

電子及其他質點

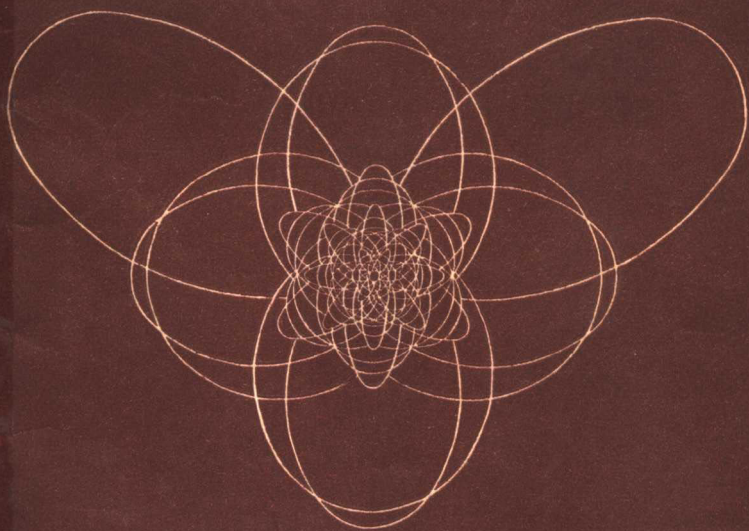
上 冊

ROBERT ANDREWS MILLIKAN 著

鍾

間

譯



電子及其他質點

(正負電子、質子、光子、中子、介子及宇宙射線)

二 冊

譯 者 顧 書
鍾 問 譯

商 務 印 書 館

這本書所敘述的是現代物理學發展史中的一個重要部分。原著者在這部分物理實驗中有極重大的貢獻。譯者用流暢的文字傳達原著者生動的科學紀錄。對近代原子學說的不斷發展以及科學家們變革物質的科學實踐，採用了歷史陳述法，使自然界的內在規律一層深一層地揭露出來。上冊所敘述的是在宇宙射線未發現以前，關於油珠電荷的測度，雲室徑跡的射影，各元素 α 射線頻率的序列，門德列也夫週期表的發明，電子在能級間跳躍的研究等等。至於中子的發現及核能量的釋放在下冊講述。

本書係根據 University of Chicago Press 出版的 Robert Andrews Millikan 所著的 1947 年修訂本“Electrons (+and-), Protons, Photons, Neutrons, Mesotrons, and Cosmic Rays”譯出的。

電 子 及 其 他 質 點

上 冊

鍾 問 譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一

(上海市書刊出版業營業許可證出字第〇二五號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷

⊕(51117·1A)

開本 850×1181-1/32 印張 6 7 8 字數 170 000

1954年7月初版 印數 1-3 000 定價 洋 11.500

譯者誌言

近代物理學家密立根教授費了七年的工夫，去測定電子的電荷 e ；並且經過了二十年的時間，去作宇宙射線的實驗研究。所得結果的準確和對於物理學發展所起的作用之重大，乃是物理學史上著名的。最值得注意的，是安得孫發現正子，安得孫和內得爾邁爾發見介子，都是在他所主持的那個實驗館中，都曾利用了他所建立的基礎。

他在1917年，出了一本小冊子電子。1924年，電子的第二版出世。我在1932年，把這第二版譯成了中文，經過吳有訓教授校閱，由商務印書館出版，特此表示謝意。

到了1934年，密立根把第二版原文書由十章擴充到十六章，並且更改書名為正負電子、質子、光子、中子及宇宙射線。我也把其中的新添部分陸續譯成了中文，並且仍請吳有訓教授校閱過。不幸因在戰時，郵遞誤事，稿已遺失。

1946年末，密立根又把本書擴充到二十章。去年我來到大連後，接到商務印書館出版部來函，囑我修訂該館出版的電子譯本。據我的意見，1947年版的密立根原文書，敘述正負電子、質子、光子、中子、介子、宇宙射線的發現歷史和關於牠們的研究，探幽入微，議論適當，是實驗物理學家的一本模範參考書，也是稍具專門訓練之讀者的一本優良讀物。我能乘這次修訂的機會，把它譯完，的確是一樁幸事了。

