

磁 场

张 维 善 编 著

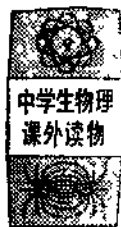


人 民 教 育 出 版 社



磁 场

张维善 编著



人民教育出版社

中学生物理课外读物

磁 场

张维善 编著

*

人民教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

北京顺义永利印刷厂印装

*

开本787×1092 1/32 印张4.875 字数98,800

1989年9月 第1版 1989年9月第1次印刷

印数 1—850

ISBN 7-107-10260-5
G·1170 定价1.55元

目 录

一 磁现象的发现与早期应用

1. 神奇的传说1
2. 中国的“慈石”与希腊的“马格尼特”2
3. 从司南到指南针3

二 磁现象的研究

1. 磁体之间相互作用的规律6
2. 法拉第提出了磁场的观念11
3. 磁分子假说17
- 练习与思考20

三 磁现象与电现象的统一

1. 人类对电现象认识的飞跃21
2. 奥斯特发现了电流的磁效应26
3. 安培发现了电流之间的相互作用30
4. 法拉第提出“磁能转化成电”31
5. 磁现象的电本质35
- 练习与思考37

四 电流的磁场

1. 磁感应强度39

2. 磁力线和磁通量	47
3. 直线电流的磁场	53
4. 环形电流的磁场	61
5. 通电螺线管的磁场	64
6. 运动电荷的磁场	70
7. 磁感应和电磁铁	73
8. 磁场对电流的作用力	78
9. 电磁炮和电磁船	87
10. 电流计 安培计 伏特计	88
11. 磁场对运动电荷的作用——洛伦兹力	96
12. 带电粒子在磁场中的运动及其应用	103
练习与思考	119

五 物质的磁性

1. 物质按磁性的分类	128
2. 顺磁性物质的原委	129
3. 抗磁性物质的奥秘	131
4. 铁磁性物质的磁畴	136
5. 铁磁性物质的磁化	139
6. 地磁场	144

六 磁单极之谜

1. 问题的提出	148
2. 研究与进展	149
3. 深远的影响	150

一 磁现象的发现与早期应用

1. 神奇的传说

今天，我们都知道，磁现象和电现象的知识已经构成了当代物理学的一大部分，并且和物理学的其它各个领域以及化学、生物学等都有着十分重要而又密切的联系。人类为此作了不懈的努力，经历了一个漫长而艰辛的旅程。如果把这一科学的认识过程看作是一部构思严谨、情理交融的正剧，揭开它的序幕的却是一些曾经令人神往，又曾经令人惊惧的传说。

在古代的欧洲，曾经留传着一些动人的故事。例如，在古罗马有一位博物学家叫做普林尼，就曾给人们讲述过这样一个传说：

印度是一个三面环海的国家。一天，许多水手驾驶着一艘巨型的木船帆船，从远洋驶向



图 1

印度的海岸边来。当陆地上的瑰丽景色映入眼帘的时候，水手们情不自禁地欢呼跳跃起来，帆船就要靠近岸了。不料，帆船上的所有铁钉突然都被藏在水下的一座小山拔去（图1），顷刻之间，庞大的帆船散落成了一块块零乱的木板。水手们惊慌失色地向岸边游去……。

根据普林尼讲述的这一传说中的思想，科学幻想小说家库尔特·拉斯维兹撰写出了一部名为《在两个星球上》的科学幻想小说，描绘了地球上的人和火星上的“人”进行的一场战争。

……战斗在空中激烈地展开。几个回合之后，地球人的大举奋不顾身的战斗意志和精湛的武艺终于迫使强悍的“火星”人退却了。一队队威武的骑兵勇猛地追赶上去。就在这时，一块又宽又大的黑色幕布似的东西飘然而来，骑士们手中的刀剑竟不翼而飞，砰砰啪啪地被吸附在那块神秘的“幕布”之上。瞬息之间，大队骑兵变得手无寸铁，在一片惊心动魄的号叫声中败下阵来。

