



宙

天文物理時空之旅

余海峯 著



目錄

代序	江國興教授	P.6
代序	周達智博士	P.7
自序		P.11

序章 ◇ 旅程的開端 P.15

01 ◇ 過去

奇點	P.24
時空	P.32
大爆炸	P.40
熱湯	P.47
曙光	P.54
星塵	P.61
蒼藍一點	P.68

02 ◇ 現在

起源	P.78
測量	P.86
殞落	P.95
星海璇璣	P.100

03

◇> 未來

運動	P.107
天籟	P.117
奇蹟年	P.125
彗星	P.134
電、磁、光	P.142
原子	P.150
光速	P.159
量子（一）	P.166
銀河	P.176
量子（二）	P.184
演化	P.193
科學旅程	P.203

航行者	P.218
倒數	P.227
無盡	P.234
熱寂	P.242

終章 ◇> 旅程的終點	P.249
-------------	-------



序章
旅程的開端



“ 上下四方曰宇，往古來今日宙。”

— 《尸子》

您好。宙，又要開始了。喔，我指的是時間。我是這趟旅程的導遊，幸會。

我雖為您的導遊，但是關於這趟旅程的景點，老實說我沒有太大的操控權。因為在這個「四維時空宇宙旅程」旅遊專案裡，時間只有一個維度（dimension）。我的意思是，在四維時空裡，時間只能自然地向前推進。只有在必要時，這艘時空旅行膠囊會進行時空跳躍。

什麼是維度？維度就是我們熟悉的長、闊、高。這三個互相垂直的「方向」就是所謂的「空間維度」，它構成我們所知一切。我們可以利用間尺測量這三個空間維度各點之間的距離。一個維度構成長度、兩個維度構成面積、三個維度構成體積。空間是三維的，正如繪畫立體圖像時所說的「透視法」，就是想像出來的三條互相垂直、無限延伸的空間軸。

空間雖為三維，但宇宙卻是四維的。喔，請不用急著四處張望尋找，我們的宇宙並沒有同時垂直於長、闊、高的第四個空間維度。抬頭看看掛在牆上的時鐘，就能發現宇宙的第四維。不過，我們並不能用間尺測量第四維。

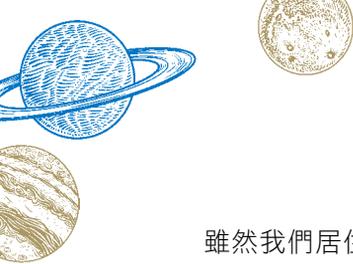
時間是宇宙的第四個維度。時鐘上的指針從一個刻度跳動到另一個刻度，我們就能測量時間。想像一條時間軸，從標示著「零」的一點往右邊去是「未來」，往左邊去的是「過去」。其實，我們已經非常熟悉「時間維度」，在日常生活中經常使用它來表示股市的漲落、物件的運動、歷史的變遷。我們過於習慣時間的存在，以致忽略了時間本身的維度性質。

宇宙卻從沒忘記時間。一個時間維度和三個空間維度，結合成四維「時空」。我們應該緊記什麼是空間（space）、什麼是時間（time），以及當兩者結合時就叫作時空（space-time）。否則在往後的旅程，我們的思緒可能會趕不上眼睛，錯過某些精彩景象。

更高維度存在嗎？

雖然我們現正居住和探索的是四維時空，但這並沒有阻礙數學家研究比四維更高的維度。只要能夠寫出任何高維度的度規，數學家就能推導出其中的有趣特性。在一般情況下，數學家不會區分時間維度與空間維度，這些都是物理學添加上去的額外假設。在某些先進的物理理論中，如所謂的弦論（string theory），理論物理學家就需要用到十一維的數學概念。不過這些都只是純理論的研究，並未有證據支持，在此便不多作討論。

