

萬 有 文 庫

第二集七種

王 雲 五 主 編

焦 耳 傳

克 勞 塞 著
柳 若 水 譯

商 務 印 書 館 發 行



焦 耳 傳

第一冊
自然科學叢書

自然科學小叢書

編主五雲王
庫文有萬
種百七集二第

傳 耳 焦

James Prescott Joule

究必印翻有所權版

中華民國二十六年三月初版

周

原 著 者

J. G. Crowther

譯 述 者

柳 若 水

發 行 人

王 雲 五
上海河南路

印 刷 所

商 務 印 書 館
上海河南路

發 行 所

商 務 印 書 館
上海及各埠

(本書校對者孫惕庵)

★ E 七 一 九

焦耳傳

焦耳是科學史上最特殊的人物之一。他爲實驗家的資格，至今猶不見有人超過。他能力的速成，知慧的獨立與明晰，以及對其實驗意義的理論洞察，都可使他立即成爲一個轟動一世的人物。但他似乎寧願引人崇敬，不願聳人聽聞。學生們一般都知道他是個大實驗家，決定熱功當量，建立能力恆存原理，這是十九世紀物理學之主要貢獻。因轉動槳，水中溫度遂上昇，緊接着此種測定之計算的，便是能力恆存原定之豐富的本質與屬性之註釋。學生們想獲得適當的印象，以解決某些較不重要但顯然更有興趣的事物。對焦耳非常的業蹟，世人只是稱讚而並不感激，這種傾向應該怎樣說明呢？

他孤僻的性格與其周圍的文化落後，都阻止焦耳與其研究，不能獲得預期的成功。他的個性，沒有克服愚昧環境的力量。假使曼徹斯特（Manchester）的社會有受過薰陶的想像力，那焦耳

的發見一定早成了大批文獻的資料了。他從他的結果可以作出有力的想像的，但只是一種直接的推論來。應用一種新觀念以貫串各種各色的現象領域，這種能力他不大具備得有。能力恆存之觀念與熱功當量之計算，在焦耳發表同樣的結果之前，已為德國的邁爾 (J. R. Mayer) 所公布。邁爾是焦耳之知慧的補充，因為他所有的想像的概括能力，與焦耳的實驗能力，程度相若。在其各別的方式中，他們是同等的天才。不管成績如何，他兩個都不能在時人之中，激起一種正當的文化反響，因而不能構成一種文獻，以說明他們的工作之充分意義。焦耳的科學工作，與達爾文 (Darwin) 的，在性質上頗相類似。兩者都是大膽而精確，其結果亦異常重要，但都沒有說明一般的關係。焦耳的論文，事實上並不如達爾文某些論文那般惹人厭。達爾文卻不僅其主要命題與人類個人利害有密切關係，且有赫胥黎 (T. H. Huxley) 與其弟子韋爾斯 (H. G. Wells) 輩為之闡明。焦耳的解釋者是威廉·湯姆生 (William Thomson)，他創造的天才既不如焦耳，又不會演說，不能洞悉人類的天性，而這一點，恰恰就使赫胥黎成了那樣漂亮的一個解說者。湯姆生的助手是泰特 (P. G. Tait)，很有能力，人品又高，卻缺乏哲學的深刻性。泰特之指導學生作科學辯論，就像

足球比賽一樣。他爲生徒所愛悅，可是這大批的友誼並不會免除他個性的局限。他愛國的與社會的偏狹性，似乎是英國職業階級與英國人的固執之產物。他的局限性好像是從他的環境來的，他的天性又使他不能克服這種環境。他沒有充分的洞察力。湯姆生的某些局限性，大略也不下於此。

能力恆存原理，本質上並不比進化論乏味。它之發見並不完全歸於焦耳，而進化之發見倒常是說成達爾文的，而且它的含義也沒有赫胥黎同威爾斯來闡揚。焦耳與其學派之不能引起大眾對能力恆存論關心，也許和對於物理科學之無意識的憤懣有關。野蠻的工業主義之基礎，是應用蒸汽機於製造業，曼徹斯特正是這種工業主義的中心之一。在觀面着野蠻的財富追求的時候，人類知慧之更巧妙的能力，也許老早就被壓倒了，而財富之追求又使生產的發展與物理科學的應用相連。綿密的人類想像力，是不能爲焦耳的那些發見所培育的，因爲它們都來自有毒的社會根源。它們出自發動機的研究，那是用以創造私人的財富，而不是用以增進人類的尊嚴的。許多人之對進化論感覺興趣，是因爲自然淘汰原理有利於競爭的工業主義之哲學。在達爾文以前，常常有人提到進化論，但他的理論之獲得承認，一部分是因爲他把進化與自然淘汰結合起來了，而自然

淘汰的觀念，因科學外的一些理由，早就流行着。達爾文的研究，雖說文獻上大有成功，說起來，本質上並不比焦耳的有趣，而他們結果之不同，一部分是由於焦耳的研究與機械工業之卑劣處較有直接的關係。馬力的問題，與生產及財富之追求有密功的關係，而適者生存卻好像是連結於崇高的生死問題的，雖說術語的轟動性並不來於這些問題，而來於競爭的工業方法之明白的確證。

焦耳並沒有綿密的想像力，所以他工作之豐富的含義不能展開，是因為他同事的失敗。邁爾倒有絕高的綿密的想像力，可是他的工作不為同事所理解。他發見能力恆存原理與熱功當量的方式是異常巧妙的，然而就是這個也不足以激起時人的想像。許多學生都百無聊賴地來接近邁爾與焦耳的研究，那表面上好像不可解，而一部分要歸於感染了文化的障礙，因為人們用熱機 (heat-engine) 所追求的，是私人的財富，而不是社會的進步。

焦耳一八一四年十二月二十四日生於沙爾福德 (Salford)，地近曼徹斯特。他祖先是德爾比縣 (Derbyshire) 的自耕農或小農。他祖父纔遷到沙爾福德，在那兒建了一座酒坊，並且發了財。祖父死後，遺族仍繼續營業。焦耳父親名本加明 (Benjamin)，是他祖父的第四子，育子五人，焦

耳 (James Prescott Joule) 是第 11 的一個。最長的名本加明 (Benjamin St. J. B. Joule) 酒坊的所有權歸到焦耳父親手裏，一八五四年他把它出售了，並於一八五八年死去，享年七十四歲。因此，在焦耳三十五歲時，沙爾福德酒坊便賣去了。他也從不會在酒坊的管理上擔任過甚麼要職。焦耳父親很喜歡保守派的政治運動。有個時期，他長子就是他的政治助手。焦耳也是個政治的保守派，他並且對於事務也是非常保守的。他任曼徹斯特文哲學會的會長時，差不多常常反對傳統辦法之任何變更。焦耳在事務上的保守主義，與他在研究上的急進主義，正成絕好的對照。他早期的那些論文，表示他從不服從於權威，而那在任何偉大的研究上，都是一個二十五歲的青年所不會超過的。

焦耳的家庭，在體格上似乎不大強健。他母親死於一八三四年，年四十八歲，他父親在生涯的最後九年間又是個病夫。他弟弟死時約年四十五歲。在他生涯的最後二十五年間，焦耳似乎患過鼻衄，也許是遺傳的血友病。他相貌不大周正，在青年時代還害過脊椎病，但那並不甚厲害，因為他那時候身體還很活潑。也許他後此之羞怯，及其對於事務之一般的保守主義，都為身體之纖弱增

進不少。

焦耳與其長兄，受教於父親的家庭，金雀林 (Broom Hill)，在曼徹斯特附近。像得維 (Davy) 一樣，焦耳很早就有了新工業機械之印象。焦耳十五歲時，即在酒坊中任了些事，以便學習營業。酒坊中的許多過程，是有助於科學精神的。無水碳酸之進化，就提起了空氣以外的許多氣體之本質與屬性的問題。普里斯特利 (Joseph Priestley) 因研究由酒坊所得來的無水碳酸，遂開始了他對於氣體之古典的實驗。細菌學之創立，是由於巴斯篤 (Pasteur) 之研究法國造酒業的問題。許多的酒莫明其妙地酸敗了，別人便找他去研究其所以然。最近二十年間，酸性之基本屬性及其在生物過程上之作用，是哥本哈根 (Copenhagen) 嘉爾斯堡實驗所 (Carlsberg Laboratories) 的斯菲倫生 (Sprengsen) 在研究。他對於醱酵之研究，遂產生氫游子集中說。

造酒業者應該知道這些氣體與液體的物理與化學。他應該是個很好的細菌學者，以免醱酵變味。他應該充分知道機械學，以免在各種溫度上搬動，吸起大量的液體與氣體。

造酒業技術的這三部分，大概影響了焦耳。他對於溫度與氣體壓力之關係，加熱器械，與抽水

機的見識，也許在他青年時代消磨於酒坊中的那些時光就開始了。得維遊戲於鑛坑的抽水機之間，焦耳則遊戲於酒坊的抽水機之間。在焦耳父親決定叫焦耳同他哥哥到道爾頓 (John Dalton) 那兒每週上兩次化學課的時候，他大概是想使孩子們多得到些有產業價值的科學知識，而不是想通過科學研究以陶冶他們的精神吧。

另外還有些環境，可以激起焦耳對於機械論與科學的興趣。

他哥哥的日記中，有一次記述到他們在一八三〇年九月十五日，旅行於埃克爾斯 (Eccles) 附近的原野，去參觀第一次通行於利物浦與曼徹斯特之間的列車，並且說他們有幾個星期六的下午，常常騎馬到埃克爾斯與培萃克洛佛特 (Patricroft) 之間的一個地方，去看守在鐵道兩側交互往返的兩列列車，那是為娛樂旅客之故，駛行到牛頓惠羅 (Newton-in-the-Willows) 的。

焦耳早年的教育，是他異母姊妹開始的，其後同他哥哥一道曾受教於幾個家庭教師，其一為塔彭登 (F. Tappenden)，他來自南方的一個陸軍學校，教了他們好幾年，由一八三二至一八三四年。他們騎過小馬，且已對科學玩具發生興趣，因為他們以電震通過朋友與僕人的身上，幹得來好

像電流是通過他們自己身上一樣，他們學富蘭克林 (Franklin) 的實驗，用紙鳶從空中引電，而證明了它的危險性。

據波通萊 (J. T. Bottomley) 說，焦耳最初的電機是玻璃筒形的，有一個用絲線懸起的火棒，來頓瓶的瓶子也裝着半瓶的水，立在另外一個滿盛以水的容器之中。

一八三四年，他們的父親決定送他們到道爾頓那裏去學化學。這位有名的哲學家，那時已六十八歲了，而因當時的人不信任他的原故，仍藉教育兒童以糊口。他認為他的學生，在開始化學以前，應該充分懂得算術及歐克里德幾何的第一卷，所以在焦耳兄弟到道爾頓那裏去以前，他們的家庭教師塔彭登就特別為他們預備這些功課。縱然如此，而在最初的兩年中，學生們仍每週要花費兩點鐘的時間來應付這同一的基礎。他們都不喜歡這門功課，而且在道爾頓暗示他們，說在進行化學之前應當研究高等數學的時候，他們都拒絕了。近代化學的創立者，在化學教學中，對於實驗經驗接近之遲緩，及其對於數學意義之重視，是頗為有趣的。因為這種態度，所以焦耳兄弟在化學上，不曾從道爾頓得到多少啓悟，而他的課程，因為麻痺症的嚴重打擊之故，在一八三七年就中

止了。

據波通萊說，道爾頓教焦耳兄弟以算術、代數與幾何，其次是自然哲學，取材於嘉伐諾 (Cavalli) 的教本，其次是化學，取材於他自己的化學哲學之新體系 (New System of Chemical Philosophy)。

在這短期的教導與交接的時間，道爾頓給了焦耳或是加強了他許多的知識態度，有不朽價值的態度。因為在基本物質之化學等重的研究上，道爾頓繼續錯綜地使用測定，而引入系統的測定與數量的比較，所以就建立了化學原子論。如萊諾爾 (Osborne Reynolds) 所說，道爾頓與焦耳和他們早期的時人間之主要差別是相同的，即以數量的測定來代替現象的實驗。焦耳因系統地測定幾種物理學與力學的效應，且以之與等量的電學效應比較，遂達到能力恆存法則。道爾頓與焦耳之研究，其共通的特徵都在着重測定，而堅信其結果。焦耳對道爾頓的關係，大可比之於法拉第 (Faraday) 與得維的關係。除了自己教育之外，通常所說的高等教育，他們都不曾得到過。法拉第之獲得研究技術，是在他若干年間天天跟着得維工作的時候，而且一直到他二十五歲的時

候，他都很少想到要作獨立的研究。焦耳有組織與操作之奇異的天稟，那只消稍爲訓練一下就行，但在知識態度之獨立上，他一定大有賴於道爾頓的。道爾頓顯然喜歡青年的焦耳兄弟，因爲在一八三八年他們拜訪過他之後記述道，他「似乎很高興見到我們。」

焦耳知識獨立性之另一異常重要的源泉，是他經濟的獨立。因爲是個有錢的青年，所以他不需要乎因襲的訓練，以獲得發展，或介紹之於有力的未來的友人。他早年的研究，一部分是出於一個青年紳士的應酬，不過偶爾適逢其會是科學，不是戰爭、政治或賭博罷了。一個受過長期學校訓練的學生，能够以焦耳那種知識程度的語氣來敘述他的研究嗎，那是很難相信的。有天資的學生，在他跟個好教師研究過之後，在他最初的論文之中，差不多一定少有獨立的語氣，因爲他所有的態度，一定是生徒對於師長的態度，否則也不過些微的差異，視他對其師長的成就如何評價而已。經過特殊訓練而無絲毫差別的學生，大概都是庸碌之輩。

關於焦耳的一些很有價值的資料，是故漢唐·該教授(Pro. W. W. Haldane Gee)爲曼徹斯特工藝學院找得的，地方是焦耳原來在塞爾(Sale)瓦達街(Wardle Road)十二號住宅的地

下室裏。該院當局允許我檢查並註釋這種出色的蒐集物，我要深深地感謝。在各種器械之中，有抽水機，容器與夾層的量熱計，是焦耳在其有名的實驗（本章後面就要敘述到）中所使用的，在那些實驗中，他證明不作外功（external work）的膨脹氣體，在溫度上並無顯著變化。有兩個電磁體的心，是他一八三九年的實驗中所用的，有一個移動顯微鏡，是在他寒暑表的定量中所用的，另外還有些小物件。

