

中学物理教学参考丛书



磁 场

上海教育出版社

中学物理教学参考丛书

磁 场

张 计 怀

上海教育出版社

中学物理教学参考丛书

磁 场

张 计 怀

上海教育出版社出版

(上海永福路 123 号)

新华书店上海发行所发行 上海崇明印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 2.5 字数 52,000

1979 年 10 月第 1 版 1979 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—32,000 本

统一书号: 7150·2178 定价: 0.21 元

编 者 的 话

本书是中学物理教学参考丛书之一，主要供中学物理教师参考。全套丛书共有二十本左右，将陆续出版。

本书的主要内容有：基本磁现象、地球的磁场、毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律、洛仑兹力、磁场强度、磁感应强度、铁磁质的磁化曲线、磁滞回线、磁场的能量、安培环路定律、回旋加速器的原理、磁流体发电的原理等，着重阐述有关磁的基本概念和基本定律，如对比电场和磁场、磁场强度和磁感应强度，指出它们之间的区别和联系，以便读者更深入地理解和掌握“磁场”这部分教材。

限于编者的业务水平和教学经验，书中难免有许多缺点和错误，请读者随时指正，以便再版时改正。

目 录

引 言	1
一 基本磁现象	3
一、永久磁体	3
二、电流的磁现象	5
二 磁场	7
一、磁场	7
二、磁力线	7
三、磁感应强度	9
四、磁通量	12
五、地球的磁场	14
三 电流的磁场	18
一、磁场的方向 右螺旋法则	18
二、毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律	19
三、运动电荷所产生的磁场	22
四、安培分子电流假说	25
四 磁场对通电导体的作用	27
一、磁场对直线电流的作用 左手定则	27
二、磁场对通电矩形导线框的作用	30
五 带电粒子在磁场中运动时所受的力——洛伦兹力	32
一、回旋加速器	34
二、质谱仪	36

三、磁流体发电	39
六 物质的磁性	41
一、顺磁质	42
二、抗磁质	42
三、铁磁质	44
七 磁场强度	46
八 铁磁质的性质	50
一、铁磁质的磁化曲线	52
二、磁滞回线	53
三、磁屏蔽	56
九 磁场的能量与安培环路定律	58
一、磁场的能量	58
二、磁场的环流	59
十 通电导体在磁场中受力的应用	62
一、磁电式电表	62
二、直流电动机	64
三、电磁铁	66
四、替续器	67
结束语	68
例题	69
习题	71
习题答案	74

引 言

我们伟大的祖国是世界上发现并利用磁现象最早的国家之一。早在公元前三世纪(即我国春秋战国时期),我国劳动人民就发现了能够吸引铁的矿石,称为磁石。战国时,劳动人民把这种磁石磨成圆勺状的器皿放在有刻度的平盘上,用它来指示方向,如图 1 所示。这种用磁石磨成的仪器叫

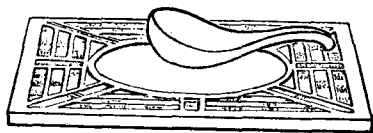


图 1 司南

“司南”。在制造司南的基础上,为了航海和军事上的需要,我们的祖先又发明了指南针。有关指南针的记载在公元十一世纪我国宋朝时代已有大量叙述,比西欧一些国家利用磁现象要早一个世纪。这充分说明伟大的中华民族是聪明而有智慧的民族。正如华主席在 1978 年全国科学大会上报告中所指出的“我们的国家有几千年悠久的历史。我们的民族曾经创造过光辉灿烂的科学文化。”

人们对磁的认识是有一个漫长过程的,最早只是了解磁石能吸铁。后来又发现了摩擦过的琥珀能吸引轻小物体。当时还分不清这两种吸力之间的区别,认为它们是本质上一样的现象。在十七世纪以后,人们是把电现象和磁现象孤立起来研究的,认为它们之间没有什么联系,形成了电学和磁学。后来随着科学的发展,在十八世纪后半叶人们才开始认识电和磁的联系。1785 年库仑采取研究静电场中电荷之间有相互

