

如何在電動力學中貫徹辯證 唯物主義的觀點

(怎樣在電動力學中樹立辯證唯物主義的世界觀)

王 子 輔

(物 理 系)

I 前 言

辯證唯物主義的世界觀可簡單地歸結為：承認物質世界的客觀存在；這物質世界是在不斷的運動發展中的，其中各種現象有相互的制約和普遍聯系，而且是完全可以認識的。

電動力學是在普通物理電磁學的基礎上更深入地研究電磁現象的一門科學，它的目的在於建立一個完整的理論系統，以處理一切有關電磁方面的問題；這就不可避免地必須是符合於辯證唯物主義的世界觀的。辯證唯物主義本來就是建築在自然科學(和社會科學)的基礎之上的；從自然現象的客觀規律綜結出一些最普遍的規律來。然而辯證唯物主義却不是死的一成不變的教條，而是活的隨着科學發展而不斷生長着的東西；任何新的科學發現都將豐富了它，而它也將推動着科學前進。

從古代希臘人用毛織物摩擦琥珀而生電以及我們祖先發現了磁鐵之後，電磁現象就一直被研究探求着，然而直到十九世紀初期，人們還只是停留在關於靜電和靜磁(磁石)的研究上面。這方面庫倫(1785)作了不可磨滅的貢獻，那就是以他的名字命名的關於兩電荷互相作用力的定律。伏打在1800年初次作成了電池，這就為電磁現象開辟了一個新的場地，從此維持相當時間不變的恒定電流就可以很方便地獲得了，於是奧斯特在1820年發現這種恒定電流會產生磁場，而同年畢奧和沙伐爾也發現決定這磁場的量的規律。這對於電磁現象說來是一個飛躍的進展，因為從此電和磁聯系在一起了。而且電流既然會產生磁場，則磁場也可能會產生電流，這就是法拉第當時在聽到奧斯特的發現之後心中所起的思想，因此他把磁鐵和綫圈終日

置在口袋中，想望着發現這一逆效應；然而一直到了1831年才終告成功，（俄國物理學家楞次也獨立地發現這一電磁感應現象）。原來磁鐵和綫圈間必須有了相對運動才能產生電流，這拖延了法拉第的發現達十年之久，但也無形中建立了辯證唯物主義的一個重要原則：運動和物質是不可分離的。只考慮到物質而不考慮到它的運動，那一定是徒勞無功的。

麥克斯韋又從運動變化的觀點推導出位移電流來，並最後完成了他那有名的微分方程式組(1862)；由這方程組又能導出電磁波的存在，並從而斷定光不外是電磁波。到1887年赫芝作了實驗證實電磁波確實存在之後，麥氏的電磁場理論就完全被公認了。

在整個電動力學中貫串着一個基本概念，那就是場的概念，從法拉第、麥克斯韋一直發展到今天，這場的概念浸透着全部電動力學。從最初的超距作用說，不承認場的存在，以至法拉第、麥克斯韋的近距作用說，承認場之存在，一直到了場被認為物質的一種表現形式，具有許多和實物相同的性質（當然也還有一些不同的性質），把場和實物都統一到物質中來，這是一系列的有意義的歷史發展：從形而上學的、以至于機械唯物論的，最後達到辯證唯物論的觀點，而辯證唯物論觀點目前也還正在繼續豐富着並向前發展着。

電磁場的變化本來屬於宏觀現象，麥氏的場方程式也只是聯系宏觀量的方程式。然而電磁場是由電荷及其運動所產生，那却是肯定的，而物質的原子構造以及原子的電子構造到了上世紀末也都被肯定了下來；羅倫茲的電子論就是在這一基礎上建立起來的。它能解決一系列問題，但也留着許多問題不能得到解決。這是由於這初期電子論還是很粗糙的理論，當時對於原子構造還不十分清楚。然而也就構成了以後過渡到量子論和量子力學的一個發展階段。

上面所提的近距作用說，最初要求有一機械的彈性媒質，這種機械觀一直維持到上世紀末，即所謂“以太”學說。但經過邁克爾遜——莫萊的實驗之後，這一假定中的“以太”媒質就遭到了厄運，結果產生出一個嶄新的理論，即愛因斯坦的相對論。這理論把電動力學中的核心方程式、即麥氏的方程組放置在相對性原理的基礎之上，又把力學和電動力學的理論結合在一起，在同一的基礎上來討論。同時由於時間和空間存在着密切聯系，許多其他的物理量、如電荷和電流、動量和能量、電場和磁場等等，原來認為各互相獨立不相關聯的，現在都被聯系起來了。這種廣泛聯系和相互制約，也是辯證唯物主義世界觀的另一個重要原則。

我們將就上述的各種問題給以簡單的陳述討論，目的在於說明辯證唯物主義世界觀的正確性，並從而或多或少地豐富並充實它。

II 電磁場概念底歷史發展

1. 超距作用說與近距作用說

庫侖定律與牛頓萬有引力定律在形式上彼此十分相似，因而很容易令人認為電磁場與重力場一樣，也是一種超距作用。（這只是以往簡單的想法，目前已有認重力場也是一種近距作用的了）^①從庫侖定律的發現一直到十九世紀初期在物理學界中普遍存在着這一概念，我們現在稱之為形而上學的，因為它和以後發展的情況不相符，而且絕不容易理解其所以然。辯證唯物主義告訴過我們：“……自然界中任何一種現象，如果把它孤獨拿來看，把它看作是與其周圍現象沒有聯系的現象，那它就會是不可了解的東西，……反之，任何一種現象，如果把它看作是與周圍現象密切聯系而不可分離的現象，把它看作是受週圍現象所制約的現象，那它就是可以了解，可以論証的東西了。”^②現在如把兩個電荷放置在空間的兩點上，它們間就會作用着一力，但如果假定在這兩點間的空間裏完全沒有受到什麼影響，也沒有起過什麼作用，這力是憑空產生出來的，那恐怕對這問題就很難以想象和理解了。關於這一點，從牛頓給他朋友班特萊的信裏也可以看出：“把重力認為應該是物質所天生的、固有不移的、和本質的，使在真空中在一定距離上沒有得到任何別的東西的媒介而一物體能夠對另一物體起着作用並把這作用和力從一物體傳遞到另一物體上，這對於我是這樣大的荒謬使我相信沒有一個對哲學問題有相當思考能力的人會這樣想着的。”^③

我們尋常往往誤認牛頓是主張超距作用的，其實他本人却反對它，而強烈主張的却是另外一個人叫做郭忒士（1682——1716）的。

庫侖本人是相信電荷的超距作用的，以後歐洲的許多學者，如韋伯、黎曼、芮

① Landau and Lifshitz: The Classical Theory of Fields, § 11—10, P. 323, 交通書店, 1951。

胡寧：關於重力波的研究（未出版）。

② 斯大林：“列寧主義問題”，頁 536。

③ Cajori: A History of Physics, P. 69, 1933。

曼、泊松、拉普拉斯、格林等人也都這樣地相信。這些人以庫侖定律為基礎，並以超距作用的思想為指導，對靜電學、磁學等的理論都有一定貢獻；可是一般說來，都比較傾向於利用數學方法來處理電磁學問題，因而把電磁學本身的重要物理意義反而多少遺忘了；這樣就使他們對於形而上學的超距作用說死不肯放棄，因而成就不大。麥克斯韋在數學方面也有很高的素養，可是他却認識到只依靠數學而遺忘了物理學的危險，因此他在開始研究電磁學以前就“決定在未讀完法拉第的‘電學實驗研究’一書以前不讀任何關於這方面的數學”。[⊖] 同時他也作出這樣的結論：“當我已把自認為是法拉第的意見翻譯成數學的形式之後，我就找出了一般由兩種方法所得到的結果是一致的。因此同一些現象都被解釋，而同樣的作用律也被兩種方法所推導出來了。可是法拉第的方法與從整體出發而借分析以達到各部分的方法相同，但平常的數學方法則是建築在借綜合法以從各部分組成整體的原則上面的。”[⊗]

這裏出現了一個問題：既然由近距說與由超距說所得的結果相同，那末，為什麼還說超距說是形而上學不符合於客觀實際的呢？原來這裏所處理的問題，還只限於靜電的、靜磁的、穩定電流的或最多是緩變電流的電磁場，而未曾涉及快速變動的電磁場。到了快速變動的電磁場，超距作用說就完全顯露出失敗，到那時就不得不讓位於符合客觀實際的近距作用說或作用傳遞說了。[⊘]

超距作用說與近距作用說之主要不同，在於前者認為兩電荷或兩電流的相互作用不需要中間的任何傳遞，而後者則認為中間的傳遞是完全必要的。這對於靜電或穩定電流的磁場，甚至對於緩變電流的電磁場都沒有多大差異，因為這裏電磁擾動的傳遞作用未曾很清楚地顯出，也就是因為還未涉及輻射現象，即電磁波的產生及傳播問題，因此超距作用說還能勉強站得住腳。但一到了快速變化的電磁場，那輻射現象就不可能避免了。電磁波以一定的速度傳播着，而且這傳播的速度跟着空間所充滿的介質種類而不同。如果是真空，這傳播速度恰等於真空光速；如果是其他介質，則傳播速度會小一些，象這樣的波底傳播運動，超距作用說那能解說得通呢？因此我們可以說，超距作用說只對於一些簡單的特殊情況才碰巧地符合事實，但對

⊖ Maxwell: A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed. Oxford, Clarendon, 1904, Preface, P. viii.

