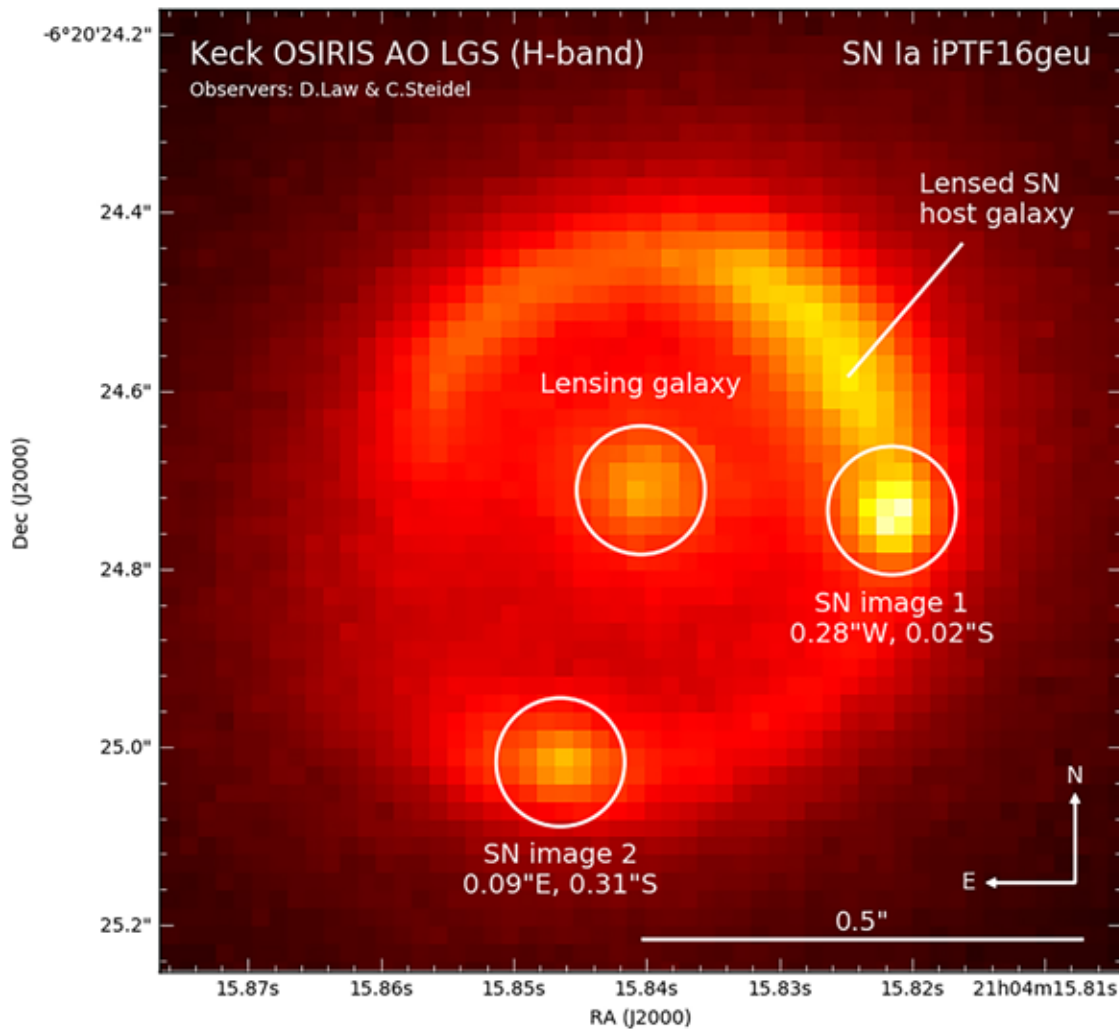


# 當重力透鏡遇上超新星！

文/ 李見修



夏威夷毛納基峰（Mauna Kea）凱克（Keck）望遠鏡所觀測的超新星（SN）iPTF16geu、宿主星系（Lensed SN host galaxy），及重力透鏡星系（Lensing galaxy）的影像。

## 重力透鏡

根據愛因斯坦的相對論，重力會造成時空彎曲，而時空彎曲的程度與質量成正比。我們日常生活中所接觸的事物質量很小，所造成的時空彎曲微乎其微。但當質量達到銀河系、星系團的等級時，時空彎曲非常顯著，可以

