

科學圖書大庫

近代物理入門

譯者 王敦蘇

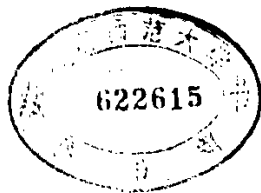
徐氏基金會出版

科學圖書大庫

近代物理入門

譯者 王敦蘇

7011-105



徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鏜

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年二月十五日再版

近代物理入門

基本定價 1.60

譯者 王敦蘇

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

目 錄

第一章	什麼是物理學？	1 頁
第二章	熱 與 能	11 頁
第三章	聲音和振動	28 頁
第四章	光和輻射	43 頁
第五章	電與帶電質點	70 頁
第六章	固體與液體	86 頁
第七章	量 子 論	97 頁
第八章	原子的構造	117 頁
第九章	原子核的構造	135 頁
第十章	原子核變化的應用	171 頁
第十一章	不 定 性	187 頁

第一章 什麼是物理學？

哲學家的工作乃是將編織成人們生活，各式各樣事件的通性反應出來，這些事件包括物質上的和精神上的。他們竭力繪製某種藍圖，祈使乍看之下有所抵觸的外觀顯得和諧，而且透過事件本原的觀察，簡化那令人眩迷的纏結。由於人類是有思想的動物，於是問題就來了，為什麼有生與死？為什麼有善良與罪惡？這都是人類有史以來就爭論的問題。哲學家就要嘗試為這個永遠存在的“為什麼？”找出一個答案來。外貌與實體的本性，真實與虛偽的意義，知識的領域與含意，甚至美感的重要性等，都是使哲學家絞盡腦汁的難題。誠然，這些問題極為廣泛，不易完滿地說明，就是想稍微詳細一點來解釋也不見得容易。我們可能會發現新的觀點，但又怎麼曉得何時才出現一個真正的新里程呢？

科學家的工作則較哲學家來得實際：他們要解釋的不是那永遠存在的“為什麼？”而是要解釋與「為什麼？」同樣永遠存在的“如何？”他們要試圖把一切觀察得來的事實，歸納成一個體系，再假以某些原理，於是一連串有規律的事情便好像必然性地隨着發生。由此，即可建立一種方法，去尋求新的事件，因為由觀察而得的事實對於一個從事科學的人而言，是很重要的，所以，一切人為的原理，其本身必須符合這些事實才行。科學家不必爭論這些原理在絕對意義上的真實性：祇要它們的結果和自然現象吻合，這些原理便屬真實，可以被應用。所以，科學的基本原理，通常稱為工作上的假設。因為設計這些原理的主要目的，在於以他們為基礎，建立一種和物質世界的活動狀

2 近代物理入門

態表面相類似的體制。之後，我們便可以用測量或觀察來作各種比較。到了有一天，能够使一個普通原理的範圍，涉及更廣泛而可以觀察到的現象，那麼，我們又踏上另一進階了。

由此可見，一個科學理論，當已被證實為不够充實時，大可放棄它。這並不致使科學的一般價值減低。現在，且以原子學說作為例子來說明。距今六十年前，大家都認為原子是堅硬的，無法打破的實體，猶如極小型的撞球。元素就是由這些原子所組成的，祇是不同元素的原子也不相同，有其一定的形狀。這樣的見解或假設。可以充分地解釋氣體的性質。因為若假設這些原子的運動符合力學原理，則由數學歸納出來的結果，和從實驗室看到的氣體性質，幾乎是完全一致。再者，若賦於這些原子某種吸引力或親和力，則化學上的一般現象都可以有所解釋了。

之後，有電子的發現，一種比原子輕得多的質點。於是有人提出另一種可能性：不同型的原子都是由電子所組成的。可是，後來發現了放射現象，證實某些原子會放出荷電的質點，例如錒族元素的原子。於是，很明顯的，原子的構造不但包括電子，其本身必另擁有一定的儲藏能量，供給放射時的需要。因為放射性元素可以不需外來能量的供給，而放出能量，問題因而產生了，究竟我們應該承認有內能的存在呢？或是否認能量不減定律呢？