作用的类似办法,从假想存在“磁荷”的概念出发,确定了磁力的相互作用规律,在当时对磁力的研究起了一定的作用。直到十九世纪二十年代末,奥斯特才通过实验找到了电流的周围存在着磁场,明确了电与磁的内在联系:在电流的周围存在着磁场,而磁场则是任何形式的电流的伴随者。

此后,毕奥和萨伐尔等利用各种形状的载流导线,测定了它们周围磁场的数值和方向。拉普拉斯对这些实验数据进行了分析归纳,总结出了电流产生磁场的普遍规律,即有名的毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律。在这同时安培也作了大量的有关磁场对载流导线的作用,总结出了安培定律,这为以后电动机的制造创造了理论根据。特别值得指出的是1831年,法拉第发现了电磁感应定律,这一发现使得电与磁的联系发展到了划时代的时期,不仅从理论上指明了电与磁内在联系的重要性,也为广泛应用电能对人类造福开辟了光明的前景。安培定律和法拉第定律为现代电工学的发展奠定了理论基础。

十九世纪后半叶,麦克斯韦在静电场、静磁场的基础上,研究了变化电场与变化磁场之间的关系,并用数学形式建立了麦克斯韦方程组,确立了比较严密的古典电磁场理论,推算出了电磁场变化传播的速度为光速,提出了电磁波的概念,并证实了光波就是电磁波。这样,光学也被纳入了电磁场理论。后来波波夫完成了电磁波的发射与接收实验,使得电磁理论又在无线电通讯、遥控等方面得到了广泛的应用。

现代科学技术的发展很快,发现电磁理论与物质结构的研究也有着密切的联系,广大科学工作者已做了大量的工作,大家正在向微观世界进军。古典电磁场理论对研究微观世界是有缺陷的,目前量子电动力学正在发展中,新理论的建立一定又会给科学技术带来更广阔的前景。

一 基本磁现象

人们最早认识磁现象是从磁石能吸引铁制的物体开始的。所谓磁石就是磁铁矿(Fe_3O_4)矿石,这种矿石称为天然磁体(俗称吸铁石)。用这种矿石制成的永久性磁铁磁性很弱。现在用的永久性磁铁一般都是人工制成的,叫做人造磁体,如用铁、钴、镍合金制成的永久性磁铁和用三氧化二铁与二价金属氧化物制成的铁淦氧(也叫铁氧体或磁性瓷)等。

一、永久磁体

具有磁性的物体叫磁体,能够长期保持磁性的磁体叫永久磁体。图2表示几种常见的永久磁体。

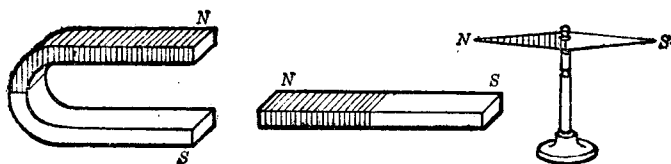


图2 几种常见的永久磁体

把铁或钢移近磁体时,铁或钢也能吸引另外的铁制的物体(如图3所示)。这种使原来不具有磁性的物体得到磁性叫做磁化。再把磁体移开铁或钢时,铁或钢仍保留一部分磁性,这叫剩磁。钢所剩余的磁性要比铁大得多,所以一般都用特殊钢来制造永久磁体。但用这种方法得到的永久磁体的磁性

仍然很弱，所以一般都用电流来对钢块磁化，使它具有较强的磁性。

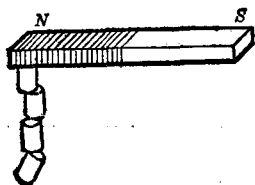


图 3

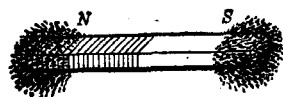


图 4

一块永久磁体各部分的磁性强弱是不同的，如果把一条形磁铁放在铁屑中再取出来，可以看到条形磁铁两端吸住的铁屑最多，如图 4 所示。我们把磁性很强的两端叫永久磁铁的磁极。条形磁铁的中间部分几乎没有铁屑附在上面，说明这个部位磁性很弱，我们把这一区域叫中性带。磁体的磁极都是成对出现的。如果把一条形磁铁截成两段，则这两段又成为两个具有磁极的条形磁铁。再分下去，每一小段又都具有两极，我们永远也得不到一个独立存在的磁极。