⊗ 麥克斯韋，前引書序言，頁ix。

⊘ 塔姆：電學原理，下冊，頁525—528；錢尙武、趙祖森譯，商務，1954。

於一般情況就不符合事實了；而近距作用說呢，則是對所有的情況都符合的，所以後者是一個客觀真理。我們試舉出一位對證實這法拉第、麥克斯韋的近距作用說有着重大貢獻的物理學家赫芝底話來結束這一節的討論：

“電和磁的引力遵從着與重力相同的規律；怪不得人們會認為簡單的超距作用假說就足以解釋這些現象，並追蹤到它們的可能被理解的最終原因。但當本世紀電流和磁間的作用被人們發現了之後這情況就改變了；因為這作用有着無窮的多種多樣性，而且在這些作用中運動和時間都扮着重要的角色。”[⊖]

2. 電場和磁場的相互變化關係

忠實於唯物主義的學者赫芝說得很對：在電流和磁間的相互作用上運動和時間扮着很重要的角色。讓我們再回想到法拉第是怎樣發現了電磁感應現象的？那分明是在他認識到磁鐵和綫圈間相對運動底重要性之後。若再問一問靜電能否產生磁場？那顯然是不可能；因此電流之所以產生磁場正是由於電荷的運動。

鑑於物質和運動的不可分，又鑑於物質的不斷變化運動會產生出宇宙間多采多姿各式各樣的現象，因此會自然而然地出現另一個問題：既然金屬導綫中的電流是由於裏面存在着—電場對電荷的推動力所產生，而這電流也就是產生磁場的原因；那末假如只有電場變動而沒有電荷跟着它跑，諸如在真空或介質中電場變動的情況，那究竟會不會產生磁場呢？這問題對於一個十足的經驗主義者，他必肯定地回答說不可能，因為沒有電荷就不會有電流，而沒有電流那會有磁場呢？可是對於一個富有經驗而又不受經驗束縛的人，象麥克斯韋，他却能夠預料說這是可能的；因為他曾經完全而準確地運用數學方法總結了過去在電磁學中最重要的一些發現，尤其是關於法拉第的場的概念。在他的總結工作當中，他發現了對於隨着時間變化的電磁場，如果要同時滿足奧—高定律和電荷不滅定律（即連續性方程），那末，只有平常的由於電荷運動而構成的電流是不夠的，必須假定同時有另一電流存在，這部分電流就是由於電場變化而產生的，他稱之為位移電流。

這位移電流可以說真正是電磁感應現象的逆效應。我們知道電磁感應現象表現出變化的磁場會產生電場，而位移電流則表現出變化的電場也能產生磁場。這些自發的唯物主義者（法拉第、楞次、麥克斯韋、赫芝），也自發地具有正確的辯証觀

⊖ Hertz: Miscellaneous Papers, P. 135, Macmillan, 1896.

點，所以都會深刻地認識到運動和變化的重要性，因而發現了除去靜電和穩定電流磁場之外的兩個非常重要的電流現象及其規律，完成了對電磁場的完滿而正確的認識，這是辯證唯物主義哲學的一個偉大勝利。

現在我們把這兩個重要電磁現象底規律用數學形式表達如下：⊖

電磁感應現象

位移電流：

積分形式：

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt},$$

$$\mathcal{E}_m = \frac{d\Psi}{dt},$$

$$\text{或} \oint F \cdot ds = - \frac{d}{dt} \int B \cdot ds$$

$$\text{或} \oint H \cdot ds = \frac{d}{dt} \int D \cdot ds$$

微分形式：

$$\text{curl } E = - \frac{\partial B}{\partial t},$$

$$\text{curl } H = \frac{\partial D}{\partial t},$$

$$\text{或} \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = - \frac{\partial B_x}{\partial t} \text{ 及其他。或} \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = \frac{\partial D_x}{\partial t} \text{ 及其他。}$$

用數學形式表達某一物理現象，對於不很習慣的人來說，往往是一種麻煩和費解；但對於比較習慣的人來說，則是一種簡單清楚而又正確的表達法。法拉第對數學沒有什麼好的基礎，所以完全採取比較直觀的實驗方法；麥克斯韋有很好的數學基礎，能夠把有關電磁場的實驗事實完全用數學方式表達出來，這就大大地加強了對這門科學的系統概括性，因而把它推進了一大步。所以我們應該認識到，直觀的實驗方法和數學作為主要工具的抽象方法都是研究物理學所不可少的方法，不能忽略或抹殺其中某一方面；這兩種方法分道揚鑣，而能殊途同歸，可以說是一種辯證的統一。

上面所以列出積分形式和微分形式對同一客觀事實的兩種表達方法，為的是要說明這和場的概念有密切關係。我們知道，積分是對某一曲綫長度、某一面積或某一體積(或對其他)的總效應積累起來的結果，這無疑會表達出某一物理現象在某一範圍內的總的變化情況，而往往也就是我們在實踐(實驗和工業應用)中所觀察到或

⊖ 這裡是用Φ代表磁感應通量，Ψ代表電位通量， \mathcal{E} 代表電動勢， \mathcal{E}_m 代表磁動勢；而且用嚴理的 MKS 單位制寫出關係式，這樣就更能顯出這兩個規律的對稱性。

經驗到的。可是這對於表達物理現象本身的詳細變化情況則往往是不夠的。譬如在某一範圍內某一物理量的值處處等於零，那末經過積分出來的總值當然也等於零；可是如果在一半範圍內這量是正的而在另一半範圍內這量是負的，而且正負恰恰相抵，那末，積分後的結果仍然是零。但顯然這二種情況是彼此不相同的。爲了更精確更詳細地表達某一物理現象，往往必須規定每一有關物理量在空間每一點上和時間每一瞬上的值，以及在這一點附近和這一瞬前後該物理量的變化情況，這恰相當於微分形式的數學表達方法。如果我們所要描述的是關於質點運動，那末應用常微分方程就夠了；但如果所描述的是關於連續體的運動，那末就非應用偏微分方程不可。換句話說，偏微分方程是描述連續體運動的一個適當數學工具。但這究竟和場的概念有什麼關係呢？原來場就相當於連續體或連續介質（不完全相同，見下面第4節），而場的概念則是和近距作用說分不開的。所以如果要想正確地說明近距作用說，那就非具體指出電場強度或磁場強度（或其他）在空間里每一點附近通過某一短時間間隔所發生的變化情況究竟怎樣不可了。這就等於把電磁作用在空間怎樣傳遞的情況詳細地描畫出來，場的基本概念也就在乎此。

根據這種精神來比較上面所列舉的兩種不同的表達方式（積分形式和微分形式），我們可見到：感應電動勢等於磁通量的負變率；這是一個積分形式的客觀規律，無疑地是正確的；可是從它我們不能得到更詳細的消息。但如果從末一式，就會立刻很明白清楚地見到，空間中某一點附近電場對於空間坐標的變率和在此時此地磁場對於時間的變率是怎樣緊密地互相聯系着的，這顯然說明了電磁場在按照合理的近距作用說從一點如何逐漸地傳遞到另一點。物質運動的變化發展情況用偏微分方程式來表達，可以說是已達到了相當完滿的地步。只要適當地運用數學作爲研究物理學的一種有力工具，而不致反爲數學所束縛，以致忘記了物理學本身，那就會獲得很好的效果的。列寧在討論現代物理學的危機時曾經指出：

“這是‘物理學的’唯心論底第一個原因。反動的偏向是科學底進步本身所產生的。自然科學底巨大成功，以及對於這種同質的與單純的物質要素（這些要素底運動規律可以用數學來計算）的接近，產生了數學家對於物質的遺忘。物質消滅了，只剩下一些方程式了”。[⊖]

