

知識天地

遠紅外光的起源

王為豪副研究員（天文暨天文物理研究所）

我們知道有溫度的物體會放出紅外光。更精確地說，只要溫度到達絕對溫度十K以上，就能發出波長數十nm（奈米）到數百nm的遠紅外光。因此，任何我們日常生活中能接觸到的物體（溫度300K上下）都能發出遠紅外光，遠紅外光在我們熟知的環境裡可以說是無處不在。

但是，即使扣除了地球上我們周遭物體產生的遠紅外光、甚至我們說得出的天體所產生的遠紅外光，太空中仍瀰漫著來自四面八方、無處不在的遠紅外背景光。遠紅外背景的發現與量測來自90年代的COBE人造衛星，之後乃至現在的這二十多年間，瞭解遠紅外背景光的起源已成為近代天文物理的一個重要任務。

要知道遠紅外背景光到底有何重要，就不能不知道宇宙中還有其它何種背景。圖一畫的是背景輻射的光譜，圖中我們可以看到，最強的背景是有名的微波背景輻射，我們知道它的溫度為2.73K，是太初的高溫宇宙留下的輻射、因宇宙的膨脹而冷卻到今日的溫度。剩下的兩個背景輻射的總強度約略相當，一個是光學背景，波長範圍約從紫外光到近紅外光；另一個就是前面提到的遠紅外背景，主要波長在遠紅外光，但也有一部份進入中紅外光與波長略長的次毫米波與毫米波。

光學背景乍看之下是一片瀰漫的背景，但在大型的地面天文台與太空望遠鏡的高解析力觀測之下，光學背景被解析成無數的暗淡星系（如圖二中的哈伯深景）。因此我們知道，光學背景的來源是宇宙中無數遙遠星系中的恆星，恆星表面溫度從數千到數萬K不等，所以主要放出可見光、紫外光、與近紅外光。而透過光學觀測測量這許多星系的亮度、質量、大小、年齡、距離（因為光速有限，天文學裡的距離亦表示時間、也就是星系是處於多久以前的宇宙）、以及分佈狀況，

我們便可推測它們的形成歷史，以及控制著星系形成與分佈的宇宙學參數。這在過去20年是一個非常蓬勃發展的研究領域，且橫向連繫了天文物理與宇宙學，是天文學中勢力最龐大的一個分支（如果由人數與論文數來衡量的話）。

如果研究光學影像中眾多暗淡的遙遠星系是如此重要，那遠紅外背景光的重要性從圖一來看就不言而喻了：它的輻射強度跟光學背景光幾乎一樣！可是，我們對遠紅外背景光起源的瞭解卻遠不如光學背景光。

首先，我們大致上相信遠紅外背景光一樣來自宇宙中為數眾多的星系，再往上追溯的話，能量來源依舊是星系中無數恆星所發出的星光。但是，星際空間中的介質除了原子、分子、與離子等氣體，尚有以碳與矽為主成分的微小固體粒子，天文學家稱之為灰塵，某種程度上跟我們在地板上掃出的灰塵是差不多的東西。這些塵粒大小在0.1 nm前後，所以特別能吸收波長與之相近的紫外光與可見光，等同於削弱光學背景光的強度。塵粒吸收恆星的星光後，自身溫度會上升，達絕對溫度數十K後，便會放出遠紅外線。這樣的解釋如果正確，配合光學背景與遠紅外背景強度相近的結果，表示宇宙中所有恆星的星光有一半都被灰塵吸收掉，而改在遠紅外釋出能量。這件事的另一種說法就是，如果我們只用傳統的光學望遠鏡觀察宇宙，我們就只能看到其中一半的故事，另一半被我們錯過了。任何科學實驗，如果我們只揭曉結果的一半，那都是非常令人不滿的。

所以，我們極欲知道遠紅外背景光到底來自何方。要回答這問題，需要使用高解析力、高靈敏度的望遠鏡把遠紅外背景光解析成個別的星系，就像光學望遠鏡解析光學背景光一般，然後逐一研究這些遠紅外星系。可惜的是，這樣的望遠鏡一直以來都不存在。

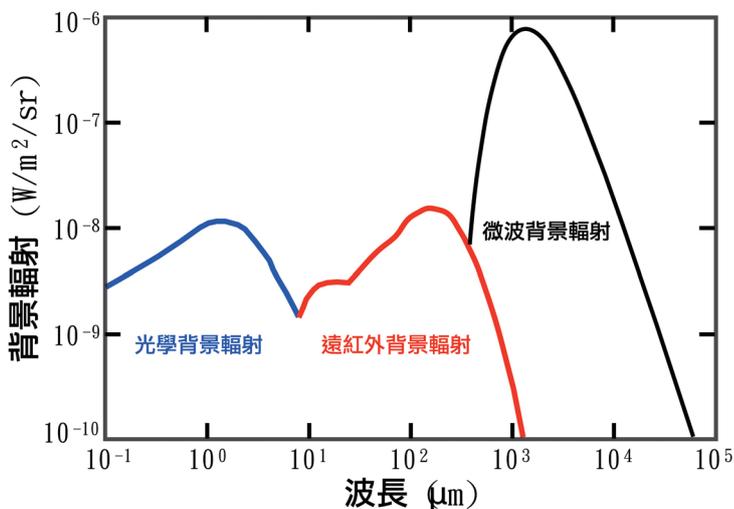
首先，要在遠紅外波段觀測，望遠鏡就必需送上太空，因為地球的大氣對遠紅外來說是不透明的。而送上太空的東西不可能大，遠紅外太空望遠鏡的主鏡最多只能比哈伯大個幾倍，但面對的輻射波長卻是哈伯的百倍到千倍，繞射效應會讓遠紅外太空望遠鏡的角解析力相當差，不太能將遠紅外背景光解析成為數眾多的星系，最多只偵測到其中較亮的幾個星系而已。事實上，歐洲太空總署在2009年發射升空的Herschel遠紅外望遠鏡，

