

新世紀叢書

時空彎曲的宇宙像

彎曲的空間

譯者：曾煥華

審定者：周東川



銀禾文化事業有限公司

內容小介

依照一般相對論，物質的存在會造成時空的彎曲，而不提及重力。此理論最大的不同在於光速不受重力影響却在彎曲的時空彎曲。從此理論出發才能說明目前所觀測到的黑洞、準星等現象。作者同時也提到時間旅行的可能性和生命的可能性等問題。



064

新世紀叢書

彎曲的空間

銀禾文化事業公司 印行



064

新世紀叢書

彎曲的空間

主編：新世紀編輯小組

審定者：周東川

譯者：曾煥華

出版者：銀木文化事業有限公司

發行人：陳俊安

地址：台北市和平東路2段96
巷3-1號

電話：7005420·7005421

郵撥：0736622-3

定價：新台幣110元

新聞局登記證局版台業字第3292號

1986年4月初版

■版權所有·不准翻印■

序 言

愛因斯坦主張：「空間與時間不是獨立的兩樣東西，它是被稱為“時空”的一體兩面宛如一枚貨幣的正反兩面。」我在數年前寫了一本書『彎曲時間』，檢討愛因斯坦的觀念或量子力學等如何影響我們對於時間的理解。在書中我質問：「時光旅行是否可能發生？」，而回答：「雖然有可能，但完全依時間旅行的定義如何而定。」

我寫那本書時發現，若認為時間與空間是彼此獨立而不論彎曲空間的存在或意義就來談彎曲時間，是一件困難的事。那本書出版之後，有很多人向我指出這一點。雖然我對於這些指摘辯解在我的另一本著作『白洞』內已經敘述了一部分，但由於對時空或宇宙的研究日益發展，這種辯解已經不能令人心服。爲了滿足過去的許多期待，我終於決定寫這本書，把重點放在彎曲空間，申論彎曲的時空。這本書可以說是『彎曲時間』的姐妹作。

當然，在這本書也不能忽視時間，猶如在前一本書不能完全忽視彎曲空間。又，必須說明沒有可以令人滿

II 彎曲的空間

足的方法去區分時間與空間，並報告 1978 年以後最新發展的內容（尤其，著名物理數學者所做在一般相對論的範圍內有時間旅行之可能性的說明〔請參考第八章〕）。在『彎曲時間』一書寧可說是多提了抽象、哲學方面的問題，但在『彎曲空間』中則討論現實且能觀測的宇宙之特性。

在我們所能觀測的宇宙中具有最大能量的物體「準星（quasi-stellar radio source=QSS）」，很明顯的實際存在，而我們已經知道這是質量被冷凝的黑洞所引起時空極端的歪曲所使然的。一般認為，宇宙本身也是像黑洞的超高密度狀態爆炸後產生的，這就是（大爆炸），是與黑洞呈相反狀態的白洞。觀測宇宙內的銀河或準星，即能獲得了解宇宙的起源及其晚年的線索。又，藉微中子具有質量的可能性，或宇宙可能隨逐年減少重力的推測等，產生了對於宇宙新的看法，獲得了記述超越一般相對論之世界所需的暗示。

在幾年之後，很可能由物理學家或數學家以一個理論統一解釋物理上的一切定律。雖然物理學家長久以來一直渴望着這種大統一論，但即使偉大的天才愛因斯坦最終也不能完成這個願望。另一方面，最近幾年來除了關於彎曲空間的研究的進展之外，關於生命之秘密的研究有了令人驚異的進步。弗烈特·荷伊爾及他的同事張

特拉·維克拉馬辛強調：由於生命是非常不容易誕生的，故宇宙的壽命遠比過去所想像的更長，生命的進化必需有一段漫長的時間，基於這種觀點，現在被認為正確的理論都錯誤。但是，也有一部分宇宙論學家認為，宇宙是跟生命的誕生一樣被「順序化」（Order-made）的東西，大爆炸、準星、黑洞等使生命的誕生變成無法避免的。

