對論系列」第一書

# 相對論ABC

哲學家羅素如何闡述愛因斯坦的理論精華？



愛因斯坦發明了「相對論」，所有的人都覺得他了不起，更多的人根本不明白「相對論」說的是甚麼。一般公認他徹底改變了我們對於有形世界所持的概念，但這新概念卻包裹在層層數學程式當中。能用通俗文字講述相對論，又不曾教人越看越糊塗，勢必要有絕佳的說理與文字駕馭能力。羅素是二十世紀最卓越的思想家之一，這本《相對論ABC》是七十幾年前他為修讀物理的學生而寫的導讀，至今仍是精確實用的相對論指南，他截然不同的寫作風格，不僅讓讀者得以品評幽默、清晰、雋智散文體的樂趣，還可透徹理解相對論之所以然的物理學要旨。

羅素 Bertrand Russell / 著 薛絢 / 譯  
郭中一 / 審閱

ABC of Relativity「相對論系列」第一書

# 相對論ABC

哲學家羅素如何闡述愛因斯坦的理論精華？

羅素

Bertrand Russell/著

薛絢/譯

郭中一/審閱

臺灣商務印書館 發行

OPEN 2/21

# 相對論 ABC

---

作者◆羅素  
譯者◆薛絢  
審閱◆郭中一  
發行人◆施嘉明  
總編輯◆方鵬程  
責任編輯◆湯皓全  
美術設計◆張士勇 謝富智

---

出版發行：臺灣商務印書館股份有限公司  
台北市重慶南路一段三十七號  
電話：(02)2371-3712  
讀者服務專線：0800056196  
郵撥：0000165-1  
網路書店：[www.cptw.com.tw](http://www.cptw.com.tw)  
E-mail：[ecptw@cptw.com.tw](mailto:ecptw@cptw.com.tw)  
網址：[www.cptw.com.tw](http://www.cptw.com.tw)

---

ABC of Relativity by Bertrand Russell  
Copyright © 1958, 1969, 1985 The Bertrand Russell  
Peace Foundation Ltd.  
Complex Chinese Edition Copyright © 1999 by The Commercial Press  
ALL RIGHTS RESERVED

---

局版北市業字第 993 號  
初版一刷：1999 年 12 月  
初版八刷：2012 年 3 月  
定價：新台幣 200 元



ISBN 987-957-05-1632-6

版權所有 翻印必究

# 目錄

|             |             |             |             |             |             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0<br>6<br>9 | 0<br>5<br>7 | 0<br>4<br>9 | 0<br>3<br>9 | 0<br>2<br>9 | 0<br>1<br>9 | 0<br>1<br>1 | 0<br>0<br>1 |
| 第七章         | 第六章         | 第五章         | 第四章         | 第三章         | 第二章         | 第一章         | 序           |
| 時空的區間       | 狹義相對論       | 時空          | 時鐘與尺        | 光速          | 實情與觀察所見     | 觸覺與視覺       |             |

|          |       |       |          |        |              |             |           |
|----------|-------|-------|----------|--------|--------------|-------------|-----------|
| 151      | 143   | 135   | 125      | 115    | 103          | 093         | 081       |
| 第十五章     | 第十四章  | 第十三章  | 第十二章     | 第十一章   | 第十章          | 第九章         | 第八章       |
| 哲學思維受的影響 | 何謂物質？ | 廢除「力」 | 慣例成規與自然律 | 宇宙正在擴張 | 質量、動量、能量、作用量 | 證明愛因斯坦的重力定律 | 愛因斯坦的重力定律 |

# 序

本書於七十多年前寫成，是為修讀物理的學生而寫的導讀，內容則是當時尚屬思想革命的新理論。這樣的一本書，現在仍是精確實用的一部相對論指南，可見羅素在說理與文字駕馭方面的功力有多麼高了。時下從事科普寫作的人常犯的毛病是：說得太急，好作驚人語。羅素這本絕佳之作卻有截然不同的風格，令人耳目一新。本書的讀者（不分是相對論的門外漢或有備而來的賞文者）不但得到品評幽默、清晰、雋智散文體的樂趣，還可透徹理解相對論之所以然的物理學基本要旨。就一部非數學科的導論著述而言，本書現在的價值毫不遜於一九二五年剛發表之時。

