

大學叢書

達夫物理學

下 冊

達 夫 著
郭 元 義 譯

商務印書館發行

大學叢書

達夫物理學

下冊

達夫著
郭元義譯

商務印書館發行

五四九七〇上

中華民國二十八年六月初版
中華民國三十年十月四版

徐南

⊕(53528平)

大學叢書
合(教)本 達夫物理學二冊

Physics

平裝每部實價國幣肆元伍角

外埠酌加運費匯費

原著者 I. I. I.

譯述者 郭元義

長沙南正路

發行人 王雲五

印刷所 商務印書館

各埠

發行所 商務印書館



版權所必印
有究

(本書校對者王永榜)

大學叢書委員會

委 員

丁 變 林 君	王 世 杰 君	王 雲 五 君
任 鴻 雋 君	朱 家 驊 君	朱 經 農 君
李 四 光 君	李 建 勛 君	李 書 華 君
李 書 田 君	李 權 時 君	余 青 松 君
何 炳 松 君	辛 樹 幟 君	吳 經 熊 君
吳 澤 霖 君	周 仁 君	周 昌 壽 君
秉 志 君	竺 可 楨 君	胡 適 君
胡 庶 華 君	姜 立 夫 君	翁 之 龍 君
翁 文 灝 君	馬 寅 初 君	孫 貴 定 君
徐 誦 明 君	唐 鉞 君	郭 任 遠 君
陶 孟 和 君	陳 可 忠 君	陳 裕 光 君
曹 惠 羣 君	張 伯 苓 君	梅 貽 琦 君
程 天 放 君	程 演 生 君	馮 友 蘭 君
傅 斯 年 君	傅 運 森 君	鄒 魯 君
鄭 貞 文 君	鄭 振 鐸 君	劉 秉 麟 君
黎 照 寰 君	蔣 夢 麟 君	歐 元 懷 君
顏 任 光 君	顏 福 慶 君	羅 家 倫 君
	顧 頤 剛 君	

電 磁 學

緒 言

363. 電磁學之歷史——1600年，英國醫學家維廉姆吉柏(William Gilbert)氏發表其名著磁學(De Magnete)後，電磁學始成為科學，其書中研究兩個現象，希臘哲學家太爾士(Thales)氏在紀元前600年，已發現之。此二現象為：

(a)某種鐵鏽，以後稱磁石(lodestone)，有極強吸鐵之力。名此力為“磁的”(magnetic)。

(b)擦過之琥珀，可吸取草芥等輕小物體。吉柏氏名此力曰“電的”(electric)，蓋從希臘字琥珀之名也。吉柏氏發現其他物質，如硫磺、火漆、松香、玻璃、寶石等，若以適當之物摩擦之，亦有此性質。

直至吉柏氏時代，琥珀之電吸引，及磁石之磁吸引，一般咸認為相同之事。吉柏氏由實驗證明“磁力與電力截然不同”。於是氏發明靜電學(Electrostatics) (吉柏氏所知者僅此)，於是磁學電學，始分疆而治矣。

吉柏氏後二百年，1800年，意大利學者亞力山大伏打(Alexander Volta)氏發明伏打電池(voltaic cell)，始可使電繼續流動，或始有電流(electric current)，以代替放電及電火花之瞬時的斷緒的電流，而吾人始有所謂動電學(Electrokinetics)焉。

後此二十年，1820年，Copenhagen 物理教授，奧斯特 (Hans Christian Oersted) 氏發現電流周圍有作用於磁鐵之力。奧斯特氏之發明，實完成電學與磁學之關係，蓋直至斯時，二者尚為互不相關之現象也。於是咸知電流為電磁現象，即其效應上具有電的及磁的也。無何，安培 (Ampère) 氏增益此說，謂磁由於磁性物質之“分子”周圍有電流環流而生。將安培氏說加以改良，即為近世公認之磁說。自磁與電之關係發現後，於是知磁石係與琥珀有關之現象。至吾人所謂電磁學，則不僅謂電學與磁學為一種科學，即與電磁學貌似無關之光現象，亦以電磁學為其無上之解釋矣。晚近以來，電學之領域大闢，不獨用以解釋物性，且用以說明原子之構造。

電力及磁力，可以力學、熱學、化學等效應說明之，測定之，即電能可變為機械能、熱能、或化學能也。凡此種種現象，皆應用能量不減定律，能量不減定律，其科學中最可貴之指南歟！

