

# 熱力學第二定律與時間的神秘走向

宋健民  
中國砂輪企業股份有限公司  
E-mail: sung@kinik.com.tw

## 摘要

「熱力學第二定律」規範了所有變化的方向；它使基本粒子的軌跡產生差異，它也使生物的演化有所不同，它還使我們的命運各自有別，它更使宇宙的膨脹速率懸殊。這一切由簡趨繁的歷史軌跡都是為了增加「意識」的選擇，而歷史軌跡總數的對數就是「熵值」。「熵值」和時間是一體的兩面，「熵值」的增加使「意識」以為時間有了方向，這就是「光陰似箭」或「時間像流水」的祕密。

## 熱力學第二定律

宇宙的一切變化都在熱力學(thermodynamics)的掌握之中，從一種能源改變成另一種能源，更會受到熱力學的監控。熱力學規範了能量的平衡(第一定律)、流動(第二定律)及極限(第三定律)。「第一定律」即為「能量守恆」。根據愛因斯坦 1905 年提出的「狹義相對論」質量為濃縮的能量，即  $E = Mc^2$ ，所以「熱力學第一定律」的含意實為質能的總和不變。它也包括了沒有能量變化時的「物質不滅定律」。根據「熱力學第一定律」，太陽能當然可以轉換成電能，但其發電的效率卻受限於下述的「第二定律」。

「熱力學第二定律」是所有物理定律的基礎，因為它界定了一切變化的方向，包括無從捉摸的時間流向。所有的物理定律都可能是暫時的，因為它們在未來會被更精確的原理修正。但英國的物理大師 Arthur Eddington 曾在 1928 年指出「熱力學第

二定律」終將永垂不朽。的確，許多以前科學家認為不變的「鐵律」都已經被更改，甚至慘遭淘汰。例如早期的科學家認為「熱量」是一種可以自由流動的物質，1780 年 A. Lavoisier 更稱其為「卡路里」(caloric)。1784 年 Count Rumford(即 B. Thompson)在膛開炮管內孔時發現劇烈的加工居然可使鋼鐵熔化。他因此認為「熱量」其實只是「做功」而已。現在的科學家已沒有人相信有「卡路里」這種東西，因為「熱」只是原子振動的現象罷了。又如愛因斯坦在 1915 年提出「廣義相對論」(General Relativity)認為重力乃空間被物質擠壓變形的結果，所以牛頓在 1666 年發現的「萬有引力」並不存在。科學家長期用以說明地球繞日而行的思想框架乃在一夕之間改弦更張(paradigm shift)。另一方面，科學家一直深信不移的「物質不滅定律」也被愛因斯坦的「質能守恆定律」取代。1926 年 W. Heisenberg 更以量子力學的「不定原理」(uncertainty principle)修正了「質能守恆

定律」。根據「不定原理」，「質能守恆」並不是連續的，因為它隨時會被量子波動 (quantum fluctuation) 暫時改變。因此「無」中的確可以生「有」，而「有」時也可能化「無」。例如真空中可能隨時會蹦出虛粒子對 (virtual pair)，而物質也會無端消失。只不過能量改變的幅度必須與其違反「第一定律」的時間久暫成反比而已 (即  $E \propto \frac{1}{t}$ )。台灣的教科書把「不定原理」翻譯成「測不準原理」，乃未了解「不定原理」的哲學意義所致。「不定原理」並非儀器量測的誤差 ( $\Delta s \propto \frac{1}{\Delta t}$ ) 所造成，而實為「意識」觀察視野的極限。

1824 年 N. L. Sadi Carnot 在分析內燃機 (internal combustion engine) 的熱流分佈時發現熱能無法全部用來推動引擎，其作功的效率為  $(T_1 - T_2) / T_1$ ，式中的  $T_1$  及  $T_2$  為進氣與出氣的溫度，其中浪費掉的廢熱即為後來所熟知的「熵值」(entropy)。1787 年 J. A. Charles 發現氣體受熱時，每加熱攝氏一度，其體積會膨脹約  $1/273$ 。1848 年 Lord Kelvin (前名 William Thompson) 以此現象倒推到低溫，他認為氣體在  $-273^\circ\text{C}$  時體積應為零，因此他主張這是溫度的最低點。後來科學家乃稱此溫度為絕對零度 (0 K)，並以此點往上標定成為絕對溫度計，這個溫度尺度即以 Kelvin 表示。1854 年 R. Clausius 正式提出「熱力學第二定律」，認為在一個封閉的系統內所有的不平衡變化 (自發或不可逆的變化) 其「熵值」一定會持續增加直到趨於平衡 (equilibrium) 為止。1865 年他把能量 (energy) 及改變 (tropae) 合成 Entropy 這個字來說明所有可用的能量 (焓, enthalpy) 都會逐漸消耗並轉化成不能用的「熵」。