激烈震動的宇宙；對於我們來說是有興趣的住家，又由於它會激烈震動，我們才能觀測它。

約翰·克利賓

1982年9月

目 錄

第一章	時空與彎曲空間	1
第二章	黑洞與彎曲的時空	27
第三章	白洞的宇宙	61
第四章	銀河、似星體、宇宙	87
第五章	倒底是黑洞或是白洞？	117
第六章	微中子的質量之謎	145
第七章	太陽縮小	165
第八章	再談空間曲扭	185
第九章	生命與宇宙	203
第十章	一般相對論還不够用嗎？	227

第一章 時空與彎曲空間

我們現在生存的世界，是宇宙內一個特別的世界嗎？若依愛因斯坦關於重力、空間、時間的觀念及它並不是特別的世界，我們現在的運動狀況是關聯於整個宇宙之結構及其歷史的。

從牛頓至愛因斯坦

彎曲空間所論的與重力有關，且與愛因斯坦的相對論有關。自從牛頓在三世紀以前發現了在宇宙中能觀測的事象主要是重力所使然之後，即開闢了一條新的道路，使關於宇宙的研究脫離哲學或宗教的分野而自成科學這獨立的分野。但是，到了二十世紀由於愛因斯坦的研究而提高了關於重力的知識之後，科學家才開始理解整個宇宙真正的特性。

牛頓的劃時代性發現在於，把重力當做「力」處理一點。他發現了，宇宙內二個物體之間的力 F ，能以兩個物質的質量之積（ $M \times m$ ）乘以常數（通常以 G 表出）再除以物體間距離 r 的平方表示之（即 $F = \frac{GMm}{r^2}$ ）。牛頓發現了，能用這個力說明蘋果從蘋果樹掉落的現

2 彎曲的空間

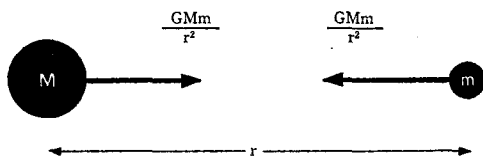


圖 1.1 距離 r 的兩個物體（其質量分別為 M 、 m ） M 及 m ，以 $\frac{GMm}{r^2}$ 的引力彼此牽引。 G 為重力常數。兩個物體都承受完全一樣的力。體重 80 kg 的人以 80 kg 的力牽引地球，地球則以 80 kg 的力被人牽引。

象；大砲所發射砲彈的彈道；月球繞轉地球的軌道；以及繞轉太陽的地球或其他行星的運動。

在 1600 年代後期至二十世紀初，以牛頓的這種想法為主流。但是，在二十世紀初由於對電磁學的研究，而出現了重新檢討重力理論的機會。馬克士威在 1860 年代建立了把帶電粒子及磁場的舉止加以統合記述的電磁場理論，在其後幾十年之間，隨著關於電磁現象發現了許多謎。

最著名的謎可能就是，無法用實驗檢測因空間中（當時稱為“以太”）地球的運動所產生光速的變化一事。當愛因斯坦在本世紀初期考慮電磁的性質或光（電磁波）的行為時，到底已經知道光速測試一事或即使已經知道卻沒有特別感到興趣，則無法確定。不過，確實知道關於電磁現象與以牛頓的運動方程式為基礎的力學定

律不能相容。愛因斯坦大胆的接受電磁理論，不迷戀在此以前一直被信奉的宇宙論，而追求了新的力學論。

沒有特別的場所

愛因斯坦根據「宇宙內並沒有特別的場所」這種假定，對於宇宙的行爲展開了新的看法。若根據這個假設，則物理上的一切定律諸如運動方程式或電磁方程式等，對於在宇宙上任何地點觀測的人來說都是一樣的。愛因斯坦認為，沒有「絕對的」運動或「以太」或能絕對地測定物體運動的「固定的空間」存在。運動在任何時候都是相對的，僅對於在被稱為慣性系的座標系之特定觀測者有意義。所有這些觀測者是彼此以一定的相對速度移動，但是速度則依在那一個慣性系測定而有所不同。因此，愛因斯坦的這個理論被稱為特殊相對論。

若依這個理論，則所有的運動都是相對的，不可能有物理定律僅能在特定場所適用的「絕對的系」這就是其所以被稱為「相對論」的理由。又，這個理論只以在直線上以一定速度運動的為對象，沒有考慮從樹上掉落的蘋果或行星的運動，故稱為「特殊相對論」。