現在譯本的前十章，雖然已按照最新版原文書修訂，但與商務印書館所出的電子譯本，相差不多；後十章完全是最近按照最新版原文書的新添部份譯成的。其中所採用的專門名詞，幾乎全是按照中國科學院最近所增訂好的物理學名詞，所採用的人名地名，大半是按照商務印

書館所出的標準漢譯外國人名地名表，書後附有“漢英名詞對照表”，“英漢名詞對照表”，以便於查考。讀者如果發現這譯本中有錯誤處，請不吝指教為盼。

鍾間謹誌於大連工學院編譯室。

原 序

1917年，芝加哥大學印刷所，出了一本小冊子電子，其中，簡單地述明物理學中與我的研究有很密切關係的一些新發展。1924年，這小冊子的修訂版問世了。幾年以後，我應康南耳大學的邀請，往該校作美孫革（Messenger）紀念講演，把這小冊子中的材料，再加以擴充，以求其中所述明的這些新發展，可以趕上時代。

以後不久，我就根據美孫革紀念講演稿編成了這本書。當然，我想盡了千方百計，使其中所述明的，可以趕得上1935年1月1日這個出版日期所有的真實情形。

這本書也可當作電子的第三次修訂版，但與大多數的修訂版，有兩點不同。第一點，為迎合出版者的要求，我遇着本書中電子部份所述明的，與現有學術水準，有不符合的地方，才加以修改；當我發現原來所採用的歷史陳述法，使這部份不必從新寫過，也不宜從新寫過，使我十分高興，也使我有幾分驚奇。第二點，自從1924年以來，物理學進步很速，發見很多，使本書不得不另外增加六章，即“波動與質點”，“宇宙射線的發見與來源”，“自轉電子”，“正子”，“中子與元素的蛻變”，“宇宙射線的組織”。因此，從這點看起來，這本書決不像修訂版。又插圖也不只增加一倍，並且現在已變成本書的重要特色了。

我希望這本書，如牠以前的二個版本一般，可以使物理學家，和稍具專門訓練的讀者，都發生興趣。本書既欲適合於這兩種讀者的口味，不可使勤謹學生所需要的詳細分析，破壞書中討論的線索，所以，把一切數理的證明，編入附錄中。如果普通學生還是覺得有些地方，如同七、八和十二幾章，不容易理解，那我希望他們，不讀這些地方，也能知

這些近代物理學的進步狀況。密立根序於加省理工大學。

Robert A. Millikan

1934年12月1日

第二版的原序

芝加哥大學印刷所又要重印這本書了，但如果本書不能詳細討論到過去十二年來物理學中的某些偉大進步，以求趕上時代，該所和我都不會贊成重印的。以前編本書時，是採用歷史陳述法，我深信這是編寫參考書和教材的優良方法。所以我根據現有學術水準，祇把本書的前400頁，稍加修改，所改的，以數值佔大半；可是把後50頁擴充到200頁，以便把完全新的材料，另外編成五章（第十六章至第二十章），即“核能量的釋放與利用”，“低空中宇宙射線的地磁性研究”，“介子”，“進入宇宙射線的組織和數目”，“用原子消滅臆說解釋宇宙射線的來源”。

我在1939年，曾寫過一本小書“宇宙射線的三個講演”，現在劍橋大學印刷所和馬克密蘭（MacMillan）公司允許我從其中自由引用材料，特此誌謝。我的大學同事善恩，安得孫，尼赫，彼克林，勞利成，挨普斯坦，福勒，克利斯提在過去十五年內，對於新原子核物理學的某些部份，都有很多貢獻。沒有這些貢獻作參考，我個人所作的這一類貢獻，也是無法完成的——他們曾用所專長，校訂和討論本書中原子核方面的某些部分，也特此誌謝。密立根自序於加省理工大學物理學實驗室。

Robert A. Millikan

1946年9月1日

上册目錄

緒言	1
第一章 從前電的觀念	4
第二章 把電解定律推廣到氣體傳導	16
第三章 從前直接推定 e 值的試驗	29
第四章 電的原子構造之普通證明	43
第五章 正確 e 值的測定	58
第六章 X射線與鐳射線所生的氣體電離作用	83
第七章 氣體中布朗運動	97
第八章 電子可以再分解嗎?	106
第九章 原子的構造	121
第十章 輻射能的性質	161
第十一章 波動與質點	180
第十二章 自轉電子	187

