

高等学校教学用书

电与磁

下 册

苏联 E.A. 史特拉乌夫著

高等学校教学用书

电 与 磁

下 册

苏联E. A. 史特拉乌夫著

王 世 模译

电 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書中譯本分上下兩冊出版，下冊即原書第三編——電磁學。

書中首先闡述了電磁學的一般理論，然後依次將電流的磁場、電動力、電子與離子在磁場中的運動、電磁感應、電磁現象的基本定律與單位制、交變電流等分別按章加以論述。

本書所包含的電與磁的材料，比高等學校任何一個專業在講授此課程時所要求的材料，有著更多更豐富的內容；所以，用本書作為高等學校電與磁課程的參考書，是非常適宜的。

Е. А. ШТРАУФ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

ГОСТЕХИЗДАТ ЛЕНИНГРАД 1950

電 與 磁 下 冊

根據蘇聯國立技術理論書籍出版社1950年列寧格勒版翻譯

王 世 模 譯

*

328 D 128

電力工業出版社出版(北京府右街26號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 12%印張 * 265千字 * 定價(第10類)1.80元

1956年6月北京第1版

1957年4月北京第2次印刷(8,101—11,130冊)

目 錄

第三編 电 磁 学

第一章 緒論	322
§ 1. 磁場	322
§ 2. 關於磁的初步知識	325
§ 3. 庫倫實驗。磁量	327
§ 4. 介質對於磁棒的作用的影響	329
§ 5. 靜磁學	332
§ 6. 磁矩	338
§ 7. 磁偶極子和磁片	340
§ 8. 關於高斯方法的概念	340
§ 9. 元磁荷的假設	342
§ 10. 物質磁性的定量特徵	345
§ 11. 地球磁性	352
第二章 電流的磁場	356
§ 1. 電磁現象的發現	356
§ 2. 比奧——薩伐——拉普拉斯定律	357
§ 3. 直線電流的磁場強度	360
§ 4. 圓形電流的中心點的磁場強度	363
§ 5. 圓形電流的軸綫上的磁場強度	365
§ 6. 具有磁針的電流計和電磁式電表	366
§ 7. 電流的絕對電磁單位	370
§ 8. 磁極圍繞電流移動所作的功	374
§ 9. 電流的磁場強度的綫積分與環流	376

§ 10. 应用所獲得的結果於計算無限長螺絲管与环狀綫圈的磁場強度的例子	377
§ 11. 帶电的圓柱形導体的磁場	380
§ 12. 电流磁場的磁感	382
§ 13. 运动电荷的磁場	383
§ 14. 阿·富·越飛測定陰極射綫的磁場的實驗	384
§ 15. 阿·阿·愛亨華德測定帶电物体於运动时所發生的磁場的實驗	386
§ 16. 电流磁場与永久性磁鉄的磁場間的比照。分子电流	388
§ 17. 位移电流	392
§ 18. 磁路定律	397
§ 19. 电磁鉄和他們的应用	401
§ 20. 电磁鉄在自动控制目的上的应用。繼电器	404
第三章 电动力	406
§ 1. 磁場对电流作用的定律	406
§ 2. 均匀磁場對於閉合的平面电流迴路的作用	411
§ 3. 在若干其他場合中作用於电流迴路上的力	415
§ 4. 电流的相互作用	416
§ 5. 电流間与磁棒間的作用的比照	420
§ 6. 作用於磁場中帶电流的導體上的力所做的功	421
§ 7. 电动式仪表	423
第四章 电子与离子在磁場中的运动	430
§ 1. 作用於位在磁場中的电荷上的力	430
§ 2. 霍耳現象和其他橫向效应	433
§ 3. 在橫向磁場中的縱向現象	437
§ 4. 帶电質点在磁場中的运动	438
§ 5. 測定运动於橫向电场和磁場中的电荷的偏轉	442
§ 6. 關於电子光学的概念	445