雖然有人曾極力要推翻能量不減定律，畢竟，這定律已被普遍地證實為極有用的，不可放棄的。因此，放射現象這事實使我們只好放棄先前的原子觀念：即捨棄原子是無法打破的，像極小型撞球的說法。原因是一種放射性元素的原子會放射出本身一部份碎片而變變成他種元素的原子。根據更進一步的研究結果，這種現象祇可以解釋為：原子具有像雛形太陽系的構造，原子的質量集中在其中央極微小的核子上，其周遭為電子，分佈在距離核心外相當廣闊的空間。這幅原子

模型，將在本書稍後討論之。到時將提及爲了使原子符合近期的實驗與觀察，所作的巨大改變。以上所述的，也許已足夠說明，我們這兩代之間，對於原子的觀念的轉變，是多麼的大！

評論家對物理學家有這樣的譴責，是否公平呢？：『記得六十年前，你告訴我們原子是堅硬的，既不可分割，又不可打破，是造成一切東西的基本因子，而且一直堅持它是一種清新精美之物。而今天，你又告訴我們原子結構是鬆弛的，很容易就可打破：你講及什麼放射性原子的分裂，可變變成更簡單的原子；你利用迴轉加速器，不祇可以用已知原子製造他類已知原子，而且可製造出迄今仍是未知的新種類的原子。你又說原子的製造和崩潰是宇宙的機構學的主要部份。我們到底應該相信那一種說法呢？上一代接受的理論，下一代乃放棄之。教我們怎能肯定你這一回是對的？』以我的意見，正確的答案是我們不必要求我們的理論有任何絕對的真實性；我們要求的應是一個理論要具備其非常重要的價值。就以近代原子學說而言，假如這理論是真實的話，那麼我們現在利用這理論所獲得的大多數的現象，就會符合我們預期的結果。

在自然界裏，以物理學家的眼光來說，彷彿確有原子的存在，而且，原子的性質就好像我們想像中的一模一樣。舊觀念的原子已往本已可以用來充分地解釋些後來想到的現象，現在這個舊觀念仍可利用來解釋些較簡單的問題，假如捨之而引用原子結構的新觀念來解釋，反而會帶來不必要的繁碎了；話倒說回來，至於要說明原子的變化及原子輻射等情形，就非要用到新的原子學說不可了。對於原子學說，我們並不要求有一個最終定論：新的發現隨時會迫使這觀念在某部份要修正，從新的發現，我們知道某些複雜部份可以簡化之，且簡化之後更顯得有利，不過，今日的學說乃一成功學說，其大部份的內容，或許有保留的必要。這學說是一極佳的工作上的假設，因爲在某些場

合，它會顯示出一從未發現過的定律，有時它會表示出兩不同現象間的關係，而我們以前簡直沒有想到這兩現象是有關連的。它幫助我們將所知事實作一較方便且較合乎邏輯的編排，而且，更指出一條道路，教我們如何探討一些非常有趣的新的事實。由其各方面的功用可見其價值，但這個新學說尚非到了一個最終定論。科學是活的，活的東西即會不斷地進化。

有人可能想更進一步，要求原子，電子和其他基本粒子，乃至已完成的原子結構的藍圖給予一確定的實體感覺。其實重點是在於不論科學家認為原子有其實體或者沒有實體，對於這學說本身價值，毫無影響：如果上述原子等祇屬優雅的虛構，就彷如百分之百的實體，那麼學說本身的作用祇是介紹他們的排列及促進其他的發現。假如有兩個人，先後採取不同的角度來看這個重點，且說兩入同時是程度相當的數學家，之後又同時是能力相當的物理學家，則兩人可以從理論上獲得相同的論述，並且從實驗驗證上也獲得相同的令人滿意的結果。現舉一簡單的例子說明：兩個人對一個政客各持不同的觀點。其中一人認為該政客是受了某種賄賂而支配其行動，另一人則相信該政客是正人君子。儘管如此，假如政客的行為常常表現出彷如受賄；假如其所作所為都受到嫌疑，以這個假設可以成功地解釋他對任何單獨事件的表決；那麼在這個比喻裡代表科學家的態度的人將會說：「我不可能分辨究竟他是否被收買，可是，按照理論來說，他所作所為顯出他已被收買，所以我便採納這樣的解釋。這工作上的假設，使我節省不少腦汁而可以了解與這人職業有關的一切事情。作為一個尚實者，我並不大關心這樣的解釋是否真實。我不能斷定我已將觀察到的結果分類整理以預測在某種環境之下將會有什麼事情發生」。可是，代表哲學家態度的道德家就會致力尋求究竟有沒有賄賂行為的存在，毫無方法，有點超越實情而追求。他所做的祇是一種臆測。這是一個非常微