1851 年 Kelvin 以「熱力學第二定律」推測宇

宙內的所有變化乃沿一有去無回的方向演進。他因此以時間有箭頭 (the arrow of time) 來說明「江水像東流，它一去不復還」。既然「熵值」只增不減，「熵值」最低時應即為一切變化開始的源頭，亦即宇宙的確有個起點。1854 年 H. Von Helmholtz 則往相反方向推演，由於「熵值」會越來越大，最後宇宙會達到平衡。這時所有的變化都將停止，這就是所謂的「熱死」(heat death)，亦即所有可以做功的能量這時已經耗竭，所以宇宙就此死亡。根據「熱力學第二定律」宇宙必須有始有終，所以它一定是有限的。有限的宇宙與許多哲學 (如佛教) 探討的「無窮」世界是大異其趣的。

自人類啟蒙以來哲學家 (如猶太教) 甚至科學家 (如愛因斯坦) 都一直以為宇宙是靜止的。1928 年 E. Hubble 發現星系並非靜止不動而乃彼此以高速飛離，這個宇宙膨脹的認知乃促成了「大霹靂」(big bang) 的宇宙觀。現在的科學家都相信宇宙乃在約一百五十億年前由「無」穿隧而出，並且不斷膨脹至今。宇宙的未來是否永遠膨脹或它會反轉收縮而導致「大崩盤」(big crunch)，這點宇宙學者目前並無定論，但無可置疑的是宇宙既使永遠膨脹，它也難逃劫數，因為「熱力學第二定律」已經將它判定「熱死」了。

#### 「熵值」與時間

「熱力學第二定律」的含義極深，大部份的科學家只知道計算「熵值」( $dS = dQ/T$ ) 而不知為什麼「熵值」在自發 (spontaneous) 的反應中會不斷加大。事實上「熱力學第二定律」是「對稱分裂」(symmetry breaking) 的結果。「對稱分裂」會使相同的東西顯出差異，因此簡單的狀態會越來越複

雜，例如聚集的粒子會逐漸分道揚鑣，原始的物種也會演變出許多新的物種。「對稱分裂」會使歷史分歧，而歷史的數目(N)正是時間(t)的「能力集數」(power set)，即 $N=2^t$ 。「熵值」所量度的就是時間。所以「熱力學第二定律」的推動力來自「對稱分裂」，而這個變化所留下的紀錄就是時間，所以變化必須在時間中產生，而變化的幅度就反映在「熵值」上。

由於每一個系統(如宇宙)乃至個體(如原子)都有它特定的「熵值」，所以它們都有自己的時間。系統的時間是其組成個體時間的平均數。有的個體比系統年輕，即其過去的時間較短而未來的時間較長；而有的則正好相反。「熱力學第二定律」指出一切的變化都只是整體時間的增加及個體之間時間的傳遞而已。在變化時，整體過去的時間一定要增加，而個體之間時間的差異則必須減小，所以年輕的個體必須把未來的時間傳遞給年老的個體而使自己的年齡加大。

以日常生活一定會碰到的問題為例，「熱力學第二定律」會把時間儲存在房間的垃圾及灰塵裏。這些垃圾及灰塵都是「熵值」很大的物質。如果我們以掃把清除垃圾，再以吸塵器吸掉灰塵，房間的「熵值」就會降低。但我們在掃地時會因運動生熱。熱量乃以紅外線四處放射。因此空氣裏增加了一些「熵值」。尤有進者，我們清掃垃圾所需的能量來自食物。這些規則的食物被消化成為混亂的糞便，也使「熵值」大增。此外，吸塵器所用的電力也會使發電廠附近的「熵值」提高。所以整體而言，房間「熵值」的降低(時間回到過去)抵不上環境「熵值」的增加(時間走向未來)，也就是說在清掃房間時「熱力學第二定律」仍然會把整體的時間散佈在

更廣的區域內。所以不管我們怎麼做，地球一定會變得更為髒亂，只是髒亂的部份可以和人們生活的區間分開讓我們眼不見為淨而已。

什麼是未來的時間呢？它是可以改變現狀的能量，以熱力學的量度來說，未來的時間就是「熱含量」，也就是焓。由於能量與粒子的頻率成正比，所以未來的時間也反應在頻率裏。事實上頻率正顯示出未來時間的刻劃。當時間在傳遞時，焓會變成熵，而頻率則會轉成波長。「熵值」和「波長」代表的都是過去的時間，所以它們是只增不減的。

