

高中物理教学参考读物

电磁现象

上海市物理学会
中学物理教学研究委员会编

上海教育出版社

高中物理教学参

电 磁 现 象

上海市物理学会
中学物理教学研究委员会编

上海教育出版社

一九六四年·上海

高中物理教学参考读物
电 磁 现 象

上海市物理学会
中学物理教学研究委员会編

*

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

上海市书刊出版业营业许可证出090号

上海洪兴印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 4 1/16 字数: 92,000

1958年4月新知識出版社第1版第1次印刷(1-140,000本)

1959年4月新1版 1964年5月第8次印刷

印数: 135,731-181,730本

統一书号: 7150·492

定 价: (九) 0.36 元

前 言

本書是“高中物理教學參考讀物”的第十一本，是參照高三物理新編教材的第三到第六章編寫的。為了幫助讀者比較深入地理解教材，在內容的深度和廣度上，有某些地方是超出高中教材範圍的。在課堂教學中，教師仍應根據教學大綱和課本進行教學。本書內容只供參考，不可用作補充教材。

本書共分三章。第一章磁場，包括三個部分。第一部分按照歷史發展順序敘述磁的基本現象和基本規律；第二部分主要介紹奧斯特的發現、安培磁性假說和電磁現象；第三部分磁場對電流的作用，除對基本現象和基本規律作了必要的敘述外，着重說明電流計、安培計和伏特計的構造原理和使用方法。第二章電磁感應，包括兩個部分。第一部分主要介紹楞次定律和法拉第定律，對電磁感應的功能轉變也作了定性的分析；第二部分討論了交變電流的形成和性質，並對交流發電機、直流電動機和變壓器的構造原理作了簡單介紹。第三章電磁振蕩和電磁波，包括五個部分。主要介紹了高頻振蕩電流、電磁場概念、麥克斯韋電磁理論、電磁波的發射和傳播，並分別討論了無線電發送和接收裝置的基本原理。最後扼要介紹了無線電傳真、電視和雷達的大意。

本書根據編委會擬就的提綱，由俞大年和朱章兩位同志負責編寫。在編寫過程中，曾多次听取編委會賈冰如、江浩和楊逢挺等同志的意見，作了修改。

限於編者的業務水平和教學經驗，難免有許多缺點和錯誤，希望讀者不吝指教，以便在再版時修正。

上海市物理學會
中學物理教學研究委員會

1957年12月

目 录

引言	1
第一章 磁場	2
(一) 磁的基本現象	2
1. 磁极	3
2. 磁的庫倫定律	4
3. 磁場、磁場强度	5
4. 磁力綫和磁通量	9
(二) 电流的磁場	10
1. 电流周圍的磁場	10
2. 安培磁性起源假說	13
3. 磁感应	16
4. 电磁鉄和它的应用	19
(三) 磁場对电流的作用	21
1. 磁場对直綫电流的作用(左手定則)	22
2. 磁場对通电綫圈的作用	23
3. 电流之間的作用力	25
4. 带电质点在磁場中的运动	26
5. 电流計	29
6. 安培計	32
7. 伏特計	36
8. 应用安培計和伏特計測定电阻和电功率	39
第二章 电磁感应	42
(一) 电磁感应現象	42

1. 感生电流的产生	42
2. 感生电动势的方向	46
3. 电磁感应的功能轉換	50
4. 感生电动势的大小	52
5. 互感和自感	55
6. 渦电流	59

(二) 交流电 60

1. 交变电流	61
2. 交流发电机大意	64
3. 直流发电机大意	66
4. 电子管整流	68
5. 直流电动机大意	70
6. 发电机和电动机的功能轉變	74
7. 远距送电和变压器	76

第三章 电磁振荡和电磁波 81

(一) 电磁振荡 81

1. 高频率振荡电流的产生	81
2. 电磁振荡的周期	83
3. 电磁場	85

(二) 电磁波 89

1. 电磁波	89
2. 电磁波輻射的装置	90
3. 电磁波的傳播	92

(三) 无綫电的发送 95

1. 电子管振荡器	95
2. 調制器(調幅作用)	97

(四) 无綫电的接收 101

1. 調諧(电諧振)	101
2. 檢波器	104

3. 三极电子管的放大作用.....	111
(五) 无綫电的应用和发展	114
1. 无綫电傳眞和电视.....	114
2. 无綫电定位器(雷达).....	116
附录一 复习参考題	118
附录二 計算題.....	122