妙的問題，沒法獲得其最終結論。

如此看來，任何個別的科學理論皆為一種臨時工具。我們就利用這工具從自然界的六塊裡發掘出物質世界的知識。這工具可能隨時被一種改良的製品或一個嶄新的理論所取代，這祇是說當我們獲得一件較優良的工具，效用比原來的工具更廣泛，我們便捨棄現在的工具。拒絕使用現時工具，因恐日後會有新工具發明，乃愚笨之舉。同樣，不肯利用一個已被改良，可以解釋許多事實，並且可提供出許多研究新線索的理論，祇因它有所瑕疵，不能解釋一些其他的事實，也是愚笨的。舉一隱喻，在科學的歷史過程，衆所周知，有許許多多美麗的學說被一些微不足道醜惡事實所扼殺。但這些學說的消逝並不徒然，如果在其被推翻之前，他們已經克服了無數的衝突事件，使之成為安份守法的良民。通常，一個學說或理論並不會真正完全逝去，它往往會克服舊的困難，而以某種嶄新的姿態復活起來。

所以，任何宗教信仰與科學理論的分野，是前者給予信仰者一個絕對真理的基本概念：這是他們成功或失敗的準則，放棄這個真理將是不虔誠而且有罪惡。但科學理論，只要有一天還有用途，它便是真理。就算是最佳的理論，科學家祇把它視為一種設法維持的工具，幫助發展他的工作。他仍然不斷地尋求更完美更廣博的真理。

為了顯出科學假設的實用性，這裡將把物理學與哲學的差別以最細微的方法劃分出來。在威廉占姆士學派（The School of William James），有幾位哲學家認為，當我們說某種信仰是真理，意思即說這種信仰可以沿用之——一切真理都要由經驗來證實，除此別無他法，正如科學的理論一樣。誠然，真正的哲學家不能忽略科學的方法與求證，就好像他們從事探討知識的本性和演繹過程的性質時，所持的態度一樣。在另一方面，物理學家的思考則有所限制，他們的興趣是限於採取合乎邏輯的觀點，從事探討他們自己的假設的性質。

古時候，哲學這個名詞包括的意思很廣泛。而今日我們所稱的物理學，以前是叫做自然哲學（蘇格蘭仍用這名詞，且我們很可能會再度採用之）以和道德哲學有所區別。上面所說的要領，可以很適合地用偉大的數學物理學家傅立葉氏的一句話來表示：「*Les causes primordiales ne nous sont pas connues; mais elles sont assujetties a des lois simples et constantes, que l'on peut decouvrir par l'observation, et dont l'etude est l'objet de la philosophie naturelle.*」

每當談到科學，我們都把它看成一個整體。雖然在我們的心目中，或許無生命物質科學所含科學的特性遠較生物科學為重。後者則可以應用較精確的方法與測量。在某些科學裡如天文學和物理學，一切的假設是以簡明的數學方式來表示，這些假設的結果可用嚴謹的數學程序歸納出來。那些方程式不祇用來預測什麼事情將會發生，而且要準確地計算出其量的大小。從觀察與實驗得出來的精密測量便拿來與理論的結果，逐個比較。因此，在天文學裡，我們並不以只知道行星環繞着太陽而運行就滿足；我們需要一套理論，可以計算出各行星因相互間作用所產生的干擾，進而導出各行星與彗星的準確軌道。在好些極精微的情形之下，牛頓與愛因斯坦的力學系統只可利用其理論結果，以近似的計算法去求出各行星的軌道，這與自然的意旨之間仍存有數字上些微的差異。自然的力量是無可庸議的，我們要以最精細的度量去探討，並遵守其意旨。

近代的原子學說之所以給予人們強烈信心，是因為它在數學上的結果與用儀器測量得到的結果可運到使人折服的接近地步。譬如在分光學上的測量就是一例。第一次世界大戰期間，一些天才人物得悉磁鐵可以吸引鐵器和鋼器，便提議利用巨大的磁鐵把潛水艇拉上岸來。誰知磁鐵對潛水艇會產生作用力，是確有其事。但磁鐵吸力定律清