筆記簿與稿本更加有趣。在六本實驗室的筆記簿上，記着他一八三九年至一八七一年的全部實驗。

第一本筆記簿是一八三九至四三年之間所用的，共計二六〇頁。這是他幼年時代剩下來的許多老練習簿之一，其中有許多頁是簿記的練習。這些實際的或想像的計算，所記的日子是一八二五年。隨後是頁數更多的算術與商業算術的練習，又有幾頁談到圓錐曲線的性質。所有這些練習，都是用銅版體寫的。漢唐·該主張它們是在家庭教師的監督之下所作的，其目的是為道爾頓的教授作準備。但據萊諾爾說，道爾頓卻妨害了青年的焦耳兄弟，要他們去做很基本的功課。也許

這些練習就是道爾頓親眼看見作成的。

青年的焦耳開始最初的實驗時，他用這本以及另外一些沒有寫完的練習簿來作實驗室的筆記簿。他最初的實驗，關於電磁體的，所記的時間是一八三九年，其字畫之零亂，與幼年時代的練習之工整，適成一對照。第二本筆記簿有四三四頁，用於一八四三至五八年之間。第三本有一八〇頁，記的時間是一八五八到一八七一年。第四本計一五四頁，是些筆記和出版過的論文的草稿，其中包含他在曼徹斯特聖安恩教堂 (St. Ann's Church) 圖書閱覽室的那有名的講演，他關於能力恆存法則之第一次公開的報告，以及這個法則的一些結論。第五冊與第六冊，一係一三八頁，一係一四四頁，是些「未完成的論文」與草稿。第六卷中，有邁爾的論文無機界的力 (Forces of Inorganic Nature) 的譯文，同另外一些外國論文。更有些鉛筆的符號和批評邁爾計算熱功當量時的假設的一些句子。論文未附時日，也許是他從一八六二年哲學雜誌 (Philosophical Magazine) 上刊載的譯文抄來的。本卷中有些條項寫於一八四五與一八七七年之間。

略看一看這六本筆記簿，便發生一些有趣味的暗示。一個天才的畢生事業之大部分，竟會包

括在六本比較小的冊子裏面，那是殊堪驚訝的。顯然焦耳是把他偉大的發現信筆寫下來的，幾乎不會修改過。這好像是說他思想之清晰有異常人。他從不會暗中摸索過。在他進向真理的時候，他並不會用幾千頁的篇幅，來記載他出發點的失敗和觀察的錯誤。這些舊式的練習簿，他都是從兩頭寫起的，那就表示他多麼不注重外形。他並不要買些特別的筆記簿來記載那些大發現。他少於修正他觀察的形式，以及他之把非常新的知識記在隨手摘得的筆記本上，都表示他的精神活動是自然而然的超羣絕倫。他的實驗毫不擺架子，而所謂架子這個東西，只要結果一披露，它就烟消雲散了。他並不要從大批的暗中摸索的無結果的實驗中來區別出無數的真理。差不多他一切的實驗都好像已經完全可靠而又完成了一樣，而且記述它們的第一次的原稿，也幾乎用不着修改，就可送到雜誌上去發表。

除筆記簿外，還有一些未裝訂的紙片，據維埃里博士 (Dr. H. Lowery) 說，其內容是『關於物理學的範圍與方法』及『科學之目的與研究之真髓』的『簡單筆記』。

我相信這些筆記大概是焦耳打算在一八七三年講演的講演稿，那時他是不列顛協會的會

長，而協會正在布拉福德 (Bradford) 開會。因為病的原故，焦耳不能不辭去會長職，所以他並沒有講演。

焦耳說道，自然哲學的地位僅次於宗教。『在認識及服從上帝的意志之後，其次的目的應該是知道一些他智慧、權力與善良的屬性，那是他的製造品所證明了的。』

『自然與其法則之研究』『本質上是種神聖的工作』並且是『青年教育中極端重要而又絕對需要的。』

科學之追求來於『它所展開的一種智慧之愛，一種自樂其樂而不顧及任何利益的真現之愛，所謂利益，是人們想從真理那兒汲取出來的。』鼓舞它的是『某種精神的精進，它想知道從來所不知道的東西，想知道屬於我們的自然界，而事實上又是勸誘我們生活下去的主要原因的原理，因為我們的生活，如果它所帶來的只是同一對象的反覆，而又沒有希望去變化和更新諸種的享受，那實在是可悲的。』

科學家應該謙遜、勤勉、奮進、忍耐、熱心。他應該『從安排得很好的嘉納之愛及成功之希望中

獲得健全的刺激。」

自然科學之第一目的是在動物階段上來提高人類，第二是增進幸福。

「所以第一個目的至少比第二個目的更重要，正如知性之高於肉體然。」

「顯然的，認識自然法則，正就是認識顯現於其中的上帝之精神。」

依應用科學說來，「想偶然發現進步或發明，那是最浪費不過的事情。」

談到最初的海底電報設計者缺乏科學知識的時候，他說那種知識「應該是個紳士所有的，在他的地位上，一個人的確應該得到；然而，在精確的物理學知識方面，那是多麼罕見呀，簡直像個木匠或工匠普通所有的一樣。」

他主張科學教育，及將科學傳授於大眾。沒有科學知識的人，只是受了一半教育。「有句陳腐的諺語說道，一點兒知識是危險的事，首先我們可以說，在別の場合這是荒謬不經的，而在此爲尤甚。這種蠢人的學說，必然會反對任何種的教育，因爲從茫昧無知過渡到最高等的學識的時候，在某一個時期，我們必然會爲極少的知識所引誘。真理是如此這般的，一點知識是小善，許多知識是

大善，可是無知卻是十足的惡，它要我們同腐敗的野獸結合。」

數學對於科學家是最重要的，但就是一個進步的工人也常常會回顧到簡單的真理。化學分析家一定會隨時想起他由以出發的敘述事實。

焦耳有一段話的語氣，簡直就同我們現在一九三五年的一樣。「那麼，這就是科學的正當目的。人們帶來旁的最無價值的目的，而且逐漸出人意外地佔了支配的地位，那是深可惋惜的。那就是戰爭技術和相互破壞的工具之進步。我知道有些人是這樣想的，他們以為因了這些進步使戰爭更帶破壞性，所以會使戰爭終結。這種意見是根乎常識的麼，我不能想像。我相信，戰爭不僅會更帶破壞性，而且會更加殘惡。個別的戰爭無疑地會迅速解決，可是這必然使若干政府迅速建立又迅速沒落，使國境與憲法動搖不定，結果必然使文明自身墮落，使和平成了不能的事。這樣看來，因為用不得當的原故，科學結果會給自身毀滅。談到這個問題來，我們也應當為科學之變節而痛惜，因為個人與國家的擴大，其結果就是弱者死滅，而強者則建立於其滅亡之上。為陳述如上的意見，我遂一般地談到戰爭，我希望論爭的結果，不會被人用去保護不列顛的完整與自由。這些東西會

經威脅過我們。至於我們對歐洲時下的戰況不負責任，那是很可慶賀的。」

他這些話，表示他思想之成熟與深明世故，其表現既這麼敏銳，而在政治的應用上，又那麼顯然是英國式的，我們既已敘述過，那就須得回到他青年時代來。

青年的焦耳兄弟喜歡過戶外生活。他們到郊外去馳馬，或到滴翠湖 (Lake District) 與盤嶺 (Pennines) 去爬山。一八三六年六月八號，他們划船到文德美 (Windermere) 湖畔的洛伍德 旅館去，在早餐以前又趕回來，又從渭濱 (Wyburn) 登到赫巍嶺 (Helvellyn)，在山頂上玩雪球。六月十二號早上，他們同本區兩個最著名的划船者比賽，把他們勝過了，又在午後去爬石基度山 (Skiddaw)。他們最喜歡的是手鎗同馬鎗，並且叫人爲他們定製了許多特別的小鎗筒。他們一面在過這種生氣勃勃的遊戲生活，一面又在作氣象學的觀察，去報告給道爾頓。有一次他們竟記錄了從遠地的暴風雨而來的雷，並且計算出了閃電與雷聲之間的時刻。道爾頓告訴他們，在荷里赫 (Holyhead) 那兒，在四十英里以外的地方，他們也許聽到了一次極大的暴風雨，在他自己說來，是生平不曾聽到過那樣遠的響聲的。一八四〇年，焦耳用一匹跛馬來試驗流電。一八四二年，他在

文德美湖上放手鎗，以考察回聲。他哥哥被這巨大的聲響所震懾，當他回轉身來的時候，看見焦耳的手鎗已經跳到湖裏去了。原來他想手鎗發出大的響聲同優美的回聲來，所以在手鎗裏裝上了三倍於平時的火藥。又有一次，他把眉毛都燒掉了。他兩弟兄在湖上四處測量，結果發見最深處是三十三呎。

他們的興趣並不限於競技同科學觀察與實驗。哥哥是個熱心的音樂家，焦耳則對繪畫與攝影非常優良。他搜集了許多圖畫，竟花去了五十鎊。這個數目很够表示焦耳當時的生活情形。在當時，工人的最高工資是每週一鎊，而一個青年人用來買畫的錢，竟能同一個熟練工人一年的工資相等。

當他再大點的時候，本加明就研究教會音樂，著得有二二七〇首讚美歌辭集及其他音樂著作。事實上，他是曼徹斯特音樂學院的創立者，並且曼徹斯特莫斯萊街 (Mosley Street) 聖彼得教堂的禮拜樂曲，多年來都是他編排的。該城中最好的風琴也是他做的，許多人之所以到那幽暗的教堂來，也是因為音樂美麗的原故。他爲曼徹斯特嚮導報寫音樂評論寫了二十多年，而他與該

報的關係，又爲科學留下了大大的地步，這是立刻就要談到的。

在一八九〇年的嚮導報上，說「他演說中有種舊世界的風味。」他是個保守黨（但與政黨沒有多大關係，）又是個熱心的古玩家。

一八三八年，焦耳把他父親家裏的有一間房間改成一間實驗室，無意識地做了一些實驗，其結果就是那偉大的發現。他第一篇小論文是那年發表的，那時他剛十九歲。在曼徹斯特文哲學會中，他遇到了許多科學家，同他們很熟，又常常去拜訪道爾頓，並且在他家裏喝茶。一八三九年，他請達維斯（John Davies）私人教授化學，一八四二年，他招待達維斯，南莎謨（Ransome）同斯特姜（Sturgeon，他是個電磁發見家）在金雀林午餐。

焦耳父親，像馬克斯威爾的父親一樣，爲準備他地位的原故非常賣力，在那種地位上，他兒子是可以大發其才的。

里昂·蒲萊菲（Lyon Playfair）是位化學家，又是位政治家，一八四二至四五年，他任曼徹斯特皇家學院的化學教授，與焦耳合作，發表了一些論文。在他回憶這個時期的文章中，他寫道，道

爾頓（死於一八四四年）『在這個城市的科學研究上自然大有影響，在那兒有一大羣青年研究家正在積極地研究。就在那時，焦耳也是最出色的。』

里比希 (Liebig) 與本生 (Bunsen) 一八四五年來拜訪蒲萊菲，他把他們介紹給焦耳了，在回憶文中，他說『是個純樸而熱心的人。我們常常來往，並且晚餐，俾研究得以進步。』

『我很希望他畢生盡力於科學，並且勸他到聖安德盧 (St. Andrews) 去候補自然哲學講座。他是很容易得到那個的，但他因像貌的稍為醜陋，卻不合某一選舉人的意，所以聖安德盧竟失掉了獲得我們這個時代最偉大的發現者之一的光榮。』

『道爾頓與焦耳在曼徹斯特皇家學院中常常坐在一塊，——就是那知慧敏捷的焦耳。』

在羅斯柯 (Toscoe) 一八五七年當歐文思專門學校 (Owens College) 化學教授的時候，焦耳的研究就是他在曼徹斯特第一次公開講演的題目。他是新近纔從德國來的，在那兒，他跟本生研究過，並且知道焦耳在德國的偉大聲譽。

焦耳早年的書信，常時表現出他思想的明晰與特性。曼徹斯特文哲學會保存得有一封信，日

期是一八四八年七月十日，在那封信裏，焦耳主張學會的紀念應該只是紀念作過回敬的旁的學會。『我們務必對自己公平。』

在另外一封信裏，他談到對於裁判員沒有發表意見的數學論文應該怎樣處置的問題。他說最安全而又最好的辦法是付印。『我相信，如果我們要等完美無缺的數學論文，那我們一定要等很久的。』

一八四九年二月六號，他從沙爾福德新柏萊街酒坊的實驗室裏發出一封短簡道：

『你要仁慈地告訴我，出席今晚的會議是否於你方便。我很想聽一聽林德 (Jenny Lind) 先生的音樂，但如你決定去，或者另外有甚麼意見，那我就勉強出席學會的會議。』

大概他是決定同他哥哥一道去的，他哥哥要爲嚮導報寫一篇音樂會短評。

一八五一年有一封信，是寫去辭學會副會長的職的，因爲前任會長已不能出席會議了。

萊諾爾在一八六九年第一次會見焦耳。他寫道：

『焦耳那時是五十一歲，他還高不及中人；他體格都還強健而結實；他衣着雖整潔而異常普

通，態度與舉動也沒有自然的威嚴，但樣子卻很有力，他又不大會說話，而使人生一種純樸的印象，他說話毫不做作，這是他畢生的特點；但他細密的頭腦與其莊重的顏面之反省的智力，卻與他最高的哲學能力，與其長期的鍛鍊，頗相適合。」

學會裏的人，顯然都很尊敬他。他和藹、高貴而且異常任俠，但卻厭惡欺騙行爲，特別是有地位的人的欺騙行爲。

他鼓勵起未知的研究者的力量，而憤恨於彼等工作之被人輕視，「好像他自己早年的經驗已使他同情於那些正在奮鬥的人，」使別人認識他們的結果。

焦耳研究之思想的起源，萊諾爾說得異常之好。他的焦耳實錄也許是英文中所有的最好的科學家傳吧。主人公的思想之根源與結果，在那本書中，被一個最聰明最善於表現的科學家所闡明了，這是很少有的。他所說的許多話，我們在這兒將嚴格地遵從，並且希望讀者自己去讀曼徹斯特文哲學會實錄第四集的第六卷。

