

2018大師談天文系列 專家演講

## 世界最遙遠的距離－淺談宇宙空間的幾何性質

[https://www.youtube.com/watch?v=yJFCUV\\_BnUg](https://www.youtube.com/watch?v=yJFCUV_BnUg)



# 世界最遙遠的距離 淺談宇宙空間的幾何性質

如果宇宙有一個最遙遠的距離，  
那宇宙是不是有一個邊界？那在這邊界的外面又是什麼？

文/ 黃崇源

世界最遙遠的距離是有多遠？或者該問這世界真的有一個最遙遠的距離嗎？如果宇宙有一個最遙遠的距離，那宇宙是不是有一個邊界？那在這邊界的外面又是什麼？這些問題從古就困擾許多對宇宙自然有興趣的人，所以連屈原都會問「九天之際，安放安屬？」近代宇宙學和天文學的進展，對這個問題提出一些明

確的答案。天文學家所謂的世界最遙遠的距離雖然不是「我在妳身邊妳卻不知道我愛妳」那種文青距離，但卻也跟一般人對距離的認知有所不同。也是一個很容易讓初學者感到困惑的主題。主要原因是因為宇宙的幾何性質會讓距離在不同測量方式下有不同的答案。

關於距離的量測，我們可以從我們的周圍看起。圖一使用Google Map所繪出的臺灣地圖。從圖一，我們如果問臺南還是嘉義離臺北較遠，我想大家都可以給出正確的答案，臺南比較遠。但如果我們把範圍放大，如圖二的世界地圖。當我們想從圖上問是冰島的首都雷克雅未克離臺北比較遠，還是愛爾蘭首府



圖一：比較臺北到嘉義的距離和臺北到臺南的距離



圖二：比較臺北到愛爾蘭的距離和臺北到冰島的距離。

都柏林離臺北比較遠時，答案就沒有那麼明顯。因為我們生活的地球表面是接近一個球面，用一般二維的平面圖形來表達其上二點的距離時會有偏差。當距離小時，偏差不明顯，但在很大的距離時，偏差會很大。

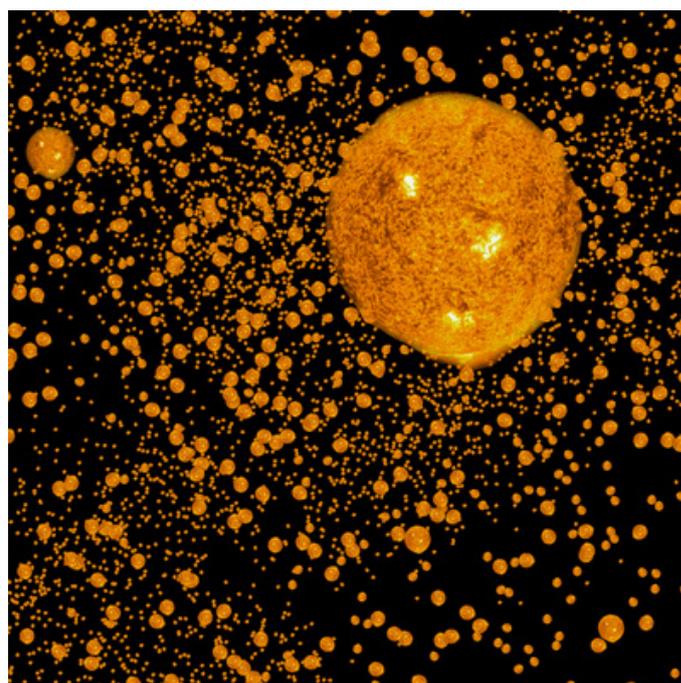
這例子告訴我們，距離跟空間的幾何性質有關。我們處在一個地球的表面上，地表上二點距離是通過這二點的球面大圓，而非平面上的直線。但因為地球表面的面積是有限的，因此我們也可以找到地表上最遠的距離。地球上最遠的二點就是通過球心到地球表面的另一點。例如離臺北最遠的地方就在中南美的阿根廷的福爾摩沙省，而離臺灣中心點（埔里）的最遠的距離則在巴拉圭境內。