楚楚地擺在眼前，我們可立刻計算出來，就算是可想像中最巨大的磁鐵，其作用力距離要完成這憑空想出的工程所能達到的仍小得可憐呢！甚至這磁鐵很接近潛水艇，還是毫無作用。這是靠計算來決定的一例子。物理學家設計一個實驗，第一發動就是想計算出實驗結果的量的大小，於是看看是否可以量度。一個理論的每一進階，都建立在前人的一連串的辛苦的測量上。以相對論本身來說吧，雖然它已成爲一完整合理的學說；但卻是由一個非常非常微小的東西，理論上可解釋而實驗上無法證明的徒勞無功的探討而產生的。

現在，我們必須說明物理學的範圍，或者，更需要指出物理學與其他的真正的科學之間的關係。物理學是研究無生命世界裡的物質方面的學問，特別是限於物質本性不變的各種過程。假如物質本性會改變的，譬如硫酸與銅放在一起變成硫酸銅，這方面的研究仍屬於化學科學，講得更狹窄點，凡是包括沒有化學合成變化，一切形式的能量與放射性等無生命物質的性質的度量，都是物理學的範圍。物理學的教科書通常以這樣的標題把物理來劃分：物性（包括重力，彈性，各種摩擦力及各種液體性質，如表面張力）；熱學；光學；聲學；電磁學。這是一種隨意的分類，每一類所包括的東西亦非嚴格地規定。物理學，主要是探求物質與放射性的活動狀態，是實驗科學裡最基本的一門，因爲它是最準確的，要利用數學的，而且常涉及其他科學的一門。其他各門科學愈變得準確，便愈趨近物理學的界限。由下文幾個例子，可以知道物理學是如何涉及到其他科學。

顯然，數學是包括在物理學的每一分支裡，相反的，對許多現象如熱的傳導等的物理探討，則會給應用數學引出許多新方法。幾何學，特別是非歐基里德 (non-Euclid) 的，與相對論有着不可分離的關連。屬物理學範圍裡的地心吸力的決定，在天文學上卻佔重要的地位。天文物理學，研究決定天體的原子組成和物理活動狀態的科學，特別是

8 近代物理入門

研究太陽，祇不過是地球物理伸展到宇宙的應用而已。在化學的部份，講及不同物質的電與光的性質，化學變化的速率的考慮，這與物理學有密切關係的又一科學分支，乃稱物理化學。在有機化學中， X —射線的應用，這是對有機化合物的原子和分子的分類及其空間的安排有很大貢獻的工具，也是靠物理方法產生的。再者，今日大家都很清楚，原子分子間的化合力是源於電的本性，於是，今日物理學變成了化學的領導部份。一般而言，物理學和化學的分界線太廣濶了，因此，要爭論一個特殊問題究竟屬於物理或化學，往往是沒有意義的。

結晶學——連帶到礦物學——是非用到晶體結構的 X 射線分析不可。地質學裡地球的年齡一問題，物理學有很多有關的資料，尤其是放射性，對此項問題的研究有莫大的幫助。在植物學與醫學裡，物理方法變成愈來愈需要：誠然，近年來有所謂生物物理學已成爲科學的一門，把物理的方法與儀器應用到有生命的東西的研究。甚至在語言學，一種研究語言的科學，所研究的母音發音是與物理學有關連的，像口腔與喉嚨的共振及一些類似的問題的研究，氣象學，研究氣候的科學，所有的結果都有賴於物理學。尤其與大氣放電有關的各方面現象，包括雨點的聚合與分散時的放電效應。一種新的關於地球的物理科學（有人稱爲地球物理學）專門探討一些如地磁學、地震傳導如北極光等論題。至於應用在工程和電機工程方面的物理學，五花八門，大家都很熟悉，限於篇幅亦無此必要在這裏贅述。每年，物理學都在不斷發展其研究的範圍，並且獲得不少的成就，發明或改良了許多儀器——如顯微鏡、望遠鏡、分光儀、熱線真空管、陰極射線示波器，蓋革計數器（Geiger Counter）及其他許多儀器——都在不斷地增廣其用途的範圍。