在一八三八年，「能力」與「功」這兩個字所有的意義，是不像今天的。楊格 (Young) 對

「能力」所下的定義，是運動體質量的二分之一乘其速度之平方。他主要認為是種數學的函數，是包括在牛頓力學許多問題之解決中的。加里略與牛頓所展開的力學理論，其基礎是研究比較不抵抗的物體，例如經過空氣中的天體，或經過真空的行星。因為那些公式是從研究某些運動得來的，而那些運動通常並不發生在地面上，所以它們就有一種固定的性質，而當它們偶然適用於那些運動的時候，人們就覺得那並不是偶然而而是實然的。牛頓派的力學家對於「功」也是一樣，說它是力與距離的產物，但主要的依然是當作一種數學的函數，他們也知道這個函數同「能力」的函數是可以相等的。他們用這種數學的等價性來解決摩擦運動的問題。「功」是距離乘超過的平均阻力之結果，因而是力學作用之根本的測定，這種觀念不是從天體運動之研究得來的，而是從完全不同的根源得來的。這是自然的，因為，舉例來說，如果火星的「能力」或活力（*VIS VIVAS*）不是一種數學函數，是以幫助解決太陽的運動，那是沒有那個人會去注意它的。不必用數學把火星「能力」表成單位，因為 $\frac{1}{2}mv^2$ 的符號，在方程式的數學變換過程上，已經溶化了。火星「能力」之知識，如果不是用來解決數學問題，那是毫無用處的。那並無直接的經濟上的價值。

工場中與工業中的運動之研究，使術語上發生了一種全然不同的變化。蒸汽關機之用於吸水與工場動力上，就給機械作用添加了商業價值。「功」之工業的概念，是指決定生產數量的東西。正確地測定「功」這一件事，在機械力的買賣上，是異常重要的。機械工業自然而然地會用如下的話來表示功之概念，即若干加侖的水，在若干若干的時間，提起若干呎，或說某秒若干呎磅。這是可感觸的可買賣的商品，與牛頓式的抽象的概念完全不同，後者說「功」是運動經過某種距離時所完成的。牛頓力學的「功」與工業發動機的「功」，服從同一的代數法則，但與它們結合着的其他觀念之集合卻迥然不同。現今所說的能力，在工程師是稱爲「蓄積的功」的。在克服摩擦時所消耗的功，他們認爲是消逝了的機械力之尺度。

拉瓦謝 (Lavoisier) 與拉普拉斯 (Laplace) 在他們一七八〇年的論文上，談到過熱的性質。他們說：「另外一些物理學家認爲熱只是可感覺的物質振動之結果，……熱是種活力，產自物體之可感覺的運動，它是每個分子的質量乘其速度的平方之積，……在這兩種作業假說之中我們不想決定甚麼；有些現象似乎是有利於後者的，例如兩個固體摩擦所產生的熱；但另外有一些

現象，由第一個假說來解釋，卻又更爲簡單；也許兩者同時產生的哩。」

隨後，在書上，他們認爲次之命題爲明瞭：「一系列的物體，在變化其狀態時所發生的一切熱之變換，無論是真實的或表面的，都是該系列返於原來的狀態時，在相反秩序中所產生的。」假使這一系列作有外部的功，那這個命題就是錯誤的。另外又有一種思想方式，經過加爾諾（Carnot）而展開成一種最有力量的理論概念，這顯然刺激了楊格，使他在一八〇七年發表的自然哲學講義上說道：「某一種現象中所吸收的熱量，與現象相反之時所放出的熱量，顯然是相等的，這在單純的場合上，也許還不會證明。」

在拉瓦謝還不曾完全拋棄運動熱論的時候，拉蒲拉斯已完全傾向於熱素論了。運動熱論的某些最頑固的反對者，在熱功當量確實證明了之後許久，還繼續發出反對之詞，他們的意見就是從拉蒲拉斯來的。

拉瓦謝在一七八七年發表的論化學的論文上，暗示過熱素這種不可稱量的液體，傳達彈性與溫度於物質者，和活力大概是同一個東西。

說熱是種運動形態的學說，爲時頗古，其產生也，是因爲連結摩擦與熱，是因爲火焰之運動。可是，萊諾爾說得很好，沒有那個人相信『因爲克服摩擦（消逝的機械力）而由機械作用以傳達於物體的力學效果，它本身就能够是那種不可稱量的液體，可測量的，不生不滅的，它就造成熱素。』

拉姆福德（Rumford）觀察過，爲反對摩擦抵抗而繼續工作着的兩匹馬所產生的熱，其比率不變。他測定過所產生的熱量，甚至於把來同那兩匹馬所吃的食料，由燃燒所生的熱比較過，但他對於過程不會提出任何說明。

萊諾爾又注意到，凝縮蒸汽機，爲變熱爲力學效果，曾工作了百五十年，其作用之過程並不明瞭，且似乎證明相反學說之正確。對發動機說來，凝縮機關似乎是與熔鑪同樣重要。更進一步，因發動之效率減低，於是由鍋爐傳於蒸汽的熱量，與凝縮機關所消去的熱量，都比它們之間的差數大得多，其一部分就變成了力學效果。要由實驗來明白決定這種差數是很困難的，而且一直到能力恆存原理發現，指定差數一定存在之後二十年，都沒有成功過。

舊蒸汽機之極低的效率，甚至欺騙了頭腦精細的加爾諾，使他立在不正確的熱理論之上，發

明出一種正確的理論，——物理變化之可逆的循環。那是一八二四年發表的。萊諾爾說道：「然而在凝縮機使人承認成功是機械作用之尺度的時候，它就對於熱之機械的起源之發現大有貢獻；而關於熱與功之哲學的興趣，其起源也，則端賴於機車，因為一般地採用機車，纔直接發生那種興趣的。凝縮機並不是擺在外面的，——如果不去考察它，那一般地就看不見。機車卻擺在外面，在它應該被人看見：在一八四二年以前，它簡直塞遍了全歐洲。對於當時的人，正同對於青年人一樣，在第一次看到它們的時候，立刻就成了極大的驚訝與興趣之對象；至於從來研究天上星辰的哲學家們，現在也注意起它們來了。」

一八三九年，出現了一本書，是塞魁恩 (M. Séguin) 著的，書名叫 *Etude sur l'Influence des Chemins de Fer*，其中收集了許多數字，可由以粗率地計算熱功當量。塞魁恩是孟特哥爾非 (Montgolfier) 的外甥，孟氏是法國的造紙業家，又是氣球的發明者。塞魁恩告訴格羅夫 (W. R. Grove)，說孟氏相信力是不滅的，這個意見，在他研究自動揚水機之後，就確立起來了。因力之不滅性的暗示，塞魁恩遂認為動力不能只得之於熱之轉變。他假定蒸汽機圓筒中膨脹蒸汽所作的功，

與它所消失的熱之總量相等。他想測定鍋爐所消失而給與凝縮機關的熱，由以測定消失的熱之總量，但他的實驗法太不精密了。他假定蒸發的汽體，在攝氏百度與百五十度之間的某一度上，例如攝氏百三十度，然後減去一個熱的單位，使達到某一度，例如攝氏百十九度，這樣他就從他一八三九年所發表的數字，來計算消失一定的熱所獲得的力學的功之數量。因為水蒸汽的屬性，在這種溫度內與完全氣體大有不同，故塞魁恩的方法不能得出確切的結果。一個單位熱，對於一個單位水蒸汽所減去的溫度，只是一度的十分之三，而不是一度。但這種不確切的資料，偶然地使他的結果近乎正確。他的結論是，一格蘭姆的水，如果消去攝氏一度的溫度，則它所產生的功，就可使五百格蘭姆上昇一呎。正確的結論是四二七。這樣看來，考察熱功當量的最初的資料，似乎是從研究汽機原理，即考察氣球發明者所提出的暗示而發生出來的。孟特哥爾菲之使他氣球上昇，是在內部加熱。若果不是自動揚水機激起了他力之不滅性的觀念，他也許會猜想到這樣的事情吧，即因氣球之上昇力與下部的火，其間有特別直接的關係，所以熱能變成功。興奮的氣球家的冒險，大概增進了他的認識，使他能够生動地理解，他自己的身體是因為燃燒的原故，為熱的作用所舉起的。

熱功當量之最早的考察，是加爾諾所提出的。他是一八三二年死的，則那種評價一定早於一八三二年，可是一八七八年以前都不曾發表。對於他的計算法，他毫無說明。他的數字與正確數四二七比較時，等於三七〇。此外在他原稿中有很多證據，證明他曾發現過熱力學第二法則。這些成績，就使拉爾謨 (Larmor) 提議，說加爾諾是十九世紀最出色的物理學家。可是他三十六歲上就因虎列拉而逝世了，沒有機會去完成他的研究，去增進他驚人的發明——可逆循環說。

蒸汽機對加爾諾與塞魁恩的影響，實屬顯然。在焦耳以前，關於熱功當量之另一考察，是邁爾提出的，而其產生，卻是因為一種顯然不同的自然現象。邁爾是海爾布隆 (Heilbronn) 一個藥劑師的兒子。他父親有他那一部門的通常的理化器械，博物學的搜集品同許多書籍。對於邁爾的天才說來，這是一個諧和的環境。他父親教育他，自然是想他在他那一行裏得到較高的地位，後來又送他到杜賓根 (Tübingen) 去研究醫學。在大學課程中，對於物理與化學他並未發生多大興趣。課程完了之後，他又到繆里希 (Munich) 維也納與巴黎的各醫院，去完成他的醫學教育。

他第一次獨立的職務，是在荷蘭東印度公司的一隻船上當醫生，要開到爪哇去。這次航行為

期一年，始於一八四〇年二月，終於一八四一年二月。船上並無乘客，只有二十八個船員，他們都很健康。那時邁爾是二十六歲。看見多方面的複雜的世界，在他有教養的精神上還是第一次。他工作很少，又有大批的科學書可讀，又沒有誰去耽擱或擾亂他知慧的興趣。他航行到紹拉巴亞（*Sourabaya*），這個地方，在目前，大家都知道是從歐洲到澳洲的航空路之一站，在意義上與性質上，都與達爾文乘比格爾號（*Beagle*）航行的事相類。一個產生生物進化論的暗示，一個獲得能力恆存論的觀念。

邁爾寫道，他『享受到一種精神上無害的和平，那爲他安排了某種科學事業，並使到達到愉快的生活，雖說在狹小的環境中，又沒有個有同樣嗜好的同伴；沒有那一天不是以某種興趣過下去的。』

對於非常的現象他就寫筆記，又讀一些物理學書。他沈思有機體中熱之生產，及熱與摩擦之關係。

在爪哇，有些歐洲船員病了，他不能不去爲他們放血。他看到『從手臂血管中取出的血，差不

多無例外地有一種異常鮮明的紅色。

「這種現象使我熱心地去注意它。據拉瓦謝的理論，動物的熱是燃燒過程產生的，由這種理論出發，我便認爲毛細管中血液顏色的二重變化，是血液中所發生的氧化作用之一感性的現象，——一種看得見的形跡。爲使人體可以保持不變的溫度之故，體內的熱之發展，應與它所消失的熱保持一種數量的關係——即對周圍的媒介物之溫度保持一種關係；因而正如兩種血液顏色之差異一樣，熱之產生與氧化過程，就全體而論，在熱帶的都應比在寒帶的少。」

這種現象，使邁爾去批判地考察生理學的燃燒論。關於動物的熱之產生及其與呼吸之關係，拉瓦謝已作過些奇異的實驗。一七八〇年，拉瓦謝與拉蒲拉斯敘述過這種實驗，即以天竺鼠的熱之產生來同燃燒木炭的熱之產生相比。天竺鼠是裝在冰箱裏的。牠的熱之產生，是用冰之融化來測定。在呼吸的二氧化碳中，炭之總量可以化學分析來決定。在另一實驗中，是用箱子中來燒等量的炭，而冰之融化量也是可以測定的。他們發現天竺鼠與木炭，消耗同量的氧，產生同量的熱，遂結論道：「於是呼吸是燃燒，也許是很遲緩的，但與炭的燃燒完全相同。」

在一七九〇年給布拉克 (Black) 的信上，拉瓦敘述着實驗的結果，那在科學史上，仍是最奇怪的事。他說：

(一) 一個人在一間攝氏二十六度的房間中靜止的時候，每小時所消耗的氧，約爲二萬四千立方糶。

(二) 在攝氏十二度的時候，他每小時就消耗二萬八千立方糶的氧。

(三) 在消化之時，消耗量每小時就增到三萬六千至三萬八千立方糶。

(四) 在勞動的時候，大概每小時增至八萬立方糶。

以後的研究，證明這些數字近乎正確。測定是困難的，而拉瓦又不注意他的方法。

在天竺鼠的實驗中，我們可以假定，那個動物是在四處跳躍的，爲的想逃出或者「保溫」。可是，融化的冰量與動物之機械的運動並無關係，而只依存於氧之消耗。因此，由動物之運動，及由箱壁之摩擦而產生的熱，最初就應該是呼吸對氧之消耗所產生的。這種熱一定變爲動物的運動，而動物的運動又變爲熱。

在人類呼吸的實驗上，氧之消耗便依活動之程度而增加，它一定依燃燒法則而產生比例的熱。在運動之時，其數字三倍於靜止之時。然而人體之溫度仍然如常。那三倍的熱是怎樣產生的呢？在運動之時，它已變成機械的功了。

邁爾說道：「在（生理學的）燃燒論上，這時沒有辦法，只有犧牲理論自身，而承認有機體一部分直接地，一部分間接地由機械作用所展開的熱之總量，在數量上是符合於或者等於燃燒量的。」

他因認人體為一熱機關，所以達到了熱功當量的思想。人類這種熱機關，因其有在常溫下奔跑的特性，故特別適於哲學的考察。蒸汽機中蒸汽溫度之變化，在哲學上是混淆不清的。

既知熱與機械的功應相等，邁爾遂開始在一切自然現象中尋求例證。他注意到，為空氣壓力所產生的熱量，應等於壓力所作的功之總量。假定壓力所作的功之全體在空氣中表現為熱，而在克服分子之間的排拒力時，熱又沒有被吸收，則由定壓與定容之下的特殊的空氣熱之比率，遂可計算熱之機械的當量。這種計算，邁爾作過了。為確定他在能力恆存與熱功當量之發現中的優先

性起見，他寫了一篇短論文，並交給里比希，託他在化學與藥劑學年鑑上發表。發表的時間是一八四二年。在這篇論文中，邁爾不曾提到他的思想之生理學的根源，只在因果相等性這種哲學名詞上，及力學原理之分析上，表現他的理論。他指明：『至今不曾有人認真地來確定停止運動之結果。』說：『兩個金屬板繼續摩擦很久之後，』能够『漸次使極大量的運動停止；但是，它會不會經常發生，而使我們去尋求那甚至最輕微的力的形跡呢？那種形跡，在我們能够聚集的金屬微塵中已經消去了，它又會不會使我們從此努力去再獲得它呢？我們重複地說，運動是決不能消滅的；相反的或正與反的運動，不能認為是等於零，正如相反的運動不能從無產生，而一個重量也不能自行舉起一樣。如果不承認運動與熱之間的因果的聯繫，那就很難說明熱之起源，同樣，運動之消失也就無法說明了。』