將來自背景星系的光聚焦放大，好似拿著放大鏡般，因此又稱「重力透鏡效應」。

## 超新星

超新星是恆星演化的最終階段，爆炸而綻放出的絢爛煙火。超新星爆炸的亮度可以超越整個

星系恆星的總和，即便是在遙遠的距離也可以觀測得到，因此可用來量測遙遠星系的距離。超新星依光變曲線以及光譜中氫線的有無可分為I型及II型，其中II型為單一巨質量的恆星爆炸而來，而Ia型超新星則是雙星系統，由白矮星逐漸吸積伴星的物質，達到白矮星質量上限後爆炸。也因

此，Ia型超新星爆炸時的質量幾乎一致，而爆炸時的最大光度也一致。此特性使得Ia型超新星可以用作標準燭光，來測量遙遠星系的距離。透過Ia型超新星的觀測，天文學家發現宇宙正在加速膨脹，並因此獲得2011年諾貝爾物理獎！

### 當重力透鏡 遇上超新星

藉由超新星準確量測哈伯常數，並與宇宙誕生時的微波背景輻射的結果相比較，讓天文學家們得以一窺暗能量的本質、微中子的質量，以及宇宙的曲度。目前所量測到的哈伯常數，與宇宙微波背景輻射的結果並不吻合。一方面，量測宇宙背景輻射的普朗克衛星可能存在系統性誤差。另一方面，天文學家所採用的宇宙模型或許並不精確。如果是後者，那麼精準量測哈伯常數將可以讓我們修正宇宙模型，並進一步探究暗能量的狀態方程式、宇宙的曲度，以及微中子的質量。

除了超新星外，另一個量測哈伯常數的方式，是透過重力透鏡所造成的時間延遲。當遙遠的星體受到前景星系或星系團的重力透鏡作用而形成多重影像時，每個影像上的光子所經過的時空路徑並不相同，因此到達觀測者（地球上的我們）眼中時，會有時間差。這個時間差只跟空間曲度有關，因此我們能由此測得哈伯常數。

舒爾·雷夫斯達爾（Sjur Refsdal）在1964年首先提出使用超新星來量測時間差。可惜當時尚未有大規模的巡天計畫，所發現的超新星甚少，因此天文學家轉而使用類星體來量測重力透鏡時間延遲。但重力透鏡時間延遲包含了透鏡星系的質量分佈以及哈伯常數兩個相關變量，因此無法單獨準確量測哈伯常數。第一個多重影像的超新星直到去年才由哈伯望遠鏡發現，並命名為雷夫斯達爾超新星，以紀念雷夫斯達爾的貢獻。可惜此超新星為II型超新星，我們對於其距離及爆炸時的最大光度未能有精準的測

量，因此無法測量哈伯常數。

令人驚喜的是，在2016年9月，天文學家首次觀測到多重影像的Ia型超新星！這是由加州理工學院所主導的帕洛瑪瞬變天體巡天計畫（PTF，臺灣中央大學亦參與其中）所發現的iPTF16geu（見附圖）。與類星體以及II型超新星的相同點在於，我們能準確的計算出Ia型超新星的最高光度，並因此得出重力透鏡的放大率，可打破透鏡星系質量分佈及哈伯常數的相依性，讓天文學家得以單獨且準確的測量哈伯常數！

目前iPTF16geu的後續光度觀測仍持續進行中，相信在不久的將來，我們便能透過其時間延遲量測哈伯常數！

相關論文：

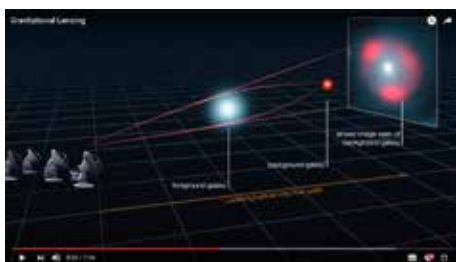
<http://science.sciencemag.org/content/356/6335/291>

資料來源：

<http://copssnova.weebly.com/gravitational-lensing.html>

李見修：Subaru望遠鏡支援天文學家

#### YouTube 重力透鏡相關連結



Gravitational Lensing

<https://youtu.be/4Z71RtwoOas>



Schematic of strong gravitational lensing

[https://youtu.be/p6g0h2\\_04Po](https://youtu.be/p6g0h2_04Po)