這是列寧對於迷醉於數學方程式而把物質遺忘了的一些物理學家所提出的警惕

⊖ 列寧：唯物論與經驗批判論，頁339，曹葆華譯，1953，第二版。

訊號，而這也正是法拉第和麥克斯韋所取的途徑。但列寧在另一處又曾說過：

“物質的抽象，自然規律的抽象，價值的抽象以及其他等等，一句話，一切科學的（正確的、鄭重的、非瞎說的）抽象，都更深刻、更正確、更完全地反映着自然”。[⊖]

這又是列寧在對於否認一切抽象（包括數學的抽象）的近視的經驗主義者所提出的正確指示。

從上面所列舉的關於兩重要電磁現象的最末兩式（注意末一式未曾把傳導電流列入），可以很明顯地看出：跟着時間變化的磁場會引起跟着空間變化的電場；反之，跟着時間變化的電場也會引起跟着空間變化的磁場。電磁波就是通過這樣的一種運動變化過程而產生及傳播着的。多麼生動的辯證唯物世界觀！

3. 电磁能量定域的問題

如果按照超距作用的說法，電磁能量是應附着在電荷或電流本身之上的，因為作用既然是超距的，中間並不起着傳遞媒介的作用，那末，能量當然不能存在於空間而只能附着在帶電的實物本身上。但反之，如果承認近距作用說，則電磁能量猶如其他的波動能量一樣，應存在於媒質空間里的。現在把電能和磁能從這兩種不同觀點所得的表式列下：

電 能

磁 能

從超距作用觀點，定域于電荷或電流上的

$$\text{總能量: } W_e = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i$$

$$W_m = \frac{1}{2} \sum j_i A_i$$

從近距作用觀點，定域于空間中的

$$\text{能量密度: } w_e = \frac{1}{2} E \cdot D$$

$$w_m = \frac{1}{2} H \cdot B$$

對於靜電，靜磁、穩定電流和緩變電流的電磁場，這兩種不同觀點都導致到彼此相同的結果，因此也就難以判別哪一種觀點是正確的；可是對於迅變電磁場，那就非採用近距作用觀點、把電能或磁能看做定域在空間里不可了。這里空間中確有電磁能的傳遞，每秒通過每一單位垂直面積的能量是由烏莫夫——波印亭矢量所表

⊖ 列寧：黑格爾“邏輯學”一書摘要，引自毛澤東選集第一卷，頁275，實踐論。

示。只要把一塊能夠吸收電磁波的物體置在電磁波所通過的空間任何一處，就足証實這定域在空間里的能量底存在了。這也就是近距說戰勝了超距說的不可爭辯的地方。可是那抱着唯心觀點的馬遜和維瓦却這樣說：

“剛才所給的解釋（指對烏莫夫——波印亭矢量表式的解釋）啓示出一些評語來。首先，本書的作者不能夠給予‘定域性能量’一詞以任何意義。他們不相信，‘何在’是對能量所應提的一個公正的或有意義的問題。能量是組態的函數正和某一黑白圖案的美是組態的函數一樣。作者對於說到一空間的能量密度，比較說到一圖案上的美是以某一密度公佈在該圖案上，找不出更多的理由或辨解來。這樣的觀點將會使人對圖案上某一部分的某一完全空白的平方吋給予某一美的量，而對於另一部分的同一空白平方吋則又給予另一美的量。”[⊖]

把空間能量密度的分佈說成是和從一幅圖畫上各部分的黑白顏色淺深濃度以判定該圖畫上各部分的美觀程度一樣，這分明是唯心論的說法。這兩件東西怎麼可拿來相提並論呢！假如把電磁場能量在空間的分佈和流動都否認了，那末無疑會回到超距作用說，但那時將如何去解釋電磁波在空間的傳播呢？難道能否認無綫電收音機的動作嗎？假如除去了分佈在空間的電磁場能量及其傳播作用，還能從收音機收聽到廣播節目嗎？抱着唯心主義觀點的人往往連自己的感覺器官都不敢相信，却只憑着自己的主觀來判斷事物。再看這兩位作者對上述說法所提的理由罷。

“是一宗歷史的事實，能量定域在空間的概念不外是對於機械能量儲藏在何處以及怎樣儲藏所假定的了解而獲得的自然的結果，但如果人們確實相信了物質是由電構造的，那末就不會在對普通機械能量‘何在’的一個虛構概念的基礎上自命爲已了解了電能的‘何在’了。只從連續分佈物質的粗糙觀點考慮情況，人們在說出一彈簧的位能是‘儲藏在彈簧裏’時會感到一種輕鬆愉快，可是現代關於物質底電結構的理論認識到彈簧不外是一羣電子和質子，在它們中間有着相當廣闊的‘自由空間’。因此就不可能利用機械能定域的含糊的而宏觀的概念來幫助我們了解那些正是構成彈簧的電荷底能量究竟何在”。[⊖]

這兩位作者恐怕是走得太遠了罷。在承認物質是由一些帶電粒子所構成的同時，

⊖ Mason and Weaver: The Electromagnetic Field, P. 266, University of Chicago Press, 1929。注意我們只對這本書的這一部分觀點加以批判，其他部分還有它的價值。

⊖ 前引書，頁 267。

就連能量可以分佈在空間的概念都去掉了。難道這是實際的事實嗎？近代原子物理學從未曾否定過電磁輻射的可能性，反而更完滿地証實了它。假如能量不能儲存在空間或不能在空間裏傳播，原子的任何輻射還可能進行嗎？在上世紀末至本世紀初，以奧斯特瓦爾得爲首的“唯能論”者企圖用能量來代替物質，而這裏的作者馬遜和維瓦，則在承認物質的電構造時就同時否認了能量可能分佈於空間這一已被實踐証明了的事實。前者是企圖獲得沒有物質的運動，而後者却企圖獲得沒有運動的物質。這都不符合於客觀實際，而也不符合於辯證唯物觀點的。

4. 場底機械看法和辯證唯物看法——場概念之歷史發展

從庫侖定律導出與一高定律時，就已含有場的意義，但這只是由利用數學的一種運算方法而得來的。從物理意義方面極力主張場概念底重要性的則是法拉第；他首先利用力綫的概念來理解場，而力綫的概念則是從撒在兩磁極間鐵粉排列圖樣而推廣得來的。這樣他就把電磁場完全直觀化了起來，關於這一點麥克斯韋曾經這樣說：

“例如，法拉第在其心目中見到力綫穿過所有的空間，而在這空間裏那些數學家却只看到一些力中心在某距離上互相吸引着。在法拉第看到一媒質的地方他們只看到距離。法拉第尋求在這媒質中真正發生作用的現象底所在，而他們却認爲施於電液上的超距作用的本領就是這個所在而且感到滿足了”。[⊖]

法拉第認爲在兩電荷間的全部空間都佈滿了力綫，關於這些力綫的性質他心裏也有着明確的印象：

“可認爲在兩個有限大而帶電的導體間沿各連綫所作用着的直接感應力上還伴隨着垂直力或橫力，而這些橫力則等於沿這些綫上的擴張力或排斥力。或者說，存在於介質各質點間的吸引力伴隨着在橫向上的排斥力或發散力。”[⊖]

法拉第抓住了這些顯明的具有一定力學性質的力綫概念作爲他的研究綫索，結果獲得很大的成功，尤其關於電磁感應現象的發現。但我們不能否認，這些力綫只可作爲輔助了解電磁現象的工具。倘若一定要追問清楚究竟這些綫有多少條的話，那末，我們平常雖然假定它等於 $4\pi q$ 條（若採用竅理的單位制則是 q 條），可是這完全是人爲的假定，客觀上並不如此。客觀上應該是佈滿於整個空間從一電荷發

⊖ 麥克斯韋：前引書序言，頁 ix。

⊖ Faraday: *Experimental Researches in Electricity*, vol. I, P. 409, Taylor, 1839.

