

田俊恒 编

电磁现象

出版说明

为加速实现四个现代化，迅速培养和造就大批建设人材的需要，我们将陆续出版一套《中学生课外读物》。

这套读物包括数学、物理、化学、语文、历史、地理等基础知识和典型题解答几十种。这本《电磁现象》就是其中的一种。

本书以全国统编中学物理教学大纲为基础，适当扩大了知识范围，按磁铁和电流的磁场、磁场对电流和电荷的作用、电磁感应现象及其应用等部分，介绍了电磁现象的基础知识。

本书可供中学生、知识青年自学用，也可供中、小学教师学习参考。

目 录

一、基本磁现象	(2)
二、磁场	(5)
三、地磁场	(10)
四、电流的磁场	(12)
五、磁性起源	(18)
六、电磁铁及其应用	(20)
七、磁场对直线电流的作用	(24)
八、磁通量	(28)
九、磁场对通电线圈的作用	(31)
十、罗伦兹力	(37)
十一、回旋加速器 质谱仪	(43)
十二、电磁理论的奠基者——法拉弟	(47)
十三、电磁感应现象	(50)
十四、感生电动势的方向	(55)
十五、感生电动势的大小	(63)
十六、自感现象	(71)
十七、涡流及其应用	(77)
十八、直流电动机	(79)
十九、互感现象 变压器	(86)
附录(一) 直线电流的磁感应强度公式	(92)
附录(二) 磁场的能量	(94)
附录(三) 练习题答案	(95)

在很长一段时间内，物理学家是把电现象和磁现象作为两种互相无关的对象来研究的。静电场对电荷的作用力，叫做静电力；磁场对磁极的作用力，叫做磁力。那时认为，静电力和磁力之间没有什么内在的联系。

然而客观事物总是相互联系、相互制约的。从十九世纪二十年代起，物理学家终于发现了电现象和磁现象之间的密切联系。一方面，通电的导体在周围产生磁场，进而确认物质的磁性是由分子电流所引起的。另一方面，变化的磁场在闭合回路中引起电流，这就是电磁感应现象。根据大量的实验事实，人们建立了关于电和磁之间相互联系的基本定律。这些客观规律为发展近代电工学理论和技术奠定了基础。

物理学家并不满足于对电磁现象的感性认识。十九世纪下半期，在一些实验定律的基础上，建立了严密而系统的电磁场理论。根据这个理论，不仅能够解释过去已知的所有电磁现象，而且还预言电磁场是以光的速度在空间传播的，形成所谓电磁波。不久，人们用实验证实了电磁波的存在。在此基础上，近代无线电技术便迅速地发展起来。

可以看出，学习有关电磁现象的基础知识和基本规律，无论对于认识物质世界的客观规律，还是为攀登现代科学技术的高峰，都具有极其重要的意义。

一、基本磁现象

磁现象和电现象一样，很早以前就被人们发现了。在两千年以前，我们的祖先发现一种能够吸引铁的矿石，那时把这种矿石的吸铁作用比作母亲慈爱子女，因此给它起了个名字叫“慈石”。春秋战国时期的著作《管子·地数篇》里记载：“上有慈石者，下有铜金”。所谓慈石就是现在所说的天然磁铁，它的化学成分是四氧化三铁。我国许多地方贮藏着丰富的磁铁矿。

目前我们所使用的磁铁都是用人工方法制造的。早在公元1044年，在曾公亮主编的一部军事著作《武经总要》里，就记载了制造磁铁的工艺过程：“以薄铁叶剪裁，长二寸阔五分，首尾锐如鱼形，置炭火中烧之，候通赤，以铁钎钎鱼首出火，以尾正对子位（北方），蘸水盆中，没尾数分则止，以密器收之。”我国古代制造人工磁铁的技术比欧洲各国大约早六百多年。

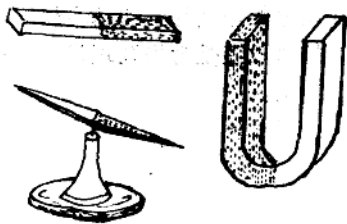


图 1

按照人们的需要，磁铁可以做成各种形状。最常见的有针形、条形和蹄形等（图1），磁铁除了能吸引铁以外，还能吸引钴、镍以及它们的合金。磁铁的这种性质叫做磁性。能够被磁铁所吸引的