在次一段中，他說：『依著者的發現，水在劇烈震盪之時，溫度便上昇。這樣地加熱過的水（從攝氏十二度到十三度，）在震盪之後，容積比以前更大。』他假定容積之增大，是因爲分子運動增加了的原故。

「假定現已確定，在許多場合，除熱以外再無其他運動之結果……我們寧願採取這個假定，說熱從運動產生，而不願採取那說有無結果的原因之假定……正如化學家一樣，他不承認氧與氫是消滅了，用不着再研究，水是由某種不可計算的方式產生的，而在氫氧與水之間，建立一種聯繫。」

在這兒，邁爾是由化學上的質量恆存法則來類推，以要求功與能之當量的。

「在水磨中，因水之降落，泥土容積繼續減小，遂產生運動，隨後運動又再消滅，而不斷地產生大量的熱。」

假使我們注意，因連結於水輪上的帶子，使鐵盤在制動機上旋轉，有時致使工廠變熱了，那是很有趣味的。

邁爾寫道，「火車頭連火車，可與蒸溜機相比較；鍋爐下所發生的熱，成爲運動而傳達出來，在輪軸上又再變爲熱。」

「如落下力與運動等於熱，熱自然也應等於落下力與運動。」

「把這個原理應用於氣體溫度與容積間的關係，我們遂發現，壓榨氣體的水銀柱之下降，等於因壓榨而喪失的熱量；從而，它依照容量率，即常壓之下的空氣熱與其常積之下的容積，其比率是一·四二一，於是要把一定重量的水，由攝氏零度加熱到一度，那就等於把同量的水從三六五呎的高處落下來一樣。假使我們拿這種結果，同我們最好的蒸汽機之工作比較，我們就知道，鍋爐下所產生的熱，其實是只有極少一部分變成了運動或重量之上升；而且這就可以證明下一企圖之正確，即不用消耗炭氧之間的化學的差異，而以其他的方法來適當地產生運動——更特別地，是把由化學方法所獲得的電轉變為運動。」從邁爾的預備論文所徵引的這幾段話，表明他洞察力之卓越。他以後的論文，包含着無數最有權威的創造的暗示，如潮汐摩擦對地球自轉之影響，及隕石流動創造星體的熱。

里比希接收了邁爾的預備論文。他自己略略知道點能力恆存，也是從考察生理學的燃燒與一般現象而獲得的。

邁爾之知道能力恆存原理，是因為他批判地研究拉瓦謝的生理學的燃燒論，而拉瓦謝之數

量地研究燃燒，是因爲哲學地研究熱之測定，（這是蒸汽機所提醒的，）及工業主義之要求測定商品，以便在貿易的目的上，容易決定商品之價值。

里比希之接收邁爾的論文，是他深邃的識見之特徵。在這一點上，他有資格當自然哲學家，可是，在他化學的後繼者中是沒人知道的。

邁爾最初的論文，除里比希承認發表之外，並沒有多少人注意它。那時他已經在故鄉開始行醫了，並且他又沒有學術上的地位，所以不能使他的思想打入學術界去。他的同鄉人都嘲笑他對知識的創造性之抱負，且指示他的要求不爲職業的科學家所注意，以鞏固他們的意見。由這種經驗所引起精神的苦悶竟使他發狂了，有一個時期他被關在瘋人院裏過。一八六二年，克勞西斯（Clausius）給丁達爾（J. Tyndall）個人通信，報告過一些他的消息，及他論文的抄本。根據這種資料，丁達爾就同湯姆生與泰特論爭，因爲他們沒有充分認識邁爾。他寫得異常坦白，在以後的科學論戰上，差不多是無與匹敵的。

在一八四三年，丹麥科學家柯爾丁（Colding），也爲熱功當量的問題論爭過。

萊諾爾評論道，哲學的推理不足以除去關於熱素的偏見與詭辯。邁爾的卓絕的推理，沒有多少人相信。有衆人明白的結果的證據是必要的。焦耳提出了這樣的結果，實驗既精美完善，思想又復異常明晰。但是，可以說，焦耳之那樣完善，是對人類愚昧之讓步。爲要獲得真理，一個不大有偏見的聽衆，是不大需要麻煩的詳明的。對於實驗的證明之要求，可以說是太過度了。馬克斯威爾並沒有實驗地去研究電磁波，而理論地推論其存在，這是人們所認爲奇怪的。也許他的智慧滿足於其物理學的推理，而他也不感覺到實驗的證明之需要吧。

邁爾不幸地是由生物學的研究而達到物理學的發現。在他第一篇論文上，他並沒有提到他生理學的論據，而其物理學的結果之物理學的證據，其自身又不足以充分使各有偏見的物理學的聽衆去相信它。物理學家所希望的物理學的結果，是用他們自己的標準來證明過的。他們相信，他們自己的科學的證明，比旁的科學的證明要好些。這種偏見，在湯姆生與地質學家爭論地球的年齡時，就指明過。

物理學家不能相信能力恆存原理，除非有充分的證據，是從他們自己那門科學來的，而且是

從最時髦的部門來的。奧爾斯特德 (Orsted) 在一八二〇年所作的電磁之發見，在電學研究上激起了極大的興趣與活動。一八二一年，法拉第證明傳導體與磁石有相互的迴轉，一八二五年，斯特姜發明軟鐵電磁。藉助於電磁，庫克 (Cooke) 與惠提斯東 (Wheatstone) 就在一八三七年造成了第一次可以實用的電報機。一八二七年歐姆 (Ohm) 發現了他的抵抗定律。一八三一年，法拉第發現電磁感應，並已由電解而證明電量與化學等價物間之迴轉。一八三六年，斯特姜發明整流器，於是能由發電機得到直接的電流，並由一個電池之直接電流以開動發動機。

焦耳關於這些機器之實驗的研究，便提出證明，使物理學家相信能力恆存原理之爲真理。當他一八三八年開始研究的時候，關於電流及其與熱及化學的關係，已經有了大量的斷片的知識。這些已知事實之總括的研究，當然可爲各種能力之等價性提出證據來，可是，進步卻不是由這種方法得到的，雖說法拉第的研究之哲學的鼓舞，是因爲他深信一切物力形態之間的等量與關係。他關於電之同一性及由磁場所引起的極光現象之實驗，純全是這種信念之結果。

焦耳從完全不同的一種觀點出發。他不是爲任何哲學原理尋求證明。在斯特姜的電動機與

發動機上所用的電磁吸引力，大概可以改變蒸汽，使成力與運動之源泉吧，這種可能性抓住了他，他就開始來研究怎樣改良這些機器。在動力技師的配置上，他達到了新的電機。如果要應用發動機於工業上，那它就應該消耗極小的電流，產生極大的機械效果。在電動機的第一次改良上，焦耳想改良電磁圖案，並增加磁力轉動發動機的總量。他最初的短論文，標的日期是一八三八年二月八號，發表在斯特姜的電學年鑑上。他信札是這樣開始的：

「閣下，

我現刻正在作一個電磁機，依我想來，在磁之構造上，以及在工具的全部裝置上，我已完成了影響很大的改良，我希望你允許我把它陳獻於你有價值的年鑑的無數讀者之前。」

接着，他就以精密的大小與圖式，敘述起那有二十個馬蹄鐵的電磁體來，那一共有四十個磁極，各極固定在一環裏。他力說：這種裝置，使刺激各個磁極的電線，密接於鐵；刺激各極的線輪，亦幫助刺激鄰近的磁極；結果，所占的地位就大大減小了；而且轉動的部分都密切地接合着。「對於上述的構造，我作過許多磁鐵，它們的上昇力都很好。可是在破裂的電池接觸上，火花特別亮，在某

些方面說來，那可以認為是不便利的。」

由相同的一系列電磁體所構成的轉動子，包在一個軸上，其轉動與電磁體上的固定環相反。固定環之活動，是因一個電池的電流，而轉動環之活動，則因另一電池之電流。轉動環上兩極之必要的逆進，爲一整流器所支配。

一八三八年十二月一號（那時他纔十九歲）他發出了另一篇論文。其第一節如下：

「仁慈的閣下，

在你有趣味的著作的第二卷第一二二頁上，有我的一段通信，敘述着製作電磁器的方法，那在我看來，是應當恰當地被人採用的。從去夏以來，我就在製作，現在已經完成一個了。計重七磅半；其最大動力，我以一有四十八 *Wollaston*，四吋的鉛板的電池，已能使之每分鐘舉重十五磅至一呎之高了，在其中，活動部分之摩擦是很顯然的，且可如載重量一般計算。結果，我纔知道，使電磁體密接地配置着，其利益是不如我所預想的。」

萊諾爾說，這一段話中，包含得有第一次被記錄的絕對的功之測定，那是關聯於物理學之哲

學的研究的，並且那指出焦耳對於「功」的測定之絕早的洞察，只是他不曾把這個字用來表現他的機器之機械的能力而已。

他繼續努力來改良他電磁體的強度，並謂鐵線束的效果比固心 (solid cores) 大得多。爲比較兩種心的迴轉速度，他設計過一種便宜的發動機，並知固心每秒迴轉百四十六次時，一個電池的線心 (wire core) 迴轉百七十七次，兩個電池的則迴轉二百三十三次或二百七十四次。在另一電磁體上，一個電池的迴轉百九十六次或百九十二次，兩個電池的則迴轉二百八十三或三百二十一次。因此，一個薄片的電動子，若果電流的強度適宜，則迴轉速度通常是要大大增加的。

用有矩形的電線的電動子所得的結果，他在第三篇論文上提出了，至於所以用矩形的電線的原故，爲的是避免環狀線的包裹上所白費的那種空間。矩形線的電動子，迴轉次數是百六十二次，而相等的一種固心的電動子，卻是百三十次。以後，他就更進一步來研究磁之構造與屬性。『鐵對磁的瞬間感應之抵抗，異常重要。』他知道，一塊鋼磁，能够吸引在半吋的距離上，以三十二哩的力附着於天秤臂上的一塊小磁石，並能舉重至六十盎斯。他有一個電磁體，在半吋距離上的吸引

力只有五·一哩，但能舉重九十二盎斯。根據這種測定，他爲電磁體之有效的設計提出了種種的規則。

在他第四篇論文上，（時間是一八三九年五月二十八號，）他敘述着一個電流計，是他用電解去計量過的。使磁針偏開的電流，通過一個水電量計，偏用之程度依發出的混和氣體之體積而定。用這種裝置，他測定出有各種強度的電流的無數電磁體之吸引力，並把他的結果製成了表。從這些數字，他演繹出了一條新定律：『兩個電磁體相互間的吸引力，直接比例於鐵所接近的電力之平方；或者，設E表電流，W表電線之長度，M表磁引力，則 $M = E^2 W^2$ 』

在這篇論文的結尾上，他寫道：『我幾乎不能懷疑，在推進器上，電磁最後可以代替蒸汽。如發動機之動力比例於其磁引力，而此吸引力又爲電力之平方，則電量愈大將愈經濟，結局發動機之消耗也將減少。然而，電磁效果會減少這種預期到甚麼程度呢，還應該決定。』

這一段話，表示焦耳對永恆運動還不曾發現任何根本的反對，而且他相信，電機的將來，對於他的研究，將成爲重要的也許是主要的刺激。

在其次的兩篇論文上，關於他的新定律，他提出更多的試驗，並敘述着一種關於電動機的新計畫，說那「使我能够容易地把電磁體安在不同的位置上，好像它們各個線輪是隔離開的一樣，因而我又能够使電流在數量上與強度上配合起來，這就可以用來實驗了。在我以前的試驗上，對於它之完成，我都異常高興。」

在寫這一段話的時候，焦耳是二十歲。他不用原理而製成了一個可以加減，可用以實驗的電動機，並且測定了它的效力，真是種驚人的成就啊。這種成就，可與近代研究上，機械師們所完成的壓力可變的內燃機關相比較，且表示他思想之成熟是超乎他那種年齡的青年的。他的數量的方法，在心理學上有極高的興趣，因為那與通常的青年心理是相反的。青年的天才家，一般地都是對於性質的觀念發生興趣，以後在中年時代，纔用他所獲得的精確測定之技術來加以說明。對於精確測定，極年青的科學家差不多常是低能的。焦耳在青年時代就有中年時代的測定之熱情。他早期的論文，顯出對於測定之奇異的天才，同時又有極高的手腕，構造的發明與明晰的思想。他所寫的英文是很好的，而其對於結果之信心，亦出人意外地超羣絕倫。青年時代的得維，對於結果也有

信心，但其信心一部分是從他浪漫的精神發出來的。焦耳的精神是古典的，故其信心之性質更爲驚人。古典的思想方式，如果不根據正確的事實，那是異常可笑的。焦耳之所以應用得圓滿成功，是因他的事實正確。

在他第七篇論文上，他舉出一大批的表，其中包含得他最後的電磁機的完成之考察。「電流之相對量……此等數量之差異……每秒呎中旋轉電磁體之速度……包含摩擦在內的功……用鎂一磅舉高一呎時各磅之作用」諸如此類都記載得有。

「計算功之總量時，我發現：一二·四的電流恰恰足以使機器運動；因離旋轉電磁體之軸的距離而引起的摩擦，等於常衡十盎斯；不問速度如何，同量的電流，常能正確地克服同量的摩擦。於是，在以此爲基礎，以計算被他量的電流所引起的力的時候，我覺得滿意了。在第五格中，根據以一定的電流來分解水，就把作用計算出來了。我一定要研究，摩擦是被認爲功之一部分的，而無論何時，動力自身如不足以轉動機器，則超過滑車而投到軸上的重量，便提供了必需的助力。」

在這一節中，他之用「功」與「作用」這些字眼，自然是表示把工業技師所用的這些術語

用在物理學來，人類活動之一巨大部門開始影響其他部門的時間，常常不能明確地斷定，但焦耳所用的這些字，在這兒，卻明白記載着工業技師們所用的「功」與「作用」這些字走進物理學的時間。在工業工程成長的時候，「功」與「作用」等概念，遂發展成爲機械活動之經濟價值之尺度。它們是在物理學以外的。在他分析電動機的運動原理之時，焦耳就實際上把它們引進物理學裏來了。

在這篇論文中所舉出的迴轉試驗之數字，表示電線上之電學的感應抵抗，是由於機器之運動。當發動機爲一恆常的電池所開動之時，速度若增加，力就減少。這種感應效果，使電動機之速度受一根本的限制，使它不能成一繼續運動的機器。感應抵抗之電學效果是法拉第發現的，據萊諾爾說來，焦耳因爲不知道這個事實，所以曾想以兩年的時間，來完成電動機，後來也許因爲剛剛讀到法拉第的論文吧，就知道這件事情了。焦耳說他的數字「異常明瞭地指出磁電抵抗之效果。爲完成電磁機，這種抵抗是第一種障礙；這種障礙能够克服多少，動力就能够增加多少。因此它要求我們第一次去注意它。」

