

焦耳報告 電通系 9630052 王清弘

# 歷史上偉大的科學家

## —— 發現能量不滅定律的焦耳

焦耳 的 生平



能量不滅定律的發現者－焦耳

### 有缺陷的孩子

西元 1818 年 12 月 24 日，焦耳生於蘇格蘭北部曼徹斯特城的郊外沙弗特 (Salford)。他的父親是一個商人，也是一位傑出的音樂家。焦耳五歲時，醫生發現他的脊椎側彎，以後七年他多次在醫院接受矯正，最後仍然失敗，以致焦耳一生站不直。焦耳曾到小學就讀，但是身體的缺陷使他經常被同學戲弄，老師也不喜歡這個害羞、安靜、經常在課本上繪畫、塗鴉的學生。父親只好讓焦耳休學，請家庭老師在家裡教他。

焦耳經常躺在床上看書，並對父親講：「書本是我最好的旅遊去處」。這一句話讓焦耳的父親想起了「旅遊教師」道爾頓。道爾頓的「原子論」非常有名，他首先提出「所有的物質是由原子組成」，是近代科學發展的里程碑之一。道爾頓經常利用出外郊遊教導學生，在郊遊時他教學生觀察、實驗、計算實驗所得，並鼓勵學生與他討論。

### 松樹街的教室

西元 1834 年，焦耳進入曼徹斯特松樹街（Pine Street）道爾頓的學校就讀。這所學校連焦耳只有八個學生。道爾頓一生未婚，他在這所學校擔任校長、老師兼工友。這所學校成立於 1800 年，道爾頓直到 1837 年中風後才停止任教。焦耳是道爾頓培養的最後一批學生。道爾頓中風後，有七年之久，要學生定期回來，在自己的病床邊講最近從事的科學研究給他聽，而且要討論到滿意後才放他們走。

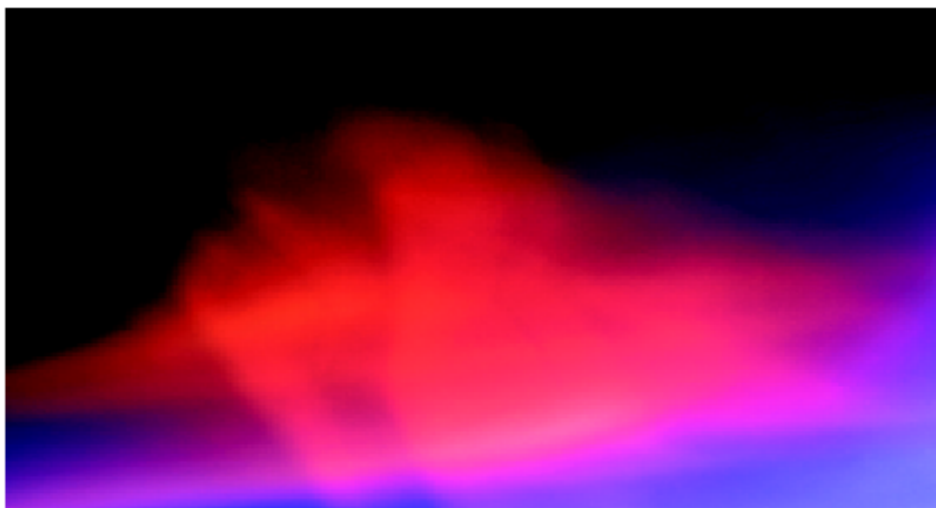
焦耳後來寫道：「道爾頓要求學生要先學三角幾何，並且學習解數學題，因為『解數學題是訓練學生專心的最好方法，而專心是科學家最基本的素養』。如果學生不明白上課所教，道爾頓會發給學生非常清楚的講義，不過，道爾頓認為講義是用來鼓勵學生的，不能取代學生自己的探索。」

## 電到一匹馬

西元 1835 年，焦耳進入曼徹斯特大學（University of Manchester）就讀，且仍然不斷前往道爾頓處學習。大學畢業後，焦耳接手經營他父親的釀酒廠，周六夜裡則到曼徹斯特城聖彼得教堂參加唱詩班。

在道爾頓的指導下，焦耳逐漸走上科學實驗的路。焦耳後來以實驗精確著名，但是他初期學做實驗並不順利。有次在研究回聲測距離時，一不小心，被射出的子彈將眉毛射掉一截。還有一次，射擊的反作用力太大，焦耳還掉到水裡。他研究伏特電池時，曾因漏電而將一匹馬電得搖擺不已，也曾將一個釀酒廠的工人電昏。不過初期的實驗失敗，沒有使焦耳因此就裹足不前，1837 年他寫道：「一種深深的期待，想在最基本的研究裡，獲得科學的知識。」焦耳逐漸進入基礎研究的殿堂。

「熱」是什麼？這是人類千年來的一個難題。自古人類就知道摩擦生熱、鑽木取火，也知道將鐵加熱後丟入水中，水就變熱，但是一直不清楚鐵器上的熱，如何傳到水中？1738 年「流體力學之父」伯努利（Daniel Bernoulli, 1700-1782）認為熱是一種流體，這種流體無色、無味、無重量，且能由一個物質移動到另一個物質，他把這種物質稱為「卡路里」（calorie）。鐵所含的卡路里高，所以溫度較高，鐵遇到冷水時，鐵的溫度變冷，是將卡路里傳給冷水，最後兩者的卡路里趨於一致，卡路里就不移動，這是當時著名的「卡路里理論」。