物质，统称为铁磁性物质。

磁铁上各处的磁性是不同的。若把条形磁铁放在铁粉里再拿出来，我们会发现，磁铁两端吸起的铁粉最多，而中部则几乎没有铁粉（图 2）。我们把磁铁上磁性最强的地方，叫做磁铁的磁极。任何磁铁都有两个磁极。

磁铁具有指极性。将条形磁铁用软绳悬挂起来，或者将磁针支持起来，使它们能够在水平面内自由转动。如果周围没有铁磁性物质，那么当它们静止后，总是一头指南，一头指北，如图 3 所示。通常把指北的磁极叫做北极（或 N 极），指南的磁极叫做南极（或 S 极）。磁铁的指极性是我国古代学者首先发现的，而且作成各种用于旅行或航海事业的指南仪

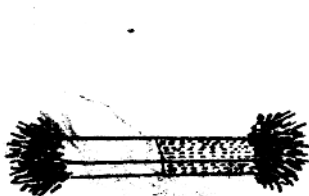


图 2

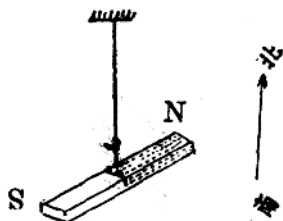


图 3

器，如司南、指南鱼、指南针等。早在十一世纪，朱彧在《萍州可谈》里曾记载：“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”

我们能够很容易地使导体带正电荷或者带负电荷，但是却不可能得到单独存在的北极或者南极。如果把一个条形磁铁分成两半，那么我们所得到的两个磁铁仍然都具有两个磁极。如此继续分割下去，无论如何也不会得到只有一个磁极的磁铁（图 4）。

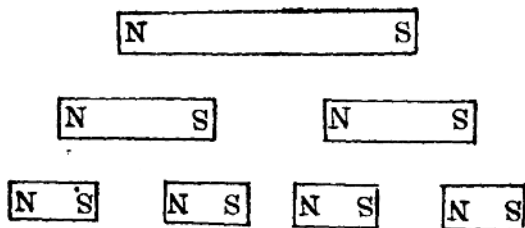


图 4

磁铁还有一个极为重要的性质，就是磁极之间存在着相互作用。通过图 5 所示的实验容易证实，两个靠近的磁极之间有力的作用，同名磁极相互排斥，异名磁极相互吸引，而且相互作用力的大小随磁极间距离的增加而减小。磁极间相互作用的规律和电荷间的相互作用是相似的。

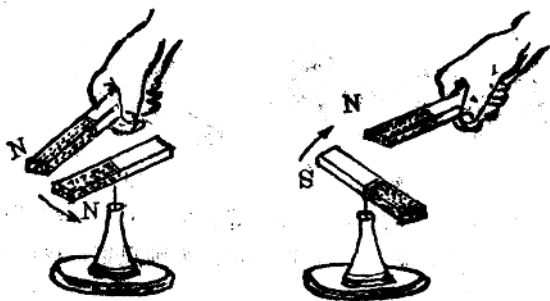


图 5

从静电学我们知道，原来不带电的导体放在带电体附近时，导体上出现等量异号电荷，这叫做静电感应现象。同样，原来没有磁性的铁磁性物质放在一磁极附近时，它也会具有磁性；靠近磁极的一端出现异名磁极，远离磁极的一端出现

同名磁极(图6)。这种现象称为磁感应现象,或者称为磁化。根据磁极间相互作用的规律,磁极对铁磁性物质的吸引力大于排斥力,所以铁磁性物质被磁化后受

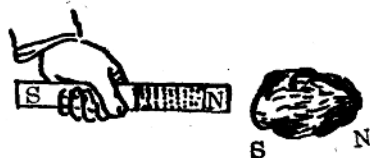


图 6

到一个指向磁极的力。这就是磁极吸铁的道理。由此得出结论:凡是被磁极所吸引的物质都能被磁化;反之,只有能被磁化的物质才能被磁极所吸引。

【练习题1】 若不小心将钟表靠近了磁铁,经过一些时间后,钟表往往就走不准了。试问这是什么道理?