磁 學

364. 磁鐵——用某種方法（其法為何，容後論之）可使鋼條磁化，即可使之具有如磁石吸鐵之性質。磁化鋼條，名曰人造磁鐵 (artificial magnet) 以示與磁石有別。人造磁鐵與磁石，性質上實無區別，故以磁鐵一詞代斯二者。因鋼磁鐵可製成規則形式，故用以研究磁性，便利實多，本書所述，即指鋼磁鐵而言。磁鐵之

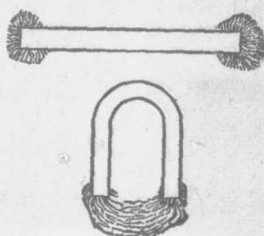


圖 228

形式，普通有兩種，曰 U 形磁鐵或馬蹄式磁鐵，及棒磁鐵。(圖 228)。

磁學一語，用以指磁性的科學可，用以指物體的磁性之原因亦可。

365. 磁極——投磁鐵於鐵屑內，則見磁鐵上有處之吸引力最大，有處之吸引力爲零。吸引力最大之點名曰磁極 (magnetic pole)，無吸引力之處名曰中和區域 (neutral region)。一個磁鐵恆至少有二極。尋常之磁化鋼條，即有二極，各近鋼條之一端，鋼條之中部，即中和區域。此種區別，可由鐵屑附着於鋼條之理說明之(圖 228)。連結二磁極之直線，名曰磁軸線 (axis of the magnet)。



圖 229

設將一磁化鋼條懸起，使可繞其中心在水平面內旋轉，則約在南北方向內停止，指北之端恆指北。指北之極名曰北極 (north pole)，他一極名曰南極 (south pole)。北極亦名曰 N 極或正 (+) 極，南極亦名曰 S 極或負 (-) 極。磁軸線之方向，以自 S 極至 N 極者爲正。

若將一磁鐵之 N 極，持近一懸掛磁鐵之 N 極，則見二者之間有相斥之力，反之，若將 S 極持近懸掛磁鐵之 N 極，則見二者之間有相吸之力，故可證明磁鐵有一重要性質，即

同極相斥，異極相吸也。

應用上之定律，則任一鋼鐵棒，或爲磁鐵或僅爲磁質 (magnetic substance)，不難檢出；磁質者，受磁鐵吸引之物質也。若棒之任一點，對於懸掛磁鐵之 N 極，還有斥力，則此棒爲磁鐵，斥力之所在，即棒之 N 極之所在也。若鋼鐵未曾磁化，則棒之各點必吸引磁鐵之任一極。

366. 磁分子說——設將一強磁鐵投入鐵屑，則鐵屑附於兩極，其狀

如刷，中部附近或中和區域則無。今設將此磁鐵由中間截斷，則可得兩個完全磁鐵。若取各半而試驗之，則見截斷之處，原向 N 極者為 S 極，原向 S 極者為 N 極（圖 230）。各半仍可截斷。而得四個磁鐵，如此分割，以至無窮。由是論之，則鐵或鋼塊皆由元磁鐵(elementary magnet)構成，元磁鐵皆有二等而相反之極，而使鐵或鋼棒磁化，要不外重新排列其元磁鐵耳。無磁性之鋼鐵棒內，元磁鐵不指任何一定之共同方向，故互相中和，其作用不能表顯於外（圖 231）。苟能將元磁鐵

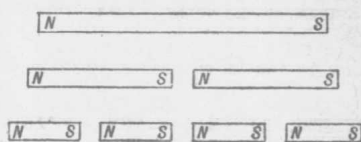


圖 230

大半轉入於同一方向，則棒即變為磁鐵（圖 232）。此解釋磁作用之理，名之曰磁分子說(molecular theory of magnetism)，但非假定元磁鐵為化學觀之分子也（參閱 §437 磁電子說）。

磁分子說，可以玻璃管貯鐵屑而使之磁化證明之。以強磁鐵擦玻璃管，則因多半鐵屑磁化，故鐵屑依管之方向，排成行列，於是一端成為



圖 231



圖 232

N 極，他一端成為 S 極。若將此管持近一靈敏的懸掛磁針，即可證明其業已磁化。若振搖鐵屑，則諸小磁鐵之行列破壞，不共指任何特殊方向，管之任一端，吸引懸掛磁鐵之任一端，即鐵屑管失卻其磁化也。

