莊子與愛因斯坦的淵源-淺談宇宙論

莊子的第一篇逍遙遊，是這樣開始的：北冥有魚，其名為鯤，鯤之大，不知其幾千里也。說的是一條大魚，大到無法言說。大就是逍遙遊的重點，在短短兩千字的文章中，出現了23次：大知、大樽、大樹、大若垂天之雲。莊子的意思是：胸懷能大，眼光能大，細微、短暫的現象，才不會拘泥你的心靈，人才能自由逍遙、遊於無窮。

在文章中，莊子順手提到了一個很特別的想法：當我們望向浩大的天空，天色蒼茫、整齊平靜無瑕，這是天空真實的樣貌嗎？現代的我們知道上空的風可是劇烈又多變，用莊子自己的語言，天空該是充滿塵埃、野馬似的生物之息。因此。蒼蒼天色，並不是真的因為天空沒有變化，其遠而無所至極也。實在太大，太遠到無法言說，以致看的人無法分辨而已。

莊子的大是有層次的，他說朝生暮死的菌菰一定無法想像海龜的歲數，而海龜也無法了解大樹的年紀。我小時候讀到這裡，就暗自揣想：那麼要懂真正的逍遙，就得領會極致的大，那大的極致會是什麼？莊子自己的答案是：只要你能想像言喻的大，就還有更大的。所以只有無法言說，才是極大。我後來才學會希臘哲學家的思考方法，他們會反過來進行：把所有可以言說的都包括進來，那肯定是最大的了吧。

這就是宇宙這個詞的意思，天文學家觀察天體與天象已經很久了，但真正把宇宙整體當成一個對象來研究，要到20世紀初才開始。愛因斯坦對於宇宙，在1917年提出了一個和莊子非常神似的想法。夜晚的天際，滿佈星辰。璀璨的星光，與星際的黑暗，形成強列的反差與對比。但你或許也注意到了，星星在夜空中的分佈，其實非常均勻，而且如果你的近視越深、視力解析度越差，均勻度就越高。換句話說，如果我們把眼光放到很大很遠，精細度變得很粗，這時，宇宙應該近似是均勻的吧？這是不是很像莊子提過的蒼天一色？現在這個想法，就被稱為愛因斯坦的宇宙論原則，它引爆了二十世紀宇宙學的大爆發，科學家透過四個具體的觀測發現：這個把所有可以言說的都包括進來的宇宙，竟然可以很簡單地理解。這四個觀測就是我們今天的主題。

先讓我們來感覺一下，宇宙的大究竟有多大？有很長一段時間，宇宙指的就是銀河系，因為科學家以為銀河系以外就一無所有了，如此光走過「這個宇宙」大概需要十萬年。由大約千億顆恆星組成的銀河系，我們就說它的大小是十萬光年。要到1920年代，天文學家才確認，在觀測中看到的仙女座星雲M31，並不是在銀河系之內的雲狀氣體塵埃，而是與銀河系彼此獨立而且更大的星系，距離約兩百五十萬光年，估計約包含一兆顆恆星。而銀河系與仙女座星系又同屬於一個約有50個星系的本星系群，本星系群的大小則有6百萬光年。如此巨大的本星系群，相對於整個宇宙其實還是很小。若我們離開在地的本星系群，來到更大的範圍，就如同遊子離開了家鄉，迎向廣大的世界，大致就可以稱為宇宙論的眼光或尺度了。從這個尺度來看，星系或星系群的軌道運動就感覺很慢，我們可以把它們都看成是靜止的。現在可觀測到的星系，估計就至少有千億個之多，而每一個星系，又各包含約千億顆恆星。要容納這樣多、彼此又相距甚遠的星體，宇宙一定很大。現在可觀察到最遠的星系GN-z11，它的光就整整花了134億年才到達地球。這樣的大，必定是莊子所無法想像、但卻肯定心所嚮往的。

我們可以大膽地猜想，從這樣巨大的眼光來看，莊子與愛因斯坦的宇宙論原則就可以適用了。天文學家對大區域的天體分佈作了精確統計，果然證實，如果把宇宙大致劃分為大小為二千萬光年左右的一個個區塊，忽略區塊內小範圍的細節，那麼天體的分佈的確是非常均勻的，這是第一個觀測。意思是：朝向天際任一個方向作天文觀測，結果大致上會是一樣的。而這也代表宇宙大體來說，是相當區域平衡、沒有地方差距的，無論在宇宙中的任一個位置，看到的宇宙也完全一樣。