§ 7. 电子示波器	452
§ 8. 电子电视接收器或阴极电视接收器	453
§ 9. 电子显微镜和电子光学变换器	454
§ 10. 电子荷质比 e/m 的测定	457
§ 11. 电子质量	464
§ 12. 正离子的荷质比 e/m 的测定	466
§ 13. 阿斯登质谱仪	470
§ 14. 磁场的质谱仪	472
§ 15. 回旋加速器	476
第五章 电磁感应	480
§ 1. 法拉第的发现	480
§ 2. 电磁感应的基本定律和楞次定律	482
§ 3. 电磁感应基本定律的推导	487
§ 4. 应用电磁感应基本定律的例子	490
§ 5. 旋涡的感应电流	492
§ 6. 感应过程中流过回路截面的电量	496
§ 7. 自感现象与自感系数	501
§ 8. 接入和断开电动势源时闭合电路内的电流强度的变化	507
§ 9. 沿着导体横截面的电流的分佈。趋肤效应(集肤效应)	511
§ 10. 电流能量与电流的惯性	513
§ 11. 力学与电磁学上关系式的比照	514
§ 12. 互感现象	515
§ 13. 螺旋管和变压器绕组的自感和互感的近似公式	518
§ 14. 变压器与感应圈	521
§ 15. 电磁感应过程中所發生的电場	525
§ 16. 反磁性的起源	527
§ 17. 电子回旋加速器	531
第六章 电磁现象的基本定律与单位制	536

§ 1. 电磁现象的基本定律	536
§ 2. 泊松和拉普拉斯方程式	538
§ 3. 麦克斯韦方程式	541
§ 4. 洛伦兹理论	544
§ 5. 电磁学方程式的合理化	545
§ 6. 实用制单位	547
§ 7. 实用单位的绝对制	549
§ 8. 比照表	559
第七章 交变电流	559
§ 1. 交变电压	559
§ 2. 向量圖与交变电动势的加法	561
§ 3. 交变电动势作用於具有欧姆电阻的电路时所引起的 电流	563
§ 4. 交变电动势作用於只具有自感量的电路时所引起的 电流	564
§ 5. 交变电动势作用於只具有电容量的电路时所引起的 电流	567
§ 6. 电阻、自感量和电容量的串联	569
§ 7. 交变电流电路内的功率	572
§ 8. 电流强度与电压的有效值	575
§ 9. 电压的谐振	576
§ 10. 阻抗的串联与并联	577
§ 11. 旋轉的磁場	583
§ 12. 三相电流概念	584
§ 13. 交流电表	590
第八章 电磁振荡与电磁波	592
§ 1. 电磁振荡	592
§ 2. 电磁波概念	600

§ 3. 电磁振盪的傳播速度	604
§ 4. 能量在电磁場中的傳遞	608
§ 5. 动量与質量在电磁場中的傳遞	610
§ 6. 無線电工学的基本任务	613
§ 7. 电磁振盪的激發	614
§ 8. 振盪的調变	619
§ 9. 电磁波的發射与傳播	624
§ 10. 电流的似穩条件及駐波概念	628
§ 11. 無線电訊的接收与檢波	631
§ 12. 关于無線电波的吸收, 反射和折射的概念。無線电 定位	636

第三編 電 磁 學

第一章 緒 論

§ 1. 磁 場

直到現在為止，我們只着重了那些由於導體內部有電流通過而發生的現象。屬於此類者有電流的热作用和化學作用。現在我們將進行研究也發生於電流所流過的導體以外的許多現象(參照第二編，第一章，§ 1)。

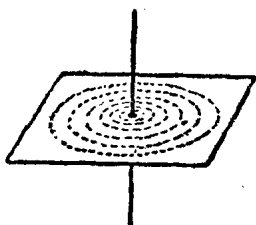


圖 180

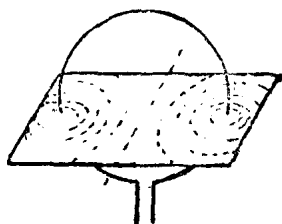


圖 181

倘將帶電流的導體穿過一張紙板或玻璃板上的小孔，並以少許鐵屑撒佈板上，則這些鐵屑將互相粘附而成為一條鏈子模樣，形成了像在圖 180、圖 181 和圖 182 中用點綫表示的閉合迴綫。此現象証明：在圍繞帶電流的導綫的空間有着某種力的作用，並且，正像電介體的細小顆粒所形成的鏈子在某種程度上表示了靜電力綫的分佈一樣(第一編，第

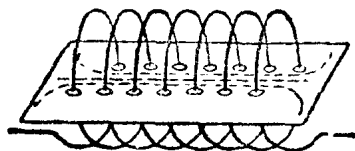


圖 182

七章，§ 5，圖 74)，鐵屑所形成的鏈子也表示了力綫的分佈。但是應用鐵屑的鏈子來標出的力綫與靜電場的力綫不同，他們沒有起點，也沒有終點，並構成為閉合的迴綫。像鎖鏈的兩個環節那

