



# 歷史上偉大的科學家

## 發現能量不滅定律的焦耳

從科學巨擘 - 焦耳的成長與心路歷程，可以看出怎樣才是一位科學家、一位大人物，同時也可以了解科學突破常在冷門的基礎研究。

張文亮

在科學研究還不被重視的年代裡，  
從事科學，是一種探索的興趣，  
委身科學，是一種單純的執著。

科學大師道爾頓 (John Dalton, 1766 - 1844) 就是這樣的一個人，  
一生以科學教師為己任，提倡科學教育，  
把看似複雜的大自然，以單純的邏輯，  
平易地呈現在孩子面前。

在人生的晚年，他仍帶著幾個學生，  
在暴風雨的日子，到山上看閃電，  
在夏日的深夜裡，尋找天上的北極光，  
在湖泊上製造音響，由水中的回聲量測水深。

許多人說道爾頓是瘋瘋癲癲的老師，  
但是他晚年那一班的八個學生中，後來在科學界都占有一席之地：

亨利 (W.H. Henry) - 英國皇家科學會會員

豪勒金遜 (E. Hodgkinson) - 傑出工程師

克雷格 (S. Clegg) - 瓦斯表的發明者

威爾 (S.H. Ware) - 物理學、歷史學與古物鑑定學家

波特 (R. Potter) - 倫敦大學教授

武德克羅夫特 (B. Woodcroft) - 倫敦科學博物館的建立者

與留名在世界上每一本物理、化學課本裡的科學大師，

能量不滅定律的發現者 - 焦耳 (James Prescott Joule)。



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」。

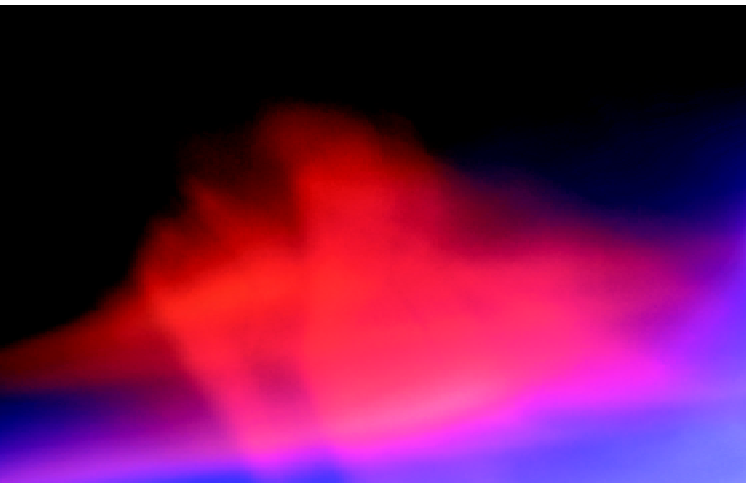
最早質疑卡路里理論的是美國科學家蘭福勒（Benjamin Thompson Rumford, 1753 - 1814），蘭福勒在 1798 年為德國監製加農炮，他在炮筒上鑽洞時，發現炮筒溫度不斷地提高，起初他非常擔心，怕炮筒的卡路里不斷地散失到空氣中，炮筒鑄鐵冷卻後可能成為一堆廢鐵。但是，炮筒冷卻後功能依然不變，蘭福勒認為炮筒所溢出的熱，不是源自本身所含的卡路里，而是鑽洞時的機械旋轉與炮身鑄鐵的磨擦產生，所以熱是由機械作功轉換來的。蘭福勒後來製造了第一台的「壓力鍋」，不過他的脾氣也像壓力鍋一樣的火爆，別人對他敬而遠之，連帶使他的論點也乏人所知。

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。

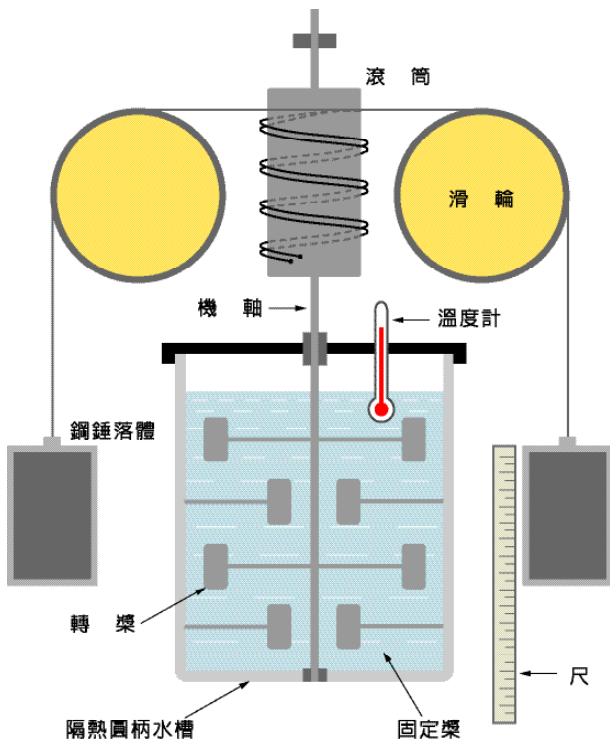
## 本質的突破

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。



道爾頓鼓勵年輕的焦耳以熱的本質為研究的對象。



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，帶動旋轉。

## 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，並且立刻就看，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慧星，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，聖安德得烈大學 (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渡假，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

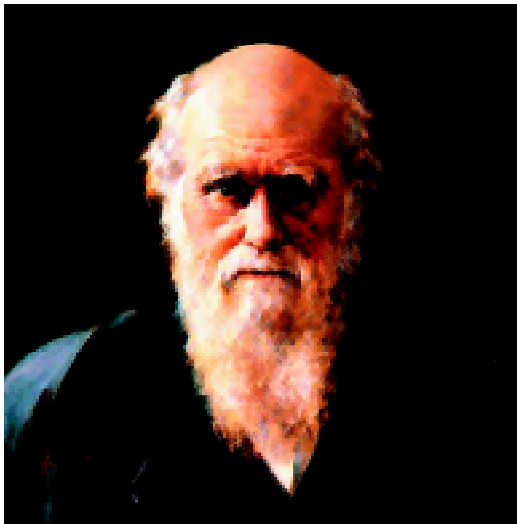
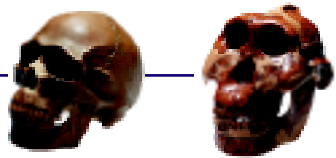
提升科技教育與知識必需的工具」。焦耳像他的老師道爾頓，晚年全心致力於教育。

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



達爾文沒有用演化論去講論生命的起源，眾人卻要把演化論扭曲成生命開始的理論。



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。

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恫嚇對方，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。」

張文亮

台灣大學生物環境系統工程學系

## 羊隻的記憶能力

英國科學家發現，羊隻可以記憶多達 50 隻羊的長相長達兩年，牠們也可能分辨熟悉的人的臉孔。科學家認為，羊隻的腦部中，有特定的區域幫助牠們記憶，這一點與人類類似。研究人員也發現，母羊會被某些長相特殊的公羊所吸引。這是由劍橋附近巴伯拉罕研究所（ Babraham Institute ）的肯德利克（ Keith Kendrick ）領導的研究，成果登於《自然》（ *Nature* ）雜誌上。（ *Independent*, 2001 年 11 月 8 日；駐英台北代表處科技組提供）