雖然這種條件具有限制性，但從特殊相對論仍然獲得了許多有趣的結果。例如，不論怎樣選擇當做測定基準的系，運動中的長尺會縮短，時鐘會走的慢，或若增

4 彎曲的空間

加速度即會增大物體的質量。當基準系內的物體（長尺、時鐘等）的速度接近於光速時，這種現象會明顯的出現。通常以「 c 」表示的光速，無論在任何慣性系測定都恒為每秒 30 萬公里。

雖然空間不再是測定上的絕對基準，卻獲得了「光速為一定」這種以相對論為依據的在宇宙的絕對基準。又知道了，空間及時間失去其固有性，這些是「時空」的一體兩面而已。特殊相對論更表示，物質（ m ）及能量（ E ）是同等如著名的公式 $E=mc^2$ 所示。

這些劃時代性的想法，都由實驗結果獲得證明。根據能量方程式得以理解太陽或恒星放光的現象，得以開發核子武器或核能發電廠。物體速度接近於光速之後時間會延長或空間會縮小的現象，也利用被大型加速器加速的基本粒子獲得證實。又知道了基本粒子的質量會受加速基本粒子所需的能量的影響，隨著被加速而增加。另一方面，比光速運動的快的粒子，則尚未被觀測到。

在 1980 年代的現在仍需強調，特殊相對論決不是愛因斯坦不切實際的構想，而是在實驗上獲得充分證明後被確立的宇宙觀。在日常的科學研究上，的確使用特殊相對論。不過，關於特殊相對論或因此所引起的時間之伸長等微妙的現象，已經在前著『彎曲的時間』中有所敘述，故在本書則從重力的觀點敘述。

愛因斯坦也一開始就知道，特殊相對論不是關於重力的理論。在 1905 年發表了特殊相對論之後的 10 年之內，致力於使這個理論發展成爲也能記述重力或被加速之系的舉止的更一般化的理論。但他立即遭遇了兩個問題。第一個問題爲，重力與物體間距離平方成反比例的定律雖然是計算從樹上掉落的蘋果之行爲、子彈的彈道、行星的軌道等的基礎，但此定律之正當性的依據何在？然後，遭遇了一個重要問題——重力爲何不能超過光速這種具有普遍性的「限速」？

重力之謎

愛因斯坦藉特殊相對論提示沒有比光速快的運動物體。但無論在從樹上掉落的蘋果與地球之間，或地球與太陽之間，重力看起來在由個物體之間一刹那的傳遞。雖然微妙一點但同樣重要的問題爲，因爲根據特殊相對論知道距離或質量依存觀測者的系，用距離及質量記述兩個物體間的重力一事究竟有沒有意義。更麻煩的問題可能爲，位於慣性系（不被加速的系）的觀測者爲何能在被重力支配的宇宙生存這一點罷！

重力是對宇宙內所有物體作用的力，它會加速這些物體。重力所產生的力可能非常弱，但依牛頓力學則必須認爲這個力時常存在而時常把物體及觀測者加速。這

個乍見之下不可能解決的問題，正是正確地認識重力而往一般相對論發展的關鍵。

愛因斯坦認為，因為到處都有重力，故把重力與空間（若更正確地說則為時空）分開來考慮是沒有意義的事。愛因斯坦主張應該用重力記述時空的基本特性，發現了若此特性屬於時空的幾何學上特性即能建立可以令人滿意的重力理論。

理解這種想法似乎困難，但事實上只要知道地球是圓的即能輕易的理解。在學校所學習的幾何學，是認為三角形的內角和恒等於 180° ，兩點間的最短距離為直線，與第三條直線直交的兩條直線平行之類的平面幾何學。這是在西元前 300 年由歐幾里得加以系統化的而也被稱為歐幾里得幾何學，在我們製作書架、建造房屋或架設橋樑等時利用之。

但是，當從美國越過大西洋飛往歐洲的噴射機駕駛員求效率最高的航線時，歐幾里得幾何學完全沒有效用。因為，就設計橋樑或書架的程度之規模而言地球算是十分平坦，但實際上地面是彎曲的。球面上的三角形內角和恒大於 180° ，其大小依三角形的大小如何而異。又，兩點間的最短距離是曲線，與赤道直交的二條直線在南極及北極相交，不會成為歐幾里得所定義的平行線。雖然球面幾何學的確屬二次元平面的幾何學，卻可以