引 言

在电磁关系未被发现前，物理学家是把电现象和磁现象孤立起来研究的。他们把电荷与电荷间的作用力，即电场与电荷间的作用力，叫做电力。把磁极与磁极间的作用力，即磁场与磁极间的作用力，叫做磁力。认为电力和磁力之间没有什么联系。

直到 1820 年，奥斯特才从实验中发现电流对磁体有力的作用，磁体对电流也有力的作用。1822 年，安培才从理论上提出磁现象电本质的假说。此后，在 1831 年，法拉第发现电磁感应现象；相继地楞次提出有关感应电流的方向的定律，法拉第提出有关感应电动势的大小的定律。在这一时期里，人们已从现象上看到电和磁的联系，累积一些实验知识，并已找到一些基本规律。这一时期可说是对电磁现象获得感性知识的阶段。

十九世纪的下半期，经过法拉第和麦克斯韦的努力，把各种电磁现象的形成归结为“任何电场的改变产生磁场，任何磁场的改变产生电场”。麦克斯韦更进一步综合前人的有关电磁现象的学说和规律，发表了统一的电磁场理论。麦克斯韦的电磁场理论，是一个有关电磁现象的严密而系统的宏观理论，它不但统一地解释了已知的各种电磁现象，还导出了电磁波概念和光的电磁理论。这一时期可以认为是从感性知识上升到理性认识的阶段。

电磁波理论的真实性的确，被赫芝和波波夫的实验所证实。赫芝用振荡电路发放电磁波，波波夫应用电磁通讯。近代无线电技术就是在这个基础上发展起来的。

这是人类认识电磁现象的发展简史，也是本书编写的顺序。

第一章 磁 場

一切的磁的現象,和電的現象一樣,是通過場的作用而產生的。在靜電學的学习中,我們已經知道電荷和電場是不可分割的兩個方面。在靜電平衡狀態下的電荷,我們稱它為靜電荷,它被不變的電場包圍着;帶電的過程就是電場的形成過程。至于運動着的電荷,已經理論和實驗證明,不但在它的周圍空間里有一個變動着的電場,還有一個磁場。從另一方面來講,在磁場里面運動着的電荷要受到磁場的作用,這種作用我們叫它磁場力,這種現象和靜電荷要受到電場作用相似。靜電荷只能在它的周圍形成電場,不能在它的周圍形成磁場,磁場對靜電荷也沒有力的作用。這些事實很顯明地告訴我們,磁作用就是磁場的作用,也就是運動着的電荷的作用;這就是一切磁現象的電本質。由於磁現象不能孤立於電現象之外,一切有關磁現象的知識也就不應孤立起來研究,所以在比較深入的学习中,研究磁現象往往是从研究電荷的運動(電流)開始的。在我們目前的情況下,為了照顧到中學生的接受水平,為了符合我們認識事物的发展規律,還是採取了按照人類對磁現象的認識歷史過程來進行討論;那就是從研究永久磁體着手。

(一) 磁的基本現象

磁現象和電現象一樣,很早就被發現了。我國是發現和應用磁鐵最早的一個國家,約在紀元前 300 年,我們的祖先就發現了磁鐵礦的散塊能吸引鐵制物体的性質,它的成份是四氧化三鐵

(Fe_3O_4)，我們叫它天然磁體。在我國東北和其他許多地方都貯藏着很豐富的磁鐵礦。

磁體也可以人工製造。用鋼和其他合金制成的人造磁體，叫人造磁鐵。人造磁鐵一般做成條形、蹄形和針形。

天然磁體和人造磁體都有長期保持吸引鐵片的性質，因此我們叫它們做永久磁體。

磁體不但能夠吸引鐵和鋼，還能吸引錳、鈷和鉻等物質。這種性質叫做磁性。這些被吸引的物質叫做鐵磁性物質。

1. 磁極 在一個磁體上，一般總可以發現兩個端點，磁性表現特別顯著，這兩點叫做磁極。

把一個條形或針形磁體懸挂起來，使它能在水平面里自由轉動，就可以觀察到，當它在靜止時，總是一個磁極指北，另一個磁極指南（接近於地球的南北方向），這說明磁體的兩個磁極具有不同的磁性。我們叫指北的一個磁極做北極，用N表示，叫指南的一個磁極做南極，用S表示。