磁极不但能比较显著地吸引铁磁性物质，而且两个磁极之间还有显著的相互作用。实验表明，异性磁极相吸，同性磁极相斥。如果把一个能自由转动的小磁针悬挂起来，小磁针的两个针尖总是指向近似南北方向，我们把指南的磁极叫南极，用字母 S 表示。指北的磁极叫北极，用字母 N 表示。

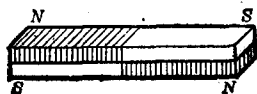


图 5

永久磁铁遇到震动以及温度的剧变，就会失去磁性。所以，为了保持磁铁的磁性，要防止磁铁震动和加热。平时要把磁铁放在铁屑堆里或者把两块磁铁的两个不同磁极并在一起，如图 5 所示，以避免退磁。

二、电流的磁现象

十八世纪以前，人们认为电现象和磁现象之间是没有联系的。后来在自然界发现了一些与电现象有关的磁现象。例如，法国物理学家阿喇果(1786—1860)在他所著的《雷和闪电》一书中曾记载过被雷电击中的三个罗盘，它们的指向有了变化；钢制的刀、叉被磁化。这说明在雷电的影响下，磁体会退磁，铁质会磁化。直到 1820 年，奥斯特才在实验室中发现和研究电流的磁性质，他的实验是在南北方向上放置一根导线 AB ，在 AB 下方支承一个可以自由转动的小磁针，如图 6 所示。由于地磁场的影响，当导线 AB 中没有电流通过时，磁针的指向大致指向南北方向。当导线 AB 通电以后，小磁针发生偏转，转到与导线垂直的位置。上述现象说明通电导线周围有磁现象发生，有一种使磁针运动的作用力存在，我们把它叫做磁力。再经过多次实验发现，磁力的大小和方向只决定于通电电流的大小和方向以及磁针所在的位置，而与导线的材料无关。

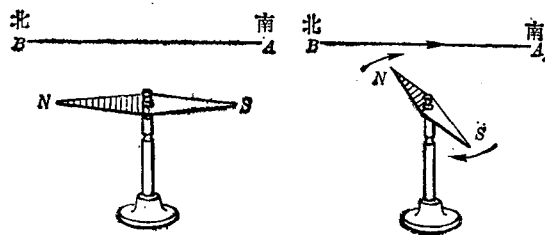


图 6

不仅通电直导线周围产生磁现象，任何形式的电流，如电

解离子流、热电子流等的周围都产生磁现象。任何形状的通电导线周围也产生磁现象。通电螺线管就是最常见的一种，如图 7 所示。(a) 表示放在螺线管内部的小磁针沿管的轴线方向。(b) 表示两个通电的螺线管之间有力的作用，螺线管的两端也有两个极，它和条形磁铁很相似。

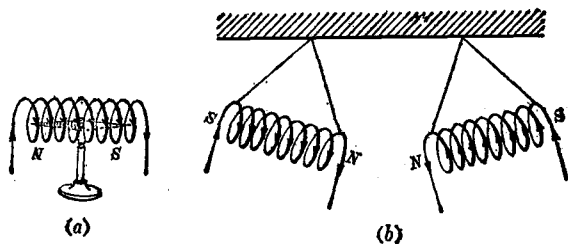


图 7

奥斯特的实验指出了电流对磁体的作用。但磁体对通电导体是否有作用呢？

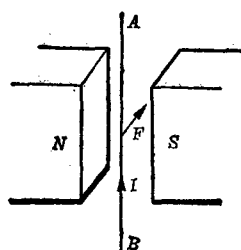


图 8

磁铁对通电导线也有作用，在图 8 中通电导线 AB 由于两条形磁铁的磁作用受到一个垂直于纸面向里的力。通电导线受磁力的作用是一个很重要的磁现象，一方面揭示了电与磁的密切联系，另一方面，为电动机的制造创造了条件。