样地与电流的闭合迴路相交連着(圖 181)。只有个别的力綫能够以無限远处为他的端點。在直綫电流的場合中，力綫成为許多圓周的形狀，电流軸正交於这些圓周的平面，而圓心則位於电流軸上(圖 180)。

不难証明，在上述場合中，那里所有者不是电場，而是与靜电力有区别的某种力場。事实如次，倘撒佈了电介体的小顆粒以代替鉄屑时，我們不能像在应用鉄屑时所观察到的那样，看到这些顆粒所連成的作闭合迴綫形狀的鏈子。

再進一步，將帶电的木髓球懸掛於靠近导体之处，可以証明該球不会朝着用鉄屑的鏈子來标出的力綫方向發生偏轉。但是倘在帶电流的导体附近懸掛一匝導綫(該導綫內也有电流通过，而且綫匝还能自由地旋轉)，則这匝導綫將發生轉动，直到他的平面与应用鉄屑的分佈來标出的力綫成为正交时才告停止。所以，可动的迴路平面的法綫，或綫匝的軸綫，可用为圍繞在帶电流导体周圍的此种特殊力場的方向的指示器。

我們称此場为磁場。

將可动綫匝裝在接地的導电体的(例如黃銅的)盒子中，可以証明，这种「靜电屏蔽」(第一編，第二章，§4，第4段)並不能阻碍磁場的作用，在此处又可看出电場与磁場間的區別。

假設螺旋鑽的手柄是依照了綫匝內电流的流通方向而旋轉的，則鑽头的运动方向即是磁場方向(圖 183)。当形成磁場的电流方向改变时，力綫形狀虽然保持不变，但他們的方向改变为反对的方向。这样可以看出，力綫的方向是可以用螺旋法則來決定的：倘依照了电流方向而旋進螺旋鑽时，則旋轉方向应指示磁場力的方向。

所以，观察到的結果告訴我們，磁場是电流所產生的，而在另一方面，这磁場又对电流起了作用(參照第二編，第一章，§1，实验 I 和 II)。

2. 倘已經注意到所謂电流即是电荷的有規律的移动，我們就能得出这样的結論，即运动的电荷除了有靜电場而外，还產生了

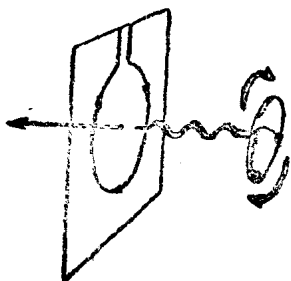


圖 183

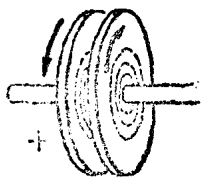


圖 184

磁場，而此場只與還在進行運動的電荷(電流)發生作用。設用兩塊作反向旋轉的圓盤以構成一平

板電容器(圖 184)，則研究該電容器內所產生的力場的實驗很確切地証實了上述結論(愛亨華德及其他人，參考第二章，§ 15)。在此場合中，我們彷彿獲得了一個圓形電流系統，他們的磁場是互相加強的。

為了要發現磁場，我們可懸掛起一個用細導線做成的輕質綫圈作為指示器，電流就在此綫圈內通過。在電容器的兩盤不動時，綫圈軸應在正交於圓盤的軸綫的位置上。為了保護綫圈使不受外界影響起見，可將該圈裝入銅的或黃銅的小盒中，盒上開有玻璃的小窗孔以備觀察之用；按照了固裝於綫圈懸綫上的輕質小鏡所射出的反射光綫，便可觀察綫圈的轉動；懸綫同時也用作將電流傳導至指示綫圈的導體。倘驅動電容器的兩板使作迅速轉動，則指示綫圈將開始轉動，借使他的軸綫方向接近平行於電容器軸綫的方向。

阿·富·越飛所做的關於陰極射綫的磁性作用的實驗和磁場對於此射綫的作用的實驗(第二章，§ 14)，也証實了上述情況中的運動電荷與靜止電荷間的差別，運動電荷除了產生靜電場以外，還產生磁場，而在另一方面，他們不僅受到電場的作用，並且還受到磁場的作用。但是靜止的電荷只形成了靜電場，而他們本身只遭受電場的作用。