……

人类的头脑确实是勤于思索的，它编织出了不少这样的故事。当然，这些故事只是一些幻想。但是，谁敢说这些幻想全都是些毫无根据的无稽之谈呢？

2. 中国的“慈石”与希腊的“马格尼特”

我国在春秋战国时期，不仅在思想领域内出现了“百家争鸣”，在科学技术方面，也有很多成就。

那时，随着冶铁业的发展和铁器的应用，人们发现了一种矿石。这种矿石具有吸引铁的奇特性质，后来人们就

称它为“磁铁矿”。对此，战国时代留传下来的《吕氏春秋》一书中，就有“慈石召铁”的记载。后来，东汉时高诱所写的《吕氏春秋注》中进一步写道：“石，铁之母也。以有慈石，故能引其子，石之不慈者，亦不能引也。”

在那时的人们看来，磁石吸引铁，就象一位慈祥的母亲，疼爱地抱着自己的孩子一样。因此，我国古代“磁石”都写做“慈石”。这是多么丰富的想象，多么生动的比喻呀！

差不多在同样的时期，希腊山区的牧羊人总喜欢在羊鞭尖上套上一小块铁皮，这样羊鞭就不会很快地磨损了。传说有一次，一些牧羊人驱赶着羊群，从一个牧场迁移到另一个牧场去。当他们途经一个叫做马格西尼亚的山区时，牧羊人感到羊鞭似乎被什么东西抓住了。这使他们颇感惊奇和疑惧，究竟是什么东西把羊鞭吸住了，不象先前那样听使唤了呢？仔细寻找后发现，附近山上的石头能够吸引羊鞭上的铁皮。希腊人把这种灰褐色的石头称为“马格尼特”。

在中国，这种引铁之石被赋予了一种感情色彩，在希腊，则以地域来命名。人类对磁现象的认识就这样开始了。

3. 从司南到指南针

在发现磁石后不久，也就是战国末期，我们的祖先又发现磁石能够指示方向。于是，人们利用天然磁石，制造出来人类历史上最早的指南工具——司南。

在古代的一些著作，如《鬼谷子》和《韩非子》中，都有

关于这种司南的记载。特别是东汉时期的著名学者王充，在他的《论衡》一书中更明确地写道：司南象个水勺，投掷在地上，它的柄便已转向南方（“司南之杓，投之于地，其柢指南”）。这里所说的“地”，是一个平滑的铜盘，盘上刻着24个方位。图2是东汉时期制作的司南的外形。

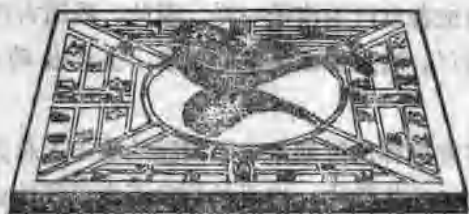


图2 司南

库尔特·拉斯维兹的小说中所描绘的星球大战虽然并没有发生，但是将磁石用于防卫和战争的事例却早有记载。例如，中国古书《三辅黄图》中说，秦始皇统一中国后，兴建了一座豪华宏丽的阿房宫，它的宫门是用磁石砌成的。这样，当有人身藏铁器进入宫门时，就会被磁石吸住，至少也会因此被卫兵发现，达到防范刺客的目的。后来在东晋时（公元279年），马隆伐凉州（今甘肃西部），曾把磁石堆放在敌人必经的峡谷中，身披铁甲的敌兵走过时，便被磁石吸引，行动不能自如，从而失去作战的能力。

在司南出现之后，人们又发现了磁石的另一个特性。如果用磁石顺一个方向多次摩擦任何一种钢铁制品，例如刀子或针等，我们会发现这些刀子或针也能够吸引铁类物质了。这表明，这些刀子或针成了“人造”磁铁。这种现