羅素在《自傳》(*The Autobiography of Bertrand Russell*)第二冊之中說，他寫這本書以及其姊妹作《原子論ABC》(*ABC of Atoms*)和《吾信其有》(*What I Believe*)，都是為了掙錢。量子物理學興起以後——尤其是一九二五年量子新論問世以後，三本中的第二本被時間超前了。但相對論與宇宙論的研究即便日新月異，本書依舊經得起時間的考驗。

羅素於一九二一年九月自中國返回英國後，並沒有應聘任教。按他自述，兩本ABC

雖然幫他賺了些錢，他還是「相當窮」，等到一九二六年發表一本論教育的著作後，經濟狀況才大為好轉。值得一提的是，他在一九二〇年代的產量驚人，作品包括邏輯和哲學方面的三部重要論述，一九二五年的新版《數學原理》(Principia Mathematica)，以及《思維之分析》(The Analysis of Mind, 1921)和《物質之分析》(The Analysis of Matter, 1927)兩大鉅著。《物》的部分內容編成劍橋大學三一學院一九二六年的「塔納講座」(Tanner Lectures)，以講解物理學新論為主，其中包括簡練的、邏輯的、層次分明的相對論分析，相對論與理論幾何及應用幾何的關係，另有兩個講次專談當時所理解的基礎量子學說。除此之外，他還撰寫了論中國、幸福、婚姻、社會與科學之未來等不同題目的幾本書。

顯然羅素這個時期的思想投注在社會議題和知識普及上。他認為，人因無知與欠缺受教育的機會而養成根深柢固的無理性，歐洲人之所以欣然響應民族主義風潮和第一次世界大戰，正是因為有這種無理性存在。而知識之傳播推廣，有助於破除盲目的無理性。在羅素生命中這個英雄豪氣洋溢的時期，他一心相信，知識普及加上人人善用批判的理性思考能力，應可消弭第一次世界大戰元兇——盲從偏見——於無形。這個時期的大量著作都是為了藉知識教化大眾，盡量使每個人理解何謂思想與行動的自由。《相對論ABC》當然通篇流露著這種啟迪的精神。

這本書無疑是一部講解透徹的傑作。但讀者若不注意到兩點，恐怕會被誤導。第一點

關乎狹義相對論 (Special Relativity, 亦稱特殊相對論) 的根本——也就是其立論的範疇, 第二點在於狹義如何擴為廣義。羅素在講解狹義論的過程中從頭至尾都用「觀察者」(observer) 一詞。至於同步性、長度、時間順序之間的重要關係, 在古典牛頓式構論中是絕對性的, 在狹義論之中卻是視「觀察者」而定的。

所以, 羅素講到事情發生的時間先後, 是這麼說的: 「事情發生的先後順序往往只是觀察者自己的判斷, 這種順序關係並不是絕對固有的」(見第三章)。這彷彿是說: 狹義相對論關乎觀察所得的時間長短、衡量所得的空間大小、觀察所見的同步性, 一切得用標準的尺和精確的鐘來算。其實不是的。

狹義相對論是空間時間的理論, 基本上是運動學(Kinematics)的理論, 講的是發生事件的相對空間時間關係, 這與牛頓的定理是一樣的, 兩者都與「觀察者」無關。狹義相對論並不要求觀察者如何如何, 也未設定觀察者的條件。按羅素的精心措辭, 這個理論的範圍是「發生的事」, 不是「觀察所見的事」。若要斷定何謂發生的事, 相對論很可以像其他的運動學理論(包括被它取而代之以的伽利略說法)那樣, 要求實驗設計中預測好事件及事件之間的時空排列。也就是說, 必須可以根據經驗而核對。即便這樣, 它仍不至於成為闡述「觀察所見」時空區間的一條理論。

這一點很重要。因為, 如果相對論取決於觀察者, 可能意味這個理論講的是我們可以



用尺和時鐘測量或操作的事物。此外也顯得狹義相對論只講可以確知的時空關係，對於宇宙刻意隱瞞的真正的時空事實卻莫測高深。其實羅素在第二章一開頭就聲明：「相對論專注於排除相對狀況，以便申述全然不受觀察者處境影響的物理定律。」為避免落入依附觀察者的困境，最方便的做法就是抬出「依附構架」(frame dependence)的觀念，表明狹義相對論使同步性、持續期間、空間區間的關係是依附構架的。