在他下一段話中，焦耳對於現象之數量方面的天才就表明着。他不滿足於現象存在之認識，而立刻數量地去敘述它。他說：

「在每個表中，比較速度與電流之差異，一般的結果就是：抵抗電流的磁電強度，直接比例於磁或電（這兩者是一個東西，電誘導磁）所增加的速度。」這是說，在機器中，克服感應抵抗所消耗的電作用之總量，比例於電流與迴轉速度之平方之積，且比較於機械效果。所以論文中所包含的資料，指出為電動力與電流之積所測定的電作用，等於機械效果，且等於電流所由產生之化學效果。

在他第八篇論文上，（時間是一八四〇年八月二十一號，）焦耳討論電測定及磁飽和對電磁器的完成之影響的問題。關於測定，他說，「理解實驗及比較實驗之巨大的困難，（如果不是不可能，）一般地產生於機器之不完全的敘述，及用以決定電流的數字之任意與模糊。在科學之初，這樣的實踐是可以容恕的；但在它現今的進步狀態上，更大的精確與妥當卻絕對必要。因此我自己決定把我舊來的數字拋棄，而在一種單位的基礎上來表現我的結果，那種單位立刻就會科

學化而爲人所承認。」

他說，法拉第根據電解得來的電度 (Cathode) 標準，是從來所提出的唯一標準。「然而，因爲我不知道它已被用於各種電學的研究上，（連法拉第自己的那些研究也包含在內，）所以我毫不躊躇地去展開我認爲更適當而且一般地更有利的標準。」

於是，他把一種靜電度定義爲恰能分解九喱之水的數量。流電度則爲每小時內所傳布的同等的數量。「如在電力學中一樣，在那兒導體之時間與長度皆是基本物，指·示·電·力·度·或·電·動·量·度·的，是·一·小·時·中·經·過·長·度·一·呎·而·傳·布·的·同·一·的·數·量·（靜電度）」他如次地說明他之選擇單位：「因9爲水之原子量，故此度怎樣容易計算電化學之分解，是很明白的。我可以從雕刻的電鑄板舉一個例：設一依定比例而分度的電流計，被包含在迴線之內，則祇消以三十二（銅之等價）來乘它的標度，及以作功所要的時間來乘積，就得到沈澱着的銅粒之重量；這樣一來，除非計算之結果已經得到銅之固有量的時候，是沒有機會來使過程停止的。」

萊諾爾徵引這些假數，來證明焦耳是科學中現時的絕對單位系的創造者。雖說不是絕對單

位的發明者，但焦耳的系統，是歸於實際上被人採用了一類。

在二十一歲時所寫的這幾段話，表明焦耳天才之性質。它們表示出對科學的實驗法之需要之一有力的聰慧的把握，一種天才的選擇，一種對於工業技師的需要之理解，一種偉大的創見。但它們最漂亮的性質卻是穩重。既不依仗權勢，又無同聲相應的學術團體，而獨自個在曼徹斯特污穢的工業環境中去沈思出它的意義來，這就表示出他的高尙。

一八四一年二月十六日，焦耳在曼徹斯特維多尼亞美術院作他第一次的異生沒多回的公開講演。在敘述過他的研究之後，他發表他對於電機之將來的意見，並發表了一種鐵磁性之理論，其根據是他的電磁體之研究。關於電動機效力之理論的限制，其第一次的說明，他歸諸雅可賓（Jacobi）接着說道，因為雅可賓不曾「確切敘述他機器的作用，」所以他纔造了一個實驗機器，可以提供確切的敘述的。

「用我這個機器，只要迴轉磁的運動速度是每秒八尺，則在格羅夫電池中所消耗的每一磅鋅，所產生的機械力（摩擦包含在內），便等於提高三三一，四〇〇磅的重量至一呎之高的力。

『現刻最好的康華爾式的 (Cornish) 蒸汽機，燃煤一磅所得的作用，大概是舉重一，五〇〇，〇〇〇磅至一呎高，約爲用我的電磁機，費鋅一磅所能得到的最大的工作之五倍。這種比較對於我是大有不利的，簡直使我承認，我是幾乎絕望，不能把電磁吸引力弄成經濟的動力源泉，因爲雖說我的機器是異常完全，而我卻不知道如何去改良各部分的裝置，以使一磅鋅所生的作用，超過最好的蒸汽機燃燒煤一磅所生的作用。縱使已經得到了改良的方法，但所消耗的鋅與勵磁流，在與煤價比起來的時候，卻貴得太多了，所以普通的電磁機，除了用於極特殊的目的之外，不能有任何用處。』在這一節中，焦耳清算了他最初的研究，即改良電動機之實用價值的企圖。經過三年的熱切應用之後，他證明電動機之將來，比他原來相信的還更要簡單。偶然地，他發現了大批關於磁石與電磁的新物理知識，並把機械學上的絕對測定法輸入於物理學之中了。

現在，他的興趣從機械學轉到物理學了，但他還是把新數量法帶在一道的。

敘述過他研究電動機之效力結果以後，他繼續講演關於鐵磁性的某些新實驗。有一位曼徹斯特的友人，他抱着這樣的意見，說鐵棒磁化之時要膨脹。縱使只經過一個短距離，而因膨脹可強

力地發生，故它應被用爲動力之源泉。他找到一根兩呎長的鐵線，在以一電池之電流使之磁化之時，遂增長了千分之三十三吋。

「考察上述現象的好方法，是固定電磁體之一端，而以顯微鏡來檢查其另一端。於是知道其增長是突然發生的，好像是因輕擊另一極而發生的。膨脹雖極微小，但的確很迅速，可以感觸得到；如將電磁體垂直地置於一堅硬的彈性體（例如玻璃）之上，則立刻可以聽到，它任何時候都在輕輕地跳躍，以接近電池。」

「如將電磁體之一端置於耳際，則任何時候都可聽到一種清晰的樂聲，或接近電池，或離開電池——這是鐵分子擾亂之突然性的另一證明。」

「關於應用新力以運動機器，我所得到的結果只是這樣。」

講演之終結處是鐵磁性理論，其基礎是安培（Ampere）理論及磁伸縮現象。他假定在鐵原子周圍有「電氣層，運動於平面之中，與磁軸成直角。」他假定「繞每一原子迴轉的電氣，有種離心的傾向，」由以說明磁性飽和。其迴轉速度爲此力所限制，故磁化度亦受限制。

他指出道，不幸這種鐵原子棒之磁化，應產生一種縮短現象。若干年之後就發現，極度緊張的鐵棒一磁化，就縮短了。

他於是來研究磁鐵原子模型之可能的屬性。他想像：『假定這些複合原子之間的空間，是爲振動狀態的熱以太所充塞，或爲原子自身之振動所佔據。』

鐵中磁力因熱而破壞，他說是因爲原子周圍的磁氣層與電氣層，爲原子的熱振動所擾亂了，所以原子不能上昇到一個方向。

他假定炭原子與鐵原子結合，使磁氣層與電氣層傾向一邊，所以磁力有種永恆的上昇現象，由以說明鋼的韌力。

一八四〇年，焦耳對於電磁機之物理學的興趣愈益增高，其機械學的興趣反減少了。他已經測定過它們的作用，它們所產生的功。現在，他就想測定它們運動之時所產生的熱。這好像是種純粹的哲學的興趣，因爲他早已下過結論，說電動機在工業方面是很貧弱的。他徹底研究流電所生的熱，並把他的結果寫成一篇論文，送到皇家學會去。論文的撮要在一八四〇年十二月十七日宣

讀過，並在皇家學會會報上發表過；但全文並不會發表，雖說其中包含得有許多實驗，他曾由以形成他的定律，即導體中電流所產生的熱，比例於抵抗與電流之平方之積。夏斯特 (Schuster) 認爲，皇家學會的評判員，不相信這樣重要的一個定律，在僅僅五頁的篇幅上所敘述的實驗中，就能够建立建立起來。

大概是關於這篇論文的吧，蒲萊菲說道：『當焦耳把他的實驗報告送給皇家學會的時候，那篇論文被夾在旁的論文中，送到惠提斯東爵士那兒去了。惠提斯東是我的密友，是位異常聰明的人，又是個好的裁判者，但在那時候，那個發現還不會打進他腦裏。整個星期日的下午，我們在班斯場 (Barnes Common) 散步，討論那些實驗，及其對於科學的影響，（如果真實的話。）但我所有的論據都不足使我朋友相信，而且我恐怕皇家學會會因而不認識這些研究，並拒絕把它發表。』

一八四一年，焦耳在哲學雜誌上，關於這同一的資料，發表了一篇長得多的論文。論文的排列方式像法拉第的一樣，又暗示出法拉第的電學研究集第一卷（新近纔發表的），對他有很大的影響。

據夏斯特的記載，有一次他曾問過焦耳，當他知道皇家學會只願意以摘要的方法發表他第一篇論文的時候，他自己是怎樣的感覺。他回答道：

「我毫不詫異，我想像得到倫敦的那些紳士們，是圍坐在棹子周圍，相互告語道：「在那個鄉村裏人們都在正午進餐，從那兒會有甚麼好東西來呢？」」

在哲學雜誌上所發表的關於他結果的敘述，分成兩章，共七十五節。開始他說，科學中有些事實，比起確定熱與電的關係要更為有趣，而且他希望他的結果會有充分的興趣，足以使他把它們進呈於皇家學會之前。

把電線不絕緣地浸在水裏，而記錄其溫度之上升，就可決定它的加熱力。凡可知的電流量，其通過水中，皆不縮短，因「氫之進化或金屬之酸化」了無證據故也。他「以鳥羽輕輕攪動液體，繼執寒暑表中軸之一端而懸之，使成垂直之狀，」而於水平面觀其水銀柱之頂點，遂確實測定溫度為華氏表十分之一度。

用這種裝置來測定熱之增長，及用電解定度的電流計來測定電，他直接就得到他的定律，即

是，在一定時間電流所增的熱，比例於導體與電流強度之積，他第一個註解是：「上述定律異常重要。它教我們正確地使用那些工具，由電流所生的熱量以測定電流。」他第一個思想是，這個發現將如何影響測定科學，而這就特別表出他智力之一主要特徵。

論文之第二章，敘述電解時所增加的熱之測定。他想測定電池中所生的熱。他小心地考察機械各部分之熱容量。而在不能由各種特殊的熱之表格來計算它的時候，他就由自己的經驗來決定必須的資料。他覺得「最方便是採用」一種「抵抗標準」。以粗○·○二四吋的十呎銅線來製一線輪……其時傳導之抵抗名曰單位。為判定其加熱力，我作了三次實驗。

本質上不電解的一切熱源消去之後，他指出「因真正的流電作用，於一定時間內生於任何一對之中的熱，比例於該時對傳導之抵抗乘電流強度之平方。」

氧化鋅溶解於硫酸中，並不變為電流，所以他在附屬實驗中來決定此種反應所生的熱量，並由電池所生總熱中減去之。並且由放射與傳導所損失了的，也加以訂正了。

電池中所生的熱既已研究過後，又來研究電解電池中所生的熱。在這種電池中對傳導之抵

抗，及對於電解之抵抗，他加以區別。他第一次決定後者的數量。於是他又發現：因抵抗傳導所生的熱，遵從同一定律。

結論：『如一定強度的一流電對之電極爲任一單純導體所連結，則全部回線所生的總流電熱（但常須該對中不發生局部的活動）不問對傳導之抵抗爲如何，將比例於產生電流之原子數（無論是水或鋅）』

他提出兩個更有關聯的結論，於是說，他的結論肯定了柏齊利阿斯（Berzelius）的提議：『燃燒所生的光與熱，爲可燃體與氧間之放電所引起，而有了氧，纔有化合作用；我認爲，由此種或他種化學過程所生的熱，都是抵抗電傳導之結果。』他關於氧中鋅屑之燃燒的未刊論文，及克勞福德（Crawford）的氫氧混合物之爆裂，俱支持這種提議。

他知道，培爾蒂葉（Peltier）曾經說過，電流可以產生「冷」。『然而，我又有點懷疑，說明……結局也許可得之於次要特徵之作用哩。』

他其次四篇論文，補足他卓越的發現——原子數、熱及有關於電解迴線的電間之數量的關

係。

其第一篇論文是論燃燒熱之電學的起源，曾於一八四一年十月二日宣讀於曼徹斯特文哲學會。這是他在該會所宣讀的第一篇論文。『道爾頓也在會，他生平感謝幸遇論文之作者。』一八四二年一月二十五日，焦耳被選為學會會員。

論文中記得有大批的實驗，是關乎燃燒熱及流電池中成極作用與吸收作用之效果的。

第二篇論文談的同一題目，曾於一八四二年六月二十五日，宣讀於不列顛協會之曼徹斯特會議上。他說，他的實驗業已證明『二原子結合所生之熱，比例於通過它們的電流之電動力，——換言之，比例於彼等化學親和力之強度。』他說，因熱消失之故，他對以前論文中的數字之正確性曾經懷疑過，但因後來與杜隆 (Dulong) 之謹慎的實驗比較，又把它們確定了。

萊諾爾指出，這是焦耳第一次對一個實驗結果稍微有點懷疑。在他最初三年的研究期中，他的確信從未顛覆過。這顯露出焦耳心理之一最大特殊點。說到早熟的天才，他是絕好的例子。

他更以得維與柏齊利阿斯所提出的電學的化學親和力論的術語，來說明他的結果，但還不

相信由化學化合所生的熱，是機械的功之尺度，可用以分解化學地化合的原子，而且它又不依存於影響分解的特殊動因。

其次一篇論文是論電解水時所生的熱，於一八四三年一月二十四日，宣讀於曼徹斯特學會。這像他早期的論文一樣，顯出那同一的卓越的實驗技巧及明晰，但更有些特徵，表示出對於現象中當量性之研究。在有一節中他說，「如果對電解之抵抗，因化學變化而增加了，不會在別處計算出來，那就證明迴線力之部分消失，不與結果相應。我們將要發現，這是情形不同使然，而在熱之生長中，在過多抵抗發生之處，都依然有種確實的當量。」

他指出，為分解水為氧氣與氫氣所需的電壓，等於丹尼爾電池 (Daniel's cell) 的電壓之一。三五倍。這個數字「很近似地表示分解水原素所需的強度或電磁力，及彼等所消耗的氣態。這是說熱變為「潛在的」，而對電池強度之反應，其發生又並不產生自由熱，以丹氏電池之電壓為單位，則格羅夫電池及斯密電池 (Smee's cell) 之電壓，遂為一·七三二及〇·七三一。在格氏電池中，白金是在硝酸中，且與稀薄硫酸中的汞化鋅結合，在斯氏電池中，則是純粹的白金，與稀薄硫酸