用為磁場方向指示器的帶電流的可動綫匝也可利用以測量磁場強度。倘綫匝偏離開平衡位置，且綫匝的軸綫與磁力綫垂直。

則可發現在磁面上有金屬使他恢復到平衡位置的最大的轉矩 M_0 作用着。

此轉矩 M_0 的數值便可用以測量磁場強度。

將這種測量繞圈置於帶電流的導體附近，則我們不難發現：第一，磁場強度正比於產生此磁場的電流強度；第二，磁場強度與通過電流的迴路形狀有關，並且磁場中各點的磁場強度是不同。例如，用上述方法考察了帶有電流的直線導線附近的磁場強度以後，就可確定，磁場強度是隨着離開電流軸線的距離而反比地衰減的。

用數學方法處理了上述測量結果以後，我們就可建立起能夠在任意場合中計算磁場的普遍定律（比奧——薩伐——拉普拉斯定律，第二章，§2）。

倘不用陳旧的、在本質上不可能存在的名詞如「磁質」「磁量」等等，則由磁學和磁學的敘述還有更深入一步的可能^①。

依照了這種途徑，我們還可能建立起更合理的單位制度。但是在歷史上事情是完全以另外一種方式進行的。

§ 2. 關於磁的初步知識

磁的知識的原始積累是與電的知識的生長平行地發生的，還

①此方法系從佑·阿·維傑恩斯基和格·斯·朗斯倍爾格的著作「關於磁性的新的研究」，和從「現代自然科學問題」叢書第 42 冊（國家出版局 1929 年版）兩書中發展出來的。

我們可能不利用作用於磁場中帶有電流的繞圈或繞圈上的機械力矩，而是像在強磁電流計中那樣（第三章，§7，第 4 段），利用作用於帶有電流的直線導線的繞圈上的力來表示磁場的特征。依·耶·塔·諾登採用此方法於他的著作「電學理論概論」中，國家出版局聯合會，國立技術書籍出版社 1946 年版。這兩種方法只於細節上有區別而已。

倘利用閉合迴路置入磁場時所通過的電量作為表示磁場的特征，則關於電磁現象的研究將有完全不同的發展。例如，倘將導線圈的繞端連接於沖擊電流計上（參考第二章，§2），並將繞圈這樣地置入於磁場中，使繞圈的軸線與磁力線方向相重合，則電流計的擺便可用為表示上述區域中的磁場的特征。此種儀器稱為磁通計。在第五章，§6 中，我們將對這儀器作更詳盡的介紹。同樣辦法也被部分地採用於勃·佛·波列聖的著作「現代電學研究的概論」中（第四章），國立科學技術理論書籍出版社 1931 年版。

是於 1820 年發現電流對於磁針的作用以後，人們才建立了兩種科學間的關聯。

在遠古時代，人們早已熟悉關於磁石的初步知識；在中國，人們遠在歐洲人之前就已經知道並學會了利用磁針來決定方向。大家都知道，能夠自由地旋轉於水平面內的（不論裝在尖端上或掛在懸綫上的）磁針會近似地停留於經綫的平面內。磁針指示北方的一端稱為北極或正極，另一端稱為南極或負極。古代希臘人也早知道磁石間的吸引力，「磁」這一名詞本身即是从小亞細亞的一個希臘城名——麥格尼西亞——得來的，因為在該城附近曾發現了從磁性的褐鐵礦石得來的天然磁石。阿剌伯的學者雖然也早知道了磁性，但他們未曾對這性質做過任何新的觀察。在十四世紀中，根據於航海事業上的需要而引起的興趣使這一門科學的知識有了許多發展。

首先是發現了磁針的傾斜，並且確定了使磁針轉動的力是從地球發出的，而不是像先前所假想的從天空發出的。

到了十六世紀之末，人們已經對於磁性積累了不少知識。大

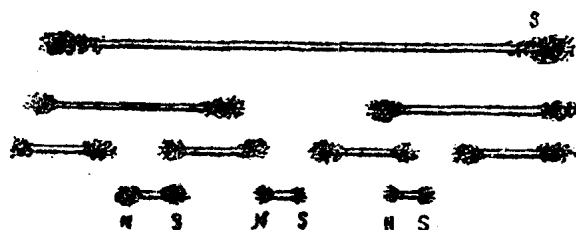


圖 135

家已經知道兩個「友好的」（異號的）磁極要互相吸引，而兩個「敵對的」（同號的）磁極要互相排斥；大家知道，倘將天然的磁石擦過一塊鐵棒，則鐵棒發生了磁化，並且，經過了磁化的鐵棒在靠近磁石的某一極之處有「友好的磁極」形成，大家也知道，利用這樣獲得的人造磁鐵，就能夠使另一塊鐵棒和某些別種物質也發生磁化。

