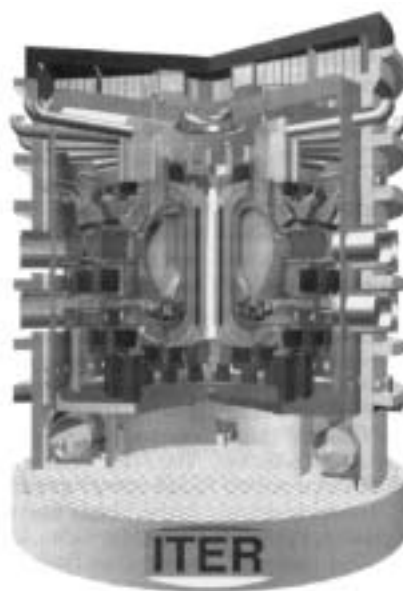


科技訊息

高科技大計劃的挫折

真正的科技大計劃有兩個特點：第一，貴得厲害；第二，可能有極大的長期利益，但決不會有重要的眼前利益。它可以說是典型的公共投資，只有富裕而具有遠見政府才會推行。由於費用越來越昂貴，它已逐漸從國家計劃轉變成國際合作計劃了。像1994年美國放棄超導超級對撞機計劃^①，讓日內瓦歐洲國際核子研究中心CERN的大型強子對撞機LHC取代，以及歐洲和美國目前一代的核聚變環流器(Tokamak)裝置(分別名為JET和TFTR)完成開發任務之後，行將由歐、美、日、俄聯合建造的下一代國際環流實驗反應器ITER代替^②，都是這大趨勢的反映。然而，目前LHC和ITER這兩項主要國際高科技合作計劃，都雙雙遇到了困難。

首先，在七月間，德國由於經濟不景，而須裁減研究經費達1.06億美元，這不但引起了德國科學諮詢委員會和大學校長的憂慮，認為危機已迫在眉睫^③，而且令德國跟着決定今後四年間削減對CERN的支持8-9%，並要求CERN通過裁減員工的優厚薪酬和福利(而不是減少儀器和研究項目)來達到樽節開支的目標。這是一個沉重打擊，因為德國是CERN的主要支持者，而CERN19個成員國應付的財政份額是依據國民總產值按一定公式計算，其比例不能任意更改。在這情況下，唯一合理而不致引起強烈爭議的解決辦法，就是其他成員國也按比例一同減少支持，而整體預算的8-9%缺口則由內部節約和借債彌補。這樣一來，首當其衝的自然就是耗資20.6億美元的LHC建造大計。為了避免影響可能從旁參與建造LHC的美、日這兩個非成員國的信心，CERN打算仍照原定計劃在2005年完成建造LHC，而不考慮分期進行或削減其經費^④。換而言之，是通過



Adapted from *Science* 274, 1600. Copyright 1996 American Association for the Advancement of Science.

這個設計還行嗎？

國際環流實驗反應器ITER的模型。

借貸來解決今後數年間的資金周轉問題，盡量避免動搖根本大計。這可說是逆境中大膽而有遠見的作法。

大型環流器ITER造價比LHC更貴，估計至終會達到100億美元以上。它同樣也遇到了嚴重挫折——但問題可不是錢。恰好相反：意氣風發的日本和對能源有迫切需求的歐洲都躍躍欲試^⑤。問題是技術：對撞機技術要求雖高，但機制是完全清楚的，只要有錢，肯定可以達到設計目標。環流器卻全不是那麼一回事：經過了四十多年努力，用磁場來約束極高溫的等離子體(plasma)，特別是消除其由於湍流而引起的不穩定性和能量耗失，至今還是未完全解決，甚至基本上未能計算的問題。所以，龐然巨物的ITER環流器(它直徑有16米)造出來之後，到底是否果真如核聚變專家用外插法(extrapolation)所簡單推斷的那樣，會比直徑只有6米的JET有長得多的約束時間和高得多的等離子溫度和密度？是否真能達到其設計報告書