我們能在地球表面找到一個最遙遠的距離是因為地球表面的大小是有限的。所以如果要問宇宙是否有一個最大的距離，那就要先問宇宙是有限還是無限？另一方面我們知道平面和球面的距離性質會大不相同。因此宇宙

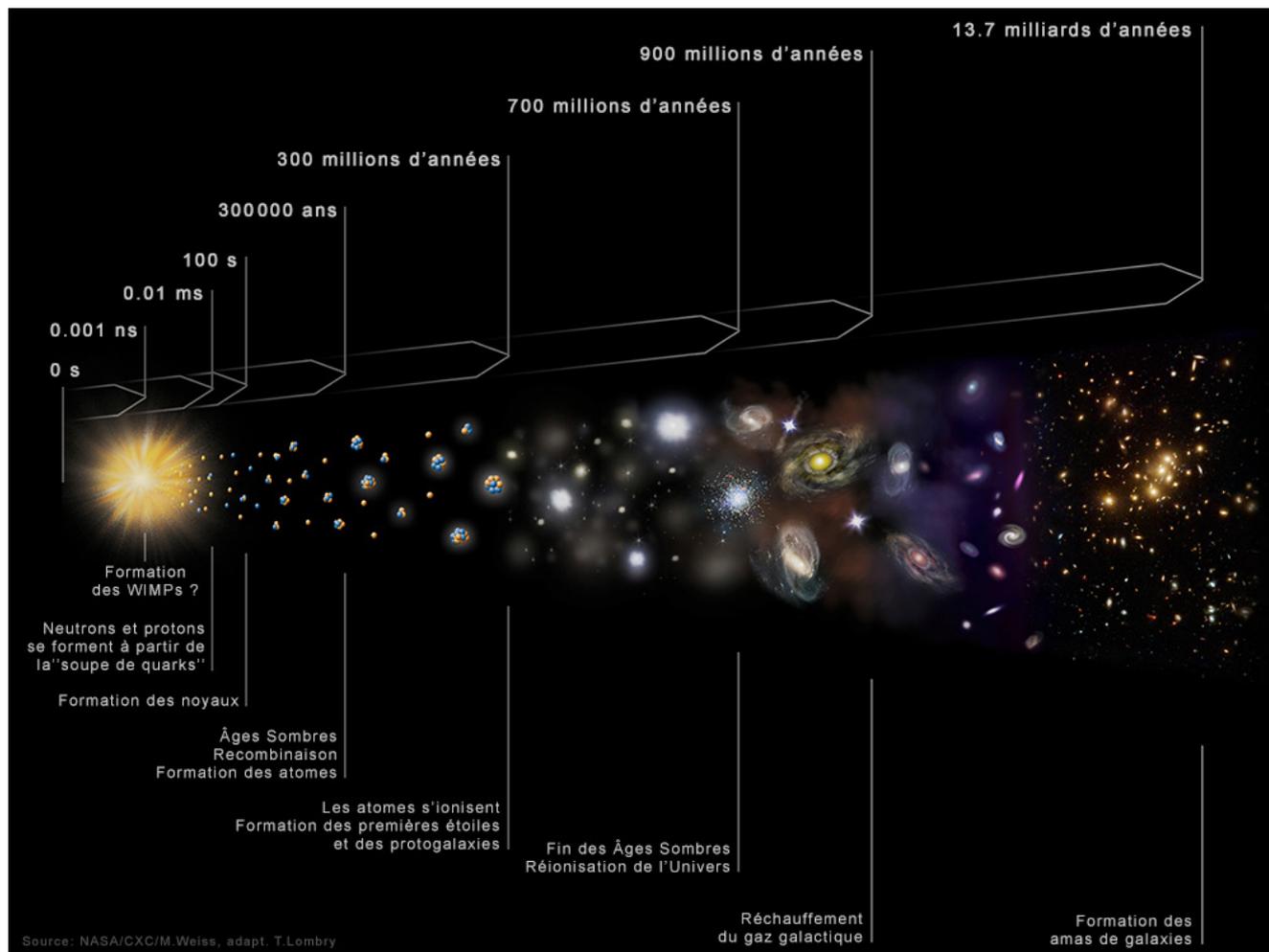
如果存在一個最遙遠的距離，它的大小也會跟宇宙的幾何性質有關。

我們怎麼知道宇宙是有限或是無限的？這問題雖然聽起來有點難，但事實上，從每天的日常生活就可以很簡單的知道答案。假設宇宙是無限的，且有均勻分佈的星球或星系。我們接收到的這些星球的通量是跟距離平

方成反比，但星球的數目卻是跟距離平方成正比。因此不管距離遠近，我們所接收到通量都是一樣。如果宇宙距離是無限的，則我們所接收到由不同距離所累積起來的通量也是無限。這樣夜晚的天空將會無限亮！或至少會跟星球的表面一樣亮。但為什麼夜晚的天空是黑的？最可能的原因就是宇宙不是無限的。這就是所謂的歐伯斯佯謬，它從夜晚天空



影片  
歐伯斯佯謬示意圖。  
來源 Wikimedia  
Commons  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Olber%27s\\_Paradox\\_-\\_All\\_Points.gif](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Olber%27s_Paradox_-_All_Points.gif)



圖三：大霹靂

是黑暗的這個現象，回答了宇宙是有限的還是無限的這個千古問題。

