

原著

熱力學第二定律與生命現象之探源

陳俊霖

國立彰化師範大物理系，彰化，台灣

熱力學第二定律所描述的熵的增加代表信息的喪失。作者認為信息必須經由心靈的認知才能存在，因此在一個系統中，如果包含了信息，代表在這系統中必定包含心靈的認知。

此外，為什麼所有的生物體似乎都屬於耗散結構？作者認為其原因是當一個生物體在表現種種生命現象的過程中必須做出一些智慧的選擇，而為什麼它會做出這些智慧的選擇，其先決條件乃在於它具有心靈，可以從周圍的環境中選擇一些有用的信息來加以利用，然後它就必須將自身的熵排放到周圍的環境中，使得自己的熵低於外界環境的熵，以維持生命。

一、前言

探索大自然的奧秘一直是所有物理學家追求的梦想與努力的目標。直到廿世紀末的今天，人類累積了數個世紀的知識後，才讓我們大致瞭解大自然的結構。我們可以由最大的結構層次依序往下看：宇宙之中包含了許多星系，銀河系處於其中的一個星系；銀河系又有許多恆星，太陽是其中的一個恆星；在太陽系的結構中，我們居住的地球是繞太陽運行的行星之一；在地球上許多生物居住，生物的身體又可以細分至細胞結構；細胞是分子的集合體，分子結構可再細分為原子，而原子包含原子核和電子；最後我們可以再解析原子核的結構……等等。所以物理學所研究的內容是十分深奧和廣泛的，物理學對於自然界的各層次都可以進行觀察：從天文物理探討最大的宇宙，到量子力學探討最小的原子、分子及基本粒子的世界。

早期的物理學所研究的對象都是我們人類的感官可以直接觀察到的，例如行星的運動、砲彈飛行的軌跡……等等。隨著科技的進步，

一些較精密的儀器也隨之應運而生，目前甚至可以將一些微小的結構直接拍成影像，而其解析度可高達一個原子的尺度（約一億分之一公分）。這些微小世界所發生的現象已經不是古典力學所能解釋的，於是量子力學應運而生。儘管量子力學能對微觀世界做一個很好的描述，但是很多物理學家對量子力學的解釋方式仍感到不滿意，甚至於對量子力學的基本架構產生全盤的質疑。至於為什麼這些物理學家會產生這麼多質疑呢？歸究其原因乃是許多物理學家只承認有「物質」而否定了「心靈」，因此對實際發生的現象無法做一個完整的解釋。¹

儘管古典力學和量子力學在本質上有很大的不同，但它們都有一共同的特性，那就是它們所研究的系統都只包含少數幾個粒子，所以是較簡單的系統，因此這些定律的數學形式對時間是可逆的。我們可以想像若將行星繞太陽或電子繞原子核的運動拍成錄影帶，然後將其倒著播放，這時候我們將會發根本無法分辨錄影帶到底是順著播放，還是倒著播放。不過對於一些多粒子的複雜系統，情況可就不同了。

投稿日期：2000年12月3日；接受日期：2001年6月25日

聯絡人：陳俊霖，國立彰化師範大物理系，彰化，台灣

E-mail: jlchenncue@kimo.com.tw

在日後的經驗中，我們會發現很多事情發生的先後順序不能顛倒，例如煮熟的蛋不能恢復原狀、杯子破了很難將它復原，因此這些現象是不可逆的。

解釋這些不可逆現象必須用到熱力學的觀念，而熱力學與其他力學最大不同之處在於熱力學第二定律可以解釋不可逆的過程及其演進的方向，這是其他力學無法做到的。因此在本文，作者希望藉由對熱力學第二定律的探討，而能對生命現象有更進一步的瞭解。