二 磁 场

一、磁 场

磁铁和磁铁之间，磁铁和电流之间，虽然它们并不接触，也有相互作用力。这种作用与电荷和电荷之间的作用很相似。对于这一客观事实历史上曾有过错误的解释，认为磁铁与磁铁之间的作用，磁铁与电流之间的作用完全是“超距作用”，中间不通过任何物质。实际上这种作用是通过一种特殊的物质，即磁铁周围，通电导线周围存在着一种特殊的物质——磁场。它们的相互作用就是通过磁场来实现的。大量客观事实证明这种解释是正确的。

磁场是一种特殊的物质，虽然它不是由分子、原子组成的，但它具有物质所存在的客观属性：

(1) 任何物质都在不停的运动着，磁场和物质一样也在不停的运动着，它可以从一处传播到另一处。

(2) 力是物体之间的相互作用，磁力就是磁场这种特殊物质对磁铁或通电导线的相互作用。

(3) 根据相对论知道，任何物质都具有能量。磁场本身也具有能量。能量是物质存在的事实。

二、磁 力 线

在静电场中，我们曾经用假想的电力线来形象化地描绘

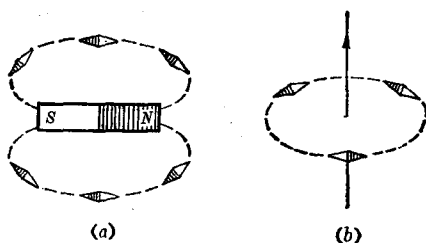


图 9

电场的性质。我们也可以引入磁力线来描绘磁场的性质。我们把小磁针分别放在条形永久磁铁和通电直导线所形成的磁场中，小磁针在磁场中各点 N 极所指的方向不同，如图 9 (a) (b) 所示。这说明磁场是有方向的。我们把小磁针静止时 N 极所指的方向定为磁场的方向。这样我们可以在磁场中引入一系列的力线，力线上每一点的切线方向代表该点磁场的方向，这样规定的力线叫磁力线。图 10 表示条形磁铁和通电螺线管所形成的磁力线。

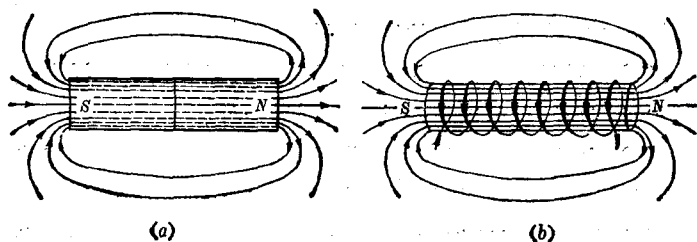


图 10

磁力线和电力线有什么区别呢？从图 10 可以看出，磁力线是没头没尾的，也就是说，磁力线总是闭合的。它跟电力线的不同是，电力线是从正电荷始到负电荷终，而磁力线是一系列的闭合曲线。磁体的磁力线也是闭合曲线，在体外从北极

到南极,在体内从南极到北极,平时我们所说的磁力线从北极始到南极终只是指在磁体外面来讲的。

应当指出,在磁场里的任一点处,磁场只有一个方向,所以磁力线永不相交,同时通过磁场中的一点只能而且总能作出一根磁力线。

三、磁感应强度

为了定量地描述磁场的强弱,我们利用通电导线试验线圈在磁场中受力的情况来决定磁场某点的性质,即该点磁场的方向和强弱。所谓试验线圈是指通电、闭合的平面线圈,线圈的线度^①比线圈到磁体(或产生磁场的通电导体)之间的距离要小得多,使得在线圈所在处的磁场大小近似相等,方向基本相同。符合这样条件的线圈才能称为试验线圈。当把试验线圈放在磁场中任一点时,设其悬线的扭力矩为零,磁场对线圈平面有一定的取向作用,当线圈静止时,其平面的法线方向为磁场的方向,如图 11 所示。磁场既然对线圈平面有取向作用,说明它一定是受到磁力矩的作用。如果线圈悬线的扭力矩不为零,则线圈在磁场中静止时,其扭力矩一定等于磁力矩,只要测出扭力矩就可以知道磁力矩。当线圈的法线方向和磁场方向垂直时,线圈所受的磁力矩最大。实验指出:在磁场中的固定点,最大磁力矩

