

## 第 13 單元：事件視界望遠鏡

（適合高中以上）

望遠鏡的口徑越大，觀測時得到的解析角度就越精細。因此，理想上，天文學家希望建造一個非常大的望遠鏡。然而，由於成本高昂以及建造技術的限制，解決的辦法就是利用許多小望遠鏡同步觀測，以將它們合成一個極大望遠鏡。事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope, EHT）就是利用世界上許多大型電波望遠鏡同步觀測，合成一個口徑大小與地球相當的望遠鏡。EHT 的目標是以這樣大的口徑解析鄰近我們地球的超大質量黑洞的真實影像。這個影像是由黑洞的光子不穩定軌道逃逸的眾多光線形成環繞中央陰影的光環，烘托出了黑洞的輪廓。EHT 的觀測目標包括我們銀河系中心的超大質量黑洞（稱為人馬座 A\*，Sgr A\*）以及 M87 星系中心的超大質量黑洞。2019 年 4 月 10 日，EHT 公布了人類史上第一張黑洞照片，即 M87 星系中心黑洞輪廓。臺灣由中央研究院天文及天文物理研究所主導的「格陵蘭望遠鏡」也於 2018 年 4 月加入 EHT 的聯合觀測。



圖說：事件視界望遠鏡（EHT）將世界上許多電波天文臺連接在一起。

以下影片為中央研究院天文及天文物理所參與 EHT 計畫，於 2019 年 4 月 10 日舉行全球同步記者會，公布第一張超大黑洞及黑洞陰影的視覺影像。

[https://www.youtube.com/watch?v=t9\\_NhzhVJUo](https://www.youtube.com/watch?v=t9_NhzhVJUo)

練習 13-1：

電波望遠鏡陣列觀測時得到的影像解析度為  $\theta = \lambda/D$ ，其中  $\lambda$  為觀測的波長， $D$  為陣列中兩個望遠鏡之間的最大距離。EHT 的觀測波長為 1.3mm，兩個望遠鏡之間的最大距離為 11,000km。試求事件視界望遠鏡的解析度。

答案：

$$\theta = (1.3 \times 10^{-3}) / (1.1 \times 10^7) = 1.29 \times 10^{-10} \text{ 弧度} = 2.4 \times 10^{-5} \text{ 角秒} = 24 \text{ 微角秒}。$$

$$(1 \text{ 弧度} = \frac{180}{\pi} \text{ 角度}, 1 \text{ 角度} = 3600 \text{ 角秒})$$

練習 13-2：

距離地球最近的黑洞「Gaia BH1」在銀河系內，距離 1,550 光年，質量為 10 倍太陽質量。試計算此黑洞的光子不穩定軌道在天空中的張角。並將答案與 EHT 的解析度做比較。

答案：

根據練習 3-4，10 倍太陽質量的黑洞史瓦西半徑為  $10 \times 2.95 = 29.5$  公里。根據第 6 單元，光子不穩定軌道為史瓦西半徑的 1.5 倍。因此，此黑洞的光子不穩定軌道大小（直徑）為 88.5 公里。該軌道在天空上的張角為：

$$\theta = \frac{88.5 \text{ 公里}}{1550 \text{ 光年}} = \frac{8.85 \times 10^4 \text{ m}}{1550 \times 9.46 \times 10^{15} \text{ m}} = 6.04 \times 10^{-15} \text{ 弧度} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ 微角秒}。$$

此張角遠小於 EHT 的解析度。因此，使用 EHT 將無法解析 Gaia BH1 的影像。

練習 13-3：

Sgr A\* 距離地球約 27,000 光年，質量為 400 萬倍太陽質量，試計算 Sgr A\* 的光子不穩定軌道在天空中的張角。並將答案與 EHT 的解析度做比較。

答案：

根據練習 3-4，400 萬倍太陽質量的黑洞史瓦西半徑為  $400 \times 10^4 \times 2.95 = 1.18 \times 10^7$  公里。根據第 6 單元，光子不穩定軌道為史瓦西半徑的 1.5 倍。因此，此黑洞的光子不穩定軌道大小（直徑）為  $3.54 \times 10^7$  公里。該軌道在天空上的張角為：

$$\theta = \frac{3.54 \times 10^7 \text{ 公里}}{2700 \text{ 光年}} = \frac{3.54 \times 10^{10} \text{ m}}{27000 \times 9.46 \times 10^{15} \text{ m}} = 1.39 \times 10^{-7} \text{ 弧度} = 29 \text{ 微角秒}。$$