道爾頓鼓勵年輕的焦耳以熱的本質為研究的對象。

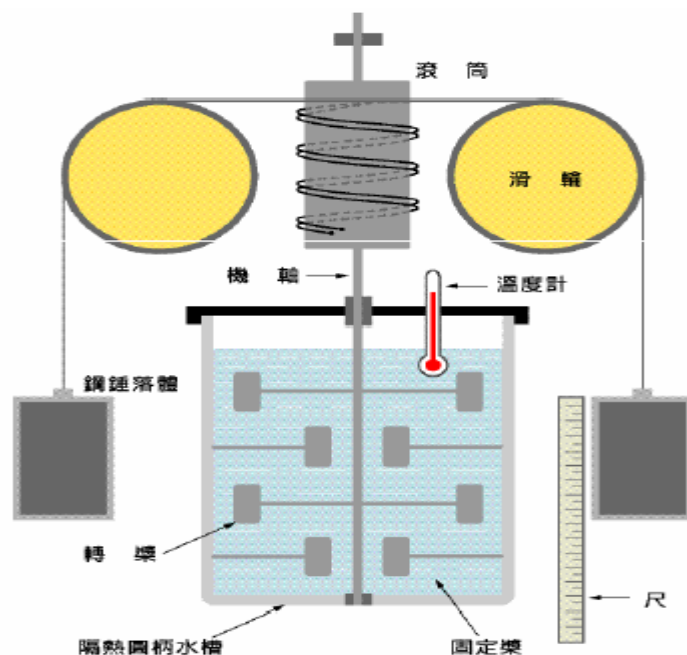
最早質疑卡路里理論的是美國科學家蘭福勒（Benjamin Thompson Rumford, 1753-1814），蘭福勒在 1798 年為德國監製加農炮，他在炮筒上鑽洞時，發現炮筒溫度不斷地提高，起初他非常擔心，怕炮筒的卡路里不斷地散失到空氣中，炮筒鑄鐵冷卻後可能成為一堆廢鐵。但是，炮筒冷卻後功能依然不變，蘭福勒認為炮筒所溢出的熱，不是源自本身所含的卡路里，而是鑽洞時的機械旋轉與炮身鑄鐵的磨擦產生，所以熱是由機械作功轉換來的。蘭福勒後來製造了第一台的「壓力鍋」，不過他的脾氣也像壓力鍋一樣的火爆，別人對他敬而遠之，連帶使他的論點也乏人所知。

十八世紀末，工程師瓦特（James Watt, 1736-1819）製造蒸汽機，他用加熱的水產生推動力，將傳統的水力轉成蒸汽機械動力，但是蒸汽機的熱原理仍不清楚。

## 本質的突破

道爾頓鼓勵年輕的焦耳以「熱的本質」為研究的對象，道爾頓根據「原子論」，認為熱是原子的運動，熱傳導是原子運動的「能量」由一個物質傳到另一個物質。將熱由傳統的「卡路里」改為「能量」，是近代科學一個極大的突破，但這突破需要有極為精確的實驗去證明。「熱」的改變難以捕捉，需要有一個很有耐心的人去擔負這個任務，焦耳的一生承載了道爾頓老師傳遞過來的一棒。

焦耳的實驗裝置非常簡單，一個高度隔熱的圓筒水槽，水槽裡有二組轉槳，轉槳的上端接到一個旋轉的轉軸，轉軸上有一條鋼索纏繞，鋼索的一端經過一個滑輪，接上掛著一個已知重量的鋼錘，隔熱水槽裡插設一隻極為靈敏的溫度計。實驗的進行是，讓鋼錘自由落下，對旋轉的轉軸產生扭力，帶動轉槳。轉槳在水中與水磨擦產生的熱量，可由水溫的提高測得，將溫度的改變與水的比熱相乘後，焦耳發現單位機械作功所產生的熱量是一個定值，他稱之為「熱功當量」（mechanical equivalent of heat），這是一個從未被發現的常數。



### 科學突破常在冷門處

西元 1842 年，焦耳把研究寫成報告，投稿當時最著名的期刊皇家協會（Royal Society）的《哲學會報》（*Philosophical Transactions*），但是審稿委員拒絕刊登這種冷僻的研究題目。當時熱門的研究主題是電磁感應、公共衛生、潮汐發生的原因等。焦耳再向《皇家學會會訊》（*Royal Society Proceedings*）投稿，又被拒絕。他再退而求其次，向《哲學雜誌》（*Philosophical Magazine*）投稿，審稿委員要求焦耳再多做幾次實驗驗證所得。年少氣盛的焦耳拒絕，他回信道：「任何的機械能量釋出，最後都將轉換為熱量，能量不滅的法則有上帝的許可證，這是大自然最重要的法則之一。」這就是後來科學史上非常著名「能量不滅定律」（The Principle of Conservation of Energy）的前奏。有上帝許可證的，大多不能登上學術雜誌，焦耳又被退稿了。

### 真正的大師懂得欣賞

焦耳在走投無路之際，鼓起勇氣將這研究報告，連同他在 1840 年的一篇未投之稿，寄給當時的學術泰斗法拉第（Michael Faraday, 1791-1867），這兩篇研究報告在現在的課本裡仍然可以讀到。焦耳在 1840 年的第一篇研究報告結論：「電流在導線中所產生的熱量，是電阻乘以電流的平方」，後來被稱為「焦耳定律」（Joule's Law）。不同於其他的審稿人批評焦耳的實驗缺陷，或某些文字的使用失當，法拉第回信道：

親愛的先生：

我已收到你寄來的文章，並且立刻就讀，感謝你對我們衷心所愛的科學有這麼美好的貢獻。何等的榮耀，我能在一息尚存之際看到你為電學有這一步的跨出，我已看出你的未來會更輝煌！我知道在這領域裡仍有許多朦朧不清之處，你的文章卻如同黎明初曉，我不得不說，你對這自然科學的領域，提供了非常重要的貢獻。