未來尚未來臨，所以代表未來時間的粒子具有同樣的狀況，因此其對稱度高而自由度低。相反的，過去已經發生，所以具有過去時間的粒子乃各具特性，因此其規則性低而特異性高。由未來變成過去，連在一起的集團粒子就會逐漸分開成為眾多的自由粒子，有如下例說明：

1. 從能量的歸屬來說，可用的能量會逐漸降低。以光線(光子)為例，少數連在一起的高頻輻射(短波長)會分開成為多數不連在一起的低頻(長波長)熱能。以振動波(聲子)而言，少數的振動分子會變成較多的轉動分子及更多的移動分子。以氫分子為例，其解離、振動、轉動及移動的能量分別為 4.75 eV、0.516 eV、0.0073 eV 及  $10^{-22}$  eV。在這個過程中能量越來越低，但所影響的粒子數目則越來越多。也就是說原來集中可用的能量(焓)會被許多粒子瓜分而變成分散不能使用的熱量(熵)了。
2. 從宏觀的狀態來說，對稱會分裂出差異，大塊也會分裂成碎塊。例如一個連在一起的杯子會摔碎並分裂成許多不連在一起的小片。

同樣的道理，一桶水翻倒也會因到處流竄而不能回收。

### 3. 從宇宙的格局來說，空間會變得越來越大。

由於粒子的數目加多了，它們的自由度也增大了。由於整體的秩序變成分體的混亂，空間必須加大。因此宇宙就會膨脹，這就是為什麼「熱力學第二定律」會促成「大霹靂」的原因。

根據上述，「熱力學第二定律」為「對稱分裂」的必然現象，其方向為「由簡變繁」。從大局來說，這就是宇宙演化的趨勢；從小處來看，這也是「覆水難收」的道理。「由簡變繁」使歷史分化，這正是時間的走向。所以「熱力學第二定律」的「熵值」實際上就是時間流過的痕跡。

### 「熵值」與量子力學

1860年代L. Boltzmann曾以看不見的分運動來描述氣體的各種外觀狀態(氣體動力學)。1872年他追蹤「熵值」使其與氣體分子的「亂度」，即「不對稱度」(disorder)掛鉤( $dS = k \ln W$ ， $W$ 為不同分子具有相同狀態的組合)。那時大部份的科學家仍不相信氣體具有分子。Boltzmann因受到嘲笑和排擠終於在1906年飲彈自殺。在1891年及1897年時Boltzmann曾兩度指導量子先驅M. Planck說明能量和物質一樣是不連續的。後者乃以此為導引在1900年提出「黑體輻射」的量子理論。這樣才開始了至今仍方興未艾的量子革命。

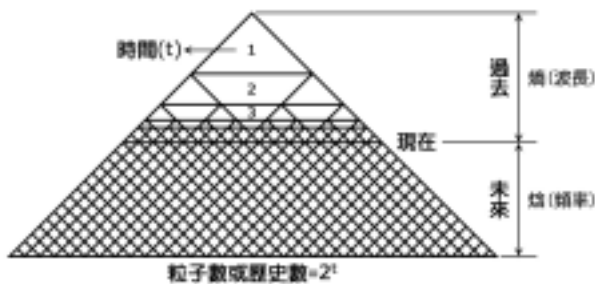
現代的科學基礎是量子力學。量子力學可以精確描述基本粒子的軌跡。宇宙內的所有物質(如電子)及能量(如光子)都由基本粒子構成，因此量子力學可以說明小至真空中的虛擬粒子到大至宇宙

整個實體的演化過程。量子力學與傳統物理最大的不同是前者所描述的是「虛擬宇宙」(quantum wave universe)而後者為「可見宇宙」(observable universe)。「虛擬宇宙」乃以量子波的形式同時存在，所以可以是多重的。根據「多重宇宙的量子論」(many worlds interpretation of quantum mechanics)，每個宇宙的內部都有同一顆粒子，但這個粒子在不同宇宙內的軌跡並不相同。亦即每個粒子可以同時有不同的歷史。「可見宇宙」內的粒子則以實體存在，因此只有一個獨特的歷史。換言之，「虛擬宇宙」可以容納多重歷史，每個歷史決定我們的一種命運。而「可見宇宙」只能容許單一的歷史及唯一的命運。