中的汞化鋅。因此，他們的電壓「表示陽性金屬對非氣態的氧之親和力。因為使水中之氫氧分離，同時就是使氫與白金中幾乎可認為自由的氧結合，而且這些作用相互中和，所以每一陽性金屬中之電流強度，極近似地表現它對非氣態的氧之親和力。但在斯氏裝置中，卻發生兩種事情，阻礙其親和力之結果。其一為分解水原素所需的力，其一為使氫成氣態所需的力。因此，用鋅的時候，我們所有的是一·七三二減〇·七三一，等於一·〇〇一……我們要以一·〇為電動力……那是分解水原素及使氫成氣態所需要的。」

考察鋅與硫酸鹽溶液之電解，遂知使氧氣從鋅分離所需的電壓，是二·一八八。

「可是，我們知道，非氣態的氧與鋅之化合物的強度是一·七三二。所以二·一八八減一·七三二，等於〇·四五六，即氣態的氧所消耗的強度。」

再考察銅與硫酸鹽之電解，結果就是：「我想我們可以〇·四五為氣態的氧所需強度之近似值。」

「我們已經說道，分解氫氧及使氫成氣態所需的強度，差不多恰恰是一，故依上之計算，一·

四五卽爲水之電解所需之強度。這與一·三五並無多大差異。……奇怪的，是確定這同量的熱，是否可爲八哩氧氣之力學的凝結所產生。」

如萊諾爾所說，這句話表示焦耳早已注意到，爲完成一種可以力學方法還元的動作，需要電解作用的電池之一部分電壓。

換言之，他已經知道，電池中的某些電能，在使電解所解放的氣體分子運動之時，已經消耗了。沒有動能的非氣態氧分子，與有動能的氣態氧分子之間的差異，證明出來是主要的端緒，足以發現熱功當量。

在他論文末尾的諸觀察中，他說明有三種障礙，足以阻止電解電池中之電流對傳導之抵抗，這產生熱；「對電解之抵抗，不需要化學變化；單以化學拒力產生，」這產生一種「電池強度中之反應，」只要它存在那兒，它就產生一種熱之增長，「等於電池所喪失的熱力，是從縮短強度產生的；以及對伴有化學變化的電解之抵抗，」這因其反應，遂產生「變爲潛在的因而在迴線上消去了的」熱。

「所以不論我們怎樣安排流電裝置，又不論我們爲電解之故在迴線中包含多少電池而全迴線之熱量，卻可由全部化學變化來精確地計算。」

「電流之機械力與熱力，在每一電池中，各爲電解之當量，而比例於其強度……故電流之機械力與熱力互爲比例。」

「磁機引起電流，它又使我們能够用電流去把機械力變爲熱。我一點也不懷疑，把電磁機插入一個電池的電流之中，熱若愈見減少，則結果就產生當量的化學變化，而比例於所得的機械力。」

在標明爲一八四三年二月十八日的腳註上，他說他正在試驗這個命題。

在論文的末尾，他表明他的意見，說他「毫無疑問地」證明了得維與柏齊利阿斯的電學的化學熱論。

一八四四年二月二十日，他在這篇論文上加了一個重要的附錄，其內容，在我們敘述過他以下兩篇論文之後再來談。

在一八四三年一月與八月之間，焦耳依照他論電解水時所生之熱一文的提示，把電磁機放在一個流電迴線中，來研究熱之增長。同年八月二十一日，他把這個研究的記錄，送到科爾克（Calk）那兒的不列顛協會的化學部去，他在那裏面說道，『我們不把熱認爲一種實體，而認爲一種震動狀態的時候，那以下的事情就好像沒有理由，爲甚麼它不爲一種單純的機械活動所產生，譬如說，像在永恆的磁極之前，爲電線線輪之迴轉所產生的一樣。』可是，須得證明，包含一個電動機的一部分迴線中熱之增長，不是因爲另一部分迴線中吸收了等量的熱。

以前的實驗留下得有『一點可疑的事，即不管所考察的熱是產生的，抑只是從線輪變來的，線輪（磁電誘起於其中）自身卻正在變冷。』他自己關於水之電解的實驗，指出流電池所增長的熱，比例於同時的化學變化，而『變爲「潛在的」熱……是以不如此就要在迴線中成爲自由狀態的熱爲代價的，——於是發生許多事實，夾在其他的一起，似乎可以證明不是熱之生長，而只是排列……』

柏爾蒂葉發現，因電流由鉍過到銻所生的冷，也是種麻煩的事實，因爲它證明『熱電所生的

熱是從熱變冷，並沒有產生熱。所以我決定努力掃除那關於磁電熱的不確定性。」

他找到一根長約九吋，直徑約二吋的玻璃管，並閉其一端。他用錫箔把外部包裹起來，使放射從內部發生，又在管子上套上些活動的木環，然後用法蘭絨把它們綑好。在空氣部分，熱是絕緣的，而各個分離的環則在空氣中引起對流。磁體是用六塊鍛鍊過的環鐵造成的，每塊長八吋，寬一又八分之一吋，厚十六分之一吋。每塊都用油布隔開，又用油絲線纏起，並包以厚十八分之一吋的二十一碼銅線。

磁體放在玻璃管中，它與管壁之間的空間，又充滿以水。

「繼續攪動水，使熱均等傳播，然後用一極精確的寒暑表來計算它的溫度，於是我就斷定溫度之變化約等於華氏表五十五分之一度。」

隨後把管子封閉起來，使磁體蜿蜒線之末端穿出封口之外。這要迅速地安穩，以便它可以在強力的電磁體兩極之間的橫斷軸上迴轉，兩根電線則與一水銀的整流器接觸，以便流電流可通過迴轉電磁體之線輪而發出，並可以一電流計來記錄其強度。使管子與其磁體迴轉十五分鐘，

迴轉速度每分鐘爲六百次。於是迅速地打開管子，並測定其溫度。在他第一次實驗中，他發現，當迴轉電磁體之線輪與其勵磁電池連接之時，水之溫度增高華氏〇・〇三度，如不連接之時，溫度就降低華氏〇・〇五度。在第二次實驗中，數字是〇・〇七與〇・〇五。故平均溫度爲華氏〇・一度。

現在，他又用一個更強力的電磁體來包圍迴轉管。結果是「鐵中之磁性高於其他一切，這是我以前就證明過的。」他用這個大磁體所得的平均溫度，是華氏一・八四度。

他測出溫度之上昇，只由於鐵心之迴轉，且只由於線輪捲，並指出「迴轉於磁極之間的鐵棒所生的熱，比例於感應力之平方」及「磁電機線輪所生的熱比例 (caeteris paribus) 於電流之平方。」

他分析發電機電流強度之變化所引起的熱之悸動性，說是來於許多的變化。

他進而「考察流電電流所生的熱，在這些電流磁誘導所阻止或促進之時。這祇消安個電池在磁電電流中就夠了：於是，因使車輪轉動於一方面，我就能够抵抗流電電流，或使車輪轉動於另

一方面，我就能因磁電之增加而增加流電之強度。在前者，機械獲得電磁機的一切性質；在後者，它現出正相反的現象，即機械力之消耗。」他發現，當丹氏電池與迴轉磁體連接，而迴轉相反之時，電池所發出的電流，可以迴轉三七〇次的迴轉磁體所發出的電流來比較，如整流器上火花之消失那樣『美妙地記錄。』

流電電流與電磁電流所生的熱效果是不同的，他加以分析過後推論道：『因此，在磁電中，我們有種動因，能以簡單的力學方法破壞或產生熱。在這篇論文的後面，我將努力在絕對的數量關係上把熱與機械力結合起來。』

『最有興趣的對象，是研究與機械力間所確定的關係，是否獲得或喪失了。爲這目的，只須重覆前述的某些實驗，並同時確定轉動機械所需的機械力。』

『爲完成後一目的，我便求助於一極簡單但最不容易錯誤的裝置。』

那是纏在輪軸上的一對絲繩，其末端穿過滑車，而與承重盤連接。

以這種裝置，他遂能使動力從下落重力變爲磁電電流，繼使其效果與線輪之抵抗相反，遂使

電流變爲熱。後來他又把這種裝置採入他那有名的器械中，以測定水中轉動的槳漿所生的熱之機械的當量。以電磁傳導爲媒介，機械的功遂變成了熱。

在每一組實驗中，每一承重盤皆須承重五磅三盎斯，以便其輪線之末端與電池連接之時，使磁體每分鐘迴轉六百次，但如線輪不相連接，則只須承重二磅十二盎斯，以克服「純爲摩擦與空氣之抵抗」所提供的抵抗。這些重要的差異，各等於四磅十二盎斯，故由其下落而產生磁電。焦耳的單位，它們所產生的電流是 0.983 。他從以前的實驗算定，這樣的一種電流，在管中可使溫度上升華氏 1.85 度。『但因迴轉電磁體線輪之抵抗，對全電流之抵抗爲一比一·一三，故全傳導電流所生的熱』爲二· 09 度。『此外，迴轉電磁體之鐵所生的熱有 0.33 度，整流器處的火花所生者有 0.04 度，故總數爲二· 46 度。』

在以前一次實驗中，他曾測定整流器處火花所生的熱。

依他計算，玻璃管，水與電磁體的熱能，等於水 1.14 磅。故一磅之水，能使溫度上昇二· 46 度乘一·一四，即華氏二· 74 度，『而這是能舉四磅十二盎斯垂直上昇五· 7 呎的動

力所曾得到過的。

「故每一磅水所生的一度熱，其當量的機械力，即能舉重八九六磅至垂直高度一呎。」

其他的實驗所得的結果，是一，〇〇一；一，〇四〇；九一〇；一，〇二六；七四二及八六〇。十三次結果的平均數是八三八。

在一八八一年把他論文重印的時候，他暗示他忘記了大靜電磁體中所生的熱，若用他的結果來計算，那也許是很高的。

依熱功當量大小之測定，他計算出，燃燒一磅煤所生的熱，其當量當爲九，五八四，二〇六呎磅的功。最好的康華爾式蒸汽機，燃煤一磅所生之功，約爲一，〇〇〇，〇〇〇呎磅。雖說效果是這樣低，但蒸汽機決不會讓步於「現時用流電電池所開動的電磁機」，因丹氏電池中用「鋅一磅所生的流電電流，其化學親和力之機械力」等於一，〇六一，一六〇呎磅，而一磅煤卻比一磅鋅價廉得多。

在一篇附錄中，（日期是一八四三年八月）焦耳徵引拉姆福德的摩擦生熱論，說「我近來

實驗地證明過，熱是水經過狹管產生的。我的器械是個活塞，穿得有無數的小孔，活動於一圓筒形的玻璃瓶中，瓶中裝有七磅水。用一種機械力，能舉重七七〇磅至一呎磅高者，於是我就得到每水一磅一度的熱，這種結果，異常確定地證明了我們以前的推論。我沒有時間來重複擴張這些實驗，故以這樣的事情為滿足；自然的種種大動因，依創造者的命令，是不可毀滅的；而且，只要機械力一擴張，就常常得到確實的熱之當量。』

他說，他朋友達維斯先生 (Mr. John Davies) 會同他爭論過，因血流之摩擦，動物血管中熱能夠增長。『不成問題的，熱是為這樣的摩擦所產生，』但全機體的熱，歸根結柢，一定是從發生於其中的化學變化得來的。

他設想，如果一個動物去登山，『比例於因此目的而支出的筋肉的活動，則在全系統中，就可經驗到為一種特定的化學作用所引起的熱之減少。』

他認為他論文的結果，須得變更他對於化學熱之電學的起源的意見。『我現在大膽地更明白地說，原子在相互墜落中所擴大的，顯然不是親和力之吸引，而寧是機械力，這決定電流之強度，

因而決定所生的熱量。』這個簡單的假說，說明『爲甚麼在氣體之化合中熱產生得這麼自由，而且因爲這樣，我們就真正能夠認「潛熱」爲一準備活動的機械力，正如鏡錶彈簧被包裹着的時候一樣。』

『我承認在此刻，假說是異常粗糙的；可是我知道。結局我們能夠以精確的數字關係來表現全部化學現象，並能預言新化合物之存在與性質。』

論文的附錄，就是這樣完結的。

八月十五日，焦耳同他的朋友何吉金孫 (Faton Hodgkinson) 到科爾克去旅行，八月二十一日號把他論文宣讀於化學部。一八八五年焦耳寫道，『論文沒有引起多大注意，雖說阿蒲瓊 (Apjohn) 羅塞伯爵 (the Earl of Rosse) 是那年的協會學長，與何吉金孫對它感覺興趣。』萊諾爾認爲，這篇論文中所敘述的那些實驗，在技術上說來是最困難的，從不會有個物理學家來完成過。在科學史上，都的確沒有超過它們的。

莊嚴的實驗技巧，與明晰的思想及哲學的深刻結合，使這篇論文成了焦耳天才之最美麗的

表現。那時他是二十四歲，而且已經努力研究了五年。雖說他與道爾頓、斯科士比 (Scorsby)，達維斯及其他的人熟識，但他的工作在知性上是絕對獨立的。他主要的支柱是他自己的天才同他的父親，他對於他不刊的功績，自由地捧獻了浩瀚的實驗。

在他關在家裏的實驗室中努力研究的那五年間，對於現代電磁、電磁體、電解、熱與熱化學的實驗的及概念的知識，他獲得完全的支配力。在這一一切物理學部門上，他發現了些新的數量法則，而且發現了它們之間的關係，那種關係，是英國科學家沒有那一個曾認識到的。他把他所有的結果都發表過，但沒有人來加以批評。萊諾爾說明道，科學並沒有否認它們，只是人們不理解它們罷了。在現代的實驗科學中，它們前進得太遠了，簡直達到直接認識的地步，而當時那些出色的物理學家，都沒有充分的自信，來表示贊成或反對。無知的反對之引退，是現代知識的指標。「天使怕蹂躪，」在這種場合上，最出色的事情也許是沒有蠢人吧。」