磁極不但和鐵磁性物質之間有較顯著的吸引力，磁極和磁極之間也有很顯著的作用力。實驗指出：同性磁極互相推斥，異性磁極互相吸引。

實驗還指出：當一個用鐵磁性物質制成的棒被永久磁體吸引時，棒本身也變成了磁體，具有了磁性。如果我們故意地使棒的一端與永久磁體的一個磁極相接近或接觸，我們就可以檢

驗出棒的另一端變成了一個磁極，它的極性和上面所說的永久磁體的磁極相同，如圖1所示。根據一個磁體往往具有兩個不同磁性的磁極的常識和異性極相吸的規律，我們可以推

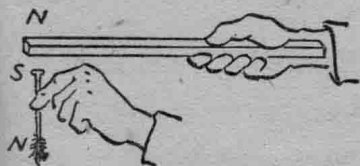


圖1

想到,与永久磁体靠近的一端一定也是一个磁极,它的极性一定与它所靠近的那个永久磁体的磁极相反。这一种现象叫做磁化现象。凡是能被磁极吸引的物质都能被磁化。反过来说,也是一样,只有能够被磁化的物质才能够被磁极吸引。

实验又指出:如果把一个永久磁体折成两段,在折断处出现了两个异性的磁极,每一段都变成具有南北两极的条形磁体。再分也是这样,如图 2 所示。

倘使我们继续分下去,这种情况总是存在的。每一小段都是一个完全的磁体,这就说明了我們永远



图 2

得不到一个独立存在的磁极,或者说自然界中没有独立存在的磁南极或磁北极。有独立存在的正电荷或负电荷而没有独立存在的磁南极或磁北极,这正是磁极和电荷的基本区别。

2. 磁的库仑定律 由于每一个磁体都具有两个不同性质的磁极,磁体的长短又有一定限度,因此在研究某一磁体的某一磁极与另一磁体的另一磁极之间的相互作用时,就无法排除其余两个磁极之间的影响。库仑和卡文笛许曾各自独立地使用很长而且很细的磁体进行过实验。这样在研究两个磁极之间的作用时,只要把它们之间的距离调整得相当近,则其他两极就距离它们比较远,影响很小,可以不计。又因为细磁体的磁极比较小,磁性比较集中,可以看成是点磁极。这和研究电力时的点电荷相似。

在定量地研究磁极之间的相互作用时,首先我们对磁极本身的磁性强弱要建立起一个量的概念,这和电荷的多少(电量)相似,叫做**磁极强度**。同一个磁体的两个磁极强度相等,不同磁体的磁极强度不一定相等。

通过实验，库仑总结出以下的定律：两个磁极间的引力或斥力的方向在两极的连线上，大小跟它们的磁极强度的乘积成正比，跟它们之间的距离的平方成反比。

用公式来表示：

$$F = K \frac{m_1 m_2}{r^2}。$$

K是比例常数，它的数值和式中各量的单位有关。在厘米·克·秒制中，磁极强度的单位是这样订的：当两个完全相同的磁极，放在真空中相距 1 厘米时，如果它们间的作用力正好是 1 达因，它们的磁极强度就各订为一个单位。这样订定的单位，叫做厘米·克·秒制磁极强度单位。或简称为单位磁极。

在用厘米·克·秒制单位时，真空中的 $K=1$ ，库仑定律公式变成：

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2}。$$

当 m_1 和 m_2 为同性极时，F 是正值，表示斥力；当 m_1 和 m_2 为异性极时，F 是负值，表示吸力。

3. 磁场、磁场强度 由磁极间的库仑定律出发，重复静电学的方法，可以建立起磁场的理论。磁体的周围存在着磁场。磁极之间的相互作用是通过磁场达成的。

磁场也是一种特殊物质所构成的，它和电荷一样，也有两种性质的表现：第一种是力的表现；第二种是能的表现。在本章里将集中讨论磁场的力的性质，而在下两章“电磁感应”及“电磁振荡”里集中研究磁场的能的性质。

如果我们用一个很长很细的磁体，并把它的一极（符合强度较小的点磁极的要求）放在磁场里的某一个位置，由于它对磁场的改变是很小的，它本身在磁场里所占的位置也是很小的——接近于一点，这就具备了一个检验磁极的条件。检验磁极在磁场

