

天聞

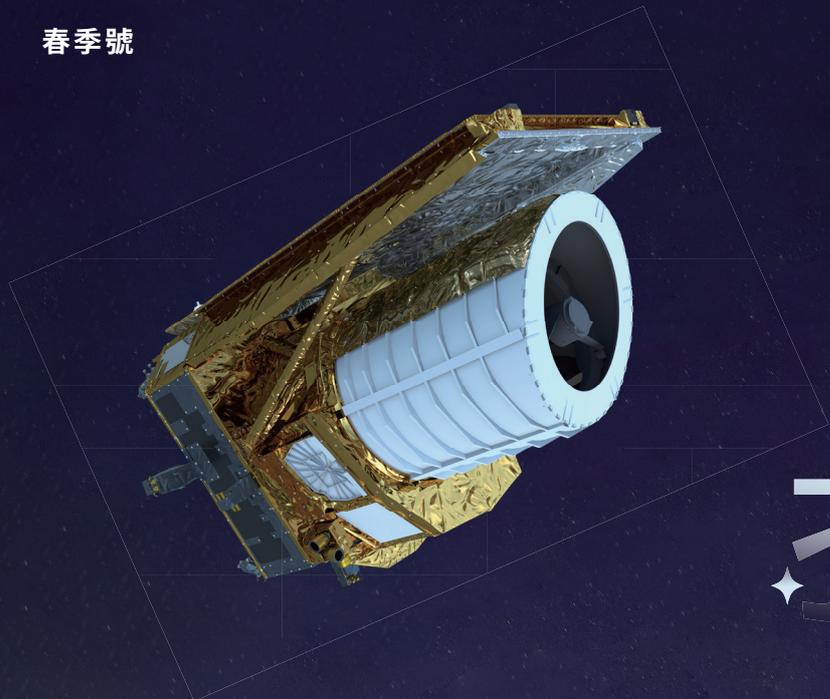
中華民國113年

春季號

中研院天文所季報

ASIAA Quarterly Press

<http://www.asiaa.sinica.edu.tw>



探索 黑暗宇宙



下方是基特峰上的眾多天文台，中間最顯著的圓頂下即是DESI使用的望遠鏡。上方是歐幾里得太空望遠鏡。

©Marilyn Chung/Lawrence Berkeley National Lab/KPNO/NOIRLab/NSF/AURA/ESA/ATG medialab

暗能量光譜儀 DESI

林彥興 清大天文所碩士

天文圈有句俗話是這麼說的：

If a picture is worth a thousand words,
then a spectrum is worth a thousand pictures.
如果一圖勝千言，那一個光譜就勝過一千張圖片。

在天文上，天體的光譜（spectrum，也就是在不同波長的亮度）與理論模型的配合，可以幫助天文學家推算出天體的溫度、運動速度、表面重力強度、表面密度、距離、質量、金屬含量……等等非常豐富的資訊。

而此時此刻，在美國基特峰國家天文台（Kitt Peak National Observatory），世界最大的星系光譜觀測計畫正如火如荼的進行中，其名為「暗能量光譜儀（Dark Energy Spectroscopic Instrument）」，簡稱 DESI。

光譜巡天： 探索暗能量之謎

暗能量（dark energy）的真身是當代物理最大的謎團之一。一般認為，暗能量均勻地遍佈整個宇宙，佔宇宙質能密度的近七成，而且正主導著宇宙的膨脹。但除此之外，物理學家對它幾乎一無所知。

為解開暗能量之謎，數十年來

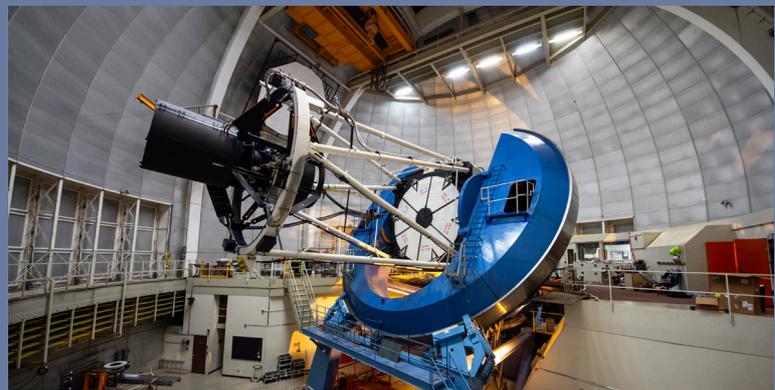
觀測宇宙學家努力打造越來越強大的望遠鏡，藉由觀測宇宙中星系等天體，回推暗能量的性質，並檢驗理論的正確性。其中一個重要的觀測方法，就是測量星系的紅移，以了解星系在三維空間中的分布。