出（或終止於某一電荷）的完全稠密的連續的力管，如此則在某一點上只能確定力的方向，而不能確定力綫的稠密程度（因為那是完全稠密的）。由此可見人爲的力綫概念倒也有它的好處。因為由於規定了通過單位垂直面積的力綫條數等於在那裏的電場強度，人們可以從力綫的疏密而斷定該處的強度。這尤其對於進行電磁學的直觀教育方面非常有幫助。物理學界關於場的初步看法就是從這力綫開始的。

麥克斯韋繼承了法拉第關於力綫的概念，但進一步利用嚴密的數學方法從一些基本的實驗事實出發導出關於場的某些固有性質。例如，他也得出了沿力綫的縱向有吸引力而沿橫向有排斥力的結論，可是這時他所得的結果却是定量的，不象法拉第心目中的力綫性質只是定性的罷了。這是一個很大的進步。其次從麥克斯韋所用方法及其所得結果也很容易看出：具有某一定數目的力綫底人爲性以及連續稠密的力管底客觀實在性。他把場的概念更加精確化和普遍化了。試看一看他對於電場所下的定義：

“電場是當我們攷慮到電現象時在帶電物體附近的一部分空間。這空間可以爲空氣或其他物質所佔據，也可能是所謂真空，即從其中用我們所能做的辦法抽出所有能夠起作用的物質的空間。如果把一帶電物體置在電場中的任一部分，那末一般會對其他物體的帶電情況產生一可察見的擾動。但如果那物體很小，而所帶的電也很小，那末其他物體的帶電情況將不會受到可察見的擾動，因而我們也就可用這物體的質心來確定它的位置。這時作用在該物體上之力就和它的電荷成正比，當電荷的號相反時力的方向也相反”[⊖]

麥氏對電場所下的定義差不多就是近代一般物理學教科書所下的定義了。然而麥氏對電磁場的看法仍然是十九世紀物理學界所十分流行着的機械觀點。看他在序文中所說：

“最後，由於已証明了沒有任何電磁現象是和假定只依靠着純粹的動力作用有過沖突的，因此，把電磁學還原爲動力學已有了某些進展。”[⊖]

把電磁學還原爲動力學，確是十九世紀物理學界的一般企圖，而麥克斯韋認爲已經有了相當成功，因為他能夠從理論方面証實法拉第對於電磁場的機械觀，把他的概念定量化。又從而在假定了位移電流之後能導出電磁波應在真空或介質中存在，

⊖ 麥克斯韋：前引書，卷一，頁47。

⊖ 麥克斯韋：前引書，序言，頁vii。

這顯明是場論的一個很大進展。但由於只從機械觀點出發，任何波動都需要有一種媒質以資傳播，因此麥氏認為遺憾的是關於這媒質的確實性質還未曾找到，不能很好地解釋沿力綫的機械脅力的由來，他說：

“必須小心記在心頭的是，我們在媒質作用的理論中只做到了第一步。我們曾經假定媒質是在受脅力狀態中，但却未曾對這脅力作任何解釋，也未曾說明脅力是怎樣來維持的。無論如何，這一步驟我認為是重要的，因為由媒質中各互相連接的部分底作用就能夠解釋那些以往認為只有直接的超距作用才能解釋的現象。”[⊖]

麥氏在其兩卷大著的最末一段曾再強調這媒質對於傳播能量的重要性：

“事實上，當能量從一物體經過某一定時間後傳遞到另一物體時，必須有一足資能量在離開了一物體、但還未到達另一物體時存在的媒質或物質，因為正如托里西利所說的，‘能量是這麼精緻的菁華，以致除了物質的內部本質能夠容納它外任何容器都不能容納它’。因此所有這些理論都引導到在其中發生傳播的媒質底概念。如果我們承認這媒質為一假設，那末我想它必定要在我們的研究探討中佔據一顯著地位。而且我們應該努力對於它的作用底所有詳情，構成一心中表象，而這也就是在這一論著中我的經常目的。”[⊖]

麥氏關於電磁波傳播必須有一媒質的概念是十九世紀和以前物理學家們的一般概念，他們都是由於看到所有機械彈性波（包括聲波水波等）的傳播總必須有一介質，所以自從惠更斯最初（1678）提出了光之波動說時，他就同時假定有一供傳播的媒質存在。後來經夫累涅爾（1788—1827）、楊格（1773—1829）等人再度主張光之波動說，於是對於傳播光之媒質——光的以太——的學說就更大加發展。但在這發展過程中却碰到了一系列的困難，諸如在說明光速之特別大，光波是橫波等等問題時所碰到之困難。當時曾經假定這以太媒質是無往弗屆的、充滿整個空間並侵入所有實物的、非常堅硬的、但同時又是非常輕的固體，象這樣的一個“理想”媒質，夠難以想象了。麥氏在從理論上推導出光是電磁波，即奠定了光之電磁學說之後，雖然很小心地避免提出這媒質所應具有的物理性質，但由於一貫受機械唯物論的深刻影響，所以還是繼承着光的機械媒質底傳統概念，企圖把電磁學還原為動力學，一如他在他的鉅著序言中所曾聲明過的。

⊖ 麥克斯章：前引書，卷一，頁165。

⊖ 麥克斯章：前引書，卷二，頁493。

以太的假定除了充分表現機械唯物論的觀點外，還為電動力學建立了一個特殊的慣性系統，即假定只有相對於這一靜止的以太，電磁學定律才是正確的。十九世紀後半物理學界很大一部份精力就用在尋找這一特殊的慣性系統，也即尋找以太相對於地球及其他物質的運動；從菲索實驗(1851)以至邁克爾遜——莫萊實驗(1881)都是為着這一目的，而後一實驗可說是關於尋找以太企圖中所達到的最高峯，但也就是最後的一個實驗，因為從這一個實驗的結果，以太假定却開始動搖了。目的在尋求作為電動力學中一個絕對靜止的以太媒質，即一個特殊的慣性系統，而結果却遭到了完全失敗，得到否定的結果，這在當時的物理學界中曾引起了相當巨大的震動，物理學家開始對電磁場的純機械觀以及對絕對靜止慣性系統的形而上學假定有所懷疑了。但直到本世紀初(1905)愛因斯坦才成功地根據這一實驗事實奠立了他的相對性原理，從而推導出全部的特殊相對論。這一方面結束了關於場的機械觀，也即結束了企圖用機械彈性媒質來解釋電磁波存在的妄想；另一方面也就更加強了電磁場的辯證唯物觀點，把場和實物——物質存在的兩種可能形式——更加統一起來了。

自從法拉第主張近距作用說，引入了力綫概念，本來只為着幫助對於電磁現象的了解，同時也就賦予電磁場以一些機械性質，諸如沿力綫的張力及壓力之類，但這時場還只佔有比較次要的地位，它只為着解釋兩電荷或兩電流間的相互作用而被引用了的輔助概念。麥克斯韋繼承了法拉第關於電磁場的概念，把過去關於電磁現象的實驗事實歸納成幾個基本的方程式，從這些方程式可推導出法拉第心中所想象的關於力綫的脅力，但此外還推導出更多的東西，例如電磁場在空間分佈的能量密度，這些電磁場能量在空間流動的情況，即計算出烏莫夫——波印亭矢量，從而肯定了電磁場也和實物一樣具有能量和動量，這後者也就構成了電磁波在空中的傳播。所以從麥氏的電磁場理論中逐漸可見到電磁場的物質性。

然而理論畢竟還是理論，必須有實踐，即實驗事實作支持，理論才能正式地成立。赫芝實驗(1888)就是用來證實電磁波底存在，而且還證實了它的性質一如麥克斯韋所預料的和光的性質完全一致，所不同的只是頻率或波長的差異而已。這是關於電磁場運動規律的一個有名實驗。另一個有名實驗則是俄國物理學家列別傑夫所作的關於光壓的實驗(1900)。他量測了當光波射到物質上時對於物質所施的壓力，證實了麥克斯韋電磁場理論的正確性，從而也就證實了光或電磁場具有物質的一般屬性，即動量的屬性，從這一實驗的結果還可推導出能量和質量間的關係，即

$E=mc^2$ 的關係。⊖這一有名的關係也就是愛因斯坦於 1905 年從他的特殊相對論所推導出來的。

關於電磁場具有質量這一點還值得再談一下，因為這是一個有關帶電基本粒子（諸如電子）底電磁質量的問題的。我們知道，一個帶電粒子當運動時就會產生電磁場，這電磁場具有動量，因而也應具有一相當質量。如果運動是有加速度的（按照經典電動力學，不考慮量子論方面的修正），這帶電粒子還將輻射出電磁波，因而受到電磁波對它本身的反作用力；從這里也可計算出帶電粒子的電磁質量來。⊖總之，電磁場既具有能量和動量，則它也應具有一相應的質量，那是可以肯定的。可是這電磁質量究竟有多少，在目前關於基本粒子的結構還未十分清楚以前是很難加以確定的。一般認為場和實物都應具有質量：既不能和法拉第時代一樣認為場只是為了解實物的輔助之用；但也不能如本世紀初象阿伯拉罕所主張的全部電子質量都屬於電磁性質。這兩方面的看法都是片面的。應該說，實物和場都是物質表現的形式，它們都具有物質的共同屬性：動量、能量、質量等等；當然此外也還具有一些不相同的性質。⊖