所預言的輸出功率15倍於輸入功率的美好前景？那是不能無疑的。

事實上，ITER計劃最近所遇到的嚴重挑戰，就是德薩斯大學聚變研究所的多蘭 (William Dorland) 和葛申路德 (Michael Kotschenreuther) 兩人的新發現。他們深感以沒有理論根據的外插法來估計不同環流器的表現太不可靠，因此由基本物理和湍流理論出發，從頭再發展了一套計算等離子體在環流器中的不穩定旋渦如何增長和相互作用的方法，並設計出在超級計算機上實施這套方法的程序。這樣就終於出現了一個環流器的實計模型 (computational model)。這模型對ITER的預測完全出乎意料之外：由於種種迄今未曾注意的因素 (主要是在大體積中螺旋式環流的離心力以及離子注射這二者對等離子體中產生不穩定性的旋渦的壓抑作用之相對減少)，環流器加大之後，其等離子體很可能變得更不穩定，而不是如一向想像的那樣變得穩定，因此設計書所預言的ITER美好前景可能只不過是海市蜃樓而已^⑥。由於多蘭和葛申路德的工作極之堅穩細緻，而所顯示的效應又那麼顯著，因此ITER設計組的科學家也不得不承認問題的嚴重性，認為須要慎重考慮下一步驟，並且積極尋求其他更有利 (但可能相當不同) 的設計方案。

在1995年底，美國曾經傳出磁約束問題已經可用所謂「管狀環」環流器解決的消息^⑦。現在看來，核聚變工程始終還是在摸索階段，離真正的突破還有距離。

對撞機為的是探索未知的物理定律，它的建構工程是明確的；環流器為的是通過已知物理過程產生能量，但所需要的工程結構卻是未知的。這兩個

大計劃現在同時遇到挫折，希望到二十一世紀可以一同得到解決吧！

① 《二十一世紀》21，77 (1994年2月)；27，96 (1995年2月)。

② 《二十一世紀》14，67 (1992年12月)。

③ Alison Abbott, *Nature* 384, 395 (5 December 1996).

④ Alison Abbott, *Nature* 384, 96 (14 November 1996); 384, 203 (21 November 1996).

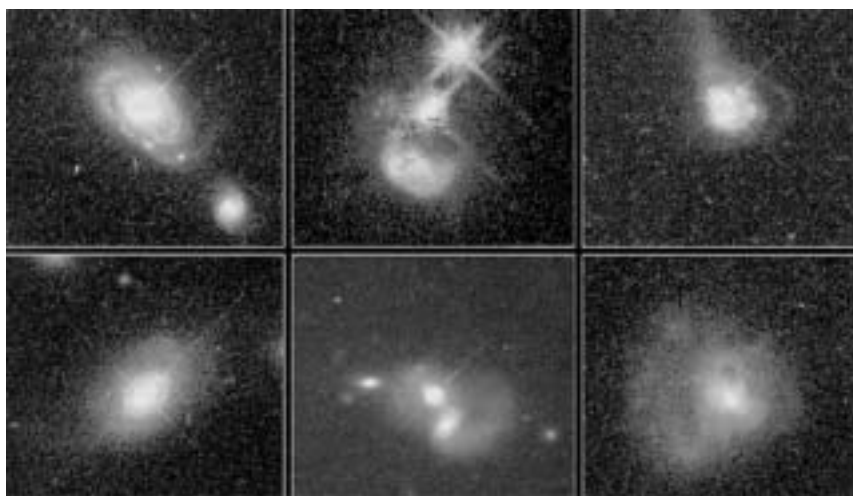
⑤ David Swinbanks, *Nature* 384, 96 (14 November 1996); Alexander Hellemans, *Science* 274, 1603 (6 December 1996).

⑥ James Glanz, *Science* 274, 1600 (6 December 1996).