你忠實的朋友，法拉第上

1843 年 3 月 24 日於皇家學院

### 生產不一樣酒的酒廠

有法拉第的背書，焦耳的這兩篇研究報告立刻被第一流的學術期刊《哲學會報》所接受。從此，科學界知道有一顆明亮的彗星，升自曼徹斯特的上空。焦耳的父親也看出端倪，他兒子關心的不是酒桶裡的液體，而是實驗槽裡加熱的水溫。父親為他蓋了間實驗室，並支持他的實驗費用。有一些年輕的科學家也利用這實驗室，與焦耳一起從事熱力學與流體力學的實驗，這些科學家後來都非常的有名，如物理學大師史托克（George Gabriel Stokes, 1819-1903），與絕對溫度的提出者凱爾文（或稱為湯姆生）（William Thomson Kelvin, 1824-1907）。

凱爾文是焦耳的終生好友，二個人經常聯合發表論文。在科學史上聯名發表論文，是由焦耳與凱爾文開始的。凱爾文是數學高手，能更深刻地闡述焦耳的實驗結果。

### 最早提出世界能源危機

西元 1843 年，焦耳以蒸汽引擎為研究對象，他發現當時最佳的「可尼斯蒸汽引擎」（Cornish Steam Engines）所產生的熱量換算成作功的機械能量，竟然是引擎實際作功的十倍。因此，蒸汽引擎百分之九十的作功能量是以熱的形式浪費掉了，最佳引擎的作功效率只有十分之一。這篇研究報告招致工業界長期的攻擊，甚至到 1860 年仍有人批評：焦耳只會用引擎作實驗，卻無法製造更高效率的引擎。焦耳對這一切的攻擊都未答辯，他注意的是人類更長遠的危機——「能源枯竭」。當時焦耳就計算英國的煤蘊藏量，推算在 1965 年，英國就會無煤可用，他建議國家要不斷地尋找取得能源的新方式。

### 好丈夫的溫度計

西元 1847 年，聖安德烈大學（St. Andrews University）自然哲學系主任出缺，學校接受各方推薦，焦耳成為最佳候選人。但他卻拒絕前往任教，理由是：「我要結婚了，無法承受學校永無止境的芝麻問題」。當年 8 月 18 日，焦耳與葛萊姆絲（Amelia Grimes）小姐結婚，而後帶隻靈敏的溫度計與妻子到瑞士渡蜜月。在瑞士，他測定瀑布上方的水流溫度，與瀑布下方的水流溫度，焦耳認為瀑布沖下時的能量改變，會稍微增加水的熱量與溫度，但是在大自然下，還有許多其他的因素會影響水溫。焦耳常在不同的瀑布邊測定很久，葛萊姆絲了解丈夫對於研究的熱忱，經常坐在馬車上等待他的歸來。

### 能量觀點——物理學的大革命

婚後，焦耳更積極地投入熱的研究。1847 年，他提出「電、磁、光、聲波、化學反應，是不同型態的能量。因此，根據能量的理論，物理的世界可以更單純的表達出來。」不過這觀念太新了，一直到 1867 年，崔特

（Peter Guthrie Tait, 1831-1901）所著的物理學課本，才開始以能量的觀點去描述各種物理的現象。

焦耳愈研究熱的學問，他愈發現經由熱的角度去探索宇宙的奧妙將更清楚。1847 年，他仔細地計算隕石在大氣摩擦中產生的熱，發現地球上空大氣層的厚度，剛好能提供足夠的摩擦阻力，將大部分的隕石化成灰塵，保護地球上的生命。焦耳寫道：「這個大自然，機械、化學與生物能量在時、空上不斷的互相影響著，但是宇宙仍然維持著秩序，並且清楚、確實地運轉。不管其間有多少能量複雜的變化，宇宙仍是穩定和諧的。」

不久，焦耳被歐洲最傑出的學術團體「杜林皇家科學會」（Royal Academy of Science, Turin）選為會員，這個科學會的會員包括傑出的科學家亞佛加厥（Amedeo Avogadro, 1776-1856）與拉格朗日（Joseph-Louis Lagrange, 1736-1813），英國入選的會員只有法拉第、天文學家赫歇爾（William Herschel, 1738-1822）與焦耳三人。

### 一生難照顧兩種不同的事業

西元 1850 年，焦耳入選為英國「皇家協會」的研究員。同年他發表「心臟的動力來自化學能量，使血液在血管中的流動，能夠克服血管對血液的摩擦阻力」。隔年，焦耳發表「純水是可以被電解的電解質」。

1852 年，焦耳與湯姆生共同發表「氣體（二氧化碳）體積膨脹時，會產生溫度降低的效應」，後來這又稱為「焦耳－湯姆生效應」（Joule-Thomson Effect），這是冷凍工業發展的基石。為此，皇家協會頒贈焦耳「皇家金質獎章」，這個學術榮譽來的恰是時候。

1852 年，焦耳的父親中風，釀酒廠的工作乏人照顧，生意一落千丈，釀酒利潤再也無法支持焦耳的研究，焦耳轉而向皇家協會申請研究經費。

### 人生有愛才能走出低谷

西元 1853 年 6 月，葛萊姆絲在生了二個孩子之後，第三胎是難產，孩子生下來幾天後就死了。因生產時流血過多，葛萊姆絲也瀕臨死亡。這時劍橋大學要聘焦耳任教，焦耳謝絕，他留在妻子的病床邊，直到 1854 年 9 月妻子病逝。焦耳在照顧妻子的過程中寫下：

*「我的焦慮因妻子的安危而起伏，但是她在身體極度的軟弱中，仍顯出寬大的心胸與基督徒對生命任何遭遇的順服，讓我深深地感動，反而成為我在苦難中的安慰。」（1854 年 7 月 6 日記載）*

