冷熱的真相與群眾效應

今年的夏天，熱得令人吃驚。當然、面對氣候變遷的挑戰，我們得嚴肅對待。但假期才剛結束，先讓我們放鬆一下，單純地問：冷熱究竟是怎麼一回事？如果按照過去我們節目中一直反覆的主題，自然的事物都是由微小的分子、原子所構成，那分子與原子會感覺冷熱嗎？或者應該問，我們感覺的冷熱，從分子的角度看，究竟是怎麼一回事呢？

冷熱我們一般都以溫度高低來理解，這是再日常不過的物理現象了。前幾天我和太太去看電影，電影院裡，溫度自然調的很低。離開電影院後，溫度稍微高一點，我們都感覺舒服多了。過一會兒，我太太習慣性的拿出酒精消毒液噴在手上。接著我們走進一家精油店，她突然感覺手部整個紅腫，奇癢無比，我們嚇壞了。店員很客氣的趕快拿來蘆薈給她擦，很幸運的紅腫很快就退去了。後來我們才知道，這稱為遇冷性蕁麻疹，通常是由戶外進入有冷氣的室內時，溫度差異過大，引發血管快速收縮導致。而在我太太這個例子裏，手部的皮膚先由冷到熱，又噴上酒精，酒精蒸發，導致皮膚再急速降溫，因此就產生急性的蕁麻疹。

液體的蒸發，一般都可以降溫，我們排汗、透過汗水蒸發散熱，就是這樣的例子。但如此日常的現象，並不尋常。關鍵就在日常的深處，還有一個微觀的世界。自然的物質是由數量大約一兆兆顆，大小只有兆分之一的原子所構成，有時原子會先組成分子，分子再組成物質。例如氧氣就是由兩個氧原子組成的氧分子所組成。這些分子或原子並不是靜止不動的，若是固體，分子會被彼此的作用力強迫，排列成整齊有序的格子。但在格子的附近，分子會做小範圍、混亂無序的來回運動。至於氣體，構成的分子距離較遠，因此彼此間的力很小，於是分子幾乎沒有束縛，可以大範圍自由運動，直到與其他的分子碰撞，或是撞擊牆壁反彈為止。液體則較為複雜，大概介於上述兩者之間，分子多少受到彼此一些束縛，不完全能自由，但還是作混亂的運動。

大家都很熟悉，液體在到達沸點時，會沸騰汽化成為氣體，以酒精為例，沸點大概是攝氏78度。但即使還未到達沸點，曝露在空氣中的酒精也可以蒸發成為氣態。合理的推斷，這是位於酒精表面的分子，自動的離開了液態酒精，進入空氣成為氣體。這些位於表面的分子，周圍的同類分子數量少了一半，牽絆也就比較弱，容易逃脫。然而，也並不是所有分子都有條件離開，分子的運動速度有得快、有的慢，是有一個分佈的。很容易想像，只有速度快的分子才有機會脫離。

分子速度分佈這個概念是今天節目的嘉賓，讓我多花一點時間把它說清楚。在物質中，分子運動非常混亂，讓我們忽略分子速度的方向，只計錄快慢，類似選舉的計票、或更接近的、是人民的所得分佈圖。如同所得級距，把速度切成間距相等的區間。我們在每一個區間，統計記錄分子的數目，於是就製成一張表、或一個圖，這就稱為分子的速度分佈。注意速度分佈與無記名投票類似，我們並不在意每一個個別分子的快慢，只有每一個區間的數目才左右投票結果。

現在讓我們回到酒精蒸發的討論，有了分子速度分佈的概念，那很容易想像，能蒸發而從酒精表面離開的分子，應該都屬於分佈中速度最快的那些區間，分子速度快才能夠克服其他酒精分子的吸引牽絆。乍聽之下，似乎離開的分子就只是靜靜的自然離去，對還在液態的酒精，除了心理的傷感並沒有實質影響。但並不是如此，當蒸發發生之後，液體酒精內的分子少了速度快的那些成員，那麼留下來的分子，平均速度自然比原來小。當高所得者大量移民，會造成國家平均收入下降，一樣的道理。所以液體蒸發的最大效應，微觀來看就是降低分子的平均速度。而根據我太太的感覺，蒸發是使酒精溫度下降，將兩件事放在一起，我們可以得到一個石破天驚的推論，一個物質巨觀的溫度，對應的就是微觀構成分子的平均速度。分子平均速度越快，構成的物質溫度越高，反之則越低。原來、熱即是動、動即是熱，冷熱的本質就是內部原子、分子的混亂運動。

因此我們猜測：對一個物質，例如一缸氧氣，同一個溫度，就對應同一個平均速度值。在十九世紀中葉，經過精細的研究，物理學家確認了這個結果。尤其對氣體來說，更精準的說法是溫度就是分子的平均動能。動能是運動時攜帶的能量，約是速度的平方。至於固體與液體，因為分子之間力的束縛，平均速度與溫度的關係沒有如此簡單的形式，但在定性上與氣體相似。氣體的平均速度非常快，可以達到每秒一公里左右，就發生在你我周圍的空氣中，很難想像吧！這給了我們一個很有趣的圖像，日常環境中，幾乎所有事物，樹木、土石、金屬、看不見的氣體，感覺似乎恆常靜逸，但內在可是波濤洶湧、充滿活力。這個外表看不出來、微觀分子的混亂運動，就以溫度表現出來。