電子及其他質點

(正負電子, 質子, 光子, 中子, 介子及宇宙射線)

緒 言

第一個注意到琥珀被摩擦後，牠上面發生起電(electrification)狀態的，也是第一個相信各種現象間，必有一種一貫的大原理，去聯絡牠們，使牠們可以理解，並且相信各種物質，雖有外表上的變異，但都是一種元始要素(primordial element)所構成的，而一切自然科學的最後目的，也就在探尋這種元始要素。這也許不過是偶然的巧合罷。然即算這是偶然的巧合，但無論如何，我們不能不把這二重發明的榮譽，歸到米利都 (Miletus) 的塞利斯 (Thales)。因為遠在紀元前六百年，他算是第一個認識和說出這個引導後代物理學發達的精神；並且他也是第一個描寫那個起電現象(雖說很粗略)，——其後對於起電現象的研究，業已將最初不相關的幾種物理學科目，如輻射熱學(radiant heat)、光學、磁學和電學等，聯絡起來，且在最近，業使我們更近於那種元始要素。

這樣繼續的努力，去把世界上複雜的事物，化成簡單些的名詞，又假想有最少數種類的簡單物質，作各種不同的排列和運動，以致構成眼前無限種類的物品，——這種努力，是希臘思想的遺產，也是人類的天性。古代最偉大的哲學家，確是想使人們對於自然界，完全有一定的見解，最後將自然界的各種現象，歸納為一個可理解並且一貫的系統。而且物理學史上進步最大的時期，也確是對這樣工作最努力，並且成功最大的時期。

十九世紀的上半期，的確是物理學史上極有成績的時期。就在這

個時期中，人們在道耳頓(Dalton)領導之下，最初開始得到直接的實驗的定量的證據，證明自希臘傳下來的原子世界 (Leucippus, Democritus 和 Lucretius 的原子世界)，先前以為包含着無限數和無限種原子的，無須那樣的複雜；又介紹進一種分子由原子構成的理想，於是把各種必須的元素，歸納為七十種左右。幾年以後，近代化學的全部，由此產生出來，可證明這一步的重要了。

現在二十世紀，雖還不過四十六歲，可是對於物理學，已經企圖作一個更偉大的進步。因為我們在十九世紀的分子世界和原子世界上，加了一個電子世界，把元始要素，歸納為正電荷和負電荷二種了。同時，跟着這種努力而來的，有現在這個最發達和最繁盛的時期，——在這個時期裏面，物理學舞臺上面，常有新的觀點和全新的現象，出現得非常迅速，弄得演員自己也不知其所以然，也在這個時期裏面，工商界以空前未有的敏捷手段，去採用物理學實驗館和化學實驗館的最新出品，並且使牠們適於己用。因此，昨天的研究結果，原來專是因為要多知道一點物質的基本構造而求出來的，今天便為實業界所利用，好把電話的效力，增大十倍，或使一定的電力所發的光，增強六倍。

電有原子性的構造，已獲得證明^①，原電荷 (elementary charge) 已經一顆一顆的分出來過，並且準確地量度過，並且已經知道，原電荷是所有九十二種化學元素的一種成份。這些事情，不獨是在學術上是有趣味的了。人們欲明瞭自然界的內部秘密的，對於牠們固然根本感到興趣，並且為牠們所吸引；工商界人員，對於牠們，也覺得含有很深的意味。祇要人們一旦揭穿了自然界的內幕，他們終有一天會想出方法，來好好運用。人們對於自然界運行法則的知識，增加一點，他們管理自然界的能力，和利用自然界隱力的能力，終必是同樣地增加。

本書的宗旨是在陳述電的原子構造的證據，描寫電子(electron)的

① 即是說電為一種極細的粒子所構成。蓋‘原子性的’四字，或‘原子的’三字，是用來形容極微小的東西。

最重要的性質，及討論這些性質，對於近代物理學上兩個重要問題的關係：——這兩個問題就是原子的構造，和電磁輻射的性質。這中間，我將要討論些準確的定量的實驗。因為二千多年前畢達哥拉斯（Pythagoras）說過，欲用科學的方法，處置物理的現象，祇可根據於定量的實驗。從這位古代哲學家的觀點，一切自然科學的問題，均須去掉定性的觀念，而以定量的關係，代替定性的觀念。往後各時代的眼光遠大的物理學家，都力言這個觀點的重要。近代最偉大的物理學家克耳文（Lord Kelvin）說：