【练习题2】 将磁铁的一个磁极插进装有小铁钉的盒子里再拿出来,磁极便吸起一串小铁钉。这是为什么?

二、磁 场

我们知道,静止电荷的周围存在着静电场,当把另一个电荷放在电场中某一点时,它将受到电场力的作用。与此相似,既然磁极之间存在着相互作用力,那么在磁铁的周围也必定存在着一种场,我们称它为磁场。磁场和电场一样,也是一种特殊形态的物质。磁极之间的相互作用是通过磁场实现的,即磁场对于放在其中的磁极产生磁力的作用。

如果把能够自由转动的小磁针放在磁场中的某一点,那么它将按一定的方位取向。把小磁针放在磁场中的不同点时,

它的取向一般来说是不同的。这说明磁场和电场一样是有方向的。

小磁针在磁场中有固定的取向，表明它所受的磁力矩等于零，即磁场对磁针两极的作用力具有完全确定的方向。根据这个事实，我们可以确定磁场中各点的磁场方向。通常把磁针的北极在磁场中某点的受力方向，规定为该点磁场的方向。这样，利用磁针就能检查出磁铁附近各点的磁场方向。

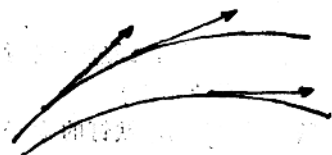


图 7

我们曾用电力线形象地表示静电场中各点的电场方向和大小。同样，在磁场中也可以作一些假想的曲线，使曲线上每一点的切线方向与该点的磁场方向一致(图7)。这样一些曲线叫做

磁力线。

我们用铁粉能够显示出磁力线的图象。在磁铁上放一块水平的玻璃(或硬纸片)，然后在玻璃上撒上一层铁粉。每一颗铁粉微粒均被磁化，成为极其微小的磁针。我们轻轻地敲动玻璃板，以便减小铁粉与玻璃之间的摩擦力。这时，铁粉便自动地连结成一些曲线，这些曲线的形状反映出磁力线的分布情况。图8和图9分别是两异名磁极和两同名磁极的磁力线的图象。如果用小磁针检查条形磁铁的磁场方向，那么不难得出结论。所有的磁力线都从北极出发，经过周围空间回到南极。