基爾倍脫的研究（1600年）又向前邁進了一步。他發現磁石吸

引純淨的鐵要比吸引鐵磁石更強烈些，並且銜鐵可用以加強天然磁石的作用；他確定了磁極並不是磁性引力的集中點，而只是磁性作用最大的地點；他發現利用分割磁鐵的方法不可能獲得單獨的磁極，而將磁鐵分割為小塊以後，始終形成許多細小磁鐵（圖 185）。基爾倍脫描述了各種磁化方法，內中也包括應用感應的方法，他也發現了張緊於地球經綫平面內的鐵絲的磁化。他假想地球即是一個大的球形磁石。因此，為了証實他的設想起見，基爾倍脫從天然磁石中切出了一個球體，其磁極適位於同一條直徑的相反兩端，他稱此球為「地球儀」。利用了这个地球儀，他就能清楚地表示出，懸掛於細綫上的磁針在地面各地點上所應採取的各種不同位置。例如，這些實驗解釋了為什麼磁針要停留在經綫的平面里，為什麼要有傾角，為什麼像在實際情況中所發生的那樣在赤道上的傾角等於零，而在兩極上的傾角等於 90° （圖 186）。

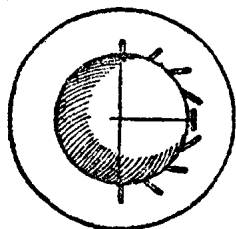


圖 186

磁學的定量研究應認為是在 1786—1789 年開始的。此時庫倫像他確定電荷間的作用力的定律一樣，也確定了關於磁極間的作用力的定律。除此以外，庫倫在磁學上還完成了許多發現。他確定了從地球方面作用於兩磁極上的引力和斥力是相同的，這說明了正負磁量是相等的。他發現了鐵的磁化只能達到某一個一定限度，而磁石是差不多對於所有物體都起作用的。

§ 3. 庫倫實驗。磁量

我們試更詳細地討論庫倫的實驗，這實驗也是靜磁學的定量方面的發展基礎。

庫倫已經知道要獲得單獨的磁極是不可能的。因此，為了要建立磁極相互作用的定量定律，他應用了兩條細長的磁鐵，假定在這樣的場合之下當這兩磁鐵的某兩磁極互相移近時，另兩磁極可以認為相距甚遠，所以他們的作用可以舍棄不計。

例如，为此目的，我們可以应用經過磁化的絨綫編結針。

利用了庫侖扭秤來測量作用力以後(參考緒論，§3)確定了磁極間的作用力是反比於他們間的距離的平方而衰減的。

其次，量出了作為試驗用的某一個磁棒的磁極和若干別的磁棒(1, 2, 3)的磁極間的作用力以後，就能將他們的同號磁極相加



圖 187

如圖 187 中所示的情況，借以構成磁力較大的合成磁棒。而且合成磁棒的磁極對於試驗磁極的作用力，應等於構成合成磁棒的各個磁棒的磁極對於同一試驗磁極的那些作用力的總和。人們對這一事實作出了像在靜電學的場合中一樣的解釋。有人曾經設想，可以用存有特殊的磁性物質來作為磁性作用力的原因。

這些物質稱為磁質或磁量。磁極認為是磁量的集中地點：在磁棒的正極集中着指北的或正的磁量，在他的南極集中着指南的或負的磁量。當若干磁針結合而成為一條合成磁棒時，作用力的增大可以從下述觀點來解釋，即合成磁棒的磁極上的磁量應等於那些合併起來的磁棒的磁極上的磁量的總和。因此，這些實驗的結果就形成為下述形式的關於磁性方面的庫侖定律：兩個點磁極間的作用力與每一極的磁量(m_1 和 m_2)成正比，與他們間的距離 r 的平方成反比。