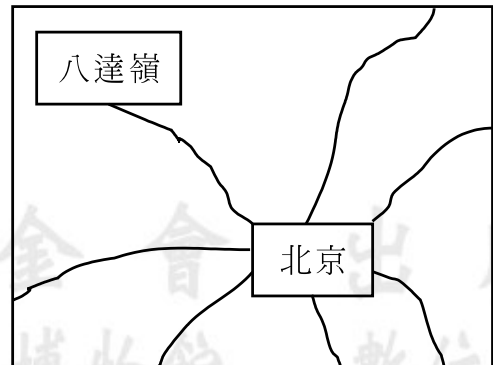
二、熵、機率與熱力學第二定律

學過熱力學的人都知道熱力學第二定律是非常難懂的，它引入了一個很奇特的物理量——熵，來描述可逆或不可逆現象的發生過程。熱力學第二定律敘述的內容如下：在一個封閉系統內一個現象發生的過程中，此系統的熵的變化量 $\Delta S \geq 0$ ，如果是一個可逆過程，則 $\Delta S = 0$ ；反之，如果是一個不可逆過程，則 $\Delta S > 0$ 。

在簡單系統中所發生的現象大致而言是可逆的，例如兩個粒子的碰撞運動等，它們的運動方式可用古典力學或量子力學描述。如果將一滴墨水滴入一杯清水中，就單一墨分子與單一水分子而言，由於這是屬於兩個粒子的碰撞運動，所以此一現象是可逆的。但若將所要研究的對象擴大到由一滴墨水與一杯清水所組成的系統，則一滴墨水的擴散運動將是不可逆的，也就是說在微觀是可逆的現象組合成巨觀後卻是不可逆的。關於這個問題，我們可以用熱力學第二定律來解釋：當一滴墨水剛滴入一杯清水中時，墨水只侷限在一小範圍的空間中，所以整個系統的熵較小。根據熱力學第二定律，此系統必然朝著使熵值變大的過程進行，其結果就是使墨分子漸漸擴散，直到整杯中墨分子呈均勻分佈為止，此時系統的熵為最大，整個擴散過程才會停止。

以上的解釋也許對大部份的人而言還不夠清楚，因為什麼是「熵」還是沒有說清楚明白。以下我們將嘗試由機率的角來對「熵」做個較好的說明，我們將引述李政道博士在他所著《統計力學》一書中的一個例子來加以解釋：²

北京目前是每天有一列火車往返於北京與八達嶺之間。如果有一個人完全隨機地搭乘火車，那麼他從八達嶺上車，一定到得了北京。但是如果他在北京也是完全隨機地登上火車，那麼他很可能回不到八達嶺。或許他要經過漫長的歲月，輾轉中國大陸各地後，才能再回到八達嶺。由此可見，儘管八達嶺與北京間的通車在「微觀」上是可逆的，但往返的機率卻大不相同，從八達嶺到北京的機率是 100%，而從北京到八達嶺的機率卻幾近乎零。因此縱然在微觀上是可逆的現象，也可能造成巨觀上不可逆現象的發生。



從以上的例子中我們可以更進一步了解什麼是「機率」。試想如果是一個有智慧的人想搭乘火車在八達嶺和北京之間往返一趟的話，則在回程時他一定會選擇正確的火車班次從北京回到八達嶺。如果他不用智慧選擇正確的火車班次，而採用無智慧的隨機方式搭乘火車，則他只有很小的機率能從北京回到八達嶺。所以一個人如果能夠做智慧的選擇，這個時候對他而言就沒有所謂「機率」的問題，所有的過程都非常明確，這是一個可逆現象；反之，如果一個人不做智慧的選擇，而採用隨機的方式，此時將出現「機率」的問題，而造成不可逆的現象。

因此我們知道會出現「機率」的原因，乃在於沒有做出智慧的選擇，故熵與無智慧的機率有著極密切的關係。簡單的說，若一個系統達到某一狀態的機率越大，則系統在該狀態時的熵就越大；反之，則其熵就愈小。以下我們就舉上面所談到的一滴墨水的擴散現象來加以說明之：我們知道任何一個墨分子可以處於這