*「我已盡醫生的指示照顧，妻子仍然極度的衰弱，再一次把自己放在智慧與慈愛的救贖主之手中」（1854 年 7 月 22 日記載）*

*「她的身體好轉，能起床自己穿衣，我們談論過去一起照顧釀酒廠的點點滴滴，也期待以後一起騎馬在原野上奔馳」（1854 年 8 月 10 日記載）*

「我的妻子染上痢疾，我懷疑這是源自空氣中傳播的毒素。我與妻子每一天的相處比過去一星期的同住收穫更多。若非上帝的保守，三、四天前妻子似已走到生命的盡頭了。看她的狀況，我幾乎絕望了，但是我仍相信與祈求她將會好轉」(1854 年 8 月 25 日記載)

「我世上最好的朋友走了，她將不再有痛苦，她死前是那麼安詳，我知道如今她與主在天上。我也知道死亡的狂飆不會將我擊倒，我相信主必堅固我，並照顧二個幼小的孩子。我彷彿看見死亡的苦毒之上有著荊棘的冠冕，這場試煉將帶著永遠的福祉。」(1854 年 9 月 9 日記載)

## 照顧的價值

在看顧妻子的過程中，焦耳沒有發表任何的研究報告，也未在任何科學集會裡出現，妻子病逝後二年，焦耳在科學界裡仍然消聲匿跡。因為 1854 年 10 月，克里米亞之戰（Crimea War）開打，英軍死傷累累，焦耳將妻子埋葬後，轉而去照顧由戰地送回來的傷兵，與安慰他們的家屬。直到 1856 年 4 月戰爭結束後，焦耳才重返科學界。

以後數年，每年焦耳都會帶孩子到海邊度假，焦耳寫道：「當科學研究成為我沈重的負荷，我格外的需要保留與孩子們在寧靜海灘邊的獨處。我也欣賞海鷗的飛翔速度，牠的翅膀是優美的生物引擎，發揮高度的能量使用效率。」

## 來自大地，回歸大地

西元 1856 年，焦耳發表〈以攝影技術研究流體在河底邊界層的摩擦研究〉。隔年又發表「從攝氏 0 度到攝氏 4 度時水的體積縮小，攝氏 4 度以上，水的體積又膨脹。水在攝氏 4 度時，密度最大。」

西元 1858 年，焦耳發表「都市污水最好的處理方法，不是直接倒入河川，而是排入土壤表面，成為土地所需的肥料。」當時的科學界認為研究都市污水排放是屬於「低層次」的研究，焦耳卻認為科學研究不分高、低級，而在「有系統的精確觀測」與「正確地思考問題的前提下，才能準確問出該問的問題」。雖然當時大部分的物理、化學學家不屑於污水的研究，但是焦耳認為污水中的肥料是有用的資源，資源取自大地，最好的處置還是回歸大地。

西元 1859 年焦耳發表〈物體在空氣中高速運動時表面的散熱作用〉。1860 年，焦耳以傑出的研究獲選為「曼徹斯特文學與哲學學會」(Manchester Literary and Philosophical Society) 主席，同時擔任聖安娜教會 (St. Ann Church) 的科學講座。

## 來自中古世紀的讀書會

「曼徹斯特文學與哲學學會」成立於 1781 年，是英國最古老的學術團體之一。這個民間的學術團體是源自

十五世紀初期，有一批高立吉埃特教會（Collegiate Church）的基督徒，定期相聚討論書籍與知識。1427年這些人還成立一間圖書館，這是英語系國家最早的圖書館。

三百多年後，這個相傳多年的討論團體，才組成「曼徹斯特文學與哲學學會」。道爾頓與「土木工程學之父」司梅敦（John Smeaton, 1724-1792）都是這個學會的會員。四百多年來，該學會一直是曼徹斯特教會社區教育的中心，開設講座，並請傑出的科學家定期發表演講。

焦耳第一次的演講題目是「多元的可居世界」（The Plurality of Inhabited Worlds），焦耳提出：「也許科學家無法證明，其他的星球有沒有生命存在。但是科學家能夠證明其他的星球有沒有適合生命存在的環境：溫度、空氣、水、重力。有適合生命生存的環境，不一定就會有高等生物存在。而要有高等生命存在，就必須要有可以學習的場所，而這場所必須建立在一個大家能夠和平相處的社區環境裡。」

### 科學家的正義感

科學家不懂政治，但是科學家長年求真的學習，對於政治與社會公義是敏銳的。焦耳擔任文學與哲學學會的主席，就直批工業革命的一些負面現象，他說：「八十年來工業革命的悲哀，就是科學淪為一種市場交易，忽略人性的提升」。

1862年，美國發生南北戰爭，雖然曼徹斯特的紡織業受到北方海軍封鎖南方港口的影響，損失不少。焦耳依然力爭「支持北方」。同年，他的實驗室遭受一場火災，所有實驗設備全被燒毀，不久有人恐嚇他，要他滾出曼徹斯特，焦耳不為所動。

焦耳重建他的實驗室，繼續發表〈高度靈敏氣壓計的製造法〉、〈以空氣的熱脹冷縮與運動解釋氣候的穩定性〉、〈暴風雨、冰雹與閃電形成的熱機制〉等研究。

### 催生國家科學會

西元1870年以後，焦耳就很少發表新的研究報告，他仔細反覆地量測他年輕時所做的研究。為了量得更準確，焦耳研究精密儀器的製造法，並提出「精密儀器是提升科技教育與知識必需的工具」。焦耳像他的老師道爾頓，晚年全心致力於教育。

1872年，焦耳向政府建議成立「國家科學會」（Board of Science），主要的職責是：提供經費支助教師與民間人士，從事研究；支持國家對天文、地理、水文、氣候的長期觀測；成立國家科學史館，保存重要的儀器與研究報告；在大學裡設立國家級的實驗室。焦耳並且提出國家科學會的政治立場必須超然，而且研究計畫的資助與經濟發展無關，因為「每當科學研究往前進時，經濟發展自然會跟上」。不過他也建議國家科學會要考核申請者的經費是「為了研究所需，而非無限制的索求」。

