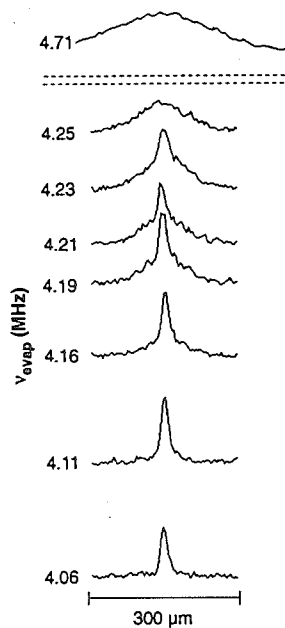


# 科技訊息

## 物質第五態的製成

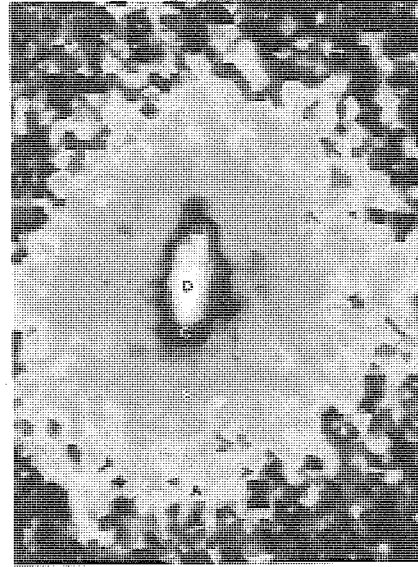
根據量子力學，粒子(包括原子和分子)不但可以在空間重疊，而且可以處於完全相同的狀態——假如它們是服從玻色—愛因斯坦統計規律的「玻色子」(boson)的話。根據這一規律，在足夠低溫的狀況下，相同的玻色子彼此間即使沒有吸引力也會進入同一(最低能量的)量子狀態，形成所謂玻愛凝聚體(Bose-Einstein condensate, 簡稱BEC)。七十年來，BEC始終是可望而不可即，是在固、液、氣和等離等四態以外的第五態。像超導和超液體雖然都包含有BEC，但它是與普通固體或液體共存的，而並非獨立存在的物質。

到今年七月中，美國國立標準與技術研究所(NIST)的康乃爾(E.A. Cornell)和哥羅拉多大學的韋曼(C.E. Wieman)終於宣布他們已經首次製成純粹的BEC了①！他們基本上是利用激光冷卻和微波蒸發冷卻(圖1)兩者結



Science 269, 200 (14 July 1995).

圖1 磁場約束力下的稀薄鉀蒸氣以微波蒸發其高能部分，就會使所餘部分進一步冷卻。圖中所示，是以不同頻率 $\nu$ 的微波進行這冷卻過程時所產生的鉀原子速度分布曲線(由圖2推算所得)。 $\nu = 4.71\text{MHz}$ 時是普氣體分子的正態分布曲線； $\nu = 4.25\text{--}4.23\text{MHz}$ 時中央低速度峯開始出現，表示BEC的形成； $\nu = 4.1\text{MHz}$ 時正態曲線消失，只剩下低速度峯，顯明全部蒸氣原子進入同樣的量子狀態，即成為純粹的BEC。



Science 269, 199 (14 July 1995).

圖2 BEC 的影像 鉀蒸氣剛形成 BEC (相當上圖  $\nu = 4.23\text{MHz}$ )後自由擴散，經激光照射而留下的影像，這實際上相當於其原子在速度空間的分布圖。A 及 B 區代表各向同性的高速部分；C 及 D 區顯示出近速度 = 0 處有一高度各向異性的核心部分，那就是形成 BEC 的部分。

合的方法，將一小團稀薄的鉀(rubidium-87)原子蒸氣冷卻到 $0.17\text{ }\mu\text{K}$  ( $\mu\text{K} = 10^{-6}\text{K}$ )，然後撤除用以約束這團蒸氣的磁場，任由鉀原子自由擴散，從而測定它的速度分布和溫度(圖2)，確切證明這團蒸氣已經充分達到 BEC 狀態。

BEC的製成無論在量子現象研究、原子物理學抑或凝聚態物理學上都是一個重大突破，因為量子理論中一些最奧妙、最不可思議的規律，現在首次在人造的宏觀現象中可以直接觀測和利用了。康乃爾和韋曼在他們文章的結尾舉出了六類急待進行的有關實驗，其實，可以預期的是，數以百計的實驗和許多這方面的學術會議，乃至專門學刊在一、兩年之內就會湧現。就像1986年發現高溫超導和1990年