另一個必須避免的誤解是：以為相對論是擁護時空的因果論的。萊布尼茲(G. W. Von Leibniz, 1646~1716)曾提出這樣的著名論點：空間和時間不應被視為實體，而是發生事件之間的因果關係構成的相對關係。例如，我們可以認為時間的一刻是一組「同時存在的事件」。所以可選定在  $t$  這一刻發生的某事件，以  $t$  表與此事件同時發生的全組事件。按這個論點，兩個事件如果不能用任何因果訊號（不論訊號傳得多麼快）相連，就是同時發生的。萊布尼茲的意思也就是說，因為因果關係訊號的傳送速度沒有上限，如此認定的同步關係擔保以上定義的一刻刻時間不可能相互重疊（同步關係為可遷的），並且正合乎牛頓的絕對時間理論所要求的狀態。然而，絕對空間方面尚無這樣直截了當的論點可引據，所以，以因果關係為基礎而建構空間時間的幾何學始終不成功。

值得注意的是，羅素在第五章中指出，劍橋大學的羅布(A. A. Robb)於一九一四年發表了《時間與空間之理論》(*A Theory of Space and Time*)。這是狹義相對論的時空因果

論，緊接在後的定理是：時空的因果結構足堪擔當產生自己一套（非歐幾里德(Euclid)式）幾何學的重任。由於光速有速，又有光訊號為最快速（往返一趟）原因速號的基本假設，狹義相對論當然必須重新假設其後果的同時性。有些相關著述認為，羅素的研究是在支持萊布尼茲的概念，這種主張卻超越了狹義相對論的內容。狹義論從頭至尾並未強制我們認定相對因果關係架構下的同時性。

狹義相對論是否使事件之間的關係全部依附構架（一切都是相對的嗎）？羅素在第四、七兩章中都斷然答「否」。其絕對性雖然有些像古典式的基準構架，但仍有不同。十九世紀物理學所知的古典基準構架比牛頓本人假設的還要堅固。那其實是以康德(Immanuel Kant, 1724 ~ 1804)的論點為依據的，即是，絕對空間與絕對時間這兩個本體論的獨立結構乃是客觀經驗之可能與否的先決條件，所以也是物理學之成為一門科學的先決條件。當初休謨(David Hume, 1711 ~ 1776)質疑康德所謂從自然律可以得到歸納的知識，康德便以這個論點為辯解。對於認識論的基本疑問——「怎可能有自然科學？」——康德也回以這個答案。此外，康德認為，以兩個獨立體——絕對空間與絕對時間——形成結構的幾何學應是歐幾里德式的，此乃是物理研究的一個預設條件。意思其實是說，我們可以用畢氏定理(Pythagorean theorem)來計算相距遙遠的事件之間的空間差距，可以藉減去絕對時間座標來計算時間的間隔（見第七章）。

狹義相對論用另一種絕對取代絕對空間和絕對時間，那即是慣性構架之類（亦即不受力的作用影響的時空圖表或參照構架）。按相對論的基本原理，自然界的定律在這一類的每個分子之中必然為相同形式。問題立即出現：變換（取類別中一分子的一個事件的座標，得出同一事件在類別中任何其他分子中的座標）必須是什麼形式，才能使自然界定律在每個慣性構架中形式不變？這兒有一個關鍵性的問題。

假如變換是標準的伽利略式，牛頓力學定律就能符合上述不變的要求。電磁定律在這些變換下卻無法符合：必須利用很特別的一組變換才能夠在慣性構架中維持不變。這組變換之中包含最具物理學重要性的洛倫茲變換(Lorentz transformations)。唯有愛因斯坦的非凡洞察力看得出來，電磁定律才是最根本的，力學定律不是，所以洛倫茲變換才是對的。正如羅素所說（見第六章），為證實洛倫茲變換而探究運動學和力學的屬性（必須怎樣予以改寫），才導致整個狹義相對論之誕生。慣性構架等級的絕對性加上洛倫茲變換，迫使我們徹底修正思考時空結構的觀點。

最顯著的修正結果是，空間和時間從本體論觀點看來不再是各自獨立的，不能分別為兩回事，必須看作單一的個體「時空」(space-time)。時空的幾何學不可能是歐幾里德式，畢氏定理並未述及分別事件之間的時空間距（見第六章）。就洛倫茲變換的後果而言，這種時空間距是不變的、依附構架的量。就是這個量引起乍看很怪異的時間膨脹與長度收縮