西元1873年，經常性的流鼻血干擾了焦耳的研究能力。焦耳更經常帶著他的孩子與學生到海邊散步，他的

學生中，後來最有名的是流體力學大師雷諾（Osborne Reynolds, 1842-1912）。焦耳在海灘散步，他觀察海藻並說：「低等生物對於高等生物有這麼多助益，生物學家卻大刀一揮，將那些生物定為低等。」有學生問他對演化論的看法，焦耳回答：「達爾文（Charles Darwin, 1809-1882）只是對地球生命的演變程序提出一種理論的說明，不幸的是，許多人要把他的理論訂為生物學的最終理論。達爾文沒有用演化論去談論生命的起源，眾人卻要把演化論扭曲成生命開始的理論。」

### 末了給學生的一封信

西元 1882 年，焦耳辭去「曼徹斯特文學與哲學學會」主席的工作，焦耳用「孩子們年幼嬌嫩，牛羊也正在乳養的時候，若是催趕一天，群畜就必死了」（聖經創世記三十三章十三節），做為他辭職的理由。他把人生最後的精華，慢慢地去培養他的學生，他只擔任學會圖書館館員的職務，介紹學生們如何使用圖書館。

焦耳病逝於 1889 年 10 月 11 日，死前留下一張紙條，寫著：「我已感到科學逐漸走向一個危機－科學的誤用。尤其將科學用在戰爭武器的研發，這將導致人類文明的滅亡。我深感難過的是，有些科學家認為研發毀滅性的武器是為了解嚇對方，終止戰爭。這種看法是不合理的，因為戰爭的本質，只有殘忍與毀滅。研發武器的科學家也無法成為戰爭的決策者，最終只不過是好戰政治家的工具。」

科學的誤用就是偏離了正確的目標，結果強者愈強，弱者愈弱。我的論點並非貶低以科學研發保衛國家的價值，而是批判靠科學來挑起爭端。」

末了，焦耳寫道「我的學生啊！若有人自認為了解歷史上的每一個大小事件，或能夠講出世界上的每一種方言，或能夠準確地敘述每一種形而上的觀念，或能夠解出所有科學與工程的複雜難題，但若是沒有愛，他將不知道如何把這一切所學放在正確的位置上。」

## 焦耳 的 貢獻

焦耳的主要貢獻是他鑽研並測定了熱和機械功之間的當量關係，這方面研究工作的第一篇論文<<關於電磁的熱效應和熱的功值>>是 1843 年在英國<<哲學雜誌>>第 23 卷第 3 輯上發表的。他將磁電機發出的電流通入導體以產生熱量，比較通路時轉動磁電機所作之功與斷路時所作之功的差和所得的熱量來決定熱功當量的數值。後來改變測量的方法，將壓縮某定量空氣所需要的功與壓縮時產生的熱量作比較，又根據水通過細管運動時放出的熱量來確定熱功當量。不久，改用轉動水輪推動流體以產生摩擦來測定熱功當量的新方法。不僅用水作實驗，還用鯨腦油進行實驗。儘管所用的方法、設備、材料各不相同，結果卻都相差不遠，並且隨著實驗精度的提高而趨近於一定的數值。最後他將多年的實驗結果寫成論文發表在英國皇家學會<<哲學學報>>1850 年第 140 卷上，其中闡明：第一・不論固體或液體，摩擦所產生的熱量總是與所耗之力的大小成比例

；第二・若欲產生使 1 磅水（在真空中稱量，其溫度在 50～60 華氏度之間）增加 1 華氏度的熱量，則需要耗用 772 磅的重物下降 1 英尺的機械功。他精益求精，直到 1878 年還有測量結果的報告。他近 40 年的研究工作為熱運動與其他運動的相互轉換及運動守恒等問題提供了無可置疑的證據，焦耳因此成為能量守恒定律的發現者之一。

1852 年焦耳和 W.湯姆孫（即開爾文）發現氣體自由膨脹時溫度會下降的現象，被稱為焦耳－湯姆孫效應，這效應在低溫和氣體液化方面有廣泛的應用。他對蒸汽機的發展也做了不少有價值的工作，還第一次計算了有關氣體分子的速度。

1850 年焦耳被選為英國皇家學會會員，人們為了紀念他對科學發展的功績，將能量或功的實用單位命名為

“焦耳”，現行國際單位制（SI）仍沿用。

### 能源

人類利用能的轉換改善生活品質。用燃料燃燒取得光和熱，以便烹調熟食、夜間照明和嚴冬取暖，自古以來就是生活的一部分。用水車車水灌田或用轆轤自井中汲水，則是把人力或獸力轉化為功的實例。工業革命以後，蒸汽機、內燃機等更能把燃料燃燒所生的熱轉換為功。到了二十世紀初，發明了火車、汽車，蒸汽機、內燃機等用來推動火車和汽車，燃料成為行走動力的根源。電被發現後，又用這些機械來發電。電也可以驅動馬達從事工業生產，或加熱取暖維持生活，使得人類今日對能的利用，較古人更為多元化。

在熱力學三大定律的規範下，燃料的熱能與各種功相互轉換，有一定的量的關係。綜言之：人類利用能改善生活的方式，因工業技術的進步有所不同。古人用人力和獸力從事生產，以今天的工業技術來看，熱和

電是最基本的兩種能的形式。凡任何能產生熱和電的就是能源（energy resource）。柴薪、煤、油、天然氣燃燒生熱是能源；高山上水庫中的水沖下來時可用來發電是能源；太陽光、風力可以發電，也是能源。

能源是從實用角度的思維產生的名詞。某一形式的能是否可以轉換為可使用的形式的能而被視為能源，其關鍵在工程技術上的可行性。如日本有人提出用海洋洋流發電的想法，讓洋流流過放在海中的水渦輪機，帶動渦輪旋轉發電。這個想法在工程技術上有兩個問題必須克服。