然而，測量一個星系的紅移並不困難，但想要繼續推進我們對暗能量理解，需要的不僅是一個，也不是一百個，而是幾千萬個星系的紅移。如何在合理的時間內觀測這麼多星系的光譜，對觀測宇宙學家是個巨大的挑戰。而 DESI，正是為此而生。

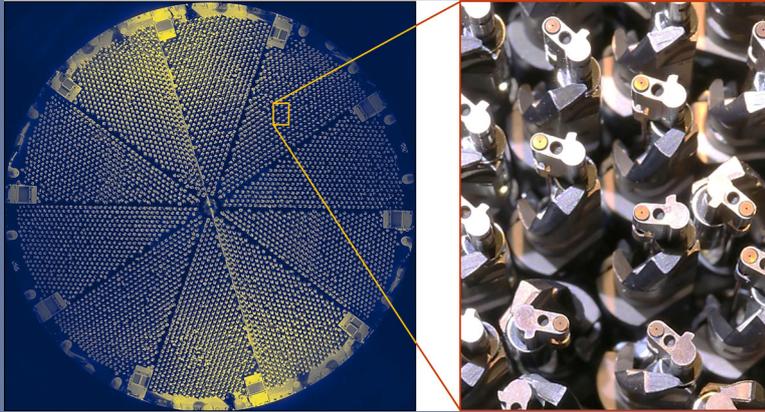
專為光譜巡天而生的 DESI

DESI 是一個由超過 450 位科學家、70 個研究機構共同組成的大型國際觀測計畫，台大的藍鼎文老師、清大的安德魯·古柏（Andrew Cooper）老師也是其中的參與者，分別是 DESI 光譜辨識以及銀河系巡天團隊的核心成員。

DESI 的核心是口徑 4 公尺的梅奧爾望遠鏡（Mayall Telescope）。與當代的標準來看，口徑 4 公尺並不是特別的大，但梅奧爾望遠鏡卻有直



梅奧爾望遠鏡。©NOIRLab/KPNO/NSF/AURA/P. Marenfeld



DESI 完整的焦平面，由約 5000 根裝有光纖的機械手臂組成。©DESI Collaboration

徑三度的廣大視野，可以塞進 36 個滿月，廣大的視野對這類巡天觀測的效率至關重要。也因為梅奧爾的望遠鏡不是特別大，所以才能讓 DESI 團隊「包場」長達五年以上的時間，以完成他們龐大的觀測計畫。

有了望遠鏡收集光線，接下來還需要一個強大的光譜儀，來分析這些光線中攜帶的資訊才行，而這正是 DESI 最大的優勢與突破。在望遠鏡正前方的主焦點上，裝有 5000 根由小型機械手臂操作的光纖。每當望遠鏡改變指向，這些小型機械手臂就會根據觀測計畫，在幾分鐘內自動將光纖指向正確的方向，接收望遠鏡匯聚的天體星光。之後，每條光纖會將各自收集到的光線引導到光譜儀中一一進行分析。如此一來，望遠鏡就可以同時觀測視野中約 5000 個天體，大大增加了觀測的效率與彈性，讓 DESI 能夠以極高的效率產出高品質的天體光譜。這種觀測技術，稱為「多目標光譜學 (Multi Object

Spectroscopy) 」。

有了強大的能力，下一個問題就是：DESI 想觀測哪一些目標呢？

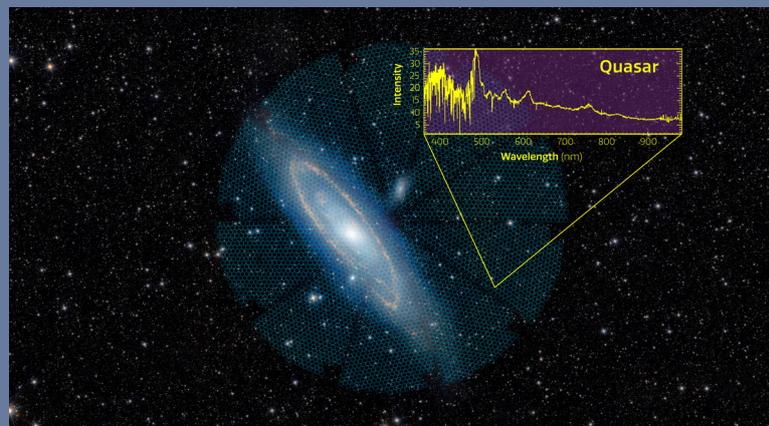
首先，DESI 將在五年內觀測計畫 4000 萬個星系的光譜，讓宇宙學家研究暗能量的性質，同時也讓天文物理學家探究星系形成與演化的物理機制。除了遙遠的星系，DESI 也將同步觀測約 700 萬個銀