在三月介紹黑洞的節目中，我提到愛因斯坦1916年的廣義相對論：在星體附近，因為重力作用，時間空間會是彎曲的。而1917年愛因斯坦的宇宙學論文擔心的是一個相關的問題：用宇宙論的眼光來看，宇宙若是均勻的，星體的均勻分布，應該會在大尺度，造成時間與空間的均勻彎曲。但愛因斯坦確信，如果把所有可言說的都包括進來，宇宙一定是處於靜止狀態的，這與彎曲的時間有點不一致。奇怪的是，在廣義相對論中，愛因斯坦也真的找不到他所相信、這樣的靜態解。

就在愛因斯坦提出宇宙論原則不久之後，科學界開始建造一系列巨大的望遠鏡，而且天文學家把接收到的星光，依照光的波長分解後測量強度。這樣的光譜分析實驗，其實就等同於交通警察的測速儀。因為所測得的波長會隨發光物體的速度而有變化，我們很容易就能利用光譜的結果，決定遠處星體的速度。天文學家斯里弗在1910年做了一系列測量，發現遠方的星系竟然都是離我們遠去，有人這樣形容：「星系都像逃離瘟疫那樣，躲避我們」。遠離的速度非常快，其中一個星系達到每秒6萬公里，這是遠大於銀河系本身大約每秒6百公里的移動速度。大約十年之後，哈伯開始利用當時全世界最大的望遠鏡，來研究這個問題。這是2.5公尺直徑，洛杉磯附近威爾遜山天文台的虎克望遠鏡。他的隊友更精確地測量星系速度，而他自己則對十八個較遠的星系作了距離的測定，將兩個數據一比對，哈伯發現星系遠離我們的速度，竟然與距離成正比。這是第二個觀測，後來就稱為哈伯定律，簡言之，離我們越遠的星系，離開得越快。這個現象有一個自然的解釋：地球是宇宙的中心。但我們早知道這是癡人說夢，而且宇宙是均勻的，所以不會有所謂的中心存在。唯一的另一個可能性，整個宇宙是按照原來星系的分佈，整體一起變大。這個驚人的結果，就稱為宇宙膨脹。請注意我們所觀察到的，不是星系本身的運動。剛剛已經說過，星系本身的軌道運動很慢，可以視為是靜止的。有些科普作者會用膨脹的舞台、或膨脹的空間格子來形容這個現象。我個人最喜歡的比喻是葡萄乾麵包，在烘培過程中，麵包會發酵膨漲，等比例變大。那麼靜止於麵包中的葡萄乾也會彼此遠離，而且距離越遠的兩顆葡萄乾，彼此遠離的速度越快。當然，這樣的比喻也不能太當真，聽眾一定得記得，這裡所討論的宇宙除了星系與星際物質之外，是空無一物的，而不像麵包。

於是，把所有可以言說的都包括進來的這個宇宙，竟然不是如愛因斯坦所期待的是紋風不動，而天生就是動態。愛因斯坦一開始非常不能接受這樣的結果，但有些物理學家並不意外，因為早幾年，蘇聯的弗利曼，以及比利時的勒梅特神父，就分別在差點被埋沒的論文中指出：動態宇宙其實是愛因斯坦自己的宇宙論原則，以及自己的廣義相對論，合起來的自然結果，只是這兩個原則的創立者不願承認而已。弗利曼的論文沒受到注意，一般認為是因為愛因斯坦的批評，而勒梅特神父將論文發表在比利時當地的期刊上，其他國家的科學家根本很難看到。科學的發現之路，常有這樣的崎嶇迂迴之處。但既然在觀察上，動態宇宙現在被哈伯所確立了，科學家們就很快重新發現並接受了這兩位先驅者的貢獻，可惜弗利曼在論文發表後不久，就因病過世了。讓我們更精確地，再描述一次宇宙膨脹：根據物理定律，動態宇宙的演化，使得靜止的星系，彼此的距離會隨時間而增加，而且增加的快慢與距離成正比。更厲害的是：演化的方式，可以由宇宙中物質與能量的密度精確計算出來。但並不是所有的尺寸大小都會一起變大，在宇宙膨脹的同時，銀河本身的大小是由組成的物質質量決定，質量並不會隨宇宙膨脹而有變化，因此銀河大小也是維持不變的。