的現象，以及同時性的構架依附現象。與長度時間分隔對等的時空間距的各個組分在慣性構架分子中會有變，時空間距的整體卻不會有變。

這種絕對性是立論不可或缺的，否則難以杜絕像孿生佯謬(twin paradox)這樣的矛盾說法。此乃是洛倫茲變換「移動的鐘會慢」引發的立即後果。假設一對孿生姊妹之中的一人踏上冥王星之旅，另一人留在地球上，遊冥王星的這位會比地球上這位老得慢些。若按一切勻速度運動有相對性的原理，以及時間膨脹作用的交互性質，火箭上這位孿生姊妹會不會覺得地球上的這位在旅行之中，火箭裡面才是「靜止」的？從火箭上看，地球上的鐘才是在動的，「移動的會走得慢」，所以地球上這位會比火箭上那位年輕。而我們按時間膨脹的交互性推斷，兩位孿生姊妹都比對方年輕，這卻是不可能成立的。

孿生姊妹之一必須「返回」旅程的起點，所以孿生姊妹之一（在移動的這位）必須在回程開始的時候離開慣性構架等級，即便她在一瞬間就完成行動。由於慣性構架等級是絕對的，孿生姊妹各自的經歷不會有相互對稱之處（二人中之一可以自始至終在慣性構架等級之內完成旅程——其實就是留在地球固定構架之內的這位）；因為對稱被打破，就不會有任何相互性或矛盾性產生。以上只是有關狹義相對論假設慣性構架等級有絕對性的一番思索。

慣性構架在狹義相對論之中的重要作用引發了兩個問題：什麼是慣性構架（怎樣才可

歸入慣性構架)？這種構架為什麼有特殊意義？愛因斯坦提出的就是這些問題，也因為這些問題，加上狹義相對論證明質量與能量相等（見第十章），啟發了一九一六年的廣義相對論。羅素闡述相對論之由狹擴廣，以及廣義論和宇宙論本身，在這個地方也許需要稍作更新與補充。

羅氏講述相對論深受當時英國首屈一指的相對論專家愛丁頓爵士(Sir Arthur Eddington, 1882~1944)的影響，尤其受其經典鉅著《相對論的數學理論》(*The Mathematical Theory of Relativity*, 1923)的影響。這部著作特別強調廣義論的幾何層面，幾乎到了把物理理論表述成先驗知識的地步。這種處理方式——在羅素的講解中也可見到——難免會模糊相對論的根本物理問題。

有關如何言明慣性構架概念的問題，以及如何規劃慣性定律的問題，馬赫(Ernst Mach, 1838~1916)早於一八七二年就在他討論能量不滅定律的專著之中提出了。他指出，決定物質的慣性屬性的不是運動與絕對空間的關係，而是運動與宇宙中剩餘物質分布狀況的關係。

我們認為地球是在其軸上轉動，或處於靜止狀態而有諸天體圍繞運行，顯然都不重要了。

……慣性定律的構想，必須使第一種假設與第二種假設得出一模一樣的結果。由此可知，

慣性定律的表述必須顧及宇宙的質量。（見《能量不滅原理的歷史與根源》（*The History and Root of the Principle of the Conservation of Energy*））

馬赫在此的意思是說，物理學的理想參照構架根本不存在。但是他並未進一步表示這個見識該如何納入物理學的理論之中。

羅素刻意強調萬有引力併入狹義相對論之困難，因為牛頓萬有引力定律的構式包括距離的觀念，而距離卻是依附構架的觀念，以致定律本身看來像是依附構架的（見第八章首）。不過，這困難本身並不多麼嚴重，把萬有引力當作一般的力併入狹義相對論也不是多大難題（羅素似乎認為，狹義論和廣義論都無需廢除力的概念，見第十三章）。真正的麻煩來自質量等於能量（ $E = mc^2$ ）——此乃是狹義相對論最具革命性的推論。因為，移動的物體的質量如果增加——例如加熱引起的，其質量也會增加。但是，按牛頓定律，質量若增加，其對於引力場的反應（其引力質量）也會增加。而物體遇熱後質量能增加多少，要視其成分而定，結果就是：物體對引力場的反應取決於物體的成分。這卻違背了伽利略以引力原理為公理的立場：一切物體——不論成分如何——對引力場的反應相同。在愛因斯坦的廣義論提出的解釋之中，慣性構架喪失了特權的地位，引力質量與慣性質量的等效原理也喪失自明公理的地位，變成從相對論直接演繹出來的當然推斷。