河系內的恆星以了解恆星的演化，並藉由測量恆星的運動，了解銀河系中各種結構如何形成，以及其與四周衛星星系的交互作用。

結語：展望未來

當下 (2024.01)，觀測三年多的 DESI 已經產出超過 2800 萬個星系的光譜，並以約每個月 100 萬個的速率持續增加中。而除了 DESI 之外，未來五年歐幾里得太空望遠鏡 (Euclid)、魯賓天文台 (Rubin Observatory)、巡天太空望遠鏡、昴望遠鏡主焦點光譜儀 (PFS) ……等等更多新一代的宇宙學觀測計畫也將一一展開。來自不同團隊、不同儀器、不同分析方法所得到的結果，將能進一步幫助宇宙學家從更完整、更多元的視角，推進人類對暗能量的理解。

(本文改寫自科學月刊 639 期)



DESI 的觀測能力示意圖。DESI 的視野廣大，可以一次就將整個仙女座星系納入其中。而圖中每一個淺藍色的小圈圈，都代表著一根光纖可以活動的範圍。©DESI collaboration/DESI Legacy Imaging Surveys/LBNL/DOE & KPNO/CTIO/NOIRLab/NSF/AURA/unWISE





歐幾里得太空望遠鏡拍攝的馬頭星雲。

© ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, image processing by
J.-C. Cuillandre (CEA Paris-Saclay), G. Anselmi

歐幾里得太空望遠鏡 展開探索黑暗宇宙之旅

歐柏昇

浩瀚的宇宙中，大部分是未知的東西。我們熟悉的一般物質只佔宇宙中的 5%，剩下 27% 是暗物質 (dark matter)，68% 是暗能量 (dark energy)。之所以稱為「黑暗」(dark)，是因為無法直接看到它們，我們也還不清楚那是什麼。

暗物質和暗能量既然看不到，我們怎麼知道它們存在呢？那是因為一般物質在宇宙中的分布，以及光線在宇宙中行進的路徑，會受到暗物質和暗能量的影響。

「重力透鏡」是暗物質的重要線索。一般而言，光沿著直線前進。不過，根據愛因斯坦的廣義相對論，如果有質量阻擋在光行經的路徑上，光線就會受到重力影響而偏折。也就是

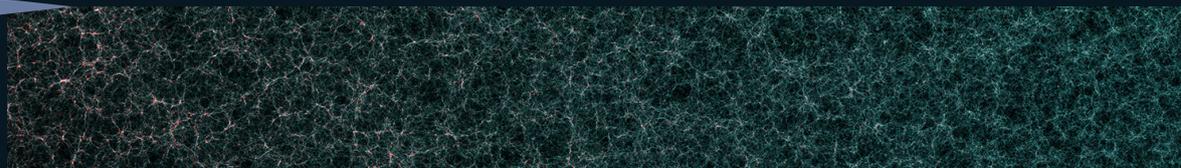
說，大質量的物體可以作為透鏡，讓我們看到的影像變形，這個現象稱為「重力透鏡」效應。雖然我們無法直接看到暗物質，但是暗物質的重力效應會讓光線偏折。於是，科學家看到星系的影像變形，可以回推光線在中途遇到了多少暗物質。

暗能量的效應則是讓宇宙加速膨脹。1998 年，兩個獨立團隊分別測量宇宙中 Ia 型超新星的分布，兩組人馬得到相似的結果——宇宙不僅在膨脹，而且正在加速膨脹。推動加速膨脹的能量，就稱為「暗能量」。

宇宙中星系的分布，是一般物質、暗物質與暗能量共同作用的結果。如果有一台望遠鏡，可以收集大量星系的資料，測繪出宇宙深處的星系分布，就可以

深入了解暗物質與暗能量。那麼著名的韋伯太空望遠鏡 (James Webb Space Telescope) 是否辦得到呢？它擁有極高的解析力，可以看見宇宙深處的星系。問題是它的視野非常窄，一次能夠觀測的星系數量非常有限，所以並不適合用於大量星系的巡天計畫。

歐洲太空總署 (European Space Agency) 的歐幾里得 (Euclid) 太空望遠鏡，就是設計來掃描大量星系，了解暗物質與暗能量。歐幾里得於 2023 年發射升空，展開了探索黑暗宇宙之旅。它不但具有良好的解析力，也具有寬廣的視野，比韋伯太空望遠鏡大三百多倍，可以在六年內掃描三分之一的天空，在如此廣闊的區域取得高解析度的影像與光譜。



電腦模擬歐幾里得太空望遠鏡預計看到的三維星系空間分布。© J. Carretero (PIC), P. Tallada (PIC), S. Serrano (ICE) and the Euclid Consortium Cosmological Simulations SWG