“當你能量度你所說及的東西，且用數目表示牠的時候，算你知道了牠一些；但在你不能量度牠，且不能用數目表示牠的時候，你的知識是薄弱且不滿人意的。這可為知識的開端，但你的思想，還沒有進步到科學的地位。”

雖說我的目的，大半是論及那些與我有最直接和最密切關係的研究，即是在過去三十年中，先在支加哥大學賴爾孫（Ryerson）實驗館，後在加省理工大學物理學實驗館^①所作的電子方面的研究；但對於這些研究的先前工作，同在其他實驗館所作的平行工作，希望也能作一個很公正的評論。一般人寫通俗書時，每種大發明，每種新學說，或每種重要原理，彷彿必須寫作一個人單獨發明的。但實際上，物理學上的種種發達，差不多普遍都不是這樣的。一種科學的發達，好像一種植物，由步步增添極小部份的方法而生長。每個研究常修改牠前面的研究。每個新學說的成立，好像一個大會堂，由許多建築家用多種材料建築而成。這在電子論上，是非常的確實。電子論已經慢慢的長成，我將盡力的追溯各種有關係的研究。

^① 英文名：Norman Bridge Laboratory of Physics at the California Institute.

第一章 從前電的觀念

I. 物質的原子說之發展過程

物質的原子說 (atomic theory of matter) 和電的原子說 (atomic theory of electricity), 這兩種理想都發源很早, 牠們歷史的中間, 顯出很有趣味的平行。這兩種理想都經過了正確的量度方法, 去實驗牠們, 使牠們的材料豐富, 而後方纔成熟。這在物質論上經過了二千餘年, 在電學上經過了一百五十年。當牠們業已成熟時, 從前以為分離的二科, 開始趨於合併, 開始表現祇為同一現象的不同看法, 使我們再回到塞利斯的自然現象必須一貫的舊信仰。我們欲知這一貫的企圖, 怎樣會產生出來, 最好看二種理想的史略。

德謨額利圖 (Democritus, 420 B. C.)、伊壁鳩魯 (Epicurus, 370 B. C.) 和琉克里細阿 (Lucretius, 羅馬人, 50 B. C.) 學派的希臘哲學家等, 其心目中, 幾乎以為世界是繼續運動的原子構成的。他們這一種觀念, 就像近代物理學家的觀念。不過希臘哲學家的這種理想, 都是臆測出來的, 近代物理學家的這種理想, 如二十世紀大多數的知識, 是根據於正確的直接觀測和量度。人類的眼睛, 不但是從來沒有看見過一個單獨的原子或分子, 並且永遠不會看見那樣的原子。其簡單的原因, 不是因為儀器的不良, 限制了我們看見小物的本領, 是因為眼睛的本身性質, 或眼睛所感覺到的光波性質, 限制了我們看見小物的本領。如果我們欲看見一個分子, 必須生物界的朋友, 幫我們製造一種全新式的眼睛, 牠所感覺到的光波, 較現在視神經所能反應的光波, 短小一千倍。

不過我們眼睛所能得到的證據, 也許是極不可靠的證據, 雖有良好的習慣, 我們也常是不免看見些幻像。可是從那些正確量度所推出的邏輯結果, 却是大都可靠, 這些結果, 是用想像力去領會的。就物質的