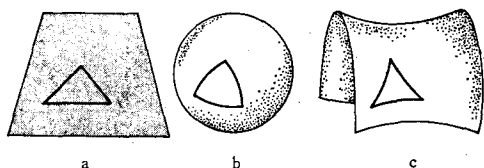


圖 1.2 主要的幾何學平面(a)通用於歐幾里得幾何學的平面；(b)球面；(c)雙曲面。

說這個面與第三個次元纏在一起。又可以用其他方法歪曲二次元平面，可以創造許多種非歐幾里得幾何學。

愛因斯坦藉敏銳的洞察能力發覺了，三次元空間（甚至四次的時空間）也同樣的可以彎曲，有能用非歐幾里得幾何學記述的時空存在。

在這裡重要的事項為，彎曲的表面上的三角形內角和並不等於 180° 。即是，在彎曲的時空內之幾何學上特性，與我們日常所經驗的不同。

三角形內角和會超過 180° 的曲率被稱為正曲率。另一方面，呈鞍狀的面具有負曲率，此面上的三角形內角和恒小於 180° 。在我們三次元的宇宙求曲率的另一種方法為，求大球的體積。我們都知道，若球的半徑為 r 、體積為 V 則 $V = \left(\frac{4}{3}\right) \pi r^3$ ，但這個公式唯有在空間平坦時才正確。在彎曲的空間，體積會依其曲率的

正或負而大或小於這個值。就原理而言是可以用這個方法測定空間的曲率，卻需要調查占整個宇宙之大部分那麼大的球之特性，因而並不實用。對於許多的幾何學性問題來說，不妨假定時空也是平坦的，猶如家具店在製作桌子時假定地球是平坦的。

但若根據愛因斯坦的想法——重力是依時空的曲率而定，則時空曲率的問題會與科學上的一般問題有密切的關係。只要觀測放射物體或行星在重力下的運動，確認以彎曲的時空所記述的運動較優於牛頓所記述的，即能理解愛因斯坦的想法。

牛頓認為，宇宙內的所有物體只要不受外力的影響即會做直線運動或處於靜止狀態。若沒有太陽的引力，則行星會在宇宙內做直線運動；若沒有地球的引力，則槍所發射的子彈會做直線運動而不會停止飛。但若依愛因斯坦的主張，不是重力在一刹那之間通過空間而對這些物體施加力；而是重力把時空彎曲，結果使這些物體沿着對運動的抵抗最小之最小軌道運動。

彎曲空間及時間

若依這個學說，在遠離物體的地方時空的曲率非常小，物體是依照牛頓力學做直線運動。但在行星或恒星之類物質集中的地方附近，則受其影響而使時空被彎曲

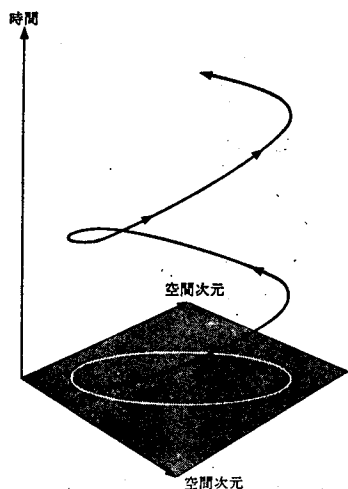


圖 1.3 若以二次元平面表示空間次元，在與平面垂直的第三軸上表示時間，則行星的軌道成為如圖所示，而被稱為「世界線」。

。槍所發射的子彈或沿着一定軌道運動的行星，不是處於外力的影響下，而是在彎曲的時空間做與定速直線運動同等的運動。這種軌道叫做「測地綫」從一個大陸飛往另一個大陸的客機效率最佳的航綫叫做「大圈航綫」，而它也可以說與時空的曲率一樣是由地球的曲率所決定之測地綫罷！

若用這種比喻的方式，或許不能充分顯示彎曲的時空的概念。尤其不易理解時空的時間部分扮演什麼角色