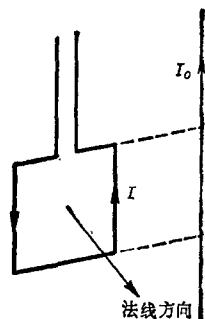


图 11

① 某物体的线度是指该物体上最远两点之间的距离。

M 和线圈的电流强度 I 成正比,也和线圈的面积 S 成正比。通常我们把线圈的电流强度 I 和其面积 S 的积叫线圈的磁矩,以 P_m 表示,即 $P_m=IS$ 。上述实验结果可以写成

$$M \propto P_m。$$

如果线圈的电流强度 I 不变,把线圈放在磁场中的不同点时,一般说来线圈所受的最大磁力矩也不相同。这说明磁场中各不同点一般来说磁场的强弱是不同的。实验还指出:在磁场中的任一固定点,线圈的最大磁力矩 M 和线圈磁矩 P_m 的比值是不随线圈磁矩 P_m 变化的,这个比值只决定于线圈所在磁场的位置。即

$$B = \frac{M}{P_m}。 \quad (1)$$

B 是仅和磁场中某固定点磁场性质有关的物理量,我们把它叫做磁感应强度。

磁感应强度是描述磁场某点性质的物理量,它在数值上等于具有单位磁矩的线圈在该点所受的最大磁力矩,它的方向就是线圈在平衡位置时的线圈法线方向。磁感应强度在磁场中的重要性很象电场中的电场强度。放在磁场中某点的磁体或通电导线的受力情况完全决定于该点磁感应强度的大小和方向。只要有磁场存在,磁场中各点就有磁感应强度存在,它的大小和方向不因放在磁场中某点的磁体或通电导体的存在而改变,只决定于产生磁场的那些磁体和通电导体,因此,磁感应强度是反映磁场强弱的重要物理量。

磁感应强度的单位在国际单位制中是[特斯拉]。

在国际单位制中,四个基本物理量——长度、质量、时间、电流强度的单位分别为[米]、[千克]、[秒]、[安培]。电学中

其他物理量都是由这四个基本量导出。根据对磁感应强度 B 的测定方法,由公式(1)可知,磁力矩 M 的单位为[米][牛顿],磁矩 P_m 的单位为[安培][米²],所以磁感应强度 B 的单位为

$$\frac{[\text{米}][\text{牛顿}]}{[\text{安培}][\text{米}^2]}。$$

因为

$$\begin{aligned} 1 \frac{[\text{米}][\text{牛顿}]}{[\text{安培}][\text{米}^2]} &= 1 \frac{[\text{牛顿}]}{[\text{安培}][\text{米}]} \\ &= 1 \frac{[\text{牛顿}][\text{秒}]}{[\text{库仑}][\text{米}]} = 1 \frac{[\text{焦耳}][\text{秒}]}{[\text{库仑}][\text{米}^2]} \\ &= 1 \frac{[\text{伏特}][\text{秒}]}{[\text{米}^2]} = 1 \frac{[\text{韦伯}]}{[\text{米}^2]} = 1[\text{特斯拉}]. \end{aligned}$$

有的书中采用电磁单位制或高斯单位制^①。在这两种单位制中,磁感应强度的单位是[高斯],

$$1[\text{特斯拉}] = 10^4[\text{高斯}].$$

我们还可以用通电导线元在磁场中受力的大小和方向来决定磁场某点的性质,即 B 的大小和方向。把图 12 所示的装置放在磁场中,其中 AB 是可以在导体滑道上自由滑动的铜棍, CD 是外接电源的正负接头处。当把它放在磁场中通电以后,铜棍要受磁力的作用开始移动,我们找一位置,使铜棍所受的力最大处为固定位置。在匀强磁场中,将通过铜棍的电流 I 减小,发现电流减小几分之几,铜棍所受的力 F 也减少几

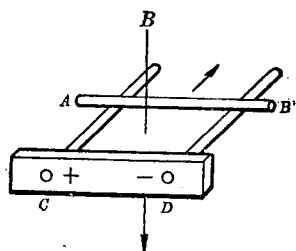


图 12

① 参看程守洙、江之永编《普通物理学》第二册附录。