⑦ 《二十一世紀》31，122 (1995年10月)。

宇宙形成之初的景象

我們往往以為，要看到過去，就必須乞靈於時光隧道旅行。其實，這是誤解：由於光的傳遞需要時間，所以只要在晚上仰望穹蒼，那麼所見從遠距離來的星光就已經是過去的景象。例如銀河系核心離太陽大約3萬光年，因此目前所見的銀核光譜是在3萬年前，亦即新石器時代出現之前的情況；同樣，距離為5,000萬



近距離類星體都是與星雲有關的。這裏所示是正常星雲 (左)、相撞的星雲 (中) 和不規則星雲 (右)。

By courtesy of NASA

光年的M87星雲在望遠鏡中所顯示的，則是5,000萬年前，即遠在人類出現之前，甚至非洲和南美洲大陸板塊還未分離之時的景象。兩年之前，我們曾在本欄報導，對一個約16億光年之遙的星雲的觀測顯示，在16億年前宇宙的背景溫度高達7.4 K，遠遠超過目前銀河系附近的2.7 K^①。

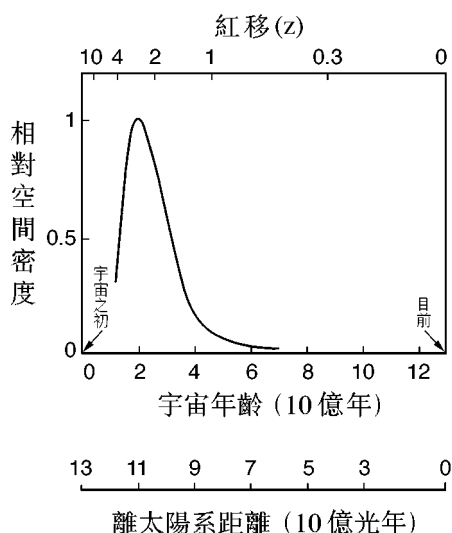
宇宙從「大爆炸」(the big bang) 形成至今，年齡估計約130億年左右。那麼有沒有可能觀察更遙遠，譬如說100億光年以外(亦即100億年以前)的天體，以測定宇宙混沌初開之時的景象呢？以沙弗(P.A. Shaver) 為首的一組英國天文學家最近證實，「類星體」在遠距離開始變得稀少，到了相當於宇宙年齡6.5%左右那麼遠的距離，它就根本不存在了^②。類星體是星雲互相碰撞或者星雲核心塌縮而產生的異常現象，因此必須先有星雲才會有類星體出現。但早期宇宙是一個高密度而相對均勻的質球，它需要相當時間才會由於微細的密度漲落和重力作用而產生空間不均勻結構，亦即前星雲結構。所以，在宇宙早期類星體不可能存在。沙弗的研究結果，多少從實際觀測上證驗了這一構想。

其實，在過去二十年間，已經有不少這一方面的工作，但都受到下列問題困擾：遠方星雲(包括類星體)以極高徑向速度運動，且速度與距離成正比——這就是由於大爆炸而造成的所謂宇宙膨脹。這徑向速度造成了星雲光譜的紅移(見方塊中的解釋)，但那同時又使得星雲所發的光變為紅光，從而為瀰漫在星雲之間的微塵吸收。因此，見不到極遙遠的類星體很可能是由於上述吸收作用造成，而並非其不存在。

沙弗等人解決這個問題的關鍵在於：大部分類星體會同時發出可見光和無線電波，可見光的紅移程度是測定距離所必須的，但它可能被微塵吸收，而無線電波卻不會被吸收。因此，倘若能為每一個可能是類星體的無線電源找到相應的可見光源，並且由是確定其距離，那麼就可以有信心確定最遠的類星體距離有

類星體(quasars)是1968年發現的特異天體。令人驚詫的是，它亮度(luminosity，即每秒所發出的輻射能量)極高，相當於甚至超過整個星雲(每一星雲包含 10^9 至 10^{11} 顆星)。亮度是這樣推算的：由於類星體的譜線顯示了極高的紅移系數 z ($z = \Delta\lambda / \lambda$, λ 是譜線的波長， $\Delta\lambda$ 是波長改變的數值)，由是可以推斷它有極高的後退速度；但根據哈勃定律，星體的距離與後退速度成正比，因而又可以推知它有極遠的距離，並且因而可以從它的表觀(apparent)亮度算出它的驚人本有(intrinsic)亮度。另一方面，類星體顯示出極迅速的閃爍。也就是說，它可以在幾秒鐘之內，大幅改變亮度。由於令它表面任何兩點產生同步變化的訊號不能快過光速，所以又可以從它閃爍的特徵時間估計它表面直徑的上限。這樣，就發現類星體的表面積遠小於星雲，只和一顆恆星相若。其所以稱為類星體，就是由於其亮度近於星雲，大小則像恆星，所以無從簡單判斷其性質和構造。