就物理學觀點來說，一件東西，可以被準確地度量，而且在我們幾個基本的原理之下，找出它和其他東西的關係，那麼，可以說多多

少少已知道這件東西了。所以，我們可以知道一些有關不同物質對於熱的容量——也就是說，假如以水為標準，我們可量得要使一種物質每單位重量升高溫度壹度所需的熱量，也就是我們稱的比熱。每一種物質都有一定的比熱。我們也知道，比熱和物體的帶電性及化學組成有基本上的關連。但是從物理學觀點來說，我們對可塑性知道的較少。然而，這對製陶工人而言，是黏土的一種很可貴的性質。憑經驗，陶工或雕刻師只要一摸黏土，就可知道是否適合應用，但在科學上至今仍未免得一個準確的方法，測量這種適合性。我們不知道怎樣試驗一種黏土而分獲一有價值的確定形體——比方說，可塑性係數——於是我們便可說某一黏土是塑膠的多少倍，譬如說 1.4 倍。有類似或其他的意義。總而言之，我們不大知道可塑性與其他性質的相互關係。度量乃物理學的最起碼知識。

根據上面所述，很明顯的，物理學需要先用某些觀念及定律作為基礎，正如一種遊戲必須有其基本規則。在打草地網球時，假如你問為什麼發球時打球者站超出了基線就算犯規？唯一可能的答覆是這就是該運動的玩法。假如你的問題需要引用到國際法律或警察規條來解釋，那將是無意義的。但是問到「電學是什麼東西？」——往往有人如此發問——同樣是沒有意義的，說得客氣點兒，發問的人很可能一點都沒想到他所需要知道的是那一種答案。電學是物理學上的基本觀念之一：當我們以電學來解釋液體的性質，或說電力是近代物理的基本觀念，那麼就想說電學是一種液體或一種已知名的力，這是荒謬的。物理學家可能告訴你他所說的一個電荷是什麼意思：當兩個物體放置在相隔相當的距離，就會以某種方式互相排斥或互補吸引，為了可以很迅速地說明這個狀態，他就說這兩個物體都帶有電荷。他可以告訴你這些電荷在靜止時或在運動時的性質：運動電荷與磁性的關係：電能如何轉變成他種形式的能：諸如此類有關電學的東西，有上千種

10 近代物理入門

之多。簡而言之，正確的問題應是「電學做些什麼？」而不是「電學是什麼東西？」。前面的問題有其明確的意思，可以答覆，後者則不是一個很好的問題，發問的人沒有說出他自己要知道些什麼。假如他的意思是「你可否以你所懂的電學用更基本的東西表示出來？」我們的回答將是肯定的：「不可能的，在物理學裡，一定要有一些東西是最基本的，而不可以再超越之：如果電學不是這種基本東西，就是他種基本觀念，沒有可代替的東西」。

這裡，我們已簡單地談及一種學問，也就是物理學。簡明地說，物理學乃是科學裡面的一部份普通結果。

【註】 1. 原子理論在第八章中討論。

2. 基本的原因我們不知道，但是它們受一簡單和不變的定律所支配，這定律可由觀察而獲得：研究這些定律就是自然哲學的目的。

第二章 熱與能

物理學的每一個分枝都著重“能”的研討——事實上如果將物理學定義為研究能和能的轉換之學問將是一種很好的定義。但是“能”一般形式的觀念却是相當晚近的發展，因為能量守恆定律（principle of conservation of energy）在1847年以前一直沒有能夠了解清楚，讓我們來看一看它表示一些什麼意義。

當一物體受力而運動時，我們說力在作“功”（Work），所作的功是以沿運動方向的力和運動距離的乘積來度量：例如工程師度量功的單位是呎—磅¹。如果任何一媒介物具有做功的能力，我們說它具有能，“能”的改變則以“功”來度量。

固體，液體或氣體具有的機械能有兩種形式。因物體的運動而具有的能量叫做動能，因位置而獲得的能量叫位能。例如，風所具有的能量是來自空氣的運動：它能轉動風車而作功。空氣在經過風葉之前比由風葉的另一端流出時的運動來得快。風損失了速率，所損失了的運動能中大部份出現於風車所做的功上。同樣的水流經過水車葉而損失了速率：在蒸汽渦輪機中蒸汽壓力用來產生一蒸汽流，蒸汽流損失了運動能而產生蒸汽機所作之功。

另一方面，驅動鐘錶的能是來自位置的能。老式的重錘驅動鐘當上鏈時重錘高懸在上，當重力逐漸將它拉下時損失了這位置的能：同樣的當鐘的發條旋緊時具有能量，當發條因旋緊時所產生的張力而運