里某一給定位置所受磁場力的大小和它本身的磁極強度的比是一個常數，不因為它的磁極強度的改變而有所改變。這一個比值在同一个磁場里的不同位置上，或在不同磁場里，並不相同，因此這一個比值就可以用來量度磁場的性質，這種性質我們叫它磁場的力的性質。量度這種性質的物理量叫做**磁場強度**。磁場強度是一個矢量；為了表明這個矢量的方向，我們規定用磁北極來檢驗磁場強度。

磁場中某一點的強度，等於放在那一點的磁北極所受的磁場力跟它的磁極強度的比；磁場強度的方向就是磁北極所受磁場力的方向。

用來表示磁場強度的公式是：

$$H = \frac{F}{m}。$$

在厘米·克·秒制單位里，磁場強度的單位是這樣規定的：把單位磁極放在磁場里的某點，如果作用在它上面的磁場力是 1 達因，這一點處的磁場強度就稱為一個厘米·克·秒制磁場強度單位，或叫做 1 奧斯特。

在一個磁極強度等於 m 的磁場里，距離磁極 r 厘米處一點的磁場強度：

$$H = \frac{m}{r^2}。$$

由若干磁極共同形成的磁場是比較複雜的，但可視為各個磁極的磁場的合成。合成磁場中某一點的磁場強度是各個分磁場的磁場強度的合矢量。計算各個分磁場的強度，仍舊適用上項公式 $H = \frac{m}{r^2}$ 。由於每個磁體都具有兩個永久不可分割開的不同性質的磁極，所以在一個磁體周圍的磁場總是兩個異性磁極的

合場，場中任意一點的場強都是這兩個分場強的合成矢量。

〔例題〕 有一個条形磁體，它的兩極間的距離等於 $2l$ 厘米，試求距離它的中心點 r 厘米（ r 比 l 大得很多）處一點的場強。（1）這点在磁體兩極連線的延長線上。（2）這点在磁體兩極連線的垂直平分線上。

〔解〕（1）設在兩極連線延長線上的一點為 A ，這一點處的場強為 H_A 。由於 A 點是在磁體 S 極和 N 極的磁場里，單位強度的磁北極在這點要受到兩個方向相反，大小不同的力，如圖 3 所示。這兩個分場強分別為

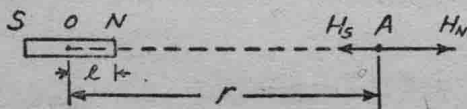


圖 3

$$H_N = \frac{m}{(r-l)^2},$$

$$H_S = \frac{m}{(r+l)^2}.$$

A 點的合場強

$$\begin{aligned} H_A &= H_N - H_S = \frac{m}{(r-l)^2} - \frac{m}{(r+l)^2} \\ &= \frac{4rlm}{(r^2-l^2)^2} = \frac{4rlm}{r^4} = \frac{4lm}{r^3}. \end{aligned}$$

它的方向是離開磁體的。

（2）設在兩極連線的垂直平分線上的一點為 B ，這一點處的場強為 H_B 。

兩個分場強 H_N 和 H_S 的方向不同，如圖 4 所示。但由於 B 點到兩極的距離相等，所以分場強的大小相等，即



圖 4

$$H_N = H_S = \frac{m}{NB^2} = \frac{m}{r^2 + l^2}。$$

图 4 中的 H_B 是合场强。在 B 点的场强矢量三角形和 $\triangle BNS$ 相似，所以

$$\frac{H_B}{H_N} = \frac{2l}{NB}，$$

$$H_B = H_N \frac{2l}{NB} = \frac{m}{r^2 + l^2} \cdot \frac{2l}{\sqrt{r^2 + l^2}} = \frac{2lm}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \cong \frac{2lm}{r^3}。$$

它的方向是和 NS 平行的。

磁场中各点的强度不一样的叫做非匀强磁场，上面所举的例题里提出的永久磁体的磁场就是非匀强磁场。磁场中各点的强度都一样的叫做匀强磁场。匀强磁场是很少的，只有在两个异性的大的磁极平行相对而距离很近时，这两极间的磁场才接近均匀。在大磁体的磁场中，距离磁极很远的地方（象地球面上的磁场），场强也是接近均匀的。