原子說而言，這類結果都在 1800 年以後，纔發生出來，故近代物質的原子說和分子運動論，雖有很長的歷史，牠們的年齡看起來，還不到一百歲。我們關於分子和原子的一切確定的知識，在 1851 年以後，纔開始有的，那年英國焦耳① (Joule)，第一次決定了分子物理上的一種絕對數值，就是他求出了各種氣體分子在普通溫度下來往撞擊間的平均速率。他的結果，證明氫分子有一秒約一英里的大速率，這種結果，像分子物理範圍內許多以後所得到的結果，出人意料以外。第二次求出的分子物理上的數值，為氣體中一個分子碰撞間所行的平均距離，這種距離專名為分子的平均自由路程(mean free path)，在 1860 年，由馬克士威② (Clerk Maxwell) 計算出來。同年，馬克士威又最先估計了一立方厘米氣體的分子數。當我們想到，我們現在能計算這個分子數，比計算紐約居民的人數，也許更來得準確，雖然這個巨大的分子數是 2.737×10^{19} 。每人都有點覺得，我們在研究分子世界和原子世界的秘密上，至少有幾處進步很大。奇怪的是我們達到這點太遲。現在科學環境之下所造就的學生，他們所最引以為奇的，也莫過於下列的事實，他們覺得光和電磁的現象，既比熱和分子物理的現象複雜很多，為什麼前者之成為相當一致的學說，反而遠在後者之前呢？況且原子說上和氣體分子運動論上一切定性的觀念，幾乎都在數千年以前發生了的。德謨頡利圖，被培根 (Bacon) 認為“比柏拉圖 (Plato) 或亞理斯多德 (Aristotle) 更為偉大的人物，雖然是柏亞二氏的哲學，在那些著名教授的講演聲中，讚美不盡”。丁鐸耳 (Tyndall) 所陳述的德氏原則，表明紀元前四百年以前所發生了的原子哲學，是怎樣的完全。那種原子哲學，後來完全被人破壞了，柏亞二氏所代表的理論主義學派破壞了牠，又被真塞立克

① Mem. of the Manchester Lit. and Phil. Soc. (1851; 2nd series), 107; Phil. Mag., XIV (1857), 211.

② Phil. Mag., XIX (1860; 4th series), 28. Clausius 在 1858 年 (Pogg. Ann., CV, 239) 已把這種數值的關係，討論過一些，但馬克士威對於氣體粘滯性的工作，最先使牠們可以測定。

(Gonseric)、阿提拉 (Attila) 和蠻族等破壞了牠，尤其是真塞立克等摧殘一切的文化。可是柏亞二氏的哲學，經過摧殘文化的時期，得以傳授下來的原故，培根認為是：“當人類所有的學問，不幸均被摧殘的時候，好比一個撞壞了的船，輕而易浮的船板，還可以保存下來，重而易沉的東西，即會沉沒，往後人們幾乎會把牠們忘却。”

下面是丁鐸耳所引的德氏原理：

1. 無中不能生有。存在的東西，都是不能毀滅的。一切的變化，都是分子的化合和分離所產生的。
2. 事變不是偶然發生的。每個事變必有使牠發生的原因。
3. 原子和空間，纔是存在的東西，其他一切的東西都是幻像。
4. 原子有無限的數目，無限的形狀；原子互相撞擊，發生旁運動 (lateral motion) 和旋轉，那就是世界的開端。
5. 物質有種種的不同，由於構成物質的原子有各種不同的數目、大小和結合 (aggregation)。
6. 靈魂含有很精細滑圓的原子，如火的原子一般，牠們是原子中最活動的原子。牠們穿貫全身，因牠們的運動而發生命。

我們現在把這些原理稍為刪改，這些原理幾乎還是可以說得過去。因為近代原子說上的大進步，不是在增加許多新的觀點，大半是在把觀點的基礎打得穩固一點。上面所舉的原理，專屬於一個哲學家或一個學派。那時，還有幾十種其他的意見，互相頡頏，沒有人能分出牠們的優劣。今日在物質論上，至少是物理學家，除開原子哲學以外，絕無他種哲學。不過在三十年以前，還不能說這句話。一羣第一流的近代思想家，不顧元素的化合能力 (combining powers) 間，一切倍數的關係 (multiple relationships)，不顧化學和十九世紀物理學上的一切其他的證據，不同意原子哲學，一直等到最近，纔改變論調。其中最著名的，是德國化學家兼哲學家俄斯特發德 (Wilhelm Ostwald)。但在他最末一版的化學大綱序中，俄氏也坦白地說出他現在所抱的見解了。他說：

“我現在相信，我們已經有了實驗的證據，證明物質是不連接的，或有粒子似的構造。這些證據，以前原子臆說經過了幾千幾百年，而未求得。在一方面，我們隔離過

和數計過分子。……在他方面，布朗運動(Brownian movement) 是符合於氣體分子運動臆說之需要。……現在最謹慎的科學家，確可以說，物質的原子臆說，有了實驗證明。故原子臆說，成了科學界上一種有了根據的學說。”