歐幾里得拍攝的每一張照片，都可以解析出高達 5 萬個星系的形狀，從中分析暗物質造成的重力透鏡效應。其科學目標是辨認出「弱重力透鏡」，也就是星系的影像並沒有被透鏡放大，而是只有微小的變形。分析「弱重力透鏡」的變形效應並不直觀，因為我們並不知道某個星系實際上長什麼樣子，所以無法直接得知所見的影像到底是變形了多少。科學家的做法，是分析大量星系的

形狀，統計出它們變形的情况，進而推知有多少暗物質存在。

歐幾里得掃描廣闊範圍的天空之後，不只可研究重力透鏡效應，其上搭載的光譜儀，還能重建數十億個星系的三維空間分布，帶領我們回溯 100 億年的宇宙歷史，告訴我們宇宙膨脹的歷程，以及宇宙結構如何成長。如此一來，不只了解暗物質與暗能量的特徵，還能檢驗廣義相對論。

2023 年 11 月，歐幾里得公布了第一批影像。它拍攝的英仙座星系團照片，就捕捉到星系團中的 1000 個星系，加上 10 萬個背景星系。因為歐幾里得擁有的寬廣視野，掃描星系的能力非常可觀。

2024 年 2 月 14 日，歐幾里得的巡天計畫正式啟動。六年內，歐幾里得將掃描三分之一的天空，重建宇宙百億年的歷史，讓我們拭目以待！



歐幾里得拍攝的英仙座星系團。©ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, image processing by J.-C. Cuillandre (CEA Paris-Saclay), G. Anselmi

臺灣參與 巨型麥哲倫望遠鏡計畫 助力探索宇宙奧秘

本所代表臺灣加入巨型麥哲倫望遠鏡（Giant Magellan Telescope，簡稱為 GMT）計畫，透過這項計畫，臺灣將與美國、澳洲、巴西、智利、以色列、韓國共同致力於建造世界上最強大的光學望遠鏡，進入全球天文研究前鋒。

共同打造最先進的光學望遠鏡

巨型麥哲倫望遠鏡正在智利建造中，預計將於 2030 年代初完工，建置完成後，將主導地面光學和紅外線天文學之研究，是未來探索宇宙的最佳工具。望遠鏡將拼接七個世界上最大的單一光學鏡面，拍攝有史以來最詳細的宇宙影像。它將揭開暗物質的宇宙奧秘，研究化學元素的起源，並首次驗證遙遠行星上的生命跡象。這些對於關鍵光學技術的成功測試和驗證，將使巨型麥哲倫望遠鏡的解析度比哈伯太空望遠鏡增進十倍，提供比現今最好

的望遠鏡多 200 倍的觀測效率。這種突破性技術將賦予全球科學家無與倫比的洞察力，揭示宇宙演化、化學元素起源，並期待能首次在遙遠的系外行星上發現生命。

導引天文研究與我國高科技產業結合

臺灣的天文研究和儀器研發能力已獲國際認可，將提供低雜訊高感光偵測器的電子控制元件、精準探測器的量測技術、精密雷射切割技術等領域的專業知識，協助望遠鏡與觀測儀器之建置，臺灣的角色無可取代。

加入 30 米級光學望遠鏡研究一直是臺灣天文學家的夢想，而 GMT 被認為是最合適的計畫。此次在國科會與中研院的支持下，臺灣成為 GMT 的一員，臺灣科學界除貢獻科技方面的專業知識外，同時也從 GMT 研究的豐富資源中受益，除為臺灣的天文研究奠定更為堅實的科研能量，也將培養天文領域的新世代進展。預期此計畫將深化臺灣與其他各國在天文領域的夥伴關係，並促進相關科學與技術的持續進步。

（節錄自本所新聞稿）



巨型麥哲倫望遠鏡聯盟的世界分布圖。©GMTO Corporation

天聞季報編輯群感謝各位閱讀本期內容。本季報由中央研究院天文所發行，旨在報導本所相關研究成果、天文動態及發表於國際的天文新知等，提供中學以上師生及一般民眾作為天文教學參考資源。歡迎各界來信提供您的迴響、讀後心得、天文問題或是建議指教。來信請寄至：「臺北市羅斯福路四段 1 號 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11 樓 中央研究院天文所天聞季報編輯小組收」。歡迎各級學校師生提供天文相關活動訊息，有機會在天聞季報上刊登喔！

發行人 | 彭威禮。執行主編 | 周美吟。美術編輯 | 王韻青、楊翔伊。執行編輯 | 曾耀寰、劉君帆。

發行單位 | 中央研究院天文及天文物理研究所。

天聞季報版權所有 | 中研院天文所。ISSN 2311-7281。GPN 2009905151。

地址 | 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11 樓。(臺北市羅斯福路四段 1 號)。

電話 | (02)2366-5415。電子信箱 | epo@asiaa.sinica.edu.tw。