首先要有辦法把水渦輪機固定在洋流中，使洋流只流過渦輪而不會把整個水渦輪機沖走。目前用船舶拋錨的方法，固定懸浮在海中的巨大發電裝置恐怕力量不夠，要發展新的海底工程技術才行。此外，在海洋中即使發電成功，如何把電力傳送到陸地上應用，也需要新的電力輸送技術。在這兩項技術未發展出來之前，海洋洋流目前還不能算是能源。

天空中的閃電威力強大，可以使汽車充電後行駛在時光隧道中，從過去回到現實，但這是電影〈回到未來〉的想像，現實社會還沒有這項技術。所以，閃電目前也還不能算是能源。今天主要的能源是煤、石油、天然氣，皆為化石能源。這些能源是燃料，要經燃燒釋放出化學能。化石能源是地下礦藏，所以終有枯竭的一天。水力、陽光、風力等，因為可以源源不絕地用來發電，燒柴薪取暖也從不虞匱乏，均稱之為再生能源。

## 能源效率

英文「energy conservation」宜譯為「能量守恒」，而「energy saving」則應譯為「能源節約」，不能譯為「能節約」。因為根據熱力學第一定律，能是不滅的，根本不應有節約或浪費的問題。能源就不同了，化石能源是一種商品，要在市場上價購，應當節省使用。再生能源雖非商品，但使用時其工程技術也要成本，也應節約使用。所以，「能源節約」是很重要的行動，說成「能節約」就發生語病了。

能源節約最重要的手段就是提高能源的使用效率，能源用來做功，提高使用效率就是提高熱功轉換效率。根據熱力學第二定律，化石能源轉換為機械能，其熱效率很低。因為工作流體在減壓膨脹做功時，溫度可能高達近攝氏一千度，大量的熱隨尾氣逸出，這是熱能轉換為機械能時效率低的主因。近年氣渦輪機的設計精良，效率大幅提高；又有複循環發電的技術，用氣渦輪機的尾氣產生蒸氣，再用蒸汽機與渦輪機一併推動發電機轉軸，熱功轉換效率可高達 45 ~ 50%，是目前效率最高的發電技術。

一項發展中的高能源效率技術是燃料電池，將燃料轉化成氫氣，在電極組上把氫氣氧化成水，就會產生電流。因為燃料電池不需要經過高溫燃燒和熱功轉換，是直接由化學能轉換成電能的裝置，在低溫下操作效率就很高。根據熱力學計算，燃料的化學能轉化成電能的轉化效率約為 45%，如再將燃料電池的廢熱回收利用，能轉換效率可以高達 80%。因此，近年來對燃料電池的技術開發投入甚多，特別是汽車工業。燃料電池如用來推動汽車，可大幅提高汽車燃料的使用效率而節約能源。

## 化石能源

提高熱功轉換效率節約能源，主要目的是爲了減少石油等化石能源的使用量。據統計，二十世紀人類使用化石能源的用量，比過去十九個世紀用量總和還多，而且全世界的年用量有增無減。根據 BP statistical review of world energy 2002 數值顯示，二〇〇一年全球燃料的消耗，主要能源所占比重依序爲石油（38.5%）、煤（24.7%）、天然氣（23.7%）、核能（6.6%）、水力（6.5%）。

二〇〇一年世界化石燃料蘊藏量及使用量

|     | 蘊藏量                          | 使用量                          | 可採年數 |
|-----|------------------------------|------------------------------|------|
| 石油  | $1,050 \times 10^9$ 桶        | $75 \times 10^6$ 桶/日         | 39   |
| 天然氣 | $155 \times 10^{12}$<br>立方公尺 | $2400 \times 10^9$<br>立方公尺/年 | 64   |
| 煤   | 984,000 百萬噸                  | 2,260 百萬噸油當量/年               | 242  |

形成石油的過程需要幾千萬年的時間才能完成，依照化石燃料可採年數及人類使用的速率，顯而易見，在合乎經濟效益的新能源或新技術發現之前，欲持續人類經濟的發展，節省化石能源，如改變日常生活習慣或使用高效率的技術，已是刻不容緩。

節省化石燃料以追求經濟持續發展的另一項意義，是控制二氧化碳的排放。由於大量使用化石燃料，燃燒後殘留在大氣中的二氧化碳的濃度日益提高，造成溫室效應並引起全球性的氣候變遷，使得地球生存環境日益惡化。從這角度思考，除了提高化石能源的熱功轉換效率之外，降低溫室氣體排放量也成爲世界各國追求的重要目標。因爲全球氣候變遷牽涉的層面既多樣又複雜（跨國、跨區域），目前處理的策略大致可分爲使用高潔淨、高效能的燃料和替代燃料。

目前公認爲潔淨的高效能燃料是天然氣，因爲天然氣熱效率高、排放的二氧化碳較少。其發電原理與燃煤相同，利用燃燒產生的熱氣推動氣渦輪發電機，再利用渦輪機餘熱使水變成蒸氣推動蒸氣渦輪發電機發電，這就是熱效率高達 42% 的複循環發電。科學家同時不斷探索其他新潔淨技術或燃料，例如淨煤技術（煙道氣除硫、流體化床燃燒技術、氣化複循環發電）、燃料電池的開發等。

## 再生能源

替代化石能源的除了核能外，討論最廣泛的就是再生能源。其中較具發展潛力的再生能源有水力、風能、太陽熱能、太陽光能、地熱及生質能，現階段這些再生能源主要應用於發電（80%）及熱利用（20%）。雖然受到成本高、經濟誘因低及環境限制等因素，但配合政府政策，「再生能源」仍不失爲目前達到節約能源和對抗溫室效應的有效調節及輔助燃料。