在波長250 nm到500 nm之間的遠紅外線所偵測到的星系，約只能解釋一成的遠紅外背景光。剩下的九成來自更暗、數量更龐大的遠紅外星系，需要更高的解析力才能偵測到它們。

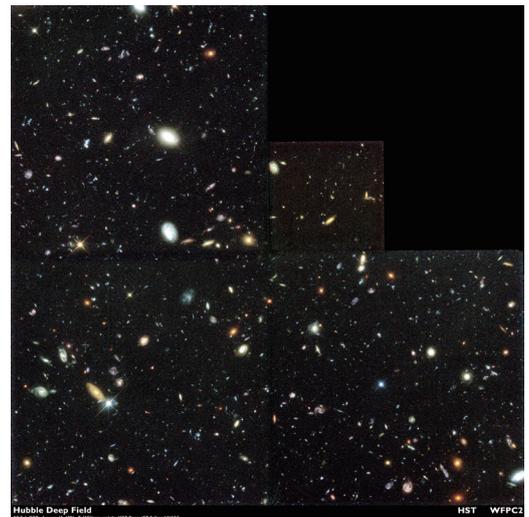
另一方面，在地面上雖然無法直接偵測到遠紅外光，卻可以透過大氣在次毫米波段的幾個窗口觀測會發出遠紅外光的星系，而地面上的望遠鏡可以蓋得比太空望遠鏡大很多，因此解析力較高。人類首次解析遠紅外背景光，就是約在20年前透過波長850 nm的地面觀測達成。當時天文學家偵測到的次毫米星系，約可解釋次毫米波段的背景光的20%到30%。同樣地，剩下七八成的次毫米背景光來自更暗、為數更多的星系。在這個工作上，英國在夏威夷毛納基峰領導建立的JCMT次毫米望遠鏡（2015年起由東亞天文台接手營運）居功厥偉，本院參與興建與營運的次毫米陣列（SMA）也對進一步瞭解JCMT偵測到的次毫米星系有過多次重大貢獻。但不論如何，JCMT受限於解析力，在850 nm波長只能直接解析最多30%的背景。目前由筆者協調組成的國際團隊正使用JCMT執行一個大型計劃，我們正透過450 nm較短波長的觀測（解析力較高，但觀測更受限於天氣、難度也就更高）設法偵測到數量更多、更暗的星系，有望在未來兩年內解析超過50%的遠紅外背景。

與JCMT並列、另一個目前最有希望完全解析次毫米背景光的望遠鏡，是同樣由本院參與興建、座落於智利的阿塔卡瑪毫米波與次毫米波陣列（ALMA）。ALMA的解析力數倍於JCMT，暗紅外線星系的密度再高，透過ALMA都可以解析。ALMA的靈敏度也高，即使是我們所能想像最暗的遠紅外或次毫米星系，ALMA都能在一天之內偵測到，而同樣的星系換成JCMT或SMA則可能要花超過十倍或百倍的觀測時間。問題在，像ALMA這樣的干涉儀，視野卻非常狹窄，適合得到小範圍內無比清晰影像，不適合用來搜尋大範圍的天區以求取足夠的樣本數。也是因為這樣，ALMA到目前為止在解析遠紅外背景這個主題上，並未在短時間內把這問題一拳擊倒。但不論如何，ALMA過去幾年的觀測，也已經讓我們對次毫米與遠紅外背景光的起源有了更深的認識。

就目前已被ALMA與JCMT解析的遠紅外與次毫米星系來說，我們知道其中大部份在過去都已經被光學望遠鏡偵測到過。但是，單從過去的光學觀測，我們發現我們幾乎無法可靠地預測這些星系是否是遠紅外星系。換句話說就是，光學觀測確實只能告訴我們不被灰塵掩蓋的那一半，深埋在灰塵中的故事還是得靠地面的次毫米觀測來揭露。我們現在除了不斷使用JCMT、SMA、以及ALMA設法解析更多的遠紅外背景，針對已解析出的星系，我們也透過各種可能的觀測，希望決定它們的數量與空間密度、測量它們出現於宇宙歷史的哪一時期、以及設法瞭解到底是何種星系處於何種形成階段會因為極大量的灰塵而放出強烈的遠紅外光。我們相信在未來十年，這個主題的研究會有長足的進展，我們的宇宙埋藏在灰塵中的那一半，遲早會清楚呈現在我們眼前。



圖一：背景輻射的光譜。



圖二：哈伯深景。這是90年代哈伯太空望遠鏡對天空極小的一塊區域做長時間曝光得到的影像。圖片版權：Robert Williams and the Hubble Deep Field Team (STScI) and NASA/ESA