這就是我們關於場的辯唯物看法：不能只看到實物而忽略了場，也不能因為場的存在而忘記了實物；它們是物質存在的兩種形式，是一種辯證的統一，都統一於物質；它們具有共通的性質，也具有特殊的性質；它們都表現出粒子性，也表現出波性；它們在某種適當條件下也可能互相轉換（正負電子和 γ 光子的相互轉換）。

最後還必須指出，除了電磁場之外也還有其他性質不相同的場，其中最重要的是萬有引力場和原子核里面的核子力場。這些場也是客觀存在的，也是物質世界表現的形式，但關於後者究竟確實的性質怎樣，還有待於物理學家們的繼續研究，才能確定。

III. 微觀和宏觀的關係——電子論的成就及其局限性

十九世紀後半期，由於對輝光放電即陰極射線的研究，就發現了帶負電的微小粒子——電子。這使電動力學內容獲得了空前豐富，因而進一步促進了它的發展。

⊖ 布則：場是物質的一種形態，物理通報，7，1955，頁 391。

⊖ 胡寧：電動力學（北京大學交流講義），頁 117—121。

⊖ 布則：前引文，頁 394。

以往只知道物體可能帶正電或帶負電，但不確實知道這些正負電荷究竟是什麼；只知道導體或電解液中通過電流時，應有電荷在里面移動，但究竟是什麼種電荷在里面移動却不十分清楚。到這時，帶負電的電子被發現，而它的荷質比也被測定了(1897)。拿這荷質比來和以往根據法拉第電解定律所得的荷質比比較，便會知道這帶負電的電子，較之由於缺少一個或多出一個(或不只多少一個)電子所構成的離子為輕。因此這時人們已經能夠推斷出構成物質的是帶正電粒子和帶負電粒子，而帶負電粒子是比較輕的。這個時期的物理學家德魯特、羅倫茲、湯姆生等人就是對物質構造提出了這樣的假定的，其中尤以羅倫茲的貢獻為最大。他的主要假定是：

(1)實物是由正負電荷組成的。而負電荷較輕，所以運動得比較利害。

(2)在中性原子或分子中負電荷被正電荷所吸引。當負電荷作微小位移時(正電荷因較重，所以基本上不動)，這吸引力是准彈性的，因而也就發生了簡諧振動；這些振動的頻率，也即是輻射的頻率；當頻率相當高時就表現為光波。

(3)麥克斯韋的真空電磁場方程組以及羅倫茲力的公式都可適用於實物里面的微觀世界，即假定上述構成實物的正負電荷都分佈在真空中。

(4)我們一般對實物所量測而得的宏觀量都只是微觀量的統計平均值。

根據這些簡單假定就能夠推出關於物質的電的、磁的、以及光的許多重要結論，這些結論都和實驗事實相當符合，這就構成電動力學中電子論部分的內容。

由電子論所取得的成就確是不小的。首先我們根據了假定(3)就確能夠從微觀的電變場方程式組推導出宏觀的電磁場方程式組，只須應用統計學求平均值的一些原理以及肯定宏觀的磁感應強度 B 即等於微觀的磁場強度 H 底平均值等等。這充分表現出微觀和宏觀兩方面底辨証的聯系。因為我們最初是從麥克斯韋的宏觀場方程式出發的，認為這些方程式符合於實驗事實，然後從其中抽出適合於真空特殊情況的一部分來，把它應用到微觀的電磁場中去，再利用統計方法証明這樣的微觀電磁場能引導到有介質存在的宏觀電磁場。所以微觀和宏觀正是物質世界中辯証的統一，它們間有着彼此密切的聯系。

其次，電子論的偉大成就還表現在對於物質的電性、磁性、以及光性等的相當滿意的解釋上。根據麥氏的場方程組可推得電磁波(光)之折射率和介質之電性及磁性有直接關係，即表現為 $n = \sqrt{\epsilon \mu}$ 的關係，其中 n 為折射率， ϵ 為介質之介電常數， μ 為導磁係數。但在光之頻率上所有一切物質的 μ 都可取等於1，因而折射率也就只和介質的電性有關係了。從電子論關於電子被束縛在原子或分子中是依靠

着一彈性力，再加上一阻尼力以及受光綫照射時光波上電場對它作用之力，就足以計算出介質的介電常數，因而計算出光之折射率，所得結果表現折射率是頻率的函數，可以用來解釋光之正常與反常色散以及共振吸收。和這有密切關係的光之瑞利散射也得到了圓滿解釋。而物質的順磁性及反磁性也能夠初步了解，若再加上樊依斯的內磁場概念，則還能夠解釋鐵磁性。此外，磁場對於光之頻率影响，即表現為蔡曼效應的，電子論也能對簡單的一部分加以解釋；磁場對於電流的影响，表現為霍爾效應的，其正常部分也同樣得到解釋；磁場對於光偏振面之轉動，即所謂法拉第效應的，也可以理解了。電子論的創始人之一德魯特還提出了初步的金屬電子理論，羅命茲更加發展了它。他們假定金屬中有一部分電子是自由的，構成了和理想氣體相似的自由電子氣，這電子氣的運動規律也和理想氣體的一樣，其平均動能與絕對溫度成正比。在加上電場時電子受到加速，可是不久之後和正離子碰撞，這剛才獲得的加速運動也立刻消失了，但在碰撞後電子又從新被加速，這樣連續不已，因而造成自由電子的一個平均定向移動，也即構成電流。從此便可以推算得金屬的電導率，又可推導出維達曼——弗朗茲定律，後者原來是從實驗結果獲得的。利用電子氣的概念還可近似地解釋了從金屬表面的熱電子發射現象。

電子論既然取得了這麼大的成就，那是不是它就是完滿無缺的呢？遠不是的。它只是在發現了電子之後初步形成的一個粗糙的關於物質構造的理論。當時蒲朗克的量子論假設（1900）還未曾引入，盧瑟福有名的 α 粒子散射實驗（1911）也還未曾做，因而象波耳的原子模型（1913）也都尚付缺如，再不用說以後發展的量子力學（1925）了。所以這個理論不能解釋在原子物理中最佔重要地位的綫光譜，也不能提供出有關許多光學的、電學的以及磁學的現象底詳細解釋。諸如對於蔡曼效應只能解釋簡單的而不能解釋複雜的，對於霍爾效應只能解釋正常的而不能解釋反常的，對於光波被實物散射只能解釋頻率不變的瑞利型的，而不能解釋頻率變更的聯合散射型的。在上述的初步金屬電子論中，雖能導出關於金屬電導率的表式，但這表式不能提供出電導率和溫度的正確關係。而尤其嚴重的則是關於固體的比熱問題。自由電子氣並不貢獻如尋常理想氣體所能貢獻的那麼多的比熱，實際上只能貢獻出約等於預料值的百分之一。這些都要待以後量子論以及量子力學才能給予更滿意的解決。

究竟電子論的缺點在那裏呢？它假定了麥氏方程組及羅命茲力的公式都可應用於微觀場，這一點應該說是比較靠得住的，因為從此仍可推導出原來適用於介質的

宏觀場方程式。然而我們不能不注意到，由於沒有引入量子論的正確假設，所得結果對於原子或分子的微觀範圍而言，最多都只能是初步的近似。例如最顯著的差異表現在：按照經典電動力學，一個作加速運動的電子應不斷地發生輻射；可是在原子裡穩定狀態中運動着的電子本來也有向心的加速度，但卻不會發生輻射；而且原子裡的電子運動並不象電子論所假定的那麼簡單，只作出彈性的簡諧運動，而是作出了一些穩定態的複雜運動；只有當電子從一穩定態到另一穩定態時才發生激發或輻射，因此輻射光波的頻率是由兩穩定態的能量差決定，而並非直接由電子的振動頻率決定。從原則上言，麥氏場方程式仍是在經典的物理學基礎上建築起來的。它假定有關帶電粒子以及電磁場的一切物理量底完全可確定性，也即假定在同一時刻任何物理量都可準確量測至任意程度。這是和量子力學的基本精神不相符合的：按照量子力學的測不准關係，凡屬於同一坐標的粒子位置及其動量不能同時測得完全準確，關於能量與時間的關係也然，這些每一對共軛量的測不准關係受蒲朗克常數所約束，因而召致了整個原子結構的量子性，而這量子性基本上是符合於實驗事實的。但初期羅倫茲等的簡單電子論却未曾有這些量子論的概念，因此最多只能初步近似地符合於客觀事實。這麼一來，上面所列舉的關於電子論許多不符合於實驗事實的地方也就可以理解了。