【註1】正確的說是呎—磅重，因為力是重力作用於磅之上。

動時，這位置的能量就逐漸損失掉。遊樂場的升降車（Switchback railway）當位在準備起始的頂點時因位置而儲有能量。

現在我們很清楚的表示出“動能”能夠轉換成爲“位能”，升降車（或是滑山車等其它遊樂場中的遊戲）是說明這種能的轉換最好的例子。當車子降落時速率增加，車的速率不斷增加直到軌道的最低點。這時候位能最小；當它再次向上爬時逐漸獲得位能而損失動能。如果沒有摩擦力車將爬到和起始時同樣的高度，在這一點它將損失所有的速率而剛好停止前進，但是實際上它停止的第一個坡頂的高度永遠比起始點要低些。因爲在這一點上實際它已損失了所有在下滑時所獲得的動能，並且位能比起始時的位能要少些，某些能量很明顯的是消失了。這損失的能就是推動車輛抵抗因鐵軌和車軸等產生的摩擦力所需的能。特別是抵抗高速運動中空氣所產生的阻力。我們似乎沒有辦法表明這種能量。對這種喪失的能量的了解是十九世紀物理學上最重大的轉換點。

動能可以轉換成爲位能，反之亦然，這定律在早期的力學中被認爲是嚴格而精確的：對於能量守恒律的了解過程中一個重大的進展是發現“熱”爲能的一種形式，當機械能很顯然的因摩擦而喪失的時候產生了熱。我們熟知一個潤滑不良的球承軸，因爲摩擦很大會變得很熱，並且如果使各個零件在承軸中運行愈烈，承軸就變的愈熱；但通常承軸所生之熱非常小而不爲人所注意。一個物體向地面墜落時獲得動能，但當這物體到達地面後就停止運動。動能的的確確成爲熱的形式而出現，物體和地面的碰撞點稍微變得熱些，這裡所談及的能是極不易測知的微量，但是在某些情況下則有著驚人的大量熱產生。在模資茅斯船塢以前有——可能現在仍有——一個在很厚的鋼板上打大釘孔的機器，壓迫穿孔所需的功自然是非常的大。操作這機器的工人喜歡開這種玩笑來取悅他們的朋友，當栓形鐵塊跌落地面時用他粗厚的

手檢起來交給好奇的訪客，而訪客却立即將鐵塊丟落，因為這鐵塊非常燙。能量被保守住了——但是是以熱的形式。

焦耳的重大貢獻是證明了“熱”和“機械功”的嚴格相當性：當機械功明顯消失的時候，不但產生了熱，並且所產生熱的量正好和似乎消失了的能成正比。我們可以利用各種不同的方法來作功：摩擦金屬片或是攪動水，或是——這對我們來說很重要——利用電氣的方法，利用電動勢推動導線中的電荷，用比較平常的話來說就是在一電阻中通以電流。

以平常的方法攪動水——譬如攪動一杯咖啡——所做的功當然很小，所以結果並沒有相當數量的熱產生：攪動一杯熱咖啡，實際上使得它冷了下來，因為新的熱液體層被帶到表面而和冷空氣相接觸並且激發了進一步的蒸發。但是如果利用複雜的輪葉和由容器四壁突起的葉片相配合可以使輪葉運動困難，這相當於作較大量的功，較多的熱因此產生而可以精確的計量。這是一件很有趣的事情。麥耳（J. R. Mayer）在1842年左右是第一個人認識到熱和功相當的人，但他解釋他的念頭時，他的朋友朱雷反對說：「在那情形下如果你搖動一杯水它就應該變得暖些」，這件事在朱雷認為是荒謬的。麥耳不發一言的走了；數星期後他進入朋友的房中說道“的確如此”；他以為他的朋友也像他一樣自從上次到現在除了這問題以外不思考其它任何問題。他做實驗：他讓“自然”來決定一切。著名的諾蘭（Rowland）在一極精確而艱難的實驗中研究定量的能攪拌水而產生的熱量，他經常使水溫升高達 20°C 以上，阮諾茲（Reynolds）和莫比（Moorby）攪動水而使之沸騰。

熱，因此是一種能的形式，並且不僅是在摩擦力存在的地方功才能够轉為熱，“摩擦”一詞包括電流通過導線所受之阻力（在電燈泡和電熱器中這過程明顯可見）。熱也可以轉換為功。在每一蒸汽機中