在静电学里，根据静电场对电荷有力的作用，我们曾利用带正电的检验电荷研究电场的性质，并引入表征电场强弱的物理量——电场强度。在磁学里，虽然磁场对磁极有力的

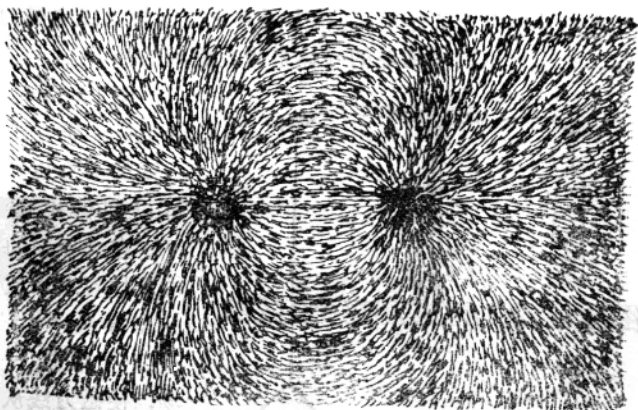


图 8

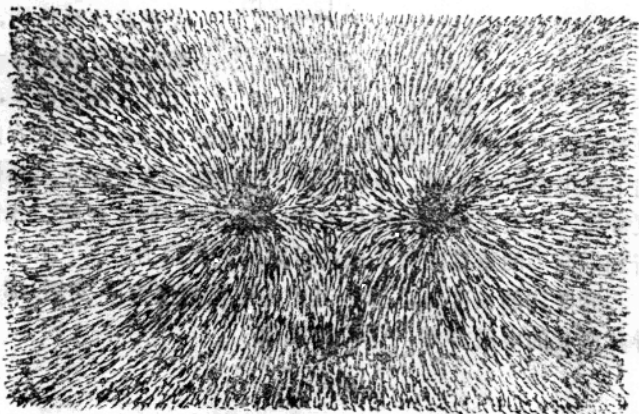


图 9

作用，但磁极并不象电荷那样具有确切的意义。磁极上根本不存在什么“磁荷”，因此无法用磁极受力的大小来研究磁场的性质。早在1822年，著名物理学家安培发现，磁场对于通

以电流的导体有力的作用,这种力通常称为安培力或电磁力。因此,我们可以利用通电的导体来研究磁场的强弱。

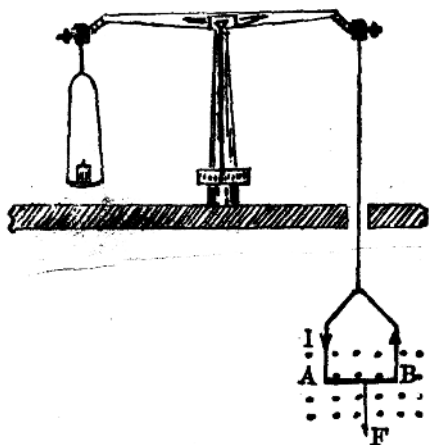


图 10

图 10 是利用通电导体研究磁场强弱的实验装置,可以叫做电磁天平。在天平梁的右端悬挂着水平放置的直导线 AB , 垂直于导线加一磁场,使磁力线从纸面出来。首先,将天平调节至平衡,然后给导线通以一定大小的电流 I ,

电流的方向从 A 到 B 。这时,由于磁场对导体 AB 有一个方向向下的电磁力的作用,破坏了天平的平衡。为使天平重新恢复平衡,必须在左边的秤盘里加以适当的砝码。显然,我们所加的砝码的重量应等于磁场对导体的作用力。

若导体的长度为 L 米,其中的电流强度为 I 安培,那么导体所受的电磁力 F 与 LI 的比值

$$B = \frac{F}{LI}$$

跟导体的长度和电流强度无关,只决定于磁场的强弱。我们把它称为磁感应强度。容易看到,电磁天平可以用来测量磁场的磁感应强度的大小。

磁感应强度的单位是这样规定的:长度为 1 米的导线垂

直地放在磁场里，导线中通以 1 安培的电流，如果它所受的电磁力恰好是 1 牛顿，那么这个磁场的磁感应强度就取作一个单位，并称为 1 特斯拉（或表为韦伯/米²）。电工学中也常用高斯作为磁感应强度的单位。高斯和特斯拉的关系是

$$1 \text{ 特斯拉} = 10^4 \text{ 高斯}。$$

在引入磁感应强度后，我们仿照电学的方法，使磁力线不仅表示磁场的方向，而且还能表示磁感应强度的大小。为此，我们在作磁力线的时候，使通过与磁力线垂直的单位面积的磁力线数等于该处磁感应强度的数值。这样，在磁感应强度越大的地方，磁力线越密；在磁感应强度越小的地方，磁力线越疏。对于磁感应强度处处相同的磁场，磁力线疏密均匀且互相平行。我们把这种磁场叫做匀强磁场。两个相对的平面异名磁极，如果相距很近，那么它们中间部的磁场可以认为是匀强磁场。