我們可以將這段話的意思表示為等式如下：

$$f = k \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

此處， k 為與單位制的選定有關的比例係數，在將來，我們可以知道， k 也與充滿磁極間空間的介質的性質有關。

人們進一步利用表示庫侖定律的公式來推廣 CGS 單位制於磁學的物理量上，這樣地發展出來的單位制的變體稱為 CGM 制或絕對的電磁 CGS 制。在此單位制中，為了決定磁量或磁質的單位起見，人們對於真空採用了 $k=1$ 。如此則

$$f = \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

因此，在 CGSM 制中，人們採取這樣的磁量，即當他作用於位在距離 1 厘米處的相等磁量上的作用力為 1 達因時，這磁量就作為一個磁量單位（參照緒論 § 4）。

顯然，在 CGSM 制中的磁量的量綱是和 CGSE 制中的電荷的量綱完全相同的：

$$[m] = [r][f] = \frac{1}{\text{克}^2 (\text{厘米})^2 \text{秒}}.$$

因此，也可按照了磁量與電量的相似性而進行對於磁量的討論。這種相似性從一開始就是不完整的，因為我們不可能用任何方法獲得單獨的正磁荷和負磁荷。將我們在靜電學中所知道的情況作比較時，我們還可說，磁導體是不存在的。因此我們只能說，只有着部分的相似性，即在靜電現象和電介體的靜電現象之間的相似性^①。

§ 4. 介質對於磁棒的作用的影響

將磁棒從真空移置於某一介質中以後，我們注意到，長的直磁棒的磁極間的作用力改變了某一個倍數。此倍數 μ 稱為該介質的導磁係數。所以，

$$f = \frac{1}{\mu} \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (\text{參照第一編，第一章，§ 1}).$$

在此討論中，導磁係數 μ 與電介係數 ϵ 相似。但切不可忘記。此種相似性是有限制的。事情是這樣，磁棒的兩個異號磁極在實際上是不可互相分開的（參考 § 2，圖 185）。因此可以看出，介質對於磁棒作用力的影響不僅與介質的導磁係數和磁棒本身物質的導磁係數有關，並且與磁棒的形狀也有重大關係。因

①即是說，電介體可以用存在於他們體內的固有偶極子或感應偶極子來表示，而偶極子的電荷是不可能互相分離的（參考第一編，第七章，§ 1 和 § 2）。

此，對於任意形狀的磁棒，我們不可能指出在磁棒間的作用力和圍繞他們的介質的導磁系数之間存有何種共同的关系（這與流傳很廣的錯誤見解是相反的）。

例如，可以看出，在長的直磁棒附近，磁場強度近似地正比於 $\frac{1}{\mu}$ ；在經過磁化的球體附近，磁場強度近似地正比於 $\frac{1}{2\mu + \mu'}$ ，此處， μ' 為球體的導磁系数；而最後，在盤狀磁棒的附近，倘盤的端面為異號〔磁極〕者，磁場強度正比於 $\frac{1}{\mu}$ ，而與介質的導磁系数 μ 完全無關。但是兩個帶電物體間的作用力經常是正比於 $\frac{1}{\epsilon}$ 而變化的， ϵ 即是圍繞他們的介質的電介系数。

再進一步， ϵ 經常大於1，可是在大多數物質中， μ 具有小於1的數值。

按照了物質在磁場中的行為，就不難確定此點。像具有較大電介系数的電介體能吸入到電場強度較大的區域中，而將具有較小電介系数的電介體排擠至電場強度較小的區域中去一樣（第一編，第六章，§5），具有較大導磁系数的物質或介質能被吸入到磁場強度較大的區域中，而將具有較小導磁系数的物質排擠到磁場強度較小的區域中去。倘在形式上，我們將真空看成為某一種物質，他的導磁系数大於 $\mu < 1$ 的物質，則從此種形式上的觀點就可以明了，為什麼 $\mu < 1$ 的物質要被排斥到磁場較弱的區域中去，即為什麼要為磁棒所排斥〔從本質上解釋此現象將於以後說明磁介體的起源時再行提出（參考第五章，§16）〕。

因此，倘在真空中將一磁棒移近某一 $\mu > 1$ 的物質所構成的物體，則此物體將為磁棒所吸引，而當移近 $\mu < 1$ 的物體時，該物體將為磁棒所排斥。

對於空氣， $\mu \approx 1.0003$ ，所以倘在空氣中進行實驗時， $\mu > 1.0003$ 的物體將為磁棒所吸引，而 $\mu < 1.0003$ 的物體將為該棒所排斥（參照第一編，第七章，§5）。我們可用圖188a中所示的液體被吸引入強烈的電磁鐵的兩極中間，和圖188b中所示的火鋸自該空間排出的事實，來說明此點。這些現象是與下述原因有關