據臺電公司調查估計臺灣再生能源發電方面，具開發潛力的風能有一百萬千瓦、地熱潛能 26 處（理論蘊藏量約一百萬千瓦）、潮差發電開發潛力約一萬千瓦以上，生質能發電應用有垃圾焚化發電及沼氣發電 5,000 千瓦，太陽能發電僅是配合澎湖風力發電廠以穩定供電系統。

## 再生能源發電原理

|      |                                                                                       |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 水力   | 利用水的位能轉換成動能，推動水輪機轉換成機械能帶動發電機產生電能                                                      |
| 生質能  | 由太陽能行光合作用成為生質體做為燃料使用，經由四種轉換技術（直接燃燒產生熱能、經發酵產製液態燃料（如酒精）、廢棄物發酵產生沼氣、經氧化／裂解等方法產製石化燃料）以生產能量 |
| 地熱   | 利用地熱產生蒸氣發電                                                                            |
| 風力   | 利用風速轉動風車翼產生機械能，驅動發電機而產生電能                                                             |
| 太陽光能 | 利用光電效應使半導體材料吸收光能產生電流                                                                  |
| 太陽熱能 | 收集太陽熱能，產生高溫推動蒸氣發電系統、熱發電系統、或碟式史特林發電機產生電能                                               |

九十一年行政院正式核定「再生能源發展方案」，規劃目標至二〇二〇年再生能源總發電裝置容量配比 10% 以上（占能源總供給配比 3% 以上），並推動多項示範推廣獎勵辦法，這項艱鉅的目標將考驗政府及各階層人士的能力。隨著大型石油公司（如 Shell，BP，Amoco）相繼投入再生能源事業，致力於小型發電系統、太陽能光電、生質能等技術研發，並朝商業化目標邁進；期望未來帶動新興產業的發展，達到如殼牌公司對二〇二〇年再生能源可提供全球能源達 5~10% 的預估。

從「能量不滅」、「熱功轉換效率」等熱力學的基本觀念，可以清楚界定「能」與「能源」。提高熱功轉換效率，就是「節約能源」。能源包括化石能源和再生能源，節約化石能源和使用再生能源，都具有環境保護的意義。

自瓦特發明蒸汽機不到三百年的時間，人類因高度的科技發展享受著舒適的文明，卻也付出高額的代價，由於燃燒的化學反應使大氣受到污染，連帶也使人類生存的地球生態循環系統產生變化，如溫室效應（生態系異常、氣溫上升、異常氣象、沙漠化）、臭氧層破壞（紫外線及高能粒子輻射強度增加）、酸雨（魚貝類死亡、植物枯死）等。

降低溫室效應及節約能源已是全球性的問題，各國都很關注聯合國氣候變化綱要公約 UNFCCC 京都議定書的發展情況、國際間的交涉動向和政策制定，特別是環境稅（碳稅）和京都機制（排放權交易、共同減量、清潔發展機制）的有效性。

為了永續經營和善盡地球村一員的責任，經濟部能源會推動立法制定「再生能源發展條例」，希望藉由獎勵規範、補助、收購、申報查核制度、示範推廣等措施，排除障礙以營造再生能源發展的有利條件。同時增加國與國之間的合作協商、「無悔」政策的優先推動，以確保環境保護、能源安全及經濟發展的目的。



為了降低輸送途中的損失，發電廠中所產生的電流，要先變壓成為高電壓後，再經過導線，送到用電的地方。長距離的輸送時，所用的電壓是345千伏的超高電壓。這些高壓的導線，隔著寶塔形的絕緣礙子，懸掛在電塔上。數數看，用22～23層礙子的是超高壓的電線；用12層的是161千伏的高壓電線。靠礙子把電線與電塔隔開，所輸送的電流才不致漏失。

# 焦耳 的 理論

## 發現能量不滅定律的焦耳

由於熱力學三大定律都與「能」或「能量」有關，而在實際應用上又與「能源」脫不了關係，因此，我們由它們開始談起。

### 熱力學三大定律

在物理學上，能有多種形式，如熱能、動能、位能、電能等，這些形式的能是可以互相轉換的，例如高處的水流到低處時會有較快的速度，就是位能轉換成動能的現象。熱力學（thermodynamics）是專門討論各種形式的能相互轉換的學問，

其中有三大定律。**熱力學第一定律**說：

能在各種形式間轉換時其總量不變。

這個定律又稱為**能量不滅定律**。這裡仍用高處的水向低處流的例子來說明。在高處原本靜止的水只有位能沒有動能，流向低處時因高度降低，在重力場中就失去了部分的位能，而失去的位能會全部轉換成動能，水因而產生相當的流速。根據水失去的位能等於得到的動能，便可以算出（不計摩擦力時）水的流速。

熱力學第一定律不僅定出能量不滅的原則，還界定了轉換時量的關係。這關係可演繹出許多計算公式，基本原則是各種能的形式轉變時，其變化量的和應為零。流體力學就是根據這個原則，計算流體運動時流速、壓力和摩擦力的關係。除了核子反應因為質和能的互變而有質量和能量的改變外，一切由於能的轉換而引起的變化都要遵守熱力學第一定律的規範。

熱力學第二定律規範熱和功的轉換。功（work）在物理學上的定義是：一物體受力而移動位置，位移乘上和位移同方向的分力就是功。基本上功也是能的一種，對一物體做功就是將能傳給這物體。

人之所以為萬物之靈，就是因為能用工具做功，槓桿、刀斧、滑輪都是這一類的工具。起初，這類工具的

動力，是人本身的力氣或牛馬驢等獸力。工業革命後，蒸汽機、內燃機的發明，使熱能成為動力的來源。

熱使水氣化產生壓力推動蒸汽機；汽油因燃燒，氣體體積急遽增大而產生高壓推動內燃機，都是把熱轉化為功的例子。蒸汽機、內燃機和後來發展出來的氣渦輪機，都是把化學能轉化成熱能再轉化為功的機械。