類星體的本質，曾經令天文學家長期感到迷惑。現在他們多少趨向於同意，類星體是所謂活躍星雲的核心，亦即是由於星雲相撞或者其中心由於重力塌縮而形成巨大黑洞之後，又不斷吸入大量物質所造成的現象^③。類星體是宇宙進化的產物，所以它出現的高峰，集中在宇宙目前年齡大約20%，亦即宇宙形成之後大約25億年的時代。在這之後(也就是說，在較接近太陽的距離)類星體密度大大減少，那是早已研究清楚的；至於在此之前類星體密度的減少，則是本文討論的題目。



Reprinted with permission from *Nature* 384, 440. Copyright 1996 Macmillan Magazines Ltd.

類星體在不同距離(對應於不同宇宙年齡)的相對空間密度

多遠和屬於甚麼年代，而不必擔心由於微塵的吸收而有所遺漏了。這一需要有系統和大量高度精密觀測的工作，正就是沙弗小組最近完成的。

他們首先將整個南半球天空^④所有已知具有類星體無線電波譜型的射電源加以精確定位，然後在其位置一一尋找到了相應的可見光源，並且辨明這些光源的形態、紅移程度和距離。這樣所得結果是：最遙遠的類星體的紅移系數是 $z = 4.46$ ，那說明它發光的時間離宇宙形成之初只有8-9億年，亦即目前宇宙年齡的6.5%左右。在更遠的距離(相當於 $z > 5$ 和更早的年代)儘管還有許多其他發光星體，但具有其特殊無線電譜型的類星體則並不存在。由是證明，早期宇宙是沒有發射強無線電波的類星體的。他們並且認為，有理由相信同樣結果還適用於所有類星體。

倘若這一結論可以站得住腳的話，那末我們對星雲開始形成的年代也得到了一個估計，即不遲於大爆炸之後8-9億年。

① 《二十一世紀》25，129(1994年10月)。

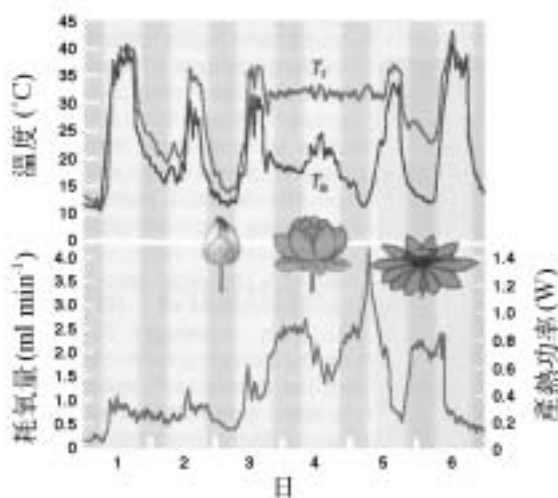
② P.A. Shaver *et al.*, *Nature* 384，439 (5 December 1996)。

③ 有關類星體和星雲核心黑洞的報導，見《二十一世紀》24，63(1994年8月)；25，130(1994年10月)和28，100-101(1995年4月)。

④ 其實除去了若干難以清楚觀測的部分，因此只有天空立體角的40%。

恆溫的印度蓮

在高等脊椎動物中，只有哺乳類和鳥類是恆溫的，誰能想得到，靜態的植物居然也可以有這種特殊功能？最近兩位澳大利亞生物學家就通過直接測度發現，被視為聖花的印度蓮(*Nelumbo nucifera*)在開花前後4-6日間花瓣內的花托部分就會升溫到 30°C 以上，然後相當穩定地把溫度調節於 $30-35^{\circ}\text{C}$ 之間^①。調節的機制顯然是視乎花托本身溫度是否超過一個 30°C 左右的內定溫度而增減花托(約佔50%)、花瓣和花蕊(約各佔25%)組織的呼吸作用，亦即澱粉的氧化作用。這恆溫的功能一般推測是為了散發香氣吸引昆蟲，以有效地散布花粉——其實不少甲蟲就會在花托內度過溫暖舒適的晚上，然後帶着花粉飛走。除了印度蓮之外，天南星科(arooids)和水仙、棕櫚、鐵樹等植物的



Reprinted with permission from *Nature* 383, 305. Copyright 1996 Macmillan Magazines Ltd.