希望羅素出色的非數學性闡述能激發讀者再接再厲的興趣。讀過本書的人很可以接著去看愛因斯坦自己的闡述：《相對論的意義》（*The Meaning of Relativity*, 1922）。此外，薩門（Wesley C. Salmon）所著的《空間、時間與運動：哲學導讀》（*Space, Time, and Motion: A Philosophical Introduction*, 1975）是一部非專門學術性的佳作，林德勒（Wolfgang Rindler）的《相對論必讀，狹義、廣義、宇宙論》（*Essential Relativity, Special, General, and Cosmological*, 1977）將相對論作了清晰、周全、數學性的講解。想從哲學觀點理解相對論的讀者，可以參考史柯拉（Lawrence Sklar）的《空間、時間、時空》（*Space, Time, and Space-time*, 1974）與托列蒂（Roberto Torretti）的《相對論與幾何學》（*Relativity and Geometry*, 1983）。

羅素堪稱是二十世紀英國最卓越的思想家。本書是他為「謀生」而寫的，卻是他的說理才華和傑出知性思想與社會理念最表露無遺的一部著作，應當重新再版，使讀者有機會親炙大師的廣博見識與治學風範。

彼得·克拉克（Peter Clark）於聖安德魯大學

## 第一章

# 觸覺與視覺

大家都知道愛因斯坦做了一番了不起的事，卻很少有人確實明白他做的究竟是什麼。一般公認他徹底改變了吾人對於有形世界所持的概念，但這新概念卻包裹在層層數學專用程式裡面。用通俗文字講述相對論的例子其實多不勝數，可是，每每在開始要講重點的當兒，文字就變得教人愈看愈糊塗了。這種情形實在不能怪罪講的人。許多新概念是可以而非數學的語言表達的，但這種表達殊非易事。重要的是，我們必須改掉一向的習慣，換個方式來想像物質世界。我們以前習慣的想像方式是從遠古祖先——甚至人類尚未演化——的時代傳下來的，也是我們自小就學會的。改變想像構思的習慣總是困難的，年長以後才來改尤其難。當年哥白尼(Nicolaus Copernicus, 1473~1543)昭告世人，地球不是靜止的，日月星辰不是一天繞地球轉一周，這也是要求世人顛覆固有的想法。我們現在看來，接受這種觀念沒什麼難，因為我們在思考習慣尚未定型之前，就學了地球繞太陽轉的知識。同理，從小就接觸愛因斯坦理論的人，不會覺得那麼難懂；我們這一代的人卻免不了要花一



些想像重組的工夫。

我們探索地球世界，要用到自己所有的感官知覺，尤其是觸覺和視覺。在科學時代未來臨之前，人的肢體曾是丈量長度的用具，例如以腳長為準的「英尺」(foot)、以肘至中指尖為準的「腕尺」(cubit)、以拇指尖至小指尖為準的「指距」(span)，都是用人體定的長度單位。更長的距離就用地走到另一地所需的時間來算。漸漸地，人們學會以目視判定大概的距離，但要拿捏得精準，還是得靠觸覺。而且觸覺才能給人「真實」感。有些東西是摸不到的，如彩虹、鏡中的影像等，小孩子看到這些會感到困惑，因為他們已知鏡中反映的東西不是「真的」，無從進一步作形而上的推想。莎士比亞描寫馬克白(Macbeth)眼前的那把匕首似幻還真，就是因為「摸著不像看來那麼真」。我們的幾何學和物理學都是根據觸覺產生的，不但如此，我們對身外存在的一切事物形成的概念也是憑觸覺而來。甚至比喻也離不開觸覺，例如形容一番話講得好，會用 solid (譯註：原義指「固體」，扎实的；實心的)，講得差勁的則是 gas (譯註：原義指「氣體」，亦指「吹牛；空談」)，因為 gas 對觸覺而言是欠「真實」的。

我們研究天空只能憑視覺，其他感官都用不上。我們摸不著太陽，也不能用一英尺長的尺來量昂星團。可是，天文學家馬上想到把地面上十分好用的幾何學與物理學搬上來。結果惹上麻煩，一直等到相對論問世，麻煩的問題才真相大白。我們於是發現，以往憑觸