杯清水中任一點，假設我們將每個墨分子任意地放到這杯清水，則機率最大的狀態是這些墨分子均勻地散佈在這杯水中，這些墨分子只有極小的機率會擠成一堆。因此當墨水剛滴入杯中時，墨分子擠成一堆的發生機率是最低的，而熵也最小，所以它必須經由擴散過程，才會使機率漸增，而熵也就愈來愈大。

三、熵、信息與心靈的認知

現在讓我們更深入地探討可逆與不可逆之間的差異。從前面的例子我們約略可知道造成不可逆現象的關鍵在於「熵的增加」，以下我們將再舉一個例子來說明「熵的增加」究竟有什麼更深的含意。假設我們從一副撲克牌中將黑桃A牌面朝上，而其他牌的牌面朝下地放在桌子上，我們可以任意洗牌，但是無論怎麼洗牌，都會看到一張黑桃A牌面朝上在桌子上，因為整個過程中系統的狀態沒有改變，所以熵的值不變，此一過程是可逆的。如果我們將黑桃A由原本牌面朝上變成牌面朝下，再加以任意洗牌，由於經過洗牌後我們對黑桃A位置的訊息消失了，任何一張牌都可能是黑桃A，因此整個過程中系統的狀態已經改變，而熵的值也增加了，所以這一過程是不可逆的。

將以上撲克牌的例子延申到自然界的現象，我們可以發現造成可逆與不可逆，或是熵的增加與否，其關鍵在於整個過程中系統的信息有無喪失。熵的增加代表信息的喪失，即可逆過程；反之，熵沒有增加代表信息沒有喪失，即可逆過程。因此我們可以說，如果一個事件的進行過程中信息沒有喪失，則它必為一個可逆過程。但是如果一個事件的進行過程中攙雜了隨機因素，則信息將喪失，此時事件的發生過程中便含有不確定性，因此它必為不可逆的過程。自然界的現象大都是不可逆的，因為我們無法很明確地追蹤每一個原子或分子的運動方式，所以擴散開來的墨滴無法重新凝聚成一滴墨，便是這個道理。

其次，我們也可以再問一個問題：信息為什麼會喪失？要回答這個問題以前，我們可以先問一個問題：什麼是信息？一個沒有心靈的機械人能不能分辨什麼是信息？依作者的看

法，我們在這裡可以做一個大膽的假設：信息必須經由心靈的認知才能存在，如果沒有心靈認知的作用，就不可能有信息的存在。如果一個事件的進行過程中，心靈對這整個系統一直保持著認知狀態，則信息不會中斷。但是如果是在事件的進行過程中加入一些隨機的因素，使得我們心靈的認知狀態受到干擾，無法持續保持信息的話，信息將會喪失。因此心靈的認知佔有相當關鍵性的地位，這就是熵、信息與心靈的認知之間的關係。

四、熵與生命現象

純粹就熱力學的觀點而言，生命的存在是一件非常奇特的現象。試想當生命由原始的單細胞生物逐漸演化成較複雜而高等的多細胞生物時，這一過程就生物本身而言，熵不但沒有增加，反而減少了。另外當生物經由攝食過程將外界環境中的一些較無序的物質轉化成生物體內一些較有序的細胞及組織時，此過程中這些物資的熵也減少了。由此看來，生命現象是否違反熱力學第二定律呢？如果沒有違反的話，那又是為什麼呢？

Prigogine (1977年諾貝爾化學獎得主)建立了「耗散結構理論」，³可以為以上的問題提供一些解答。他的理論的重要結論如下：在遠離平衡態時，某些系統會自發地產生結構，也就是說有這樣的系統可以把自身產生的熵排放給周圍的環境，使其自身的熵低於周圍環境，這就是所謂的「耗散結構」。這樣做並不違反熱力學第二定律，但是卻是一種「自私」的行為。譬如夏天在室內裝了冷氣機讓自己舒服而使外面的人更熱，就是這個原理的簡單表現。⁴