II. 電的學說之發展過程

電的原子說，有像物質的原子說和氣體分子運動論的地方，有不像牠們的地方；像牠們的地方，是在第一人臆測電的性質時，他以為電有原子性的構造，不像牠們的地方，是在牠沒有長遠的歷史。近代電子論的發達，還不出五十年的事。在佛蘭克林(Benjamin Franklin) 以前，沒有電的學說。琥珀被摩擦後，牠有一種能力吸引輕的物件向己，這是希臘人所發明的，除此以外，在1600年以前，再沒有別的電學知識。到了1600年，英國吉耳柏特(Gilbert) (為英國依利薩伯皇后的醫生，一個大天才和遠見的科學家)，發明了玻璃棍等二十餘種物，被絹摩擦後，就彷彿像希臘人擦過的琥珀。吉耳柏特想把這種現象形容出來，所以說玻璃棍電化(琥珀化，英文的‘電子’字，就是希臘文的‘琥珀’字)，或如現在所說，玻璃棍得了電荷。在1733年，法國物理學家度法(Dufay)再發明了火漆，被貓皮擦過後，也起電。不過起電過的火漆，與起電過的玻璃棍不同，起電物為棍所吸的，為火漆所斥，為棍所斥的，却為火漆所吸。因此度法知道了兩種電，——他名這兩種電為屬玻璃的電，和屬樹脂的電。約在1747年，佛蘭克林也認識了這兩種起電現象，他首先用‘正’‘負’二字去分別牠們。佛氏以為可隨便呼一物為帶正電者，如牠為絹所擦過的玻璃棍所斥，呼一物為帶負電者，如牠為貓皮所擦過的火漆所斥。這就是我們今日的正電荷和負電荷的定義。此地還沒有講到所以帶電的學說，祇講到帶電的現象。

佛蘭克林之所以用正負二字的原故，因為他推測並且以為，電有下列這一層關係：即絹摩擦玻璃棍起電的時候，絹自己得到負電荷，其量恰與棍上的正電荷相等，普通正負二種電荷，常是同時出現，其量也是

恰好相等。一直到了1837年，法拉第 (Faraday) 作冰桶實驗 (ice pail experiment) 的時候，這說纔有了正確的證明。

至此，還沒有電的學說。但爲那時以前所討論的現象——尤其是上段所述的現象——求一種合理的解釋，佛氏纔假定一種東西，名叫電液 (electrical fluid) 或電火，爲物質的一種成份。物質中和或未帶電時，牠所含的電液爲恆量，電液在一個物體中，比恆量多，現出正電荷，比恆量少，現出負電荷。聖彼得堡的物理學教授亞皮努斯 (Aepinus) 是一個佛氏學說的推崇者，他說，我們欲解釋兩個帶負電體相斥的理由，必須假定物質同電液分離後，物質本身是相斥的，故其性質，與尋常未帶電的物體，完全不同。依此，沒有電液，物質就不會擠合在一起了。當時，其他的物理學家，想使物質本身，沒有那相斥的性質，又想使電現象脫離物質，另外成爲一個系統，故在西麥 (Symmer) 領導之下 (1759年)，寧願假定，有兩種無重量的電液，一爲正電液，一爲負電液。依此，物質在中和狀態；表示無電性質的原故，因爲牠所含的二種電液相等；在一個帶正電體內，正液多於負液，在一個帶負電體內，正液少於負液。

這樣，就發生了兩液說 (two fluid theory)——在佛蘭克林進一步將電和物質的概念合併以後，這學說再將這兩種概念分開。這學說雖有內部的困難，還在電學發達史上，佔了一百多年的絕大勢力。因爲我們如不顧慮到這學說中的物理概念，兩液說是可使我們推出那些描寫電現象的方法和數理的式子。並且牠使我們便於分類。

從兩液說，人們可以單獨的討論電現象，而不會引出他種麻煩的問題，例如電力與重力或內聚力 (cohesive force) 的關係。不過兩液說雖然有這些好處，顯然的，牠祇能够應一時之需。牠說這兩種電液，能够施強大的力，但本身絕對沒有重——最基本的物理性質，——又說這兩種電液以相等量混合以後，失去一切的物理性質，——這些意念，是很非物理學的。1903年，湯姆孫 (J. J. Thomson) 在其西利門 (Silliman) 講演中，批評說：