任何一个已知磁极（磁极强度等于 m ），在磁场里任何一点（场强等于 H ）所受磁场力的大小，可以用下式表示：

$$F = mH。$$

在匀强磁场里，放一个磁针，磁针的每个磁极都受到大小等于 mH 的磁场力，这两个力是大小相等方向相反的平行力，形成一个力偶（如图 5 所示）。当磁针和磁场强度成 θ 角度时，力偶矩

$$L = F \cdot 2l \sin \theta = 2mHl \sin \theta。$$

如果磁针能够自由转动，它就

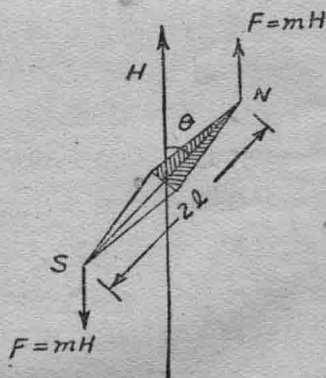


图 5

要沿力偶的方向轉动,直到它和 $\mathbf{H}$ 的方向相同为止。此时 θ 等于零, L 也等于零。这也就是说,磁針在磁場里停止的方向总是和磁場强度的方向一致的。

4. 磁力綫和磁通量 我們已經知道,电力綫可以用来形象地表示电場里电場强度变化的情况。同样,我們也可以用磁力綫形象地表示磁場里磁場强度变化的情况。磁力綫上任何一点的切綫方向就是这一点处的磁場强度的方向。如果我們在磁場中任意一点放一个能自由轉动的小磁針(把磁針的中点放在这一点上),那么磁針的北极所指的方向就是这一点处的磁場强度的方向(如图6所示)。如果我們在磁場里排列着很多的小磁針,

我們就可以根据各个小磁針的方向,近似地估計出磁力綫分布的情况。用一个很小的磁針把它放在磁場里从一个位置移到另一个位置,并在每一个位置上用点子表出磁針两极的位置,然后画綫把各个点子連接起来,这些綫就是磁力綫。簡便易行的方法是用鉄屑代替磁針,只要把鉄粉洒在磁場里,它們就因磁化作用变成了极小的

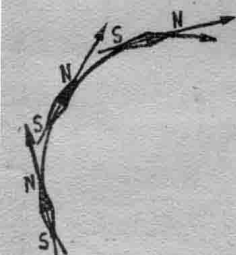


图 6

磁針,并都按照磁場强度的方向排列成綫。用鉄屑显示磁力綫,不但易行,也最直觀。

永久磁体的磁力綫总是从磁体的北极出发,而回到南极的。因为在磁場里的任一点处,磁場强度只有一个方向,所以磁力綫永不相交。和电力綫一样,我們还可以用磁力綫密度来表示磁場强度的大小。規定在磁場强度等于 H 奥斯特的地方,穿过单位横截面(和磁場强度的方向成垂直并具有一个平方厘米面积的平面)的磁力綫就是 H 根。因此在磁場强度較大的地方,磁力綫就比較密;在磁場强度較小的地方,磁力綫就比較疏;磁場强

度均匀的地方,磁力綫就疏密均匀并互相平行。

在磁場里垂直穿过某一个横截面的磁力綫根数叫做**磁通量**,在这个横截面上的平均磁場强度等于穿过这个横截面的平均磁力綫密度,并可用公式来表示:

$$\bar{H} = \frac{\Phi}{S}。$$

式中 $\bar{H}$ 表示平均磁場强度, S 表示横截面的面积, Φ 表示通过横截面的磁力綫的总根数,即磁通量。

在匀强磁場里,横截面上各点的磁場强度完全相同,都等于 H ,它的大小同样可用公式

$$H = \frac{\Phi}{S},$$

或公式 $\Phi = H \cdot S$
来表示。

(二) 电流的磁場

在1820年丹麦物理学家奥斯特发现:当磁針的附近,有了和磁針不成垂直的电流存在时,磁針便发生偏轉;当电流停止时磁針又恢复原来位置。电流对磁針的这种作用,說明了电現象和磁現象之間具有联系,也說明了在电流的周圍,有磁場的存在。

1. 电流周圍的磁場 在电流周圍的磁場中,磁力綫的方向和分布的情况怎样呢?它和什么有关系呢?我們可以做以下几个实验来观察。

(1) 用一根直长导体,垂直地穿过水平玻璃板或硬紙板。在板上撒一些鉄屑,使电流通过这个垂直导体,并用手指輕敲玻璃板振动板上的鉄屑,这时鉄屑在电流磁場的作用下,排成磁力綫