攸英氏磁鐵模型 (Ewing's model of magnet)，由若干小磁針構

成，磁針支於玻璃板上（圖 233）。除非受一個或數個大磁鐵之作用，或受帶電流之線圈之磁作用（圖 233），則諸磁針不居任何特殊方向。

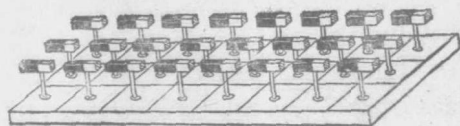


圖 233

367. 磁力線——磁鐵與磁鐵之作用，吾人已知其為同極相斥，異極相吸。往昔學者皆認此作用為“超距直接作用”（direct action at a distance），即視之為橫貫空間而生，不借助於任何居間作用也。法拉的

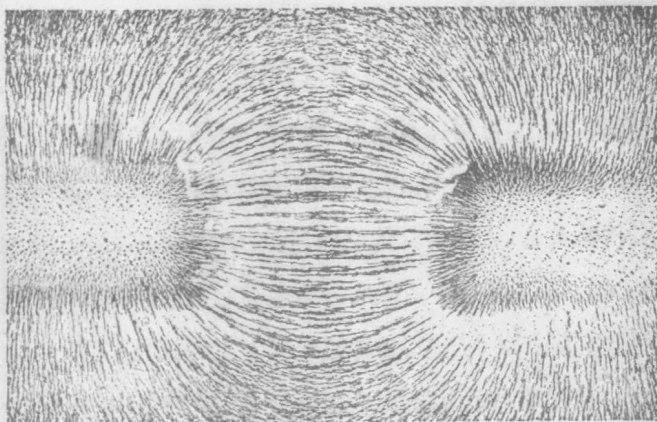


圖 234 a

（Faraday）氏及馬克士威（Maxwell）氏謂磁鐵之相互作用，由於磁極間有應力線（lines of stress）而生。此等應力線，可用下述諸法畫出，

而名之曰磁力線 (lines of magnetic force)。磁力沿此等線傳佈，可想像其與順繩之拉力相似。故謂磁力線爲居中空間之某種旋轉中心線，良有以也。(1)

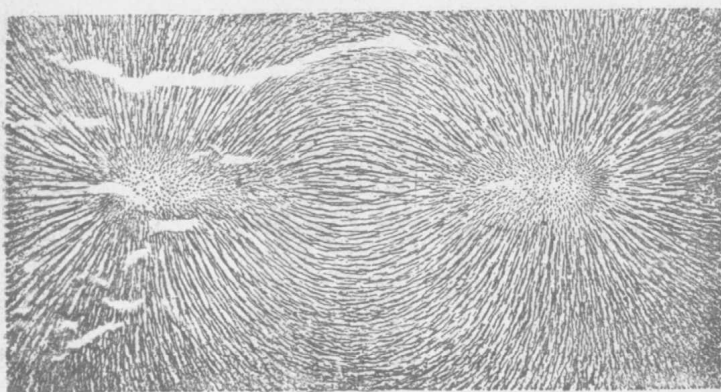


圖 234 b

磁極間之力線可用鐵屑畫出。圖 234 a 所示，爲 N 極與 S 極間之磁力線，置玻璃板於二極上，板上佈以鐵屑，輕扣玻璃板，則鐵屑自由運動，自行排列成行。由鐵屑分佈之狀，可證明磁力線爲應力線。各個鐵屑暫時變爲磁鐵， N 極有順力線向一方運動之傾向，同時， S 極有向對方運動之傾向。圖 234 b 所示，爲棒磁鐵周圍之力線；圖 234 c，爲二 N 極間之力線；圖 234 d，爲置於 N 極與 S 極間的軟鐵棒周圍之力線；圖

(1) 法拉的，馬克士威等物理學家咸假設“以太”之存在，以解釋磁、電、及光效應之傳佈，“以太”思想，已爲科學上最便利之假設，但不無困難也，欲解釋磁、電及光等觀察事實，吾人須假定一介質，此介質所具之性質殊難互相調和。但“以太”爲此等現象之良好假說，惟其如此，吾人將利用之以研究電磁學。