「耗散結構理論」只說明了這種耗散結構可以存在而不違反熱力學第二定律，它並未說明為什麼所有生物體似乎都屬於這種耗散結構。從上一節中我們知道信息的喪失代表熵的增加，那麼我們是不是可以問：熵的降低是否意味著信息的增加？而信息的增加又代表什麼呢？

為了回答這個問題，我們可以從一些較簡單的單細胞生物的生命現象談起。有很多種類的單細胞生物都懂得趨吉避凶，當我們放入食

物時它們會聚集過來攝食；如果我們放入毒物，它們則會逃逸四散。另外從細菌抗藥性的研究中可以發現，這些細菌能發展出抗藥性實在不能說是純粹隨機演化的結果，而應說是它們會做出一些智慧的選擇以加速演化的進行，使得它們可以在很短的時間就發展出抗藥性。

因此作者認為一個生物體在表現出個體生命現象的過程中（包括生存競爭、繁殖、演化等），它必須做出一些智慧的選擇，從周圍的環境中選出一些對自己或整個族群的繁衍最有利的訊息以生存下去，例如能分辨食物與毒物、能找到一個食物最多的地方去進食、能知道逃離危險與災難等等。因此作者認為要解釋種種生命現象，最重要的關鍵在於我們必須接受生物體是具有心靈的，一個具有心靈的生物體才能做出有智慧的選擇，以增加有用的信息來維持其生命，於是它就可以將自身的熵排放到周圍的環境中，使自己的熵低於外界環境的熵，而呈現看似奇特卻隱含著深意的種種生命現象，這也說明了為什麼所有生物體似乎都屬於「耗散結構」。

五、結論

在本文中作者藉由探討熱力學第二定律的內涵與生命現象之間的關係而得到以下四點結論：

1. 熵的增加代表信息的喪失，此即不可逆過程；反之，熵沒有增加代表信息沒有喪失，此即可逆過程。
2. 在本文中作者做一個大膽的假設：信息必須

經由心靈的認知才能存在，如果沒有心靈認知的作用，就不可能有信息的存在。

3. 一個生物體在表現出種種生命現象的過程中，它必須會做出一些智慧的選擇，以便從周圍的環境中選出一些有利的訊息，以生存下去。
4. 一個具有心靈的生物體才能做有智慧的選擇，以增加有用的信息來維持其生命。於是它就可以將自身的熵排放到周圍的環境中，使得自己的熵低於外界環境的熵，這也就說明了為什麼所有的生物體似乎都屬於「耗散結構」。

誌謝

感謝梁乃崇教授曾與作者多次討論，並提出許多非常有價值的建議與指正，使得本論文能夠很順利地完成。

參考文獻

1. 陳俊霖。量子力學與心靈的探討。第三屆佛學與科學研討會論文集。台北：圓覺文教基金會，1995，頁161-176
2. 李政道。統計力學。新竹：凡異出版社，1985，頁87-88
3. Nicolis G, Prigogine I. *Self-organization in Nonequilibrium System*. New York: John Wiley & Sons, 1977
4. 郝柏林、劉寄星。理論物理與生命科學。上海：上海科學技術出版社，1997，頁24

The second law of thermodynamics and the phenomena of life

Jin-Lin Chen

Department of Physics, National Changhua University of Education, Changhua,
Taiwan

The principle of the second law of thermodynamics tells us that an increase in entropy implies a loss of information. The author adopts this opinion and infers that any information is meaningless unless it is recognized by the mind. If there is information in a system, it means that the system must incorporate the cognitive ability of the mind.

There is a very important question why all living organisms seem to have dissipative structures. The author speculates that the organisms have the minds to make choices when they perform many activities in their lives. In this way, the organisms can export entropy from inside of their bodies to the external environment by using their minds to choose and utilize the information wisely from the external environment. By making the entropy of their bodies lower than that of the external environment, the organisms can sustain their lives.

Keywords: The second law of thermodynamics; entropy; information; dissipative structure; cognition