如果宇宙持續在膨脹之中，那麼把時間越往回推，宇宙一定越來越小。物理學家驚覺，一直往前回推，有一個時候，宇宙中所有的物質與能量，會聚集在一個很小、很小的區域。有一本教科書作了估計，在這個時候，整個宇宙的大小就是紙面上一個直徑約一公分的小圓。如此，密度一定極高，溫度肯定很嚇人！在高溫時，所有物質會頻繁地撞擊、彼此激烈作用，無論是分子、原子或原子核都會被拆散。所以早期宇宙中的物質，就像一鍋混合地非常均勻的湯！這樣的均勻混合，科學上稱為達到熱平衡。這樣的狀態，只要知道溫度，就可以完全掌握。科學家這才恍然大悟：原來這個把所有可以言說的，都包括進來的宇宙，竟然不會因龐大而複雜，反而如莊子所預見，其實非常簡單，而可以理解。在這個時間點、宇宙存在的狀態，就稱為大霹靂。聽眾千萬不要誤會，大霹靂是有一個外在的引燃者。我們的宇宙已經把所有都包括進來了，在科學的考慮中，已經沒有宇宙之外的東西了。

大霹靂之後，宇宙持續膨脹，溫度則會因此而下降。從一個非常簡單的狀態出發，科學家就可以用已知的物理定律，對於宇宙隨時間的演化，作非常清楚而且精確的計算。大霹靂後多長時間，宇宙的溫度有多高，那些物質開始進行何種反應，都可以算，早期的宇宙根本就是一個試管中的化學實驗。七月二十三日剛剛過世的物理學大師溫伯格，寫了一本很有名的科普傑作：最初三分鐘，就是在描述這個過程。讓我們舉個例子，宇宙到了第三分鐘，溫度大約是十億度，原本自由的、湯狀的質子與中子，開始形成原子核。首先中子與質子形成氫同位素氘的原子核，氘原子核彼此撞擊，很快就可以合成一個氦的原子核。物理學家作了一個計算，可以得出如此生成的氦原子核數量，這個數量接下來的變化很小，因此就決定了現在宇宙中，氦元素與為數最多的氫元素之間的比例。換言之，現在的氦元素就是在宇宙誕生第三分鐘生成，而一直遺留到現在的原始遺跡！作者伽莫夫就俏皮地模仿達爾文的劃時代著作「物種源始」，將這篇論文的標題取為「化學元素源始」。

當然，到這裡還多少是物理學家的玄想。1960年所意外看到的宇宙背景輻射，提供大霹靂理論一個直接的觀察證據。話說，早期宇宙還有一個很重要的成份，那就是光，更精確一點說應該稱為幅射電磁波，早期宇宙的物質都帶電，運動時會放出，也會吸收電磁波。於是兩者的作用不斷發生，彼此也會達到熱平衡。這樣的幅射電磁波，具有非常獨特的性質，尤其是強度與波長的關係，就特別被稱為黑體輻射。這樣命名是因為在日常自然，這是黑色物體所放出的熱輻射所近似具有的特徵。所以早期宇宙，可以想像成物質泡在黑體幅射的熱湯之中，兩者的溫度會是一樣的。

隨著宇宙持續膨脹，幅射電磁波會隨之冷卻，溫度愈來越低。但因為宇宙是等比例均勻膨脹，原來是完美黑體的幅射，就會一直維持黑體輻射的特徵，直到現在。1960年代，美國貝爾實驗室有一個20英尺的微波天線，研究穿越大氣層的通訊。這個先進的天線，據說一直收到一個雜訊，大家也不以為意。後來的諾貝爾獎得主彭季爾斯與威爾遜，卻把它當回事，很仔細地檢查所有可能的雜訊來源，確定它不是儀器的雜音，也不是地表的餘溫。無論把天線朝向天際哪一個方向，都偵測到一模一樣的訊號，如同背景一般。他們開始在論文中宣傳這個結果，就在不遠處的普林斯敦大學正好有一群天文物理學家，他們立刻就認出這就是他們期待已久的大霹靂鐵證，我們的第三個觀測。這應該是有史以來最意料之外、與原先設定目標最不搭嘎的實驗了。原來研究地表通訊的天線，所量到的是瀰漫在宇宙中，如海一樣的背景微波。進一步的測量發現這個熱輻射是完美的黑體，在所有的方向，溫度大約都是3K，等於攝氏零下270度。原來大霹靂時的黑體輻射，經過漫長宇宙歷史的冷卻，現在只剩3K。但關鍵是它依舊維持黑體輻射的特徵，這就證明宇宙的演化經過這麼多年，完全沒有經歷意外、我們無法預料的波折，一切照著劇本走。宇宙的歷史從現在，可以直接連續不中斷地追朔到137億年前的大霹靂。中間的過程，原則上一目瞭然。神秘的宇宙，不再是一個正確的說法，因為它已毫無秘密了。