從原子的核模型被確定了以後，波耳引用蒲朗克的量子假定，配合到核模型，初步能解釋原子的綫光譜。以後逐漸發展以至量子力學，對於原子結構以及電子本身所具有的性質都更加清楚了。例如電子的質量以及它所帶的電荷都準確地被測量出來了，尤其關於電子質量和速度有關的一事實，證明了相對論預料的正確。為要解釋光譜中的精細結構還必須假定每一電子有自旋的機械矩及磁矩，而這些在後來的量子力學中却構成整個理論中所不可缺少的部分。電子及其他基本粒子以至由這些基子所構成的原子或分子都具有波性；而在另一方面電磁波則具有波性也有粒子性。後一性質充分表現在光電效應上。這麼一來，電子的性質是更加複雜，而電磁波的性質也是更加複雜，不像經典電動力學以及經典電子論所假定的那麼簡單了。早在1908年列寧就曾經很正確地指出了電子性質的可能複雜，需要人們繼續不斷地去發現它。他說：

“電子象原子一樣是不可窮盡的”。[⊖]

⊖ 列寧：唯物論與經驗批判論，頁293，曹葆華譯，1953，第二版。

直到目前,我們還不能說對電子(及其他的基本粒子)的認識已達到了完善地步,許多的問題還未獲得解決。例如關於電子里面的電荷怎樣分佈還不清楚,也就不能準確地計算出電子的電磁質量;同時對於非電磁起源的結合力還不十分了解,也就無從計算出電磁質量以外的質量。至於牽涉到原子核里面的結合力問題,那是更加複雜,其中有許多地方還需要作更詳細深入的研究。

科學總是不斷向前發展的。在電動力學中一般所討論的電子論部分,只是關於物質結構中的一個發展階段;我們既不能把它看做十分完全的,但也不能把它輕視忽略,因為它是從電子發現以後人們對物質結構所取得的初步成就。而且正因為它的假定簡單而明確,在演算手續上也比較簡單,不象量子力學那麼繁複,所得結果又往往可作為量子力學正確結果的很好的近似,所以還是值得我們加以系統整理,並批判地加以利用的。

一切科學的原理和定律,總不免受到時代的局限性,所以都是相對真理。但“絕對真理是由相對真理底總和構成的,科學發展底每一階段,在這絕對真理底總和中添加了新的幾粒,可是每一科學原理底真理界限是相對的,它們是隨着知識底往前發展時而擴張,時而縮小的。”[⊖]

我們對於經典電子論就應該以這種歷史發展的眼光來看待它,而這也就是辯證唯物主義與歷史唯物主義的正確觀點。

IV. 相對論電動力學的辯證唯物主義

前而已曾提及,自從邁克爾遜——莫萊的實驗事實否定了以太相對於地球的運動之後,以太的假定就開始動搖了。本世紀初愛因斯坦以這實驗事實為根據,建立了他的狹義相對論;所以狹義相對論應該說是和光的現象也即電磁現象分不開的。我們知道,相對論的基本假設是相對性原理,即假定在不同的慣性系統上觀察同一物理現象所得的規律相同。換句話說,無論我們作過什麼樣的物理實驗,用過什麼樣的方法來量測或觀察,都不能發現某一慣性系統的絕對運動。所有一切慣性系統都是等價的。然而這一相對性原理是不是相對論所首先提出來的呢?可不是。原來如果假定牛頓的絕對時空觀(即所謂伽利略變換),那末相對性原理早已適用於經

⊖ 列寧:前引書,頁162。

典力學，這很容易從牛頓第二定律中不包含速度而看出。可是，一到了電動力學，由麥克斯韋場方程式所推導出來的（在真空中）光之速度却是一個常數。假如同樣運用伽利略變換，把同一現象從另一慣性系統來觀察，那末，這光速就應該改變的了。因此，人們（包括有名的羅倫茲等人）就以爲表達電磁現象底規律的方程式，應只能適用於某一特殊的慣性系統，也即只能適用於一個絕對靜止的慣性系統。恰巧這種想法符合于當時所流行的以太學說。因此，大家就都在努力尋找出這樣一個絕對靜止的以太，反而把原來適用於經典力學的相對性原理完全忘掉了。當邁克爾遜——莫萊的實驗找不出這以太以後，羅倫茲和非茲傑惹曾經提出了運動尺度會縮短的假定，雖然這假定能解釋實驗結果，但却還是建築在特殊慣性系統的概念上面的。到了愛因斯坦，才從邁——莫的實驗結果中認識到光速對於不同坐標系統的不變性，也即表示光速本身遵從着相對性原理：從不同慣性系統上，量測光速所得的結果都相同。可是這麼一來，我們所習慣的速度合成定理就得要拋棄了。這速度合成定理分明是建築在絕對時空的觀念之上，也即是符合于伽利略變換的。愛因斯坦在這裏提出了他的劃時代的建議，認爲舊的時空觀念應加以改革，而相對性原理却仍須保持；由此而推出有名的羅倫茲變換式，有別于舊的伽利略變換式；時間和空間不再是絕對的，也不再是互相獨立的，而是彼此密切聯系着的了。

但爲什麼伽利略和牛頓却誤認空間與時間都是絕對的呢？主要還是由於受當時歷史條件所限制。因爲當時作爲主要傳達消息的光之速度還沒有量得，伽利略雖曾經嘗試過這量測而沒有成功。因此，他們都沒有考慮到空間和時間究竟應該用怎樣的一種方法來量測才靠得住的問題（尤其關於巨大空間距離的量測）；縱然他們有考慮到這些問題，但也沒有把訊號傳遞所需的時間計算進去。他們只能憑空想象出一把剛體尺以及一個“均勻的時間之流”來定義長度和時間。所以我們目前叫這種絕對時間和空間的概念爲形而上學的，因爲它們不符合于客觀事實。按照新的看法，即相對論的看法，時間和空間却具有很確定的量測意義：在量測時，必須充分考慮到訊號在傳遞時所需的時間，並須結合到由實驗事實所確立了的相對性原理（包括光速不跟坐標而變的事實）。因此，我們可以肯定地說，相對論對於時空概念是具有更高的實踐意義的，是更符合于客觀實際的，因而也就更符合于辯證唯物觀點。

往時所考慮到的空間可以是一個純粹幾何的空間，但目前我們所考慮的空間和時間却都完全是物理的。正如俄國教學家洛巴柴夫斯基所早已指出的：

“從歐凡里得的時候起，兩千年的徒勞無益的努力使我感覺到，我們所要証明

的真理，並不在於概念本身，而是和其他的物理定律類似，只有實驗（例如天文學的觀測）才能夠予以檢驗的。”^①

關於這一點愛因斯坦也說：

“但是爲了我們的目的就必須把幾何學的基本概念聯系到自然物上來；沒有這樣一種聯系，幾何學對於物理學家是毫無價值的。物理學家要關心到究竟幾何學的定理是否真的這一問題。”^②

相對論的另一重大收穫，是打破了過去曾經統治物理學界幾百年的機械唯物論。那時候的物理學家，總是企圖把一切物理現象（包括電磁的和光的）都還原到機械力學這方面來。麥克斯韋雖然前進了一大步，把光現象和電磁現象統一了起來，而且也把場在物質世界中的地位大大地提高了；可是還擺脫不了這機械唯物論的影響，仍希望把電動力學還原爲動力學。與這機械唯物論思想有密切聯系的以太學說一直到了邁——莫實驗之後才發生動搖，再到了愛因斯坦的相對論建立之後才顯呈崩潰。按照相對論，任何慣性系統都是等價的，沒有一個特殊的慣性系統，因而也就沒有一個絕對靜止的以太存在。這一方面肯定了相對性原理，一如上面所說的；而另一方面則是肯定了場在物質世界中的地位。場是客觀的實在，一如實物一樣，所以電磁場並不需要一個具有實物性質的媒質以太作爲傳遞之用。一切電磁現象可歸結爲從電荷或電流（實物）所產生的電磁場，在空間以一定的速度傳遞着。這場又會反過來作用在實物上，而影响到它們的運動。場和實物完全具有平等的地位，而且電磁現象不必再依靠機械唯物論的概念來作解釋了。這無疑是機械唯物論的失敗，也就是辯證唯物論的勝利。列寧在談論本世紀初物理學的危機時曾經指出：

“物理學底唯物的基本精神，正如整個現代自然科學底唯物論的基本精神一樣，將戰勝一切和任何的危機，可是這完全必須以辯證唯物論去代替形而上學的唯物論”。^③

物理學規律之統一，到了相對論可以說是達到了相當高的程度。過去抱着機械唯物論的觀點的物理學家，企圖把電動力學還原爲機械力學，結果沒有成功而反招

① 洛巴柴夫斯基集。卷11，頁158—159，1949年俄文版（引自辯證唯物論與自然科學（2），頁252，中國人民大學出版，1954）。

② Einstein: The Meaning of Relativity, P.8, Princeton University Press, 1945.