此張角與 EHT 的解析度相當，因此 EHT 可以解析出 Sgr A\* 的影像。

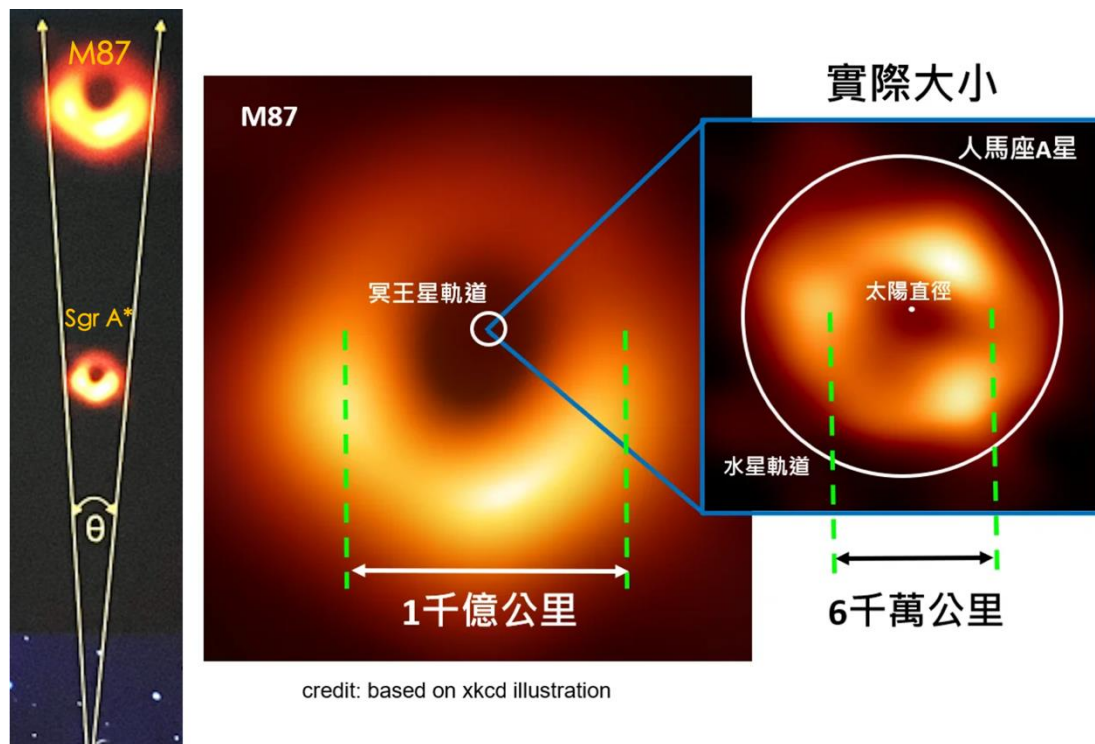
練習 13-4：

M87 星系中心的超大質量黑洞質量約為 Sgr A\* 的 2,000 倍，M87 星系去力地球約為 Sgr A\* 距離地球的 2,000 倍。試計算 M87 黑洞的光子不穩定軌道在天空中的張角。並與 Sgr A\* 做比較。

答案：

黑洞的光子不穩定軌道與其質量成正比，物體在天空上的張角與距離成反比。M87 黑洞的質量和距離均 Sgr A\* 的 2,000 倍，所以在天空中的張角與 Sgr A\* 相同。

也就是說，M87 黑洞與 Sgr A\* 光子不穩定帶所烘托出的黑洞輪廓，皆可以被 EHT 解析，雖然兩個黑洞在觀測上看起來一樣大，事實上，M87 黑洞直徑是 Sgr A\* 的 2,000 倍，質量也是 Sgr A\* 的 2,000 倍。



圖說：M87 黑洞與 Sgr A\* 的比較。



延伸閱讀：

[人類史上首張黑洞近照：懶人包 I \(卜宏毅教授\)](#)

[人類史上首張黑洞近照：懶人包 II \(卜宏毅教授\)](#)

[為什麼拍到銀河系中心黑洞很重要？如何看見黑洞？黑洞 QA 大集結！](#)

[\(中央研究院/研之有物\)](#)

[中研院格陵蘭望遠鏡公布 M87 黑洞最新影像：證明黑洞暗影持續存在](#)

[事件視界望遠鏡觀測到銀河系中央黑洞周圍的扭曲磁場](#)

[證實 M87 星系中心超大質量黑洞正在旋轉](#)

[人工智能增強了第一張黑洞圖像的解析度](#)