量子力學並不能預測到底那一個量子宇宙的歷史是真實的，但卻可精確的計算出把任一個歷史弄假成真的可能性。有趣的是這個可能性可以在我們這個真實的宇宙內以實驗佐證。物理學家已經不斷的證實了量子力學所計算的機率，現已對它的正確性不再懷疑。例如以量子力學計算的電子磁矩其值為1.0011596525單位，而量測值為1.0011596522單位。這兩者之間的差額有如比較紐約至洛杉磯的距離時只偏了一根頭髮的寬度而已。但科學家仍不知道為什麼我們只能看到無數虛擬歷史中的一個。根據一個可信的理論，這個奧秘乃包含在「意識」之中。是「意識」的「自由意志」在眾多的「虛擬宇宙」內選擇了其中的一個，再藉「不定原理」的模糊空檔走進了這個宇宙，並「看」出它的真實性。就在「意識」不斷的選擇中讓我們走進了一個特定的歷史，看到眼前的「大霹靂」宇宙，乃至經歷了現在的命運。

宇宙像是一顆大樹一樣會由對稱分裂出差

異，其內的歷史有如樹幹及枝芽一樣不斷的分叉。宇宙歷史的數目為時間的「能力集數」(power set)，即  $2^t$ 。「熱力學第二定律」所描述的「熵值」正是此值的對數，也就是時間本身。「熱力學第二定律」所說「熵值」會持續加大乃反映出歷史的不斷分化。這就是時間會帶上箭頭(有方向感)的原因，也是環境的污染會越來越嚴重的道理。

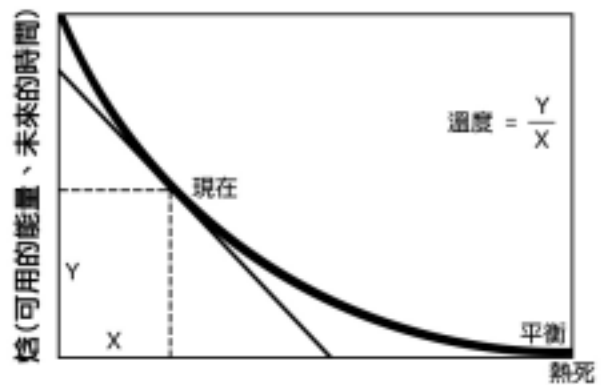


圖一：同一粒子在不同宇宙內的歷史會因對稱的分裂而不斷的分化。現在歷史的數目決定了過去的時間(熵)及未來的時間(焓)。這顆粒子在空間的波長標示了過去的時間，其在時間的頻率則透露出未來的時間。當頻率為  $10^{43}$ /秒時，波長為普蘭克常數 ( $10^{-33}$  公分)，這時的能量密度(焓)最高 ( $10^{19}$  GeV)，而溫度也高達  $10^{32}$  K，這就是宇宙運轉的起點。當頻率相當於 1/秒，這時的波長增為  $10^{10}$  公分而宇宙的溫度乃降為 0 K，這時「熵值」趨於最大。由於時間到了盡頭，宇宙就會「熱死」。本圖也可應用在同一宇宙內顯示高能光子(高頻輻射)依「熱力學第二定律」對稱分解形成低能聲子(長波廢熱)的時間走向。

當時間過去時少數的高能光子會分化成為多數的低能聲子。事實上光線的傳遞可以視之為時間的傳遞。光線本身就是時間。其頻率代表的正是未來的時間，而輻射的波長則代表了過去的時間。光線由高頻轉換成低頻時，頻率會轉化為波長，未來乃變成過去。這時粒子的數目會增加。自由度或亂度就因而提高，而集中性及對稱性則會相對減少。這就是時間由過去走向未來所伴隨的現象。

這樣說來「熱力學第二定律」的趨勢就像時間的流向一樣是誰也擋不住的。我們通常以為所有事物都有一個共同的時間，實際上每個原子或粒子都有它自己的時間。高能的粒子或高頻的輻射，它們的「焓值」或頻率為未來可以變化的次數(未來的歷史數)，也就是未來的時間。未來時間轉化成過去時間(熵值)的轉換速率與其所含未來時間的多寡成正比。這個速率不是別的數值而正是溫度的高低。溫度和頻率成正比，所以高頻會比低頻加速分化，也就是說時間多的會等時間少的，所以熱只能由高溫傳到低溫，而不能由低溫傳回高溫，同樣的道理，水也只能由高處往低處流而不能逆勢而為。

溫度降低時未來就轉為過去，但隨著時間的消失，低能的顆粒數(熵)越來越多，轉變的節拍就會越來越緩。這種由快變慢的現象會使具有不同時間的粒子其步調逐漸趨於一致。所以「熱力學第二定律」會迫使歷史以最大的機率走向最可能的結果，這個結果就是「平衡狀態」。所謂「平衡」就是所有粒子的時間都一樣，以致大家無法繼續改變，時間到此就會完全靜止。



圖二：「焓值」是未來的時間而「熵值」為過去的時間。溫度則為未來轉換成過去的速率。這個轉換速率與「焓值」(能量或振動的頻率)成正比。