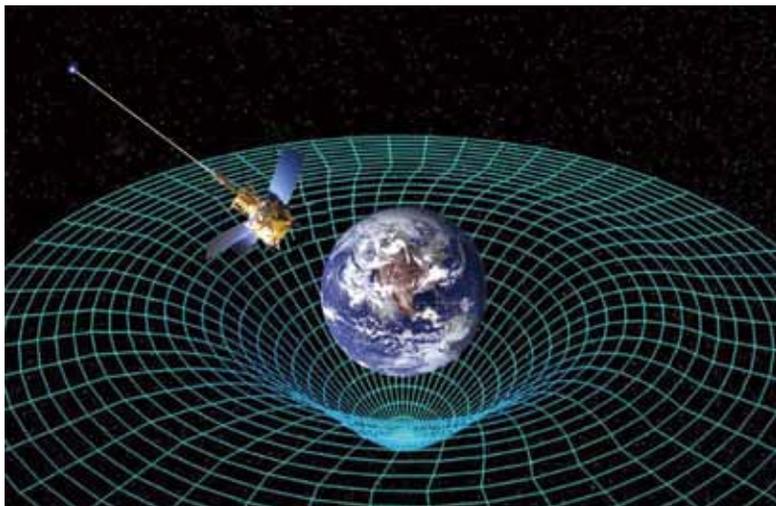
關於這些純數學上的理論，如果您確定正在跟您討論的人是個科學家（至少是個觀測／實驗物理學家），您可以放心地說宇宙是四維的。如果對方是個理論物理學家或數學家，您可能會想趁他於餐廳的枱布上寫下 N 維空間的結構前，先請他喝一杯巴伐利亞小麥啤酒。



雖然我們居住在四維時空中，但我們的身體只需適應空間，而不用適應時間的存在。時間與空間不同之處，在於我們能夠在空間自由地移動，然而我們卻只能被動地跟隨時間往「未來」的方向流動，因為我們是三維空間的生命體。因此，我們的大腦視覺區域並不習慣處理高於三維空間的影像，只能勉強理解四維時空在三維空間上的投影（projection）。投影是幾何學的術語，即把高維度的資訊放在低維度之中，過程中會有資訊流失。想像宇宙就是一齣電影，我們可以在某一刻把電影暫停，那刻定格的畫面就是宇宙的投影，而我們失去了這定格影像的時間資訊；又例如我們把三維物件投影在二維平面上，只會看到它的二維影子，因此從二維平面看，我們不能肯定原本三維立體的確切形狀。

如果這些技術性字眼使您的腦袋閉塞，實在非常抱歉。但請您暫且忍耐，往後我們還需要咀嚼更多科學和數學語言。

或許您會問：間尺和時鐘上的刻度是人類發明的規則，那麼宇宙的空間和時間的刻度是根據什麼規則而存在呢？這裡要簡單介紹「度規」（metric）。這又是一個科學家從數學家手中拿來用的名詞。度規就是「量度的規則」，就好像間尺上的刻度一樣，是量度長度的規則。在之後的旅程，我們將會看到時空有時是平直的，有時是彎曲的。時空變得彎曲，刻度也隨之彎曲，否則測量就不準確了。所以，度規是用來告訴我們時空上的刻度如何彎曲的數學規則。若度規不同，宇宙的行為和演化亦會有所不同。簡單來說，時空度規就是如何量度時空距離的規則。



度規就像時空的格網紙。時空變得彎曲，刻度也隨之彎曲。

Image Courtesy of NASA

利用我們身處的時空旅行膠囊，要在時間中自由來回穿梭並不困難。若要到達指定的時間點，預設了這趟行程的電腦——呃，這是以前的稱呼，此最新版本的時空旅行膠囊並不使用電子，而是利用整部電腦的量子態進行運算（有關量子力學，我們會在〈量子（一）〉及〈量子（二）〉之旅討論），它會提示我們進行時空跳躍。

在整趟旅程中，您可以盡情享用膠囊裡的設施，在這個球狀空間中自由活動。您可以在這透明的球體中一邊喝咖啡，一邊欣賞膠囊外的星系——如果它們已經誕生。您也可以看群石亂舞的原



始行星系統中品嚐美酒佳餚。請不必擔心，餐廳和酒吧的所有費用已經包括在訂單內。

如果您已準備就緒，我們可以隨時出發。請放心，這類型的宇宙旅遊已經辦過無數次，本社的安全評價一直高踞業界榜首。

感謝您選擇「四維時空宇宙旅程」，再次歡迎您來到這艘時空旅行膠囊。我是這趟旅程的導遊，也是接下來 138 億年間您唯一的同伴。希望您在廣闊無垠的四維時空中，能夠享受到足夠的私人空間。噢，不！其實宇宙在開始的時候並不廣寬。

那麼，我們出發吧！