③ 列寧：前引書，頁337。

致失敗。相對論却從另一角度上，根據可靠的實驗事實，即相對性原理，把電動力學和動力學統一起來了。兩方面同時表達了物理現象的客觀規律都遵循着同一的相對性原理，都符合于新的時空觀念。一切物理規律，無論力學的或電磁學的，都必須用相當于四度時空的四維矢量或四維張量來表達，才能滿足相對性原理。力學的和電磁學的許多概念和規律都很難加以明確劃分，因為它們都統一起來了，統一于物理世界規律的客觀實在性。這裏應該注意的是：“統一”和“還原”是有相當大的差別的。因為前者表示互相結合，而後者表示彼此從屬，兩者不能相提並論。

剛才提到四度時空和四維矢量，使我們不得不注意到相對論的另一特點，那就是高度的聯系性。按照舊的時空觀念，時間和空間是彼此孤立，不相聯系的，但按照新的相對論觀點，時間和空間却是互相聯系，而且都受到羅倫茲變換式的約束。因此，時間和空間乃是結合成一整體，即所謂四度時間的連續體，或簡稱四度空間，或四維空間。這一聯系，使許多純經驗主義者煩惑起來了，他們一定要親眼看到、或親手摸到這四維空間才會感到滿意，否則，就堅決不相信了；也使一些神秘主義者活躍起來了，他們企圖在四度空間裏找尋出鬼怪、上帝和靈魂等的踪跡。可是，實際上這四度時空，只不過是為着更易于了解相對論底時空關係而提出來的概念；是明茨斯基的一個傑作。

關於這一點愛因斯坦也曾經說過：

“由於按照相對論，時間已被剝奪了獨立性。因此，在這一理論上，以四維的方式來考慮‘世界’是很自然的。”[⊖]他在另一處又說：“事件的四維連續體底不分割性，完全不包含着空間坐標和時間坐標的等同。”[⊖]這後一聲明，應可使上述的純經驗主義者清醒過來了罷。如果要想用眼來看或用手來摸到四維空間，一如對三維空間所得的感覺一樣，那一定是徒勞無功的；而企圖在四度空間裏找到神奇古怪的那些神秘主義者，更應該感到失望了罷。

由於時間和空間的密切聯系，更影响到其他許多物理量的彼此聯系，諸如一向認為互相獨立不相干的動量和能量却已結合成一個四維矢量了；由此並可獲得質量與能量的關係，這就打破了以往在物理學界和化學界中所久已公認的彼此互相孤立的能量守恆定律與質量守恆定律，而却把它們統一成一個單一的質能守恆定律了。

⊖ Einstein: Relativity, The Special and General Theory, P. 66, Holt 1920.

⊖ 愛因斯坦：相對論的意義，頁31。

這一能量和質量的統一，也顯示出場和實物的統一。此外，電流和電荷、矢勢和標勢、力和功率等等，也都各各統一為四維矢量，彼此間互相聯系起來。而尤其表現得突出的，則是電場和磁場共同結合成一個反對稱的四維張量；它們原來的六個分量，根據羅倫茲變換，在不同慣性系統上彼此互相聯系着。最後，我們也會見到電磁場中的九個張力分量，三個動量分量，以及一個能量密度也都結合在一起，成為一個對稱的四維張量。這些原來被認為不互相關系的物理量現在却都被相對論聯系起來了。它們之間既然有了聯系並互相制約，按照一定的聯系制約規律，那末，就一定會更易於了解。這正是辯證唯物論的一個重要原則，不同于形而上學的。

相對論還替電動力學解決了一個久經爭辯的問題，那就是在電磁場中究竟 E 應和 H 聯系呢，還是應和 B 聯系？ D 之情況也然。羅倫茲電子論，雖啓示了一個答案，即微觀電場的平均值仍是 E ，而微觀磁場的平均值却是 B ，所以 E 似乎應和 B 聯系，但也提不出其他更充分的理由來。相對論電動力學，却很明顯地把 E 和 B 、 D 和 H 各分屬於兩個不同的四維張量，並各服從不同的規律，這就不再容爭辯了。近年來，許多物理學家更從物理意義方面闡明這樣聯系之正確性。

由於許多物理量間發生了聯系，構成一些四維矢量或四維張量，其中各個分量跟着不同的慣性系統而不同，因此，往時認為絕對的東西，現在都變成相對的了。例如，在三度空間裏的尺度長短、時間間隔、動量與能量、電場與磁場等，都不是絕對的，而是相對的了。從這裏會引起一個問題：是否按照相對論什麼東西都是相對的，而且一切真理都只具有相對意義而毫無絕對意義呢？這顯然不是。相對論肯定有絕對的東西。例如，尺度的長短，是跟着坐標系統變的，可是四維空間裏的“世界”距離却是一個不跟坐標系統而變的不變量，那顯然就是絕對的東西了。和這相似的不變量還有原時、四維空間體積等等。而且更應該注意的是，凡合成一個四維矢量或四維張量的東西，都代表一物理量的整體，雖然其中各分量互相聯系互相制約而跟着不同的慣性系統發生了變化，可是就整個來說，却是具有一定客觀實在的客體，不跟不同系統上的觀察者而變的。所以我們應可以說各分量是相對的，而由各分量所構成的整體則是絕對的。由這些整體表達的物理規律，都符合於相對性原理，即在不同慣性系統的任何觀察者所得到的規律形式都相同，因此，這顯然也具有相當的絕對性。不過，一切物理規律，正如其它的科學規律一樣，都是逐漸發展逐漸深化的。所以我們也不能武斷地說這些用四維方式表達出來的物理規律就一定是最後的、完全絕對正確的、而以后不需要再加以深化發展的。如果我們攷

慮到對客觀事物底認識程度的不可避免的歷史條件，那末，就應該說所有的物理規律都還是相對的。但總之，我們可以意識到，縱然按照相對論，一切物理量和一切物理規律，也都有其相對性和絕對性。

這裏，或仍須談一談客觀與主觀的問題，客觀真理和因果律究竟存在與否的問題。我們知道，由相對論所推得的一些結果，如不同坐標系統上的觀察者，對同一尺度所量得的長度不同，對同一事件經過所量得的時間間隔也不同，同時性變成相對的了，質量跟着速度變了，諸如此類。因此，人們很容易得出這樣的結論：客觀真理是不存在的，一切都是由主觀決定的。“公說公有理，婆說婆有理”，沒有一定標準，任你來說什麼就是什麼。究竟是不是這樣的呢？我們首先應當分清一個物理量跟着不同坐標系統上的觀察者所量測的結果不同，這並不意味着這不同是從主觀方面得來的。所謂主觀，簡單地說，就是由“心”所產生的，而不是由“物”所產生的。但相對論却確確實實是完全建築在實踐的“物”之上的。兩個不同的觀察者所得的結果儘管不同，但他們却都是用物理方法來量測而得的結果，並不是從心中想出來的。這就是客觀和主觀的區別。所以我們應該肯定地說：相對論，無論從它作為基本假定的相對性原理或從它所推得的許多結論來看，都是完全代表着客觀的東西，而不是主觀的東西，這也就是我們辯證唯物主義者的看法。當然，我們也無從禁止那一些唯心主義者的唯心看法，這裏只舉出普恩凱萊和畢爾生兩人的說法以作為代表就夠：“並不是自然界把它們（指空間和時間——筆者）給與（或加諸）我們的，而是我們把它們給與自然界的，因為我們看到它們方便有用。”[⊖]“我們不能斷言，空間與時間有實在的存在；它們不是存在于物中，而是存在于我們感知物的方式中。”[⊖]這些唯心主義者，把心理的和物理的東西混同起來了，而且企圖把物理的歸結為心理的，也就是企圖把客觀歸結為主觀。當然，我們不能否認有象“一日不見，如隔三秋”的主觀時間感覺，但那是完全心理的東西，不是物理的東西。我們所談的物理世界，以及那更精確地表達物理世界客觀規律性的相對論，全部都是物理的、客觀的，而不是心理的、主觀的。這應該可區別主觀和客觀了罷；唯心主義者的企圖將永遠不能實現的。