發現碳60一樣，一個嶄新的(而且比前兩者更基本，也很可能更寬廣的)科學領域又已經打開了。

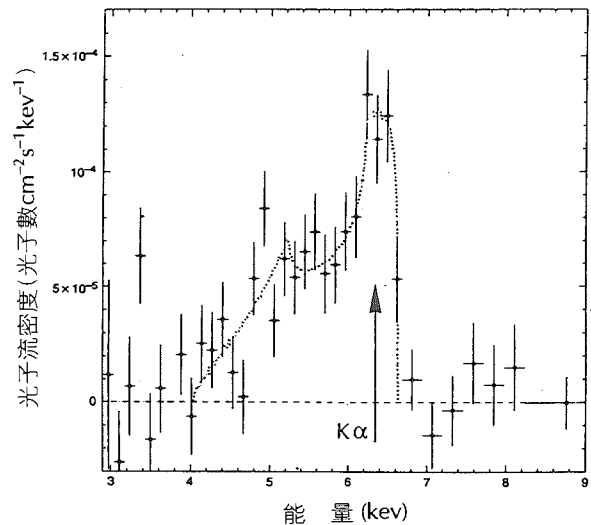
① M.H. Anderson, J.R. Ensher, M.R. Matthews, C.E. Wieman, E.A. Cornell, *Science* **269**, 198 (14 July, 1995).

## 來自黑洞的訊息

自本世紀初以來，在陸續被發現的各種天體之中，黑洞應當是最奇特，最能激發人類想像力的了。然而，至今雖然已經有許多黑洞存在的跡象，但確切不移的「至終證據」卻仍然未曾發現。這主要是由於黑洞本身不能發射光或任何其他訊號，因此只能從它所產生的獨特效應來推測其存在。在遠距離(譬如說超過黑洞「視界」半徑  $R_0$  數十倍以上)，這效應基本上是重力，亦即是從圍繞黑洞的其他恆星的運動來推測它的質量和存在。本刊在過去一年間兩個有關黑洞的報導都屬此類①。這類證據的缺點是它不能顯示任何黑洞重力場的獨特性質——因為黑洞的遠距重力場與一般同質量星體是完全一樣的。

我們在這裏要報導的，則是首次發現的近距離證據：即是由環繞黑洞高速旋轉的「集積碟」(accretion disk)中的熾熱氣體所發出的X-光，這集積碟中的物質離黑洞中心十分接近：大約在  $3R_0$  至  $10R_0$  之間。

這項天文物理學界期待已久的發現，是由田中等六組日本科學家利用美日合作放射的X-光太空探測船ASCA在1994年夏間詳細觀測MCG-6-30-15這一Seyfert型星雲的核心(已經有其他證據顯示那裏有一個超巨黑洞)所作的②。他們利用ASCA的高度能量分辨率來詳細測度這一星雲核心的X-光光譜(能量在1-10 keV之間)，將之減去由模型計算產生的



adapted from *Nature* 660, 659 (22 June 1995).

圖1 來自黑洞邊緣的譜線 星雲MCG-6-30-15核心X-光發射光譜中的鐵元素 $K\alpha$ 線。這一線譜是將測量所得X-光譜減去由理論計算所得的平滑背景連續光譜得來。每一數據點的能量格寬相當於儀器的能量分辨率。 $K\alpha$ 線原本能量為6.35keV(箭頭位置)，假定譜線的實際形狀是由橫向德卜勒效應和重力紅移兩種效應造成，那麼虛線所示就是計算所得的最佳符合譜線。

背景連續X-光譜，從而得到了雲氣所產生能量為6.4keV的鐵元素 $K\alpha$ 發射線譜。從線譜的高度非對稱形狀可以推知X-光源有高速橫向運動，並且受到黑洞重力場影響，因而造成兩種不同的「紅移」作用(圖1)。根據這兩種作用而作的模型計算，表明這X-光譜線大致上可以用半徑在  $3R_0$  至  $10R_0$  之間，其平面與地球徑向成 $30^\circ$ 傾角的集積碟的發射而作出合理解釋。

集積碟是高度電離和高速運動的雲氣，它產生X-光的機制十分複雜，所以我們必須作多種與黑洞沒有直接關係的假定才能夠解釋鐵元素 $K\alpha$ 線的形狀。因此，這一譜線雖然提供了比較直接的，產生於黑洞表面的證據，可以說讓我們「看見」了黑洞，但這是否為其他因素所造成的「幻象」，一時卻還不容易判斷——