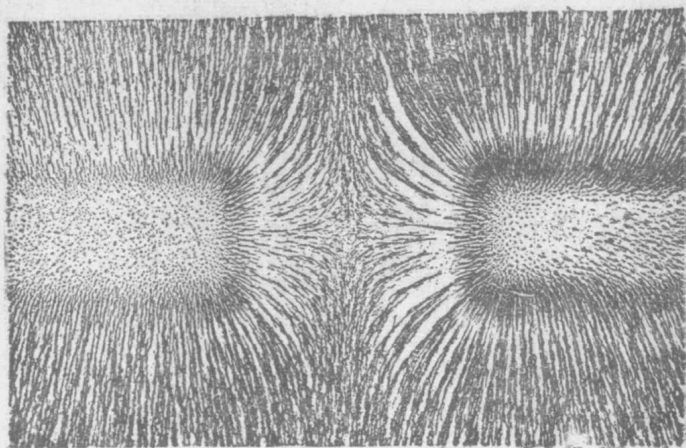


圖 234 c

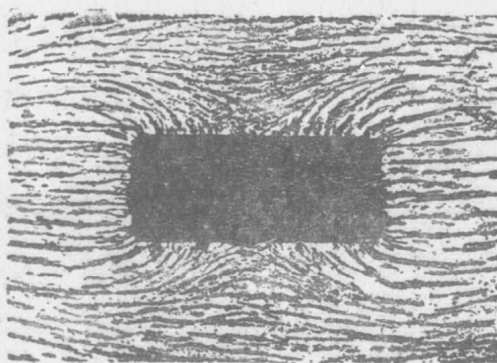


圖 234 d

234 e, 爲置於 N 極與 S 極間的軟鐵圈週圍之力線。最後之圖，鐵圈內部之鐵屑不成行列，故鐵圈內部爲避磁力區域（參考 §446）。

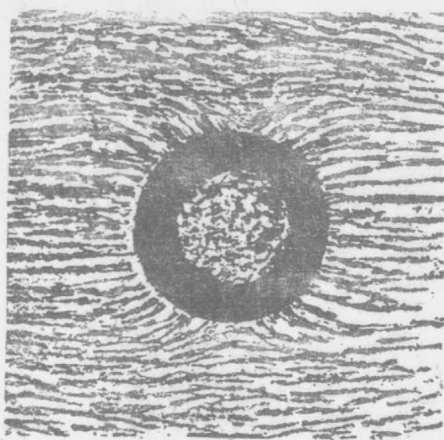


圖 234 c

368. 磁場——可以畫磁力線之區域名曰磁場 (magnetic field)。故凡磁體之周圍皆為磁場。電流周圍之區域亦為磁場，容後論之。地球周圍為一磁場，即所謂地磁場也。懸掛磁針為最靈之磁場檢查器。雖不能轉動鐵屑之極弱磁場，此器亦能檢出。例如，地磁場不能用鐵屑畫出。但可作用懸掛磁針。

若場內之磁力線均為平行直線，則場為勻場 (uniform field)。地磁場內無磁性物質，且遠離電流之所，即為勻場，面積頗廣。懸掛磁針無論置於場內何處，恆指同一方向。

用磁針畫磁場時，則見磁針之中心恆與磁力線相切。磁力線之正方向，即針之 N 極所向運動之方向。故知磁力線在空氣中，自 N 極發出而入於 S 極。因 N 極與 S 極互相吸引，故磁力線有縮短之傾向。法拉的氏謂二異極之相吸，由於其間磁力線之張力，此等磁力線之作用，與拉長

之橡皮帶無異。由圖 234 視之，知磁力線普通皆為曲線。但若磁力線僅有縮短傾向，則必為直線。今諸線互相背馳，則是線之一般形狀，應由二因而成：(a)順線之張力，(b)線間之斥力。馬克士威氏用數學方法，證明磁場之性質，及磁場作用於磁體之合力，可認為由縱張力及橫壓力而成，正如法拉的氏所說。

369. 磁化方法——設持一軟挪威鐵棒於手，使其一端指北向下，輕擊而後，或並未擊之，則見指北之端變為 N 極，蓋因棒之元磁鐵受地磁場之作用，排成行列矣。若使棒與地磁場垂直，再輕扣之，即失其磁性，其失之易不亞其得之易也。若以生鐵或鋼塊作同樣試驗，則見非猛而頻擊之，則不能磁化。且當其已磁化也，則保持其磁性，雖在磁場內將其方向改變，亦不失其磁性。此保持磁性之性質名曰頑磁性 (magnetic retentivity)。軟鐵內之元磁鐵，易使之成行列，然亦易摧毀其行列。鋼內之元磁鐵，有反對變其方向之傾向，既不易磁化，亦不易去磁 (dema-gnetized)。故製永久 (permanent) 磁鐵，以純鋼為最宜；至於軟鐵，僅