1990年科學家從人造衛星上測量，再次確認了宇宙背景輻射是完美的黑體輻射，但同時發現，背景輻射的溫度，有些方向比較熱，有些方向比較冷，溫度差非常微小，大約是萬分之一度。科學家記錄下每一個方向上的溫度，於是得到一張冷熱交錯的宇宙圖像。這並不意外，幾乎可說是在科學家的預料之中。

讓我們又回到早期宇宙，物質與背景輻射，一開始激烈地交互作用，但後來就分道揚鑣了。這件事發生在大霹靂之後約30萬年，此時，溫度約3000度，電子與原子核彼此吸引，開始形成了原子，而這時的溫度已經不夠高，沒有足夠熱能將兩者拆散了，這個時間就稱為復合紀元。復合後的原子是電中性，不會招蜂引蝶的，因此與背景輻射的那段激烈過去，就此劃下句點，幾乎就沒有再來往了。真正分手這一刻，稱為光子去耦紀元。大概原子與輻射還有點藕斷絲連吧，所以比復合紀元稍微晚了一點，大約是38萬年。分手的瞬間，雙方還是彼此留下了記憶。我們常喜歡比喻說，宇宙早期時，物質與光不斷作用，是模糊不透光的。但從光子去耦紀元起，宇宙就變成透明的了，意思是背景輻射，即使遇到物質也沒有感覺了，等於完全隔離，輻射不再被改變。那麼背景輻射上面的痕跡，或說記憶住的溫度差，就是去耦紀元時，物質在最後一次見面時所留下來的。這有點像外遇小說，諾貝爾獎得主皮博斯則把它比喻為化石，但我更喜歡說這張溫度的分佈圖像是宇宙最早的一張照片，記錄了137億年前、宇宙剛誕生38萬年時，物質的面貌，精確一點說，記錄下的就是那一刻宇宙中物質分佈的不均勻，後來就演化成今日的星系與星體。

這就是我們最後一個觀測，而就如同我們可以由老照片發掘過去的故事，這個圖像幾乎使我們對宇宙的過去以及演化細節，可以追究得一清二楚。包括剛剛一再出現的宇宙年紀，現在已可以測量，精確到約千分之一。宇宙的曲度，物質與輻射的比例，星系等結構如何形成，這一些原來只能玄想的問題，現在都有定量、而且前後一致的結論。這就稱為宇宙論的標準模型。

當然標準模型也不是對所有的問題都有答案，背景輻射的圖像其實預測宇宙的總能量與質量中，有26%的黑暗物質，70%的黑暗能量，這兩個成分科學家都還完全不清楚它們究竟是什麼。所以我們所了解的部分，只佔宇宙總量的4%。所以台大梁次震宇宙學中心的陳丕燊主任是這樣說的：這場宇宙學的考試，科學家的得分只有四分，顯然是不及格的。但也顯示我們還處在科學發展的西部開墾時代，前方還有廣闊的知識土地，等待我們去探索。

寫到這裏，我不禁想到莊子逍遙遊的結尾，惠子嘲笑莊子的言論，好談論大，就像路邊臃腫扭曲、毫無用處的大樹。宇宙論有什麼用？的確沒有，大概也就是乘天地之正，御六氣之變，如此而已。不像上個月介紹的半導體，能製造出如此的財富與便利，宇宙論對人，除了一張老照片，其實真的一點用處也沒有。

而莊子對惠子的回答是這樣的：今有大樹，患其無用，何不樹之於無何有之鄉，廣漠之野，徬徨乎無為其側，逍遙乎寢臥其下，無所可用，安所困苦哉。