

科技訊息

在微觀世界深層：頂夸克的發現

大約半年前，我們刊載了一篇專論，討論近三十年粒子物理學的進展，並且詳細報導了哄動一時的頂夸克(top quark)存在的初步證據^①。到上月，美國費米實驗室名為CDF和D0的兩個大實驗組同時向《物理學報快訊》提交論文，正式宣布發現頂夸克。至此，在構成物質的數組基本粒子之中，最後一塊「拼圖板」已終於找到，描述微觀世界第四層的所謂「標準模型」，也再一次得到證驗了。

CDF和D0兩個實驗組所做的^②，基本是同一實驗，即是令貯流圈中的高能質子和反質子對撞，產生頂夸克對： $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$ ，然後從頂夸克對的弱衰變產物，即從 $t \rightarrow W^+ b$ ， $W^+ \rightarrow (\ell^+ \nu, q\bar{q})$ ， $b \rightarrow p\bar{p}$ 這衰變鏈，以及相應的 \bar{t} 衰變鏈所產生的粒子，來推斷頂夸克的存在。在這些衰變中，雙輕子事例 $W^\pm \rightarrow \ell^\pm \nu$ 最容易辨認，因而也就是頂夸克存在最可靠的「事迹」(signature)。

從表1可以見到今年發表的兩個實驗(CDF2和D0)總共探測到60個頂夸克事例，這是去年初步結果(CDF1)事例數目的5倍，因此其為由巧合造成的機率已減少一千倍，從

表1 三個頂夸克實驗結果摘要

事例 數據	實驗		
	CDF1 1994	CDF2 1995	D0 1995
雙輕事例	2	6	3
其他事例	10	37	14
事例總數	12	43	17
預期背景事例	6	8	4
巧合機率	0.26%	10^{-6}	2×10^{-6}
頂夸克質量 (Gev/c ²)	174 ± 10	176 ± 10	199 ± 22
生成截面(pb)	13.9 ± 6	6.8 ± 3	6.4 ± 2

千分之三下降到百萬分之一。而且，由三個不同實驗所測得的頂夸克質量雖然不完全一樣，但都在彼此誤差範圍以內，即是 $181 \text{ Gev}/c^2$ 左右。至於測得的生成截面，也是一致的，即 7 pb (10^{-36} cm^2)左右。這樣看來，有關這迄今發現最重的基本粒子，其性質雖還有待仔細研究，但它的存在，已經再沒有疑問。在二十世紀行將結束的時候，這不能說不是人類對微觀世界探索的一件大事，和一個重要的里程碑。

當然，探索是不會終止的。但由於建造大型加速器已經成為必須有待國際合作才能繼續的龐大工程，新的突破很可能是下一個世紀初，歐洲核子研究中心(CERN)的大型強子對撞機(LHC)建成之後的事了^③。

① 《二十一世紀》24, 50-62(1994年8月)。

② F. Abe et al. The CDF Collaboration, Fermilab Pub-95/022-E; S. Abachi et al. The D0 Collaboration, Fermilab Pub-95/028-E.

③ 《二十一世紀》27, 96(1995年2月)。

另一塊拼圖板的發現？

長久以來，中微子的靜止質量是解決許多其他問題的關鍵：從令人困擾的太陽中微子缺失問題，到宇宙黑質問題，以至所謂大統一場理論(GUT)，都可以憑中微子質量獲得解釋或印證。現在利用洛斯阿拉莫斯(Los Alamos)國家實驗室介子物理設施(LAMPF)所做的一個實驗似乎顯示，以質子撞擊水靶所產生的 μ^- 反中微子 $\bar{\nu}_\mu$ 經過29米飛行途徑之後，的確有可能變為 e^- 反中微子 $\bar{\nu}_e$ 。這不同種類的中微子之能夠互相變易，是它們都有靜止質量的間接證明。從 $\bar{\nu}_\mu$ 的能量，飛行徑長，以及變易率可以推斷， $\bar{\nu}_\mu$ 和 $\bar{\nu}_e$ 的質量相差2.4ev，而且兩者的質量都是在0.5到5ev之間。這樣的事例已經累積了80個，而根據實驗組估計，偶合背景事件應該不超過一半。可惜的是，布魯

