



譯/蕭如珀、楊信男

1871 年 6 月：馬克斯威爾和他的惡魔

（譯自 APS News，2002 年 6 月）



馬克斯威爾

機器持續不間斷運轉的概念—即供應著固定的能量就可以永遠運轉的裝置是很令人嚮往的，美國的專利局每年都會收到無數個相關裝置的專利申請，其中大多數都可根據熱力學定律而予以退件，但最詭異、最有名、違反熱力學定律的恆久運轉概念之一是由馬克斯威爾（James Clerk Maxwell，1831-1879）所提出的。馬克斯威爾是統計力學的先驅之一，他最有名的成就是以他的名字命名的電磁方程式。1831 年 6 月，馬克斯威爾誕生於蘇格蘭的愛丁堡，自幼即對物理世界展現天生的好奇心，甚至在 3 歲時就想知道物品的操作原理。他後來進入愛丁堡高等學校就讀，是位出類拔萃的學生，在

數學和英詩方面均曾獲獎。

馬克斯威爾 14 歲時寫了他第一篇論文來解釋卵形曲線，發表於愛丁堡皇家學會。隨後，他在愛丁堡大學主修數學和自然哲學（物理），發表過滾動曲線和彈性物體平衡理論的論文；之後，他到劍橋大學的三一學院就讀，1854 年獲得數學學位。

馬克斯威爾在擔任倫敦的國王學院自然哲學的講座教授之前曾任不同教職，在國王學院 6 年的講座期間，他除了在電磁方面做出了最重要的實驗外，還研究了氣體的運動理論。

在氣體的運動學方面，他證明高溫的分子具有高可能性會往低溫地區移動，這比將熱量視為一成不變地從高溫流向低溫的探討方式更具統計性。

為了解釋他的論點，馬克斯威爾在 1871 年提出一個有趣的想像性實驗⁽¹⁾。在實驗裏有一個聰明的小精靈，站在隔板上的小洞裡，隔板將絕緣盒子分隔為兩個相等的空間。這個小精靈會設法在氣體的運動中做選擇，它會從分子的隨機運動中找出規則性；更確切地說，它會將分子分類，讓熱一點（快一點）的分子進入盒子的一邊，而冷一點（慢一點）的分子進入另

蕭如珀 自由業

楊信男 台灣大學物理系

E-mail: snyang@phys.ntu.edu.tw

一邊。

這個外號「馬克斯威爾的惡魔」^[2]的假想分類精靈本身需要熱量才能執行分類的任務，因此，要將熱分子和冷分子分開並無法真的如上面所描述的一樣發生。

然而，這個實驗是熵^[3] (entropy) 的絕佳示範：馬克斯威爾的惡魔試著去減少熵，但是，熱力學定律^[4]卻說，熵只能增加，或者應該說，若要在一個地方減少熵的話，惟有至少在其他地方等量增加熵予以抵銷才行。

馬克斯威爾的惡魔真實版——熵減少的結果需由其他地方增加熵來抵銷——的確在生命系統中發生，例如能使我們神經系統運作的離子幫浦。目前科學家欲試圖開發分子隨機運動的實際用途，所以在奈米科技新領域中積極地研究分子大小這一類的機制。

1997年，波士頓學院的研究員合成出了第一個分子棘輪（只能單向旋轉的齒輪），從此就一直研究將旋轉輪變成馬達的方法。奈米鏟車也是研發的目標，希望鏟車裡的粒子會往前蠕動，碰撞上理想的分子後將其拴住。早在1980年，IBM的Charles Bennet即辯稱，布朗運動可能就是電腦的基礎，因為它會以「輕搖」的方式傳遞訊號，可以減少伏特（電量）與熱量的耗損。

最近，德國的Essen大學在1999年做了一個實驗，初步得到的結果令人驚訝：若將散沙置於一個分成兩個空間的容器（兩邊中間有一個洞相通）中，它們的確會分離開來，其中「熱的」、動得快的沙移至一邊，而「涼的」沙會自然地凝縮，聚集到另一邊。

然而，執行此實驗的Jens Eggers說，此實驗並沒有真的違反第二定律；雖然移動的沙可視之為氣體，但每一顆沙粒都能吸收、釋放熱量，和馬克斯威爾理想氣體中「溫度」是分子運動的計量是不同的。所以當沙粒開始聚集到一個空間時，會有越來越多的沙粒加入越來越有秩序，降落在容器底部的沙粒，而沒有加入的沙粒會留在另一邊，仍舊是「氣體」的狀態。

因此，即使當今最頂尖的研究一直在擴充科學知識的範疇，馬克斯威爾的惡魔仍是隻不可能的野獸。對於追求永恆運動這個不可能實現夢想的人來說，很不幸地，熱力學定律依然無法違背。

註[1]: 馬克斯威爾自己這樣記述^[5]他的思考性實驗：…如果我們想像有一個本能高超，可以跟隨每一個分子運動的精靈，這個精靈的特徵雖然跟我們一樣有限，卻能做我們做不到的事。我們已觀察到容器中具有相同溫度的空氣分子運動速度都不相同，但是若從其中任意挑出一極大群的分子出來時，他們的平均速度卻都一樣（所以溫度也相同）。現在如果讓我們將容器分隔為二部份A和B，然後在隔板上開一小洞，再讓這個可以清楚看到各分子的精靈在小洞口把關，只讓跑得較快的分子可以從A經過洞口到B，跑得較慢的則只能由B往A去，如此，這個精靈便可以在不消耗任何能量的情況下將B的溫度提高，使A的溫度下降，而違反了熱力學第二定律。

註[2]: 「馬克斯威爾的惡魔」是William Thomson（後來被封為Kelvin男爵，絕對溫度K以他的名字Kelvin命名）在1874年所取的稱呼。

註[3]: 熵是物理熱力學中所引進的一個物理量，就好像每一個物理系統都具有一定的能量一樣，每一個處於熱平衡狀態的巨觀物理系統也都有一定的熵，這個熵跟對應於巨觀物理系統一個特定熱平衡狀態所可能出現的眾多微觀狀態數目有關，可能出現的微觀狀態數目越多，這個平衡狀態巨觀系統的熵就越大，所以有人說系統的「亂度」越大，它的熵就越高。

註[4]: 熱力學第二定律說明在密閉空間中兩個溫度相同的物體，當互相接觸後，基於統計上的不可能性，其中一個物體的溫度絕無法高於另一物體；換言之，在密閉系統中，熵絕對不會減少。

註[5]: "Maxwell's Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing", Eds. H. S. Leff and A. F. Rex, Institute of Physics Publishing, 2003.