雖說焦耳沒有立刻使同時的人相信他，但他們都愛他而且尊敬他，因為在一八四六年，他們派他當曼徹斯特文哲學會的幹事，在一八四五年，他又被任為不列顛協會化學部的幹事。

他一八四三年的研究，已經使他知道熱、功、電與化學親和力之機械的當量，並且知道熱的動力論之諸概念。他立即把這些觀念應用於無數的卓越的實驗及新的現象概念。他許多結果都成了後此科學之基礎，但它們雖偉大，而在歷史上及哲學上說來，都不如他用以達到他那些新觀念的實驗路向之有趣。當他已經把這些觀念證明了之後，他就能夠比較不很困難地獲得卓越的新知識，因為對於他所正在尋求的結果，他是頗有自信的。在他一八四三年以前的那些最初的研究中，他還沒有很鞏固的信仰來指導他的實驗。他不能不排開蓋然的理論之指導，來考察它們，判斷它們。因此，在早期的論文中，可以明白看到焦耳的天才，在那兒，他既無同時的人的積極支持，又無他所認為大概真實的個人的理論，所以就展現着明晰的思想，深刻的概念同稀有的實驗技巧。他不知道能力恆存法則，所以他不能不判斷他明確的實驗之蓋然性。他不能用對於他所不知道的法則之知性的暗示來補充他手與眼的探求。在給巴爾孚·司徒亞特 (Balfoird Stewart) 的一封信上，馬克斯威爾談到了焦耳：『站在同樣的地位上，為某種真理之愛所逼迫，獻身於微小的觀察，勤勉的操作，精神的勞苦，以使他們的思想如實地明白地與事實相照應者，是很少有的。而那種真

理，雖說尙未定形，他們卻相信可以發現。」他手腕之精妙至今不會有人超過，而他最特殊的天賦卻是他的自信。以不可避免的實驗的把握，既已抓住了自然力之當量性的偉大觀念，及其應用——熱是種運動形態，他就迅速地作了無數深刻的啓人耳目的實驗及概念的論文。他回到他的論文論電解水時所生的熱，並於一八四四年二月二十日加上了一篇附錄。

他用熱爲一種運動形態的理論，來說明液體蒸發之熱，說明化學化合之熱，及其與電解時所需的電力之當量，以及其他的現象。於是他認熱爲迴轉於原子周圍的電氣層所有的動量，並以「外圍」(exterior circumstances)之速度來測定溫度。

他說，這個理論適合於傳導現象，而波以爾 (Boyle) 與馬略特 (Mariotte) 的法則，則適合於彈性液體。『當應用於比熱論時，須得把杜隆與培蒂 (Petit) 法則擴張及於一切物體，……並指出如下的普遍法則：……物體之比熱，比例於爲原子量所分開的化合原子數。……依這個理論，零度的溫度只是冰點下四八〇度，這指出一磅水中迴轉電氣層之動量，等於能舉重四〇〇，〇〇〇磅左右至一呎磅高的機械力。』

這一段話表示發現了絕對零度之存在及其位置。

本年末尾，他把另外一篇大論文送到皇家學會去，題名論空氣之稀薄與凝縮所生的溫度變化，依然只發表了個撮要。

他徵引道爾頓的實驗，說空氣體積壓縮到一半之時，增熱五十度，而作相應的稀薄時，則吸收五十度。『可是，我們關於彈性液體的比熱之知識是非常之不確實的，簡直用不着想從它們去推論增熱或吸熱之絕對量。』爲避免這種困難，他把他的器械用水包圍起來，水之溫度是可以測定的。

因包圍凝縮唧筒與接收室所需要的大量的水，其溫度之變化應該極小，所以要有一個極精確的溫度計。焦耳自己造了一個特殊的溫度計，可以測定華氏二百度的溫度，其造法他也敘述過。水裝在一個夾層的水槽中，夾層之間是空氣。

水重四十五磅三盎斯，其溫度既已記述之後，就把乾燥的空氣吸收到接收室裏來，直至壓力達二十二大氣壓之時。

吸取時間約三十分鐘。水攪動五分鐘，又再測定其溫度。在第一組實驗中，溫度上昇○·六四三度，其○·二九七度是由於唧筒之摩擦，因唧筒活動時，不許空氣接近壓榨器。

由活動所得的熱，經過水，經過唧筒與接收室之金屬以及水槽而傳播開了一磅的水當量於華氏一三·六二八度。依波以爾與馬略特的法則，他算出壓縮所吸收的功，應等於一一·二二〇·二呎磅。以一三·六二八來除這個數字，即得八二三，爲熱之機械的當量。在第二組壓縮中，結果是七九五。

爲確定他的意見，『所生的熱，只是壓縮作用中所消耗的機械力之他種形態的表現。』他在水裏安了兩個幾乎相等的銅接收器，用根管子同活塞把它們連接起來。其一裝以空氣，氣壓約爲二十二，其一則中無一物。水之溫度變爲同一且長久如斯之時，遂開啓活塞，使空氣突入空接收器之中。水槽之水被攪動過，溫度也再行測定了。溫度並無變化。所以焦耳推論道：『當空氣這樣擴張而不產生機械力的時候，溫度並無變化。』

他返覆實驗，把這兩個銅接收管和連通管放在三個分開的水槽中。他發現包圍着接收器

(其中有壓榨空氣)的水冷了二·三六度以前那個空接收器冷了二·三八度而環繞着活塞管的水則冷了〇·三一度。及至使熱傳於冷接收器之中時，這些數字就充分平衡了。

含有高壓空氣的一個銅接收器，有一個螺旋形的鉛管，與活塞相連。接收器與螺旋都放在水槽裏，使空氣經過管子逸入一瓶中，用那個瓶子就可測定空氣的體積。所生的冷，等於使水一磅之溫度減少華氏四·〇八五度的數量。用以壓榨氣體的功是三，三五二呎磅，其熱功當量爲八二〇。焦耳說，這些結果，在以熱爲實體之假設是不能說明的，然而，卻『似乎可以從如下的理論來先驗地推論，在那種理論中，熱被認爲物體的構成分子之間的一種運動形態。』

在論文的結尾，他加上註釋，說他的結果似乎是與加爾諾及克拉伯隆 (Clapeyron) 的見解衝突，他們假定在蒸汽機工作時，熱是不喪失的。『這兒所展開的理論，要求凝縮機關中所發出的熱，將少於從熔鑪傳到鍋爐的熱，而正確地比例於所展開的機械力之當量。』

以這些實驗，焦耳就極明確地證明了邁爾從前所作的假定，即謂，在空氣之壓縮中，所完成的全部的功遂變而爲熱，並不爲在分子內或在分子間作用着的種種物理力所吸收。他對加爾諾的

批評，其發表先於一切熱力學的創立者。

一八四六年，焦耳與斯科士比合作，發表了一篇論文，論電磁、蒸汽與馬，孰較能為動力之源泉。斯科士比於一八四二年不列顛協會曼徹斯特會議之時，曾與焦耳兄弟勾留過，而且『對這種意見非常感覺興趣，那時我正開始研究熱與其他形態之力的關係，我表示我想用一個強力的磁體裝置來工作，他就說他有，並且親切地邀我到布拉福德去，以便同他一道研究，那時他是該城的牧師。』

焦耳不能不擔任最多的工作，因為斯科士比為教區工作所耽擱，沒有多少自由的時間。這位牧師有『許多罕為一人所備的優良特性，既是個有經驗的航海家，又是個成功的地理發現者，勞苦工作的雄辯的牧師，他並且也是個熱心的自然學徒，一個科學研究者。』

焦耳同他哥哥第一次拜訪斯科士比之時，是從柏萊毫斯 (Brighthelm or Brighton) 坐火車去的，『兩個人都坐在頭等車的頂上，他們以前常常這樣幹的。』主人來服侍他們的時候，他們同他一道做，而且有趣的是，不怕就是使人畏敬的雄辯的牧師來說教的時候，焦耳總不敢忘記

他睡眠的規則

以斯科士比強力的電磁體之助，焦耳就從他的電磁機得到了更大的工作量。他發現，最好的康華爾式蒸汽機，『燃燒所生的活力，都只有十分之一。』

一日之間，一匹馬能作二四，〇〇〇，〇〇〇呎磅的功。這其間，牠大約要吃十二磅乾草，十二磅穀子。『依我們自己關於乾草與穀子的混合物在氧氣中燃燒的經驗，』似乎『動物體內因食物燃燒而生的活力，總量之四分之一，即能用以產生一種有用的機械效果，——其餘四分之三，須用以保持動物體溫及其他。』

早在一八四六年，焦耳就去競爭法國科學院所提出的獎金，那是要贈給關於化合熱之最好的研究論文的。因為不能依從競爭規則之故，他的論文就不合格，而且攔了六年不曾發表。其內容與以前那些論文本質上是相同的，論電流所生的熱，及其與燃燒熱之關係。

像皇家學會一樣，法國科學院對於焦耳第一次的報告也處置得不適當，雖說它是在次年接收他熱與機械效果之當量一論文的第一個國立科學社。在那篇論文中，以迴轉於水銀中的槳輪

之摩擦來決定機械的當量。

焦耳的天才與他的生活，成熟於一八四七年，那時他是二十八歲。他在曼徹斯特聖安恩教堂的圖書閱覽室作了一次講演，題名論物質、活力與熱，包含能力恆存法則之一哲學的敘述。開始，他下物質及其惰性的定義。他說明，『使物體運動所消耗的力，出自物體自身，經過全運動過程，而存於物體之中。』他把這種力稱為活力，並加以說明道，若假定它可以破壞，即是荒誕不經的，雖說這是哲學家們的共通意見。舉例來說，如果活力為摩擦所破壞，世界在很久以前就該靜止不動了，因此，在它消滅以前，它不能不變為另外的東西。那就是熱。他曾由實驗證明，功可轉變為熱，而他關於氣體膨脹的實驗，又指明熱可轉變為功。在理論上說，氣體膨脹與蒸汽機中蒸汽之膨脹是相同的。蒸汽機只是變熱為功的一種機械。

「繞着太陽迅速迴轉的地球，它的活力異常之大，如果變為熱之當量，那它的溫度至少比赤熱的鐵要大一千倍。」

他說流星是小行星石，因與地球大氣磨擦，生出很大的熱，這熱就使它氣化了，而阻礙生命之

存在的大氣又爲流星的轟擊所毀滅

貿易風的活力，從赤道附近空氣所有的熱轉化而來。

「在我們的四肢運動中，我們看見熱繼續變爲活力，那或者又再變爲熱，或者用以產生經過空間的一種引力，如人登山時之所爲。」

「因此，我們可以認爲，熱之傳達於物體，事實上是運動量或活力在傳達於物體之分子。」
他於是依這種動力熱論來說明鎔解現象，潛熱與蒸發。

現在焦耳已經從熱、電、化學親和力與功之當量的說明，進到能力恆存法則及其諸種結果之敘述了。他發現這個法則，是長期間完全確定的實驗之結果。他明確而有力地認識了它，並以豐富的想像來應用了。邁爾由於邏輯地考察事實，推論到了這個法則。他不曾提出多少實驗的證據，但認識得一樣明確，而且甚至是以更豐富的想像力來加以應用的。

焦耳知道他講演之重要性，且渴欲迅速地發表。他請求曼徹斯特保護報來印它，但他們只承認出個選本，並由他們自己來選。

焦耳的哥哥，此後二十年間是曼徹斯特嚮導報的音樂評論家，他就勸該報來印出講演全文。該文的前半部，在五月五日的報上發表了，後半部在一八四七年五月十二日。

因爲是在報紙上發表的，所以這篇講演在一八八四年以前都不曾爲一般人所知道。

一八四七年以前，恆存觀念出現於種種方面。三年以前，格羅夫已發表了他力之相互關係的論文。法拉第的指導原理，是他相信種種形態的力之當量。一八四七年，赫謨荷資 (Helmholtz) 發表了他卓越的論文力之恆存，那時他是二十六歲。他說，法拉第的力線 (lines of force) 服從能力恆存原理，並由同一原理推論由萊頓瓶來的放電，有振盪性之存在。赫謨荷資受過焦耳早期的某些論文的影響。這種事實，以及他對英國物理學家們之深湛的讚仰，說不定妨礙了他，使不能直接認識邁爾那些論文的充分的功績。

焦耳與邁爾，都全不知道對方的工作，而作了他們早期的創新的研究。他們個別研究的同點與異點，是同樣出色的。

一八四七年六月二十三日，不列顛協會在牛津開會。跟着他一八四三年在科爾克，一八四七

年在劍橋的那些論文焦耳又敘述着熱功當量的那些實驗他的器械中有一個槳轉動於液體中，這種液體，在一組實驗中是水，在另一組實驗中是鯨油。其結果是七八一·五與七八二·一。

因為焦耳以前那些論文都不大引起人的興趣，所以他這一部的主席就請求他自制一點，少用些話來敘述他的實驗。『我努力這樣辦，而且一點爭論也沒惹起，如果不是本部起來一個青年人的話，報告也許毫無批評地就過去了，而由那個青年人的聰明的觀察，對於新理論就造成了種活潑的興趣。那個青年人就是威廉·湯姆生。』

湯姆生那時是二十二歲，關於數學物理學已經發表了二十六篇論文。他對於這次會議的敘述，稍有不同。他在一八八二年寫道：

『在牛津會議上我認識了焦耳，而且很快就育成了一種畢生的友誼。我聽到他在各部所宣讀的論文，而且感覺受了強力的逼迫，想站起來說那一定錯誤了，因為熱所給與的，譬如說，給與溫水的，真正的機械價值，因溫度的些兒差別，一定比例於其數量之平方。我從加爾諾的法則知道，這一定是真實的，而且這現在是真實的；只是在目前，我稱之為「動性」(Motion)，以免與焦耳

的「機械價值」衝突。但是，在我繼續諦聽的時候，我發現（雖說加爾諾所有的生動而重要的真理並未放棄，焦耳的確有一種偉大的真理同一種偉大的發現，而且要引出一種最重要的測定。所以我就不站起來反對會議，一直等到報告完畢，並在會議終結之時，向焦耳自己說出了我的意見。這就把我第一次介紹給他了。後來在有一次協會的談話會，我關於全部事件作了一次很長的談話，從此以後我們就成了朋友。然而，他並沒有告訴我要在一星期左右結婚，大約在十四天以後，我正從沙漠尼（Chamounix）走下去，想開始旅行布郎克峯（Mont. Blanc）的時候，焦耳正在走上來，他手裏拿着個長的量熱計，不遠之處有一輛車子，內中坐着一位少婦。他告訴我，在牛津分身後，他已經結婚了！現在他正打算去考察瀑布溫度的高度。我們約定幾天以後在馬爾提里（Martigny）會，並且去看喀斯喀·沙蘭哥（Cascade de Sallanches），看它可否解答問題。我們看見它幾乎完全變成飛沫了，他年青的妻子，在她在世的時候，對於他的科學工作有着完全的興趣；在我到曼徹斯特去拜訪她們的時候，她同他待我都異常親切。我到曼徹斯特去，為的是實驗運動液體之熱效果，那種實驗是不幾年以後開始的。」

『焦耳在牛津會議上的論文，造成了偉大的聲譽。法拉第在那兒，且很受感動，但不曾充分透悉這些新意見。那是很多年以後的事，不過也在任何科學領袖開始表示贊成以前。那時以後不久，斯托克 (Stokes) 告訴我，他想當一個焦耳派。』