更重要的，這些機械能在瞬時產生大量的功，單位時間內產生的功就是功率，產生的功率高才是這些機械威力強大的主要原因。由於這些機械的使用，才造成十九世紀以來人類兩百年的工業文明。既然熱功轉換是工業生產的原動力，工業技術也要受到熱力學第二定律的規範。**熱力學第二定律**是：

1. 任何裝置都不能不間斷地把工作系統所吸收的熱能 100% 全部轉換為功。
2. 熱能不會自動地從溫度較低的區域傳向溫度較高的區域。

熱能若要間斷地轉換為功，必須是循環的程序，一個循環完成後，工作系統的溫度、壓力等狀態要恢復原狀，再進行下一個循環，使熱源源不斷地轉換為功。根據熱力學第二定律的第一條，工作系統所吸收的熱，經過這樣的循環程序絕不可能 100% 完全轉換為功。如燃料在內燃機中燃燒，瞬間產生大量的熱，使汽油與空氣變成高溫高壓的氣體推動活塞，使轉軸高速旋轉產生功，而所排出的尾氣溫度仍相當高，使得燃料燃燒產生的熱量，大部分被尾氣帶走了。

一般汽車引擎的熱功轉換效率並不高，汽油燃燒的熱大部分隨著排氣逸散到大氣中。汽車汽缸排氣溫度如能降低，尾氣帶出的熱量也就減少，熱功轉換效率會提高。但若想把排氣溫度降低，則整個引擎系統要在低溫下操作，如此，因為瞬間爆發力不夠，功率會不足。

熱力學第二定律的第二條是根據熱一定要從高溫處流向低溫處的經驗所提出的。若想讓熱反向從低溫處流向高溫處，必須有一工作系統做功。例如：炎熱的夏季希望室內保持涼爽，溫度較室外低，要使室內的熱流向室外，就必須裝一臺冷氣機。

自然界類似熱能由高溫處流向低溫處的現象很多。如水自高處向低處流；物質自高濃度處向低濃度處擴散。

在熱力學中是用「系統隨機度（system randomness）」的觀念來討論這些現象。

一系統在平衡穩定狀態時，因為沒有任何干預或刻意的安排，隨機度最高。當室內的熱量靠冷氣機的作用流向室外時，室內較室外涼爽，這樣的情況就是經刻意安排的，「系統隨機度」會降低。另外一例：將一粒鹽投入水中，鹽粒附近鹹度較其他部分高，水和鹽粒的「系統隨機度」就較低。攪拌後，鹽溶解並均勻分布在水中，各部分水的鹹度變得都一樣，這時「系統隨機度」較高。



太陽能光電收集器，通常用的是矽單晶半導體二極體，也可以用其他的半導體材料。把這些光電片串聯，可以得到較高的電壓；並聯可以產生較大的電流。如何提高每片收集器的太陽能利用效率，是科學家努力的重點。



建築物在設計時，就把太陽能收集板考慮在內，不影響外表的景觀，也可以提供所需的能源。

依此類推，物質在氣態時分子運動較不受拘束，隨機度高，在液態時隨機度就低些，固態則最低。結晶性固體中原子排列整齊，隨機度又較非結晶性固體低。結晶性固體若降低其溫度，會因原子或分子的振動減弱而隨機度又降低。這觀念推到極致，用量化的說法：

任何結晶性物體在絕對零度時的隨機度應為零。

這句話就是熱力學第三定律。用通俗的說法：任何自發性的變化都使系統的隨機度增加。這個定律規範了任何自發的變化程序均趨向平衡穩定狀態，使系統隨機度變高。根據第三定律還可以計算系統趨向平衡時的能量變化。

以上介紹熱力學三大定律，這三大定律是根據已知的自然現象歸納而得。在熱力學裡，根據這三大定律演繹出許多公式，可以計算能和功轉換時量的關係。

(簡短)

### 熱力學的基本定律

熱力學是專門探討能量內涵、能量轉換以及能量與物質間交互作用的科學，尤其專注在系統與外在環境間能量的交互作用，是結合工程、物理與化學的一門學問。早期物理中，把研究熱現象的部分稱為熱物理，後來稱為熱學，近代則稱之為熱力學，被許多理工相關科系列為必修的基礎課程。許多工程科學都是由熱力學所衍生的或與其有密切關聯，例如熱傳學、流體力學、材料科學等。

顧名思義，熱力學和「熱」有關，和「力」也有關。廣義而言，熱力學主要是研究有關能量的科學，因此物質的特性也是其必須探討的範圍。熱力學的應用範圍很廣，主要包括：引擎、渦輪機、壓縮機、幫浦、發電機、推進器、燃燒系統、冷凍空調系統、能源替代系統、生命支援系統及人工器官等。

熱是一種傳送中的能量。物體的原子或分子透過隨機運動，把能量由較熱的物體傳往較冷的物體。

**熱力學第零定律**——把兩物體放在一絕熱系統中，亦即在沒有熱量的進入及流出下，經過一段時間後，兩物體必達到溫度相同的狀態，也就是**熱平衡**的狀態。

**熱力學第一定律（能量守恆定律）**——能量既不會憑空消失，也不會憑空產生，只能從一種形式轉化成另一種形式，或者從一個物體轉移到另一個物體，而總量保持不變。

**熱力學第二定律（方向定律）**——單向不可逆過程，亦即無法靠著環境的微小變化就能反向的過程，就是在系統歷經刺激，朝著熵增加的方向變化的過程。熵是系統的狀態函數，亦即與系統的狀態有關，而與如何到達此狀態的過程無關，雖然在封閉系統內的某個部分的熵也許會減少，但在系統另一部分的熵永遠會增加相同的量或更多，因此整個系統的總熵絕不減少，只會往最大的亂度方向進行。

**熱力學第三定律**——完美晶體在絕對零度時，其熵為零。