宇宙包含時間和空間二個概念。有限的宇宙可能是空間有限，因此我們看到的宇宙其空間範圍有限。也可能是宇宙的時間有限，因為光速是定值，因此我們所能看到的最遠距離就是光從宇宙誕生到現在所走的距離，但宇宙的實際空間可能比我們能看到的宇宙更大。

我們宇宙是空間有限還是時間有限呢？一百多年前，哈伯發現了哈伯定律，他發現宇宙大部份的星系都在遠離我們，而且其

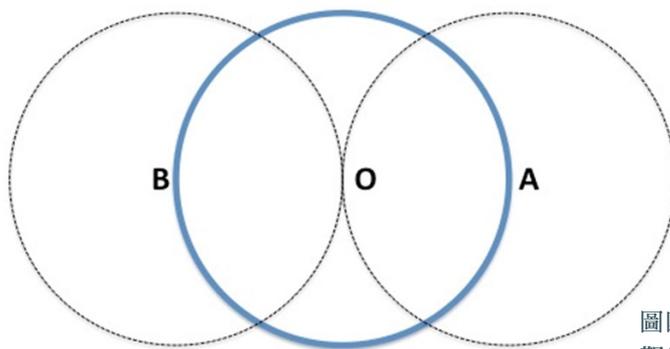
遠離速度跟距離成正比，距離愈遠，速度愈大。哈伯定律最簡單的解釋就是宇宙在膨脹中。在一個膨脹的宇宙中，任何星系都可以看到其它星系都在遠離它們，而且距離愈遠，速度愈大。如果宇宙一直以固定的速度膨脹，則哈伯常數的倒數就是宇宙的年齡，約150億年。在那一時間點，宇宙所有的物質都集中在一個很小的區域中，再開始往外膨脹。但因為宇宙中存在有許多物質，如星星、星際氣體、星際塵埃等，這些物質間的萬有引力會使宇宙的膨脹速度減慢。所以宇宙過去的膨脹速度應該比現在快，因此宇宙的年齡應小於150億年！

宇宙有一個有限的年齡聽起來好像也不會比宇宙有個邊界更不奇怪。但目前許多科學的證據都認為宇宙是誕生於138億年前的一個大爆炸。那在138億年宇宙誕生之前是什麼？這個問題牽涉到時間的本質是什麼。可惜的是我們只能用操作型的定義量時間，卻很難對時間給出一個大家都接受的定義。但時間和空間是相關的。二件事情的間隔時間長短或是先後會和空間有關。因此大部份的科學家認為宇宙誕生同時產生了時間和空間！因此並不存在宇宙誕生前的時間。但也有人有不同的意見！畢竟我們對時間不夠了解！