但物理學家還不滿足。前幾個月的節目介紹了十九世紀的大師馬克斯威爾，他除了發明電磁波，還有一項劃時代的貢獻。他忍不住想把推理再往前推進一步，一缸氧氣，同一個溫度時，除了平均速度確定一樣之外，分子的速度分布可能也完全相同。這個猜測乍聽之下很難相信，聽眾甚至會認為，一缸氧氣內，分子速度分佈難道不會隨時間而一直變化嗎？不要忘了，這些自由運動的分子不斷彼此撞擊，而在每一次撞擊後，就像撞球的碰撞，速度都會改變，分子速度的分佈難道還能保持不變嗎？馬克斯威爾從數學的角度思考這個問題，他得到一個驚人的答案。一般來說，在不斷碰撞之下，分子速度分佈的確會變。若把變化率寫成數學式子，你會發現當速度分佈滿足一定條件時，變化率等於零，也就是即使碰撞繼續發生，總體速度分佈卻是不變的。在碰撞中，有的分子速度增加，有的分子速度減小，但每一個速度區間內，遷出的與遷入的數目若洽好抵消，那麼每一區間內的分子數就不隨時間而改變了。針對氣體，馬克思威爾解出了滿足此條件的分佈，這自然就被稱為馬克斯威爾速度分佈。

這個分佈通常表示為各個速度區間的分子數目，圖形像一個突起的鐘形曲線。曲線的最高點就大致對應於平均速度、也就是氣體的溫度。可見越熱的氣體，最高點越向右移，顯示平均速度就越快。令人驚訝的是分佈與分子的化學性質完全無關。只要考慮了分子的質量差異之後，易燃的氫氣、與遲鈍的氮氣的速度分佈，竟然完全一樣。如此簡單的結果，可以說是人類科學進展的一個里程碑。每一個溫度，就對應一個平均速度值。而每一個平均速度的值，我們都解出了一個馬克斯威爾分佈。所以溫度，從微觀來說，本質上就是一個對應的馬克斯威爾速度分佈。

妙的是，一旦氣體分子的速度分佈等於馬克斯威爾分佈時，即使碰撞仍然不斷發生，速度分佈就不再改變了。所以，馬克斯威爾分佈似乎提供了一個目標、終點或歸宿：當氣體分子的速度分佈不等於它時，就會繼續變化，直到到達目標為止。這有點像放一個彈珠在碗裏，碗的底部是一個可以停下來不動的點，放在其他的地方都會往下滾，我們通常就稱底部是平衡點。所以馬克斯威爾分佈描述的狀態就稱為平衡態。這聽來抽象的詞，其實是大家早已熟悉的現象，自然界的冷熱變化就是一個以平衡為目標的過程，當我們剛從較冷的電影院，進到溫度較高的環境時，外衣會慢慢跟著調節到較高的溫度，到最後停止升溫了，我們就會說衣服與環境的溫度一樣，而達到平衡，冷熱就不再改變了。馬克斯威爾分佈描述的正是這樣的狀態。

從這個驚人的結果，我們可以得到兩個重要的結論。首先，溫度就是分佈，當然只有一群物體才有所謂分佈可言。因此，對於單一個原子或分子來說，冷熱或溫度是沒有意義的，冷熱本質上就是一個群眾現象。

其次，氣體的溫度，決定了所有氣體分子速度的分佈。如果把分子比喻為群眾，馬克斯威爾速度分佈真是比任何大數據或專制政體，還厲害的極權統治。只要知道溫度，我對這一缸氧氣所有的性質，所有的細節，就完全掌握了。一個非常漂亮的例子就是早期宇宙。因為宇宙是一直在膨脹中，早期的宇宙應該非常小。此時構成宇宙的所有粒子，彼此應該處於相同溫度的平衡狀態。因為此溫度極高，於是所有粒子都如同氣體一般。如此我們就可以由宇宙的溫度，計算出對應的馬克斯威爾分佈，進而完全掌握當時宇宙中，粒子的數目、能量等所有資訊。一百三十七億年前的事，就這樣我們一清二楚，科學家就是透過這樣的辦法，預測出宇宙現存氦元素的比例，與觀察結果完全相符。如果這樣的預測能力不算強大，我就不知道什麼是強大了。

馬克思威爾分佈力量如是強大，但細心的聽眾一定注意到了，其中的關鍵是分子與分子不斷的碰撞。如果沒有碰撞，速度分佈是無從改變，而邁向目標的。群眾的事務不也是如此，民主社會的基礎就是人與人之間不斷的交流討論。

因此，我相信只要透過綿密、不止的溝通，人類一定能共同正視地球環境未來的命運，一起找到一條路。這條路走向的目標，應該可以是一個穩定、又能保持人民活力的平衡態。

下一次：物理的黑暗界