【练习题 3】 在图 11 中画出条形磁铁和蹄形磁铁的磁力线，若把小磁针分别放在 A、B 和 C 三点时，试问小磁针静止后将怎样取向？

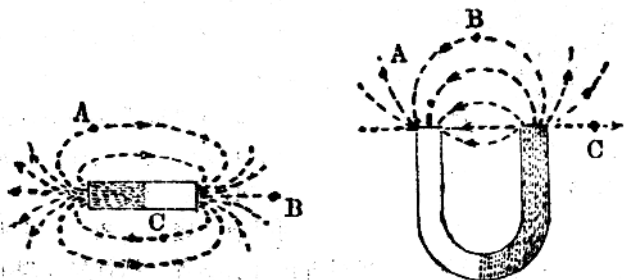


图 11

【练习题 4】 在匀强磁场中，垂直地放一根导线，导线长

为 10 厘米，当导线中通以 5 安培的电流时，测出它所受到的力为 0.1 牛顿。试求这个磁场的磁感应强度的大小。

三、地 磁 场

我们已经知道，在地球表面上的磁针具有指向南北的性质。这说明地球本身是个大磁体，并在地球的周围形成磁场。这个磁场简称为地磁场。

既然地球是个大磁体，它也一定有两个磁极。根据磁极

间相互作用的特点和对地磁的测量，我们发现地磁的南北极和地理的南北极是相反的，而且二者并不重合。换句话说，地磁的南极在地理的北极附近；而地磁的北极在地理的南极附近(图 12)。应该指出，地球磁极的位置并不是固定不变的。

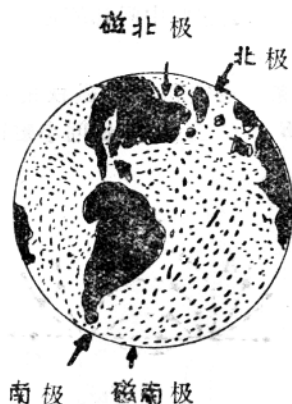


图 12

通过对地磁的测量发现地理上的子午线与磁针轴线延长方向的地磁子午线并不一致，而是有一定的夹角，这个夹角

叫做磁偏角。磁偏角是我国古代著名学者沈括首先发现的。他在 1086 年所著的《梦溪笔谈》中写道：“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也”。这里，沈括不仅指出

用磁石磨过的针能被磁化，可以作成指南针，而且说明存在着微小的磁偏角。

如果我们带着指南针到各地旅行，那么就会发现磁偏角的大小是随地点而发生变化的，而且磁针南极所指示的方向不总是偏东，有时还偏西。对于同一地点而言，地磁的磁偏角还随时间发生缓慢的变化。

若使磁针能在竖直平面内自由转动，那么很容易观察到磁针的轴线与水平面一般是不平行的。磁针轴线与水平面之间的交角叫做磁倾角。在赤道附近，磁偏角约为 0° ；在地球的磁极上，磁偏角约为 90° 。

地磁场的分布和变化，与人们的生活有极为密切的关系。因此，对地磁的测量和研究是科学研究的一个重要内容。现在人们不仅制造了各种测量地磁场的精密仪器，而且从测量技术来讲，过去是在陆地和海洋上进行的，现在一般是利用飞机或人造地球卫星进行测量。

地球表面上地磁场的变化一般是不显著的。但是，在某些地区地磁场可能发生急剧地变化，这种现象称为地磁异常。在测量地磁场的过程中，如果发现某个地方出现地磁异常，那么我们就可以断定，这里的地下埋藏着大量的磁铁矿。因此，测量地磁异常是物理探矿的一个重要方法。

地磁异常也是即将发生地震的前兆现象。在发生地震之前，由于地应力的加强，会使地球表面的磁场发生局部的异常变化。经常监视地磁场的变化，是地震预报的一项重要内容。

地磁场随时间的变化一般是极其缓慢的。但有时在较短的时间内会发生突然的扰动，并使原来静止的磁针强烈地振动起来，这种现象叫做磁暴。磁暴产生的原因是太阳黑子喷

发出来的大量带电粒子(电子、氢核、氦核等)所引起的。它们在强大的光压作用下,以极高的速度运动,到达地球后,不仅对高空的电离层有严重的影响,而且使地磁场发生强烈的扰动。伴随着磁暴的出现,还产生强烈的大气放电,从而在地球内部以及各种电线和通讯设备中引起电流。因此,磁暴能使地面上的无线电通讯受到严重的干扰,甚至能使短波通讯中断。

地磁是怎样产生的呢?为什么地磁场会发生各种各样的变化呢?到目前为止,虽然提出了各种学说和模型,但都不能令人满意。这些问题在科学上仍然是没能解决的难题。我们相信,随着地球演化理论的不完善,这些难题一定会得到解决。

【练习题 5】 若把能够自由转动的磁针放在地磁的两极,它应该静止在什么位置上?