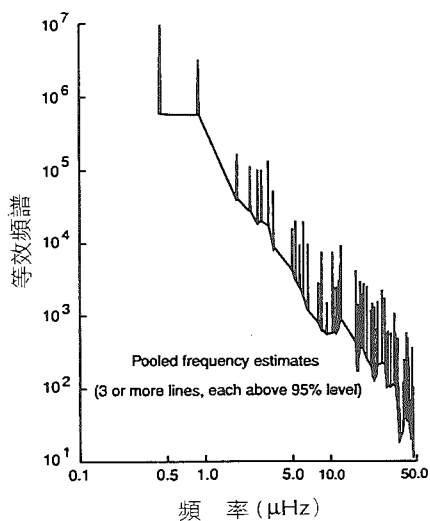
也就是說，它還說不上是黑洞的確證。但無論如何，黑洞研究，又向前邁進一大步了。

① 《二十一世紀》24, 64 (1994.8)及28, 100 (1995.4)。

② *Nature* 375, 659 (22 June 1995)。

## 太陽內部振動的觀測

地球有地震，太陽也同樣有振動，這包括短周期(4–20分鐘)的壓力(駐)波和長周期(40分鐘–10日)的重力(駐)波。關係表層的壓力波已經在90年代初用光學德卜勒效應發現，並且詳細研究過；至於重力波則關係太陽核心結構，所以直接觀測似乎是不可能的。出乎意料之外，最近通過對太陽風(即它向太空發射的氫、氦離子和電子等)粒子流數據(這是由Voyager和Ulysses太空船搜集的)的精細統計分析，發現太陽的壓力波和重力波兩者都以狹窄譜線形式在粒子流強度頻譜中反映出來①，

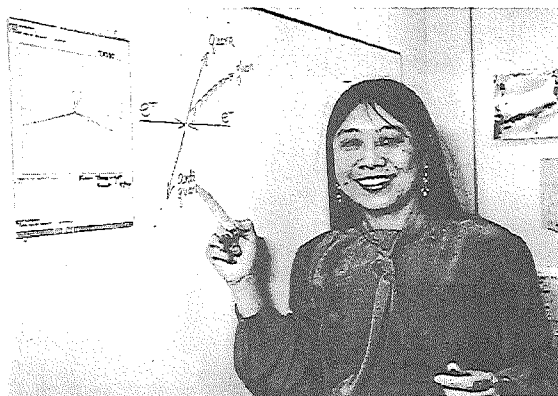


*Nature* 376, no. 6536, 143 (13 July 1995).

而且線頻率與現有觀測／理論數據吻合。換而言之，從太陽以外的太陽風，我們現在可以獲得有關太陽核心的詳細訊息了。

① 太陽重力波頻譜，譜線是以精密統計方法估計所得。1  $\mu\text{Hz}$ (微赫)相當於11.6日的周期。

## 吳秀蘭獲得歐洲物理學會獎



Courtesy CERN Bulletin no. 27/95, p. 7.

歐洲物理學會(EPS)在7月初宣布，將1995年度的高能與粒子物理學獎頒與Söding, Wiik, Wolf等三位德國科學家，以及華裔高能實驗物理學家吳秀蘭，以表彰他們在德國漢堡電子同步加速實驗室(DESY)的電子-正電子對撞機PETRA上最先發現膠子(gluon)存在證據的貢獻。

膠子是傳遞強作用的粒子，由於所謂「禁閉」(confinement)效應，它不可能獨立存在，只能夠通過普通粒子的猛烈對撞在極短暫的瞬間(約 $10^{-23}$ 秒)剝離出來。PETRA對撞機在1978年啟用後共有四個實驗組在其上工作，吳秀蘭參加了名為TASSO的一組，負責數據處理和分析(其他三位得獎人負責實驗探測)，並且設計出特殊方法來確認所謂「三噴流」(three jet)事件，從而在1979年首次為膠子的存在找到直接證據——因為第三噴流就是暫時剝離的膠子重新「強子化」時所產生的現象。

吳秀蘭原名余秀蘭，自幼在香港長大，50年代末期在金文泰中學畢業，隨即赴美留學，在哈佛大學取得博士學位，並且與該校理論物理學家吳大峻結婚。她目前是威斯康辛大學的費米物理學講座教授，但實驗工作主要在日內瓦的核子實驗室CERN進行。