印度蓮的花托溫度(T_t)在開花期(第3-5日間)保持恆溫，不隨周圍溫度(T_a)變化。注意花的呼吸和產熱(下圖曲線)隨溫度 $T_t - T_a$ 而逆向變化。

花朵也有不少會產熱，但已知有保持恆溫功能的則只限於兩種天南星科植物。

① Roger S. Seymour and Paul Schultze-Motel, *Nature* 383, 305 (26 September 1996).

「近期的」爪哇直立人

隨着古人類學的發展，人的世系是變得越來越複雜、離奇，甚至有點不可思議了。僅僅十年前，我們初次聽到現代智人 (*Homo sapiens*) 全部是12至20萬年前才起源於東非的驚人發現，其後證實這發現的消息不斷傳來①；到兩年前，地層斷代方法的進步又將爪哇直立人 (*Homo erectus*) 出現的年代大幅拉前，到更早於東非直立人的年代②；而差不多同時，由於許多新化石的出現，更早期的非洲南猿 (*Australopithecus*) 的世系也變得異常複雜起來③。

最近使形勢益發撲朔迷離的是，爪哇直立人的存在上限剛剛從90萬年前被拉到180萬年之前，其存在下限又忽然從25萬年前被推到難以

置信的3至5萬年前——也就是說它和現代智人有可能曾經長期共存。和十分紛亂的南猿世系一樣，這一發現打破了一個並沒有多少理由，可是習慣上已經被廣泛接受的觀念，即人的種屬 (*hominid species*) 雖然不斷變化，但任何時期都是單一的，不會有兩個不同種屬長期並存。

這驚人的新發現主要還是由加州柏克萊地質年代中心的史衛殊 (C.C. Swisher) 和寇蒂斯 (G.H. Curtis) 所領導的小組作出的④。他們回到爪哇顏東 (Ngandong) 和三板馬早 (Sambungmacan) 這兩個曾經 (在1931-33及1976-80年間) 出土大量 (有數萬枚之多) 人和獸骨化石的索羅河 (Solo River) 畔遺址，在原發掘點旁同一地層挖出了數枚保存原好的水牛齒骨，然後連同在博物館所借得 (與人骨化石混雜一起) 的原出土牛齒，用最新發展的電子自旋共振 (ESR) ⑤和鈾系放射衰變這兩種方法測定其年代。這樣以兩個方法所得的結果對各枚不同牛齒是大體一致的，即 2.7 ± 0.3 至 5.3 ± 0.4 萬年前之間。這結果的高度自洽性可以說是其正確性的證明。

古人類學近十年種種驚人發現，基本上幾乎全都是由分子生物學和物理學上方法的突破所造成，但也正由於方法之新，還不能令較傳統的學者完全放心接受其結果。但這些新方法終究會變得更成熟、可靠和全面，所以古人類世系的逐步釐清，當只是時間問題而已。



爪哇直立人化石與印尼Gadjah Mada大學負責保存化石的學者雅各 (Teuku Jacob) (右)。

Adapted from *Science* 274, 1841. Copyright 1996 American Association for the Advancement of Science.

① 《二十一世紀》19, 85 (1993年10月)；29, 56 (1995年6月)；34, 110 (1996年4月)。

② 《二十一世紀》22, 79 (1994年4月)。

③ 《二十一世紀》31, 122 (1995年10月)；35, 100 (1996年6月)。

④ C.C. Swisher *et al.*, *Science* 274, 1870 (1996).