希文(Brookhaven)和英國的同類實驗都未能覆核這個結果。所以，這個初步證據是否真能成立，成為轟動一時的發現，還有待繼續研究。

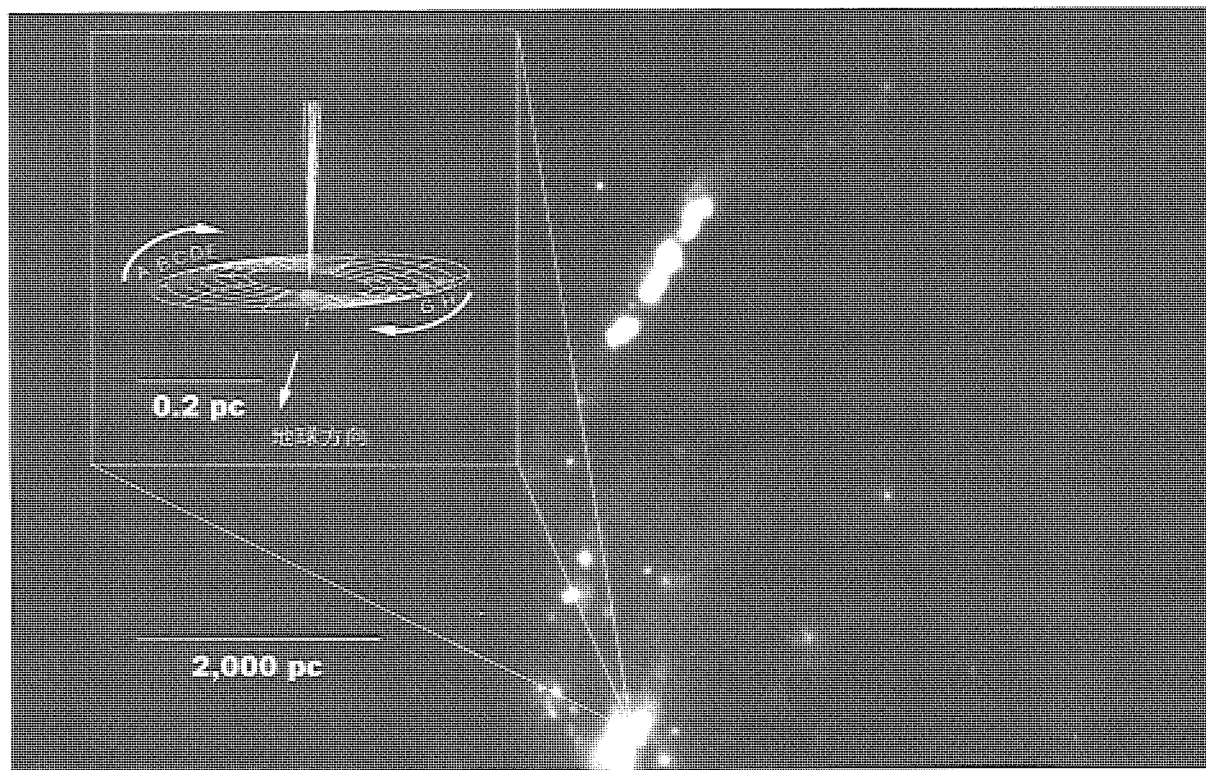
另一個星雲核心的超巨黑洞

半年前我們報導了M87星雲核心附近光譜的紅移和藍移，從而證明核心很可能有一個相當於 $2-3 \times 10^9$ 太陽質量的超巨黑洞^①。現在有更詳細和精確的微波數據顯示，在星雲NGC4258(M106)的核心也有一個巨型黑洞，而且有一個分子塵環以高速圍繞核心黑洞旋轉(圖1)。

這項由 Makoto Miyoshi 主持的日本、美國合作觀測^②，是利用美國國家射電天文台的極長基線陣(very long baseline array, VLBA, 它實際上是分布於全球的多個無線電望遠鏡組成的同相網絡)仔細分解了名為

NGC4258的星雲核心附近 $50 \times 20 \text{ mas}$ (即毫秒角度)範圍之內的8個微波激射(maser)點源的位置。根據這些激射點源發出的狹窄水分子微波譜線(波長1.35 cm, 頻率22,235.08 MHz)的得卜勒位移，他們又準確測定點源的徑向速度，以及這些速度的微細變化，即加速度。

從上述測量結果，可以推斷黑洞周圍有一個分子塵環，它內徑是0.39光年，外徑0.75光年，形狀極之扁平，平面幾乎正對地球，而核心離地球約為2.1千萬光年。令人驚訝的是，激射點的速度恰好和 r^{-1} (r 是它與圓環中心的距離)成比例，而這正是刻卜勒行星繞日定律的一個形式(圖2)。由此可以推斷，圓環中心的質量達 3.6×10^7 太陽質量，而且是集中在離核心0.4光年的半徑以內。這個質量密度要比所有其他已知的星雲核心都大數十倍以上。假如一個球狀星團有這樣的密度，那麼由於星際碰撞的可能性高，它不可能長期穩定存在。所以，在星雲核心有一個發出強輻射的巨型黑



Cover, *Nature* 373, No. 6510 (Jan 1995)

圖1 NGC4258星雲(背景照片)核心的高速旋轉扁平塵環和在環中觀測到的8個微波激射(maser)源點示意圖。

洞，而周圍則環有急速旋轉的扁平分子塵環這麼一個醞釀已經十多年之久的模型結構，現在似乎已經得到相當可靠和詳細的證驗了。

- ① 《二十一世紀》24, 64(1994年8月)。
 ② Makoto Miyoshi et al. *Nature* 373, 127 (1995).