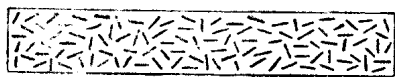


圖 235

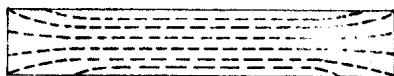


圖 236

宜於製暫時 (temporary) 磁鐵。鋼愈鍊，則頑磁性愈大，故強的永久磁鐵，恆以鍊鋼製之。近世已發明具有高頑磁性之鋼，其最著者為鈷鋼，容後述之。

由上述視之，磁化方法，不外置鐵或鋼於磁場之內。圖 235 及 236

說明依磁分子說所發生之現象。第一圖，小磁鐵之方向龐雜，力線盡在羣磁體之內，而不能表顯於外。第二圖，小磁鐵皆指同一方向，其表顯於外之磁場，約於棒磁鐵之磁場同。此種磁化磁質之法，名曰磁感應 (magnetic induction)。

370. 磁質及磁感應——設將鐵釘或鋼釘持近一強磁鐵之 N 極，則不惟此釘受吸引，且亦有吸引他釘之性質。如是釘釘相吸，可成釘練，因每釘皆成暫時磁鐵也 (圖 237)。磁質者受感應而磁化之物質也，故磁鐵吸引之。鐵之磁性最強，鎳鈷次

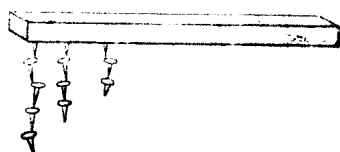


圖 237

之，此等物質名曰鐵磁質 (ferromagnetic substance)。郝斯勒 (Heusler) 氏發明鎂、銅、鋁雖皆為非磁質 (non-magnetic substance)，但製成合金，則磁性殊強。因此等合金皆含有鎂、或與鎂有關之鉻、鎂與鉻在某種溫度及配合條件之下，則成為鐵磁質，其合金之有磁性也，半由於此。尚有他種物質，略受強磁鐵之吸引，名之曰順磁質 (paramagnetic substance)。尚有他種物質，為磁鐵所排斥，則名之曰反磁質 (diamagnetic substance)。凡反磁效應，皆甚微弱，如磁場不甚強，則不能顯出。

371. 居間磁極——尋常磁化之針，僅有二極，但使一鐵棒具有兩個以上之磁極，卻屬可

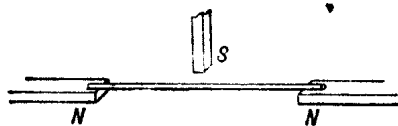


圖 238 a



圖 238 b

能。圖 238 所示，爲此種不規則的磁化方法之一。置棒之兩端於二磁鐵之 N 極上，以另一磁鐵之 S 極擦棒之中點。則棒即磁化，兩端爲 S 極，中間爲 N 極（圖 238b），如此則所得者相當於兩個磁鐵，中點爲兩個 N 極。房間極或稱爲附從極（consequent pole）水力升降機之鋼活柱（steel plunger），常具許多居間極。

372. 庫倫氏磁力定律——設用強勻磁場，磁化一細長鋼棒，則其極近於兩端。庫倫（Coulomb）氏，爲法國物理學家及數學家，（1789），曾用此種磁鐵研究兩磁極間在各種不同距離之力。氏發現力與兩極間距離之平方成反比。用細銀絲將一細長磁鐵 NS 水平懸起（圖 239），當磁鐵在磁子午線內時，銀絲無扭力。垂直持另一細長磁鐵 $N'S'$ ，於未令 NS 轉動之前，量得兩北極間之距離爲 d 。 NS 因兩極間之斥力而生偏轉。欲使 NS 復其原位置，則須用扭轉頭轉銀絲，直至扭力等於兩極間之斥力爲止。由銀絲之扭轉度數，即可測得兩極間之斥力（§118）。庫倫氏用此法量得不同距離 d 時之力 F ，證明 F 與 $1/d^2$ 成比例。