既然物理規律是表達客觀世界物質運動的規律，那麼客觀真理的存在，當然不

⊖ 列寧：前引書，頁210。

⊖ 列寧：前引書，頁211。

能再有疑問的了。至于真理的相對性和絕對性，上面也已經就相對論的範圍內談論過了，所以不再重復，只有因果律問題還值得一提。我們知道相對論是建築在麥克斯韋的電磁場理論之上的，而後者的基本概念，則是法拉第的近距作用說。這近距作用說，是嚴格地遵守因果關係的。這裏所發生的某一變動事件，只有靠那由一點傳遞至另一點的不斷因果作用才能最後抵達另一目的地。所以相對論在原則上是肯定因果關係的。但由於同時性的不具有絕對意義，因此，也就有人企圖把時間倒流，反果爲因，倒因爲果；但這都是相對論所不允許的。由此而獲得的結論是：一切的訊號或實物運動速度，都不能超過真空中的光速。這一結論，完全爲實驗事實所支持証實。因此，我們可以斷言，客觀世界中的因果律和因果關係，還是確實存在的。

相對主義者借口相對論已經推翻了一切事物及規律的絕對性，從而否認客觀真理的存在；否認因果律和必然性；一切自然規律和社會規律，都是可從“心”創造出來的，不反映任何客觀實在；一切看法說法都是相對的，任憑你的方便就可以創造出一個真理來。“真理之所以成爲公認的真理，正因爲它替我們擺過渡，做過媒，擺渡的船破了，再造一個。……這個媒婆不行，打他一頓媒拳，趕他出去，另外請一位靠得住的朋友做大媒。”[⊖]這個反動的、一向替帝國主義服務的唯心主義者胡適，就是這麼否認有客觀真理存在的，怪不得他要把中國過去的落後貧困歸根於“五鬼亂中華”，而不歸根於帝國主義和封建主義對中國所施的侵略、壓迫和危害了，這難道不是倒果爲因反因爲果的說法嗎？所以相對主義者不但曲解了相對論，而且當他把這種看法擴展到社會問題上去時，其危害性是多麼大呵！我們要站在科學的立場上堅決反對這種相對主義者的唯心反動看法和叫囂。

V. 結 語

從上面的討論，我們不難見到電動力學所啓示於我們的，一如其他的科學一樣，是客觀世界的物質性；無論實物和場都統一於物質。這物質世界是在不斷運動變化發展中的，而且其中的各個成分間存在着普遍聯系，和相互制約：電磁波的怎樣產生和怎樣傳播，以及相對論怎樣把許多物理量結合在一起，就很清楚地說明這一點。這運動變化發展着的，以及互相聯系互相制約着的物質世界，是完全可以爲

⊖ 胡適文存，卷二，實驗主義。

我們認識的，而且這認識是逐漸深入的。我們一方面從場的概念底產生，以及其後的演化情況：由機械唯物的，以至辯證唯物的觀點；另一方面，從關於實物結構的理論：由原子論以至電子論，再由電子論以至量子論及量子力學；從這兩方面都可以見到，我們對自然界的認識，確是逐漸深入向前發展的。事物的運動變化發展沒有止期，那末我們對於它們的認識底逐步深入，也就沒有止期。原子和電子的不可窮盡性、各種基子的複雜行為性質、實物和場的相互關係等等，都尙有待於今後進一步的深入研究。

另一點應加以注意的是：電動力學，也和其他的各門科學一樣，具有它的實踐性。因為電動力學中的一切規律，都是從實驗事實概括出來的，而實驗就是實踐的一方面；另一方面則是工業。無疑地以電動力學的原理為基礎的工業應用，那是多到不可勝數，談也不勝談的了；只是關於實驗事實為一切物理規律、包括電動力學規律的基礎這一點，不能不申述一下。那看來似乎很抽象的麥克斯韋方程式，以及相對論電動力學的四維表式，歸根到底，却還只是表達實驗事實的數學形式而已。所以不能只沉醉於數學形式，而忘記了物理本身，忘記了物理學包括電動力學都是實踐的科學這一基本事實。抹殺了這一基本事實就等於取消了物理學。但另一方面，如果只承認物理現象的感性方面，而忽略其理性方面；只看到事物的表面聯系，而忽略其內在聯系；只重零碎事實，而看輕整個系統理論；只重視量測的觀察的實驗方法，而忽視抽象的概括的數學方法；那都會是片面的，有害的。我們試看電動力學的發展過程，就可以清楚地體會到實驗和理論兩方面的工作乃是相輔為用，互相推動的。首先因為有了庫倫的實驗事實為根據，才發展了歐洲大陸的那個數學學派；這個學派因為走得太遠，步入歧途，於是奧斯特、法拉第、楞次等，又以實驗方法矯正之。麥克斯韋以法拉第及其以往的實驗事實為根據，運用數學方法，綜括出他的有名的場方程式組，並由此推导出電磁波的存在，而且建立了光之電磁理論。這是一個非常燦爛的科學預見，經過約二十年後，才由赫芝用實驗方法証實之。再舉相對論為例，相對論是建築在邁克爾遜——莫萊的實驗事實之上的一個完整的理論，所用方法完全是抽象的、概括的數學方法，由它而導出質量和速度的關係、質量和能量的關係等等結論；當時，這些也還只是一種科學預見，到後來，才逐漸由原子物理及原子核物理的實驗事實證明了的；而這些實驗事實目前又正在促進場論的發展；而從場論及其他理論的發展所能獲得的每一新的結論，又往往提示出某一新的實驗方向。因此，正如毛主席在他的實踐論中所說的：“實踐、認識、再實

踐、再認識，這種形式，循環往復以至無窮，而實踐和認識之每一循環的內容，都比較地進到了高一級的程度。”^①這不正是物理學中實驗和理論之循環往復，相互推動，因而相得益彰的道理嗎？

唯心論、形而上學，和辯證唯物論之所以不同，也往往在於前者之主觀片面性。上世紀末及本世紀初，一些唯心論者，在否定了機械唯物論時，就連物質世界的客觀實在和規律性也都一起否定了。甚至“電被宣稱為唯心論底助手，因為它破壞了物質構造底舊理論。”^②有的只承認了實物，而把場處於次要地位，連電磁場在空間的能量分布，及其流動也都否認了；有的則恰恰相反，只看到場方面，而忘記了實物方面，在電動力學的理論中，把電荷看成只是空間中的“特異點”、力綫的發散點及收納點，而拒絕討論它的性質和構造。唯能主義者只看到“能”而宣稱“物質消滅”了，機械唯物主義者只看到物質的機械性，而把其電性處於從屬地位。這些都明顯地帶着主觀片面性，而有別於辯證唯物主義的全面觀點、變化和發展觀點、聯系和制約觀點、矛盾和統一觀點的。

最後，由於科學總是在不斷發展着的，辯證唯物主義這一哲學體系也應該處於不斷發展進步的狀態。我們科學工作者都有責任把它豐富、充實、向前推進。辯證唯物論並不是死的教條，也並不是一成不變的東西。就無論是最出色的科學家，或最偉大的革命導師，也不能不受歷史條件所限制；這一點，如果不認識就不能發展科學，也就不能發展辯證唯物主義。列寧對這一問題，曾經這樣地提出：“恩格斯率直地說道：‘隨着甚至在自然科學’（‘且不講人類歷史’）‘領域內的每一劃時代的發現，唯物論必然地會改變它的形態’（費爾巴哈論，德文本，第19頁）。”因此，修正恩格斯底唯物論的‘形態’，修正他的自然哲學的命題，不僅不是通常意義下的‘修正主義’，而且，相反地，是馬克思主義者所必然要求的。我們責難馬赫主義者決不是因為這樣的修正，而是因為他們的純粹修正主義的方法——在批判唯物論底形態的外貌下改變唯物論底本質”。^③看一看我們的革命導師底胸襟是如何之坦蕩蕩呵！如何之符合於科學的發展規律呵！而在面對着真正的反動唯心論作鬥爭時，又是那麼堅決，那麼徹底！讓我們學習這些偉大革命導師的榜樣，不斷地發揮積極性和創造性，在發展各門科學的同時，也發展了辯證唯物主義。

① 毛澤東選集第一卷，實踐論，頁285。

② 列寧：前引書，頁314。

③ 列寧：前引書，頁282。