類星體的新謎團

在60年代發現的類星體(quasars, 即 quasi-stellar radio source)由於距離遙遠，尺度細微，而輻射能量卻極之巨大，往往超過星雲的 10^3 倍以上，所以它的性質始終是一個巨大的謎。70至80年代之間它開始被認為是「活躍星雲的核心」，特別可能是不斷吸入大量物質的巨型黑洞。可是，這個猜想最近遭到了重大挫折：普林斯頓高等研究中心的巴哥爾(John

Bahcall)利用修復的哈勃太空望遠鏡仔細觀察了15個類星體之後，竟然發現其中只有4個位於星雲核心，其餘的則似乎全都是獨立存在——只是其附近卻又有較小，可能與之相作用的伴星雲①。這樣，已有十餘年歷史的類星體理論可能推翻了：已有推測，類星體是星雲形成之前的先行現象也說不定。

- ① 巴哥爾在本年1月Tucson天文學大會上的報告。見*Science* 267, 456 (1995)。

到費馬定理之路 II

前年夏天，普林斯頓大學的懷爾斯(Andrew Wiles)初次披露了他的費馬定理證明，當即在數學界引起哄動。然而，到1993年底，他承認他長達二百多頁的論文預印本中有漏洞，但堅持認為這只是一個微細缺陷，可以在幾個月之內填補過來①。大半年之後，即1994年10月，他終於兌現諾言，用特快郵遞把新的證明分寄給二十多位同行。

然而，他這一次所做的，並不是補足原來的證明，而是放棄了原證中遇到困難的那一途徑，即通過建構一個所謂歐拉(Euler)系統來證明志村一谷山(Shimura-Taniyama)猜想，而改為採取一個較迂迴和似乎更為困難的辦法，即利用某些克奇代數(Hecke algebras)的性質來證明同一猜想。這一個迂迴策略看來是成功了：不但已經有多位同行認為他這一趟的證明可靠無誤，而且在今年年初的三藩市數學大會上再也沒有人覺得需要討論費馬定理——這350年的懸案看來終於已經解決了②。而且，達到這一目標雖然可貴，更重要的是因此而連帶證明了志村一谷山定理，因為那是連結代數和分析學中心概念的關鍵，由此數學又開拓了一個嶄新的領域。

- ① 《二十一世紀》21, 82(1994年2月)。
 ② *Scientific American* (February 1995), p. 14; *Science* 267, 794 (1995).

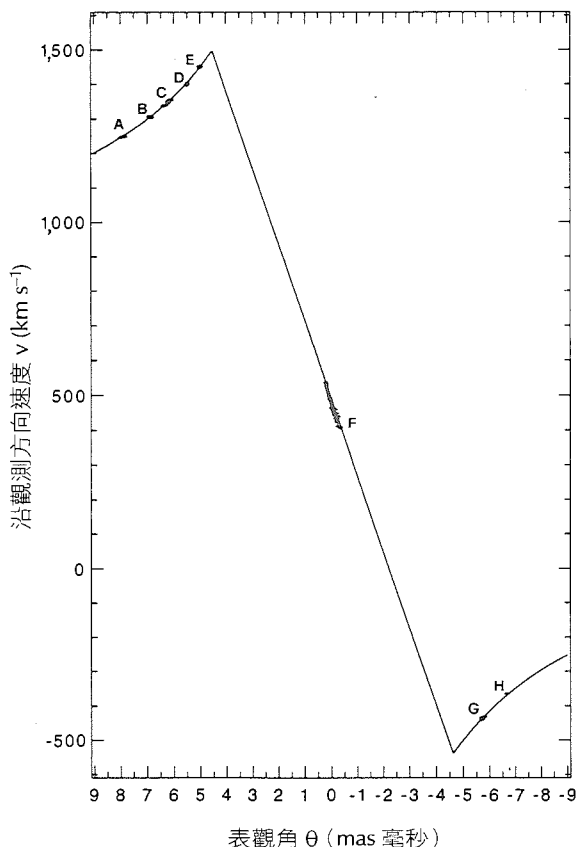


圖2 塵環中雷射源點(沿觀測方向)的速度 v 與其離碟心距離 r 的關係(r 與橫向表觀角 θ 成比例)。