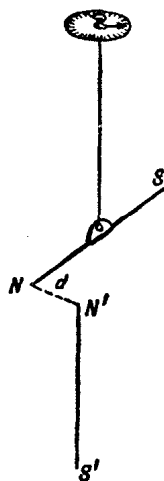


圖 239

今可予 C. G. S. 單位磁極，或單位強度磁極以定義矣：單位磁極者，在真空內，置於一等而相同之極 1 釐米遠處，而以 1 達因之力，斥之之磁極也。故若以釐米爲距離之單位，達因爲力之單位，而以上述之 C. G. S. 單位強度磁極測 m 及 m' ，則對於真空而言，庫倫氏定律爲

$$F = \frac{mm'}{d^2}$$

設非真空，而有實質之介質，則對於此介質必須用因子¹， μ (§444)，於是得

$$F = \frac{1}{\mu} \frac{mm'}{d^2}$$

由上式視之， μ 爲對於已知二極，已知距離，在真空內之力，與在某介質內之力之比。此比名曰介質之導磁係數 (permeability)。對於空氣而言，其值稍異於 1，但實用上，多假定其爲 1 (§448)。

庫倫氏定律之證明，不只靠庫倫氏實驗，但庫倫氏定律，可以說明磁極在各種位置時之相互作用，實其最有力之證明也 (參考 §379)。

373. 磁場強度——置磁極於磁場內，作用於磁極之力，視磁極強度 m 及磁場強度 H 而定。某點之磁場強度。等於作用於此點之單位磁極之力之達因數。故 $F = m \times H$ 。磁場強度之單位爲高斯 (gauss)。故在地磁場強度 0.6 之處，作用於強度爲 4 之磁極之力爲 $0.6 \times 4 = 2.4$ 達因。

374. 力線之量的應用——按上述力線定義 (§367)，則磁力線僅能定磁場之方向，然由鐵屑作成之圖視之，則見磁場最強之處，力線亦最多，故可以力線數代表磁場強度。欲如此，則須限定代表磁場所畫之力線數，其法如是，即在單位強度磁場內，每方釐米之正斷面，有一條力線；強度 H 之場內，每方釐米有 H 條力線；或磁場強度，數字上等於與磁場成直角所割之平面上每方釐米之力線數。若將力線一詞作量的應用時，則須明了係指此等限定線數而言。此數名曰力之單位線 (unit lines of force)。

若場爲勻場，則通過與磁場成正交之斷面積 S 之總線數爲 $N = SH$ 。

若場之強度不勻，則可將總面積分為若干小面積，則每小面積之磁場約近於勻，於是得 $N = \Sigma SH$ 。

375. 磁極場內之單位力線數——設以磁極 m 為中心，作一半徑 r 之球面（圖 240）。則由庫倫氏定律，球面上各點之磁場強度 H 等於 m/r^2 。磁場 H 顯與球面成直角。故有 m/r^2 條力線，通過球面之每方釐米。故自 m 發出之總力線數，等於 $4\pi r^2 \times m/r^2$ 或 $4\pi m$ 。因此式對於 r 之任何值皆為正確，故通過凡以 m 為中心之球面之力線數皆同，或力線皆為連續的，故若選擇場內某點之特殊線以代表此點之強度，則亦可代表場內任何其他點之強度。同理，則知有 $4\pi m$ 條力線入於 $-m$ 。

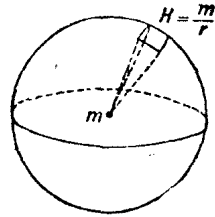


圖 240

376. 磁場作用於磁鐵之力——磁鐵在勻磁場內，如地磁場是，則有二等而相反之力作用其上，一在力線方向內作用於 N 極，一在反對方向作用於 S 極。當自由旋轉時，則磁鐵轉動，使其軸線於磁場平行，但無向北或向南移動之傾向。此可以置磁鐵於輕木上，而使之浮於水上證明之。磁鐵既不北移，亦不南遷，僅能轉動，最後停於磁子午線內。足證磁鐵兩極之強度恰相等。故若磁鐵與勻場成一角度，則作用於磁鐵兩極之力，成一力偶 (§98)。

若磁場不勻，則兩極所受之力不等，合力在較強之力之方向內，磁鐵有全體在此方向內運動之傾向。

377. 磁體在勻場內所受之轉矩——欲求轉矩或力偶矩，則可假定