如果宇宙誕生在138億年前，那我們所能看到的最遙遠距離是否就是138億光年？這其實是許多人的誤解。因為距離也跟宇宙的幾何性質有關，包括宇宙的幾何形狀和膨脹速度。因為宇宙膨脹的原因，來自138億年前的光，其距離可以遠大於138億光年。但因為當我們看的愈遠，我們看到是更久遠前的宇宙。最遠只能看到來自138億年前的光。但138億年前的宇宙只是一個很小的點，因此當我們看的愈遠，我們就看到一個愈小的宇宙。當看到夠遠時，距離就無法再變化。因此宇宙存在著一個最遙遠的距離！

但是這個最遙遠的距離的實際大小也跟我們如何量度距離有關。一般我們對距離所造成的效應的理解或是測量，都是來歐氏空間幾何。例如光源愈遠，其看起來愈暗，且其通量大小與距離平方成反比。或是一個東西愈遠，則看起來愈小，且大小與距離成反比。我們可以藉由這些距離的性質來測量一個遙遠天體的距離。但因為宇宙在膨脹，當距離很大時，這樣量出來的距離，會受到宇宙膨脹的影響，而跟我們實際用尺量的距離（如果我可以尺量的話）不一樣。例如在宇宙剛誕生時，整個宇宙的大小比一顆蘋果小很多。所以如果我們可以看到宇宙初期時一顆蘋果大小的物體，它的體積將會佔滿整個天空。從這結果我們也可推知在某個距離以外，物體是離我們愈遠，反而看起來愈大！

我們如果把距離當成離我們愈遠的天體，其看起來要愈小，依照這樣定義出來的距離，其最



圖四：A和B為我們能觀察到的不同方向的最遙遠的距離。

遠的距離大概是58億光年。如果我們可以用尺去量，那我們能看到的的最遠距離約是461億光年。這是指現在我們能看到宇宙最遠的訊號的距離。因為宇宙在膨脹，我們能看到的的最遠的距離會比光在宇宙的年齡(138億年)中所走的距離還遠！

在宇宙最遙遠的量尺距離外面是什麼？我們雖然永遠無法直接觀察到，但還是可以很簡單的得到答案。例如，由圖四我們如果往東看，可以看到461億光年遠的A點，而當我們往西看，也可以看到461億光年遠的B點。我們知道雖然A、B看不到彼此，但以A點和B點為中心的宇宙其實差不多。我們也可以推知在最遙遠的距離外面的宇宙，還是跟我們差不多的宇宙！

為何宇宙如此的巨大？如果只考慮大爆炸，宇宙好像太大了。目前的理論認為宇宙在誕生的 $10^{-35}$  到 $10^{-24}$  秒內暴脹 $10^{50}$  倍，而現在所看得到的宇宙，都來自原來一個很小的區域。而暴脹的結果也會讓宇宙看起來很平坦。目前的觀測也發現宇宙是非常平坦的。但廣義相對論說宇宙的幾何是由宇宙中的質量決定。但目

前宇宙中可見物質的密度只有不到5%讓宇宙變成平坦所需的質量。宇宙中百分之九十五的質量都是所謂的黑暗物質和黑暗能量。黑暗物質或黑暗能量是目前天文和物理領域中二個最重要的未解之謎。一種可能的來源是黑暗物質和黑暗能量可能跟空間的內在幾何性質有關。但這些都有待未來天文和物理學家的努力。

黃崇源：國立中央大學天文研究所教授

YouTube相關影片：



李傑信博士談「宇宙的起源」——大霹靂

<https://www.youtube.com/watch?v=cEV9rLa4I8M&list=PLzYYnhQIXmVFsvyXS1gMltcgKe5T-ZZZt&index=7>