⑤ 這基本上是以電子自旋共振的方法測定在牙齒琺瑯質由於四周土壤中的放射性原素 (例如鈾) 滲入所引致的電荷，從而推斷其年代。由於對放射性原素滲入的過程可以有不同假定，因此所得年代會有兩個不同極限。

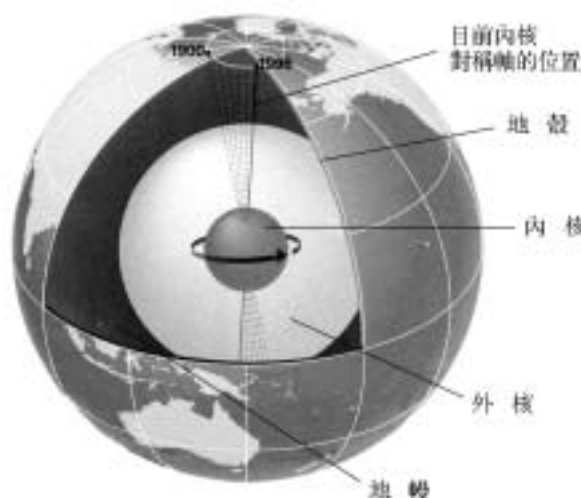
地球核心的秘密

人類對遙遠太空中的星體、星雲、黑洞已做了許多精密的觀察，建立相當可確的理論，但對於我們生活其上的地球其實還不完全了解。這主要是由於地球的外殼太過穩固堅牢，除非有火山、地震這些激烈變動，或通過對造山作用，地殼板塊漂移那麼緩慢過程的觀察，否則是極難獲得有關地球內部的訊息的。最近有關地球核心的一個相當驚人的發現，就是通過分析遠距離地震訊號的抵達時間而作出的。

我們現在知道，固態的地殼只有數十公里厚，在它以下是具高度可塑性 (plastic) 的地幔 (mantle)，而後者所包覆的，則是以鐵 (佔90%) 為主的地核 (core)，它基本上是一個半徑為3,480公里 (約為地球半徑的55%) 的球體。地核是低黏度的液體，但在它中央還有一個純鐵的固體內核 (inner core)，這內核由液態鐵在高壓之下慢慢凝固而成，所以它的半徑不斷增加，現在已達1,220公里。鐵凝固時所釋出的熱令外核中較輕的液態導電金屬產生對流。這類似發電機的運動就是產生地磁的主要能量來源^①。

內核是60年前由地震觀測所發現；上述產生地磁的機制則是30多年前首次提出。大約10年前我們又發現固態內核的性質在沿其對稱軸 (這軸與地球的自轉軸成大約10°交角) 方向和垂直於這軸的方向不一樣：即是說它只有柱狀而非球狀對稱。內核的這種各向異性 (anisotropy) 一般相信是鐵在高壓下形成六角密堆積結晶結構所造成。

直到最近，我們總是想像地球是一個整體，也就是說，它自轉的時候，地殼、地幔、外核、內核都應該沿地軸以相同的速率旋轉。可是哥倫比亞大學的宋曉東^②和理察士 (Paul G. Richards) 兩位地質學者，最近卻從通過內核的地震和核爆訊號的分析，得出一個十分驚人的結論：內核的旋轉速度要比地球其他部分快，



地球的內部構造以及其內核對稱軸相對於地表 (以及地球整體) 的移動。

大約每年快1.1°左右^③。那也就是說，它的對稱軸在地球表面的投影點，其經度每年增加1°，而緯度 (約80°N) 則不變。

與上述發現有關的分析雖然複雜，基本原理其實是很簡單的。倘若內核相對於地表是靜止的，那麼通過內核的地震訊號速度會和進行方向有關 (這是由核的各向異性造成)，但卻不會有時間上的變化。然而，仔細分析過去30年間的地震訊號，卻發現它們通過地球內核那一部分的速度有系統性的時間變化，最能切合這變化的解釋，便是內核的對稱軸在慢慢移動——那也就是說內核本身有相對於地球整體的移動。

內核每年1°的滑動相當於內外核在其界面每年滑動20公里左右：這大約是地殼板塊最快滑動速度的10萬倍。所以這一發現對地球內部的構造、動力學、熱力學、對流現象，乃至電磁動力學都是有極其密切關係的。

^① Kathy Whaler & Richard Holme, *Nature* 382, 205 (18 July 1996).

^② 這是Xiaodong Song的再譯，我們尚未能找到原名。

^③ Xiaodong Song & Paul G. Richards, *Nature* 382, 221 (18 July 1996).