四、电 流 的 磁 场

桌上放一个能在水平面内自由转动的磁针,它静止后大致指着南北的方向,在靠近磁针的上方平行地放置一根直导线。当导线中通以电流时,磁针便发生偏转(图 13);当电流停止后,磁针又恢复原来的位置。由于只有磁场才能对磁极有力的作用,所以通电导体使附近的磁针发生偏转的事实,说明在电流的周围存在着磁场。电流在周围形成磁场,通常称为电流的磁效应,是 1820 年丹麦物理学家奥斯特首先发现的。

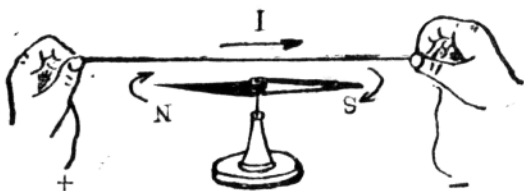


图 13

为了研究直线电流的磁场中磁力线的分布情况，我们在一张水平放置的厚纸上穿一个小孔，并使长直导线穿过这个孔，而且导线与纸片垂直。在纸片上均匀地撒上一薄层铁粉。当导线中通以电流时，我们轻轻地敲动纸片，那么铁粉便排成一系列同心圆的形状，这些同心圆的圆心在导线的轴线上（图 14）。这说明长直导线通以电流时在周围形成磁场，其磁力线是以导线轴线为中心的一系列同心圆。我们把小磁针放在磁场里，观察磁针北极所指的方向，便能确定直线电流周围磁力线的方向（图 15）。如果把眼睛沿着电流的方向对着平

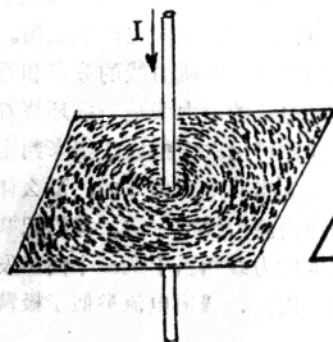


图 14

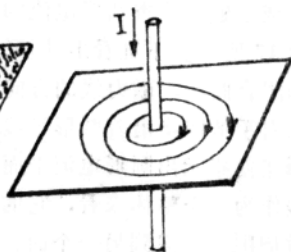


图 15

面看，那么所有的磁力线都是沿着顺时针的方向。为了便于



图 16

记忆磁力线方向和电流方向之间的关系，我们可以用右手螺旋法则来说明：用右手握住导线并把拇指伸出，如果拇指表示电流

的方向，则环绕着导线的四指便指出包围着导线的磁力线的方向(图 16)。右手螺旋法则也可以表为：如果用右手拧螺旋，使螺旋前进方向代表电流方向，那么螺旋柄的转动方向就是磁力线的方向。

实验和理论证明，在真空中，通电的长直导线在周围磁场里任一点的磁感应强度，和导线中的电流强度 I 成正比，和这一点到导线的垂直距离 R 成反比：

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{R}$$

式中 I 以安培为单位， R 以米为单位， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 韦伯/安培·米，称为真空中的磁导率，这时 B 的单位为特斯拉。

将导线作成圆形并通以电流，它在周围也产生磁场。用铁粉或小磁针检查圆形电流的磁场，其磁力线的分布和方向如图 17 所示。不难看出，圆形电流的磁力线是一些环绕着电流的闭合曲线，磁力线的方向亦可用右手螺旋法则来判定：如果右手的四指沿着圆形导线并指向电流的方向，那么伸出的拇指便指示出圆形电流平面内磁力线的方向，我们把圆形导线作为一个整体来看，它的磁力线相当于从一个面出发，经过周围空间回到另一个面。因此，圆形电流类似于极薄的磁铁，通常称为磁壳。

将绝缘导线密绕在细长的圆筒上，构成所谓螺线管。螺线管通以电流后，在管内和管外产生磁场，其磁力线的分布