『密勒 (Miller) 或是格拉漢 (Graham) 或是他兩個，許多年間都充分懷疑焦耳那些結果，因為它們全都依軟溫度一度之小數，——有時是很小的小數。從這樣微小的觀察結果去作出那樣巨大的結論，其大膽，與強向這些結果要求明確性的技巧，差不多是一樣值得注意的，一樣可讚美的。我明白記得，在皇家學會裏，大概是格拉漢或者密勒吧，他簡單地說他不相信焦耳，因為他只有幾百分之一的東西來證明他的問題。』

焦耳妻子名叫阿美利亞·格麗美 (Amelia Grimes)，是一位利物浦關監督的女兒。她與焦耳同居得很短，因為她一八五四年就死了。她們生得有一個男孩子一個女孩子，前者是一八五〇年，後者是一八五二年。她的早死，不幸增加了他易受感動的緘默。他離開他自己的家，帶着小孩子們去住在他父親家裏。焦耳不久又遭受到另外的傷痛，他父親在一八五八年逝世了。其後，一八六

四年，他小兄弟約翰死去。

他異常穩重的天性又遭受了許多旁的打擊。一八五八年，他坐火車從倫敦到曼徹斯特，在納尼頓 (Nuneaton) 附近，因為有條牝牛迷失在鐵路上，所以火車就出軌了。雖說死了三個人，而焦耳卻很驚奇地看到『司機們泰然自若地，好像沒有甚麼事情一樣在吃他們的午餐，而乘客們則幾乎嚇得要死。一位帶兵的軍官異常激動，就在附近田裏不住地揮他的刀。』

出事之時，焦耳正在讀一種數學書。他這個車子弄翻了，他就爬出來，書則蓋滿粉碎的玻璃。

從此他對鐵路旅行非常討厭，且為避免常常到倫敦的關係，就謝絕再被舉薦為皇家學會的顧問。

一八四八年，焦耳被選為屠林 (Turin) 皇家科學院的通信員。這是很有趣味的，在他三十歲以前，竟有外國學院向他致敬了。那時候，意大利的科學團體特別活躍，特別是在電學方面。

一八四八年焦耳發表了一篇短論文，以闡揚他論究流星性質的結論。依他計算，一個六立方吋大小的隕石，以每秒十八哩的速度，進入地球的大氣層內，則它的摩擦就可產生充分的熱，足使

六，九六七，九八〇磅的水之溫度增高華氏一度。

這種熱的最大部分要歸於空氣，可是，只消隕石本身接收到了百分之一的溫度，它就會溶解而蒸發。『隕石可以認為是位置在一陣極熱的空氣中。』他說，如果沒有大氣層，『則任何通常的建築物，都不能提供避難所，以躲避以每秒十八哩的速度射來的極小的微粒。甚至微塵，如果以這種速度飛來，都會殺死任何遇着它的動物。』

在不列顛協會的斯溫西會議 (Swansea Meeting) 上，焦耳提出了種卓越的敘述，是關於他對熱之性質及氣體力學論之意見的，一八四八年，他又把它提給曼徹斯特學會了。他說，他現在承認赫拉帕綏 (Heraclitus) 對氣體壓力的解釋，以為比例於其粒子之活力。把他自己的熱理論與赫拉帕綏的概念結合，並以〇·四九一度爲他對絕對零溫度之最後的考察，他遂算出一個氫氣粒子的速度，在華氏六十度及三十吋的氣壓之下，是每秒六，二二五·五四呎。在華氏三二度的時候，每秒應爲六，〇五五呎。這是氣體粒子的平均速度之最初的計算，且極與最近的決定相合。焦耳說明，水蒸汽、氮、氧與二氧化碳粒子的平均速度，都相反地比例於其比重之平方根；所以，比一

個氫粒子重十六倍的氧粒子，若要產生同一的壓力，應有其四分之一的速度。故在華氏三二度及三十吋壓力之下的一個氧粒子，其平均速度應為每秒一，五一四呎。

一八五〇年左右，焦耳又完成了他對熱功當量之第二次的決定，依他說，以其最大的精確性，他能以符合他前幾年對皇家學會所作的保證。他的論文是法拉第送過去的，他的研究遂為主要的英國科學會所正式承認了。在標準的熱學教科書上，這一般地被人徵引。在其歷史的敘述上，焦耳指出洛克 (Locke)，萊布尼茨 (Leibniz)，拉姆福德得維，法拉第，塞魁恩，格羅夫與邁爾對於熱及力恆存理論發展之貢獻。(註)這以後，就詳細敘述熱功當量之極透徹的決定。

焦耳研究所常常遇到的無聊事，一部分是由於這篇論文。那小心謹慎地摘錄並重述着古舊的工作，而毫未顯示焦耳的天才。那顯出他充分的透徹，而毫未舉例來表示他卓越的能力，即穿過想像的概念以發現新事實的能力，那些想像的概念，是幾節邏輯的論斷同簡單的算術訓練出來的。

一八五〇年把這篇論文發表過後，焦耳就被選為皇家學會的會員，時年三十一歲。他工作之

重要性，雖說不是立即，但很快就爲人所承認了。法拉第被選爲皇家學會會員的時候是三十二歲。焦耳之得早年獲選，說不定是因爲他的社會地位，一個有錢的造酒業者的公子。

一八五〇年左右，焦耳已獲得科學上的聲譽。他繼續活了三十九年，但這期間所作的科學研究之結果，雖說數量夥多而重要，卻不如最初十二年的研究所得者之性質卓越。這是因爲他不能發現另外的研究領域，以提供這樣重要的結果，同時以這樣恰當地適合他特殊的天才。也許這又是因爲他與威廉·湯姆生的友誼之故。焦耳太尊敬湯姆生的數學才能了。假使他沒有盡自己的優秀天才去解決湯姆生的提問，也許那可以使他達到旁的獨特領域，也許他可以在那兒完成偉大的發現，如他在實驗熱論這個以前不爲人所承認的領域所完成的一樣。在他與湯姆生合作的時候，與其說他是個有優秀天才的合作者，寧說他是像個主要的實驗助手在活動。也許一部分的原因應歸於他能力的衰退，因爲他生理上或心理上太衰弱了。

焦耳的概念的及實驗的貢獻，爲熱論之數學的發展提供了資料。這種發展是克勞西斯，湯姆生，郎金 (Rankine) 造成的。因爲他不是個數學家，所以他不能參與這種發展。

熱力學的新理論，說明了熱機效果是怎樣依存於工作溫度之昇降範圍，並指明蒸汽機效果之限制，是由於發動它的溫度昇降範圍之小。一八五一年，焦耳敘述過一種熱氣機，它能够比蒸汽機超過更廣大的溫度昇降範圍而工作。依照他的計畫來開動熱氣機的企圖，實際上並沒有成功，但有趣的是，現代高效果的笛塞爾（Diesel）發動機就是種熱氣機，在這種發動機中，壓縮在汽筒中的空氣，因注入其中的油之燃燒，遂過度加熱了。在焦耳的發動機中，空氣是被壓入一個外熱的容器中，於是過熱空氣纔因活塞汽筒之膨脹而開始工作。

熱力學之發展，要求氣體熱性之更精確的資料。一八四七年，累諾（Regnault）發表了他關於空氣與蒸汽之體積，密度，壓力與溫度的許多有名的表格。他精確的測定，指明空氣雖完全服從波以耳法則，而密度之增加卻稍快於壓力之增加。從這種資料出發，熱力學的新理論，遂指出空氣在經過小孔而膨脹，又不作功之時，應稍稍冷卻。湯姆生一八五二年向焦耳提議，說他應在空氣經過小孔而膨脹之前或後，來測定它的溫度。在預備的實驗中，焦耳指出有冷卻的結果。他發現小規模的實驗不會提供精確的結果，所以他設計了個膨脹器，用三匹馬力的蒸汽機來發動。對於這個昂

貴的機器之建造費，皇家學會提了一筆補助金。

因為機器龐大，焦耳就把它建立在沙爾福德酒坊裏。一八五四年酒坊賣去了，所以他不能不把機器運回他家裏，那時是在瓦利南 (Valley Range) 的橡樹園。實驗室沒有空地地方，一部分機器不能不在野外去運用。他哥哥敘述道，那時期焦耳有好幾個月「沒有時間正規地吃飯，——剛剛跑進來又跑出去了。實驗異常精細，有幾次簡直是在夜裏舉行的，因為實驗室雖在馬房後面，而出租的馬車卻常常要走那面經過，來攪擾他們。」

在氣體熱性的研究上，焦耳與湯姆生一共合作了七年。他們闡明，冷卻結果來自相互輕輕吸引的分子之分離。分子相互輕輕吸引的空氣，因抵抗此種吸引，發生分離作用，把熱吸收了，遂生冷卻之現象。湯姆生與焦耳發見，若使空氣通過一多孔塞而膨脹，則此結果最易考察。

當他一八六一年遷到古特拉福 (Old Trafford) 索恩克里菲 (Thorncliffe) 之時，焦耳又把機器搬了一空。他有一家鄰居，反對蒸汽機的喧囂，並順利地阻止了他，使不能繼續實驗。焦耳深為此種行為所惱亂。他新近纔完成金屬面上蒸汽凝縮之細心的研究，結果便達到蒸汽機的凝縮

機關設計之改良。

這種結果因一八六一年的不幸事件就終止了，此後十年間，他並沒有作多少研究。

除湯姆生·焦耳效果之外，一八五二與一八六一年之間，他作了一些另外有趣的研究。一八五五年，他提出了現今普遍使用的電接法。因費用的關係，第一批實驗是在湯姆生的實驗室舉行的，實驗室在格拉斯哥 (Glasgow)。

把一捆鐵線用木炭包起，通以強力的電流，就把它們接好了。接着焦耳又來接『一些鋼線使成一根，連接鋼與銅，白金與鐵以及其他。我只懷疑，許多時候，過程會有利地廢棄銲接工作……』

一八五六與一八五九年之間，他做了些實驗來證明他的流星理論。這些實驗，出自他與湯姆生合作的關於運動液體熱效果的那些一般的研究。蒸汽表面凝縮現象與流星現象，都歸同一的液體運動原理所支配，這是頗為有趣的。

一八五九年，在不列顛協會的阿柏丁會議 (Aberdeen Meeting) 上，焦耳敘述迴轉量熱計及空中熱電結合的結果。在第一批實驗中，量熱計只是在一根繩子的尖端周圍迴轉。這充足以

證明，急轉所生的溫度高於慢轉所生者。把溫度計接在一個旋盤的軸上，它就迴轉得更快。他與湯姆生合作，結果發現溫度之上升比例於速度的平方，而使溫度上升攝氏一度所需的速度，為每秒一八二呎。

熱電結合是與湯姆生式的電流計相關聯的。依這種電流計的示數，電線每秒迴轉一七五呎時，增加攝氏一度。

每秒三七二呎時，上升數是攝氏五·三度。『因此，若每秒為一哩，則溫度之上升應約為攝氏九百度；若每秒為二十哩，（這是隕石射擊地球的平均速度，）則為三十六萬度。』

他說溫度上升是因空氣閉塞，而與密度無關，所以流星之性質是毫無可疑的。

在焦耳的研究中，受了湯姆生之影響的，是關於固體與液體變形的熱效果之有趣的研究。

依新熱力學，湯姆生已算出變形彈性物質所生的熱度。例如，一塊彈性樹膠，置於脣間而伸長之時，便發生種溫度之感，這是哥夫（Gough）從前觀察過的。焦耳測定這些結果，發現螺旋彈簧在壓縮之時所增的溫度是華氏 $0 \cdot 00306$ 度，而依理論的預料則是華氏 $0 \cdot 00406$ 度。

一八七一年，焦耳發表他一些實驗，名為論擊碎鐵與鋼時之決定的冷作用。一八七〇年的冬天，天氣異常之冷，鐵路裝置的破碎量特別增高。許多人假定鐵與鋼之破碎，是因霜而冷卻。這種口實「被人提出來為某些鐵路公司辯解，」說他們不會詳細斟酌大地硬凍的結果，「焦耳遂出馬來反對這種口實，說『它是偶然事變之常識的說明。』他用些縫針與鐵釘來實驗，證明它們在華氏十二度時，比華氏五五度時更硬百分之十。許多工程師都懷疑，用縫針所作的實驗，對於鐵路裝置的活動，有甚麼適合之處。焦耳為這些批評所激動，並熱心地來答覆。他同旁人論爭，這是很少有一次。

一八七二年，他發明了一個水銀變位抽水機。萊諾爾說這是第一個變位抽水機。變位抽水機的發展，對物理學有非常的影響，其中最為人所知的，是斯普倫格爾 (Sprengel) 氏的一種。若果沒有用這些抽水機所得到的高度真空，則對於氣體放電之現代的研究就不可能，也許電子至今都還不會發現呢。

在一八七三年布拉福德會議上，他被選為不列顛協會的主席，可是前面已經說過，他因為病

的原故，沒有出席演說，並且辭職了。

大約是一八七五年，他開始爲不列顛協會寫一篇長的熱功當量之證明。他不能自費來繼續重作實驗，因他投資虧本，已經貧窮了。因此皇家學會答應了他兩百鎊，以作研究的費用。這次工作之結果，形成他最後出版的論文之內容，於一八七八年提出於皇家學會的哲學報告之中。

同年，他由政府得到每年二百鎊的獎勵金，算是得免於困。

他最後的那些研究，作於他自己家裏，在塞爾瓦達街的十二號，他是一八七七年搬到那兒去的。他用個倉屋來作實驗室，並把機器藏在地下室裏。曼徹斯特工藝學院所有的焦耳筆記簿與機器之豐富的搜集物，就是若干年後故漢唐·該教授在地下室裏發現，並爲學院獲得的。

除了準備出版一部論文全集與論文合集之外，他只做了極少一點科學工作。他變得更加深居簡出，除家屬而外，很少與外人來往，而在長期的疾病之後，就於一八八九年逝世了。

焦耳最大的天才，適於解決一個卓越的問題。這種天才一旦完成，就可成爲完善的工具，以解法適於它這種方式的一個卓越的問題。它可以完美地活動，否則就完全不活動。這就說明了他對

於一個問題的專心致志。他的天才把許多問題拋在下方，而不適宜於它。他對於科學有深刻的審美感。他工作的性質，與達·文西 (Leonardo da Vinci) 的相似。在他們對於完美性的追求上，有着心理學上的同點。他們兩個都回到同一的主題，並孤獨地思索他們接近人爲伎倆的結果，以繼續其精巧的技術，敏銳的思想。

(註) 據說俄國化學家洛摩諾索夫 (Lomonosov) 第一個提出了能力恆存論及氣體力學論的名詞。