象，后来被人们称为磁化。

1086年，北宋科学家沈括在他编著的《梦溪笔谈》一书中写道：“以磁石磨针锋，则能指南”，同时介绍了这种指南针的四种使用方法。

这样，一项伟大的发明——指南针，就成为我们中华民族在征服自然道路上的一大创举。

随着生产的发展，贸易的繁荣，我国的航海事业也逐渐兴起，在公元3世纪时，就已经出现了七桅帆船。然而，在茫茫大海之上，尤其在天空阴霾，风起浪涌之时，航海家们怎样分辨东西南北，校正航线，躲过暗礁……，成了生死攸关的问题。为此，在北宋时期，人们把指南针装在罗盘上，制成了罗盘指南针，应用于航海事业上。1119年至1125年间，我国的一些书籍中曾有这样的记载：海船上的人辨别方向时，黑夜看星辰，白天看太阳，阴晦时看指南罗盘。（“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针”。朱彖：《萍洲可谈》，1119年。）

罗盘指南针的使用，促进了我国海运事业的发展，许多大型船舶常年航行在南海、印度洋与波斯湾之间。通过长期交往，我国制作与使用指南针的技术传给了阿拉伯人，并通过他们迅速地传到了欧洲。从此，指南针在许多国家开始应用，成了人类共同的财富。

指南针的广泛应用造福于人类，同时标志着人类对磁现象的科学认识迈出了最初的步伐。然而，科学不应该只是已经认识到了的许多事实的记录，科学更应该是未来的侦察兵。它需要进一步地探索和研究。

二 磁现象的研究

1. 磁体之间相互作用的规律

当罗盘指南针和火药相继传入欧洲之时，欧洲一些国家的工业和商业正处在发展兴旺的时期，随之文化和科学也出现了一些好的兆头，即出现了一股崇尚实验的风气。13世纪的一位英国学者罗吉尔·培根提出：真正的学者“应当靠实验来弄懂自然科学、医学、炼金术和天土地下的一切事物”。培根的一位朋友皮·德·马里古特就作了许多关于磁现象的实验。

马里古特把磁石磨成一个球形，然后把一根小针放在磁石球的下面，发现小针具有一定的取向。接着，他沿小针的取向在磁石球上画了一个大圆。此后，他又把小针放到磁石球的各种位置上，小针都有相应的取向。他沿着小针的取向，象第一次一样，依次画出了许多大圆。他发现，所有这些大圆分别在磁石球的两端形成了两个汇聚点，就象地球的经线一样，如图3所示。马里古特把这两个点称为磁极。

事实上，当人们已经能够用天然磁石制成各种式样的指南器具，并且也能够通过磁化的方法，把钢铁制品做成各种形状的磁针和磁铁时，人类对磁现象的特点和规律进行初步探索的条件就已经形成了。马里古特的实验不过是

其中的一个代表。

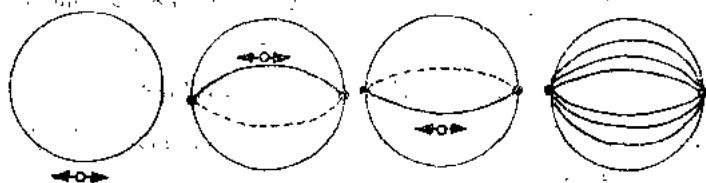


图3 马里古特的磁极

继马里古特之后，对磁现象进行实验研究的还有罗伯特·诺曼和英王伊丽莎白的御医吉尔伯特。前者曾写过一本名为《新奇的吸引力》的小册子，综述了他的实验结果。后者则出版了《论磁铁、磁性物体和大磁铁》的著作，其中所描述的实验观察更为丰富。

吉尔伯特也曾象马里古特那样，用一块天然磁石磨制成一个大磁石，然后用小铁丝制成小磁针放在磁石球上面，以观察小磁针的取向。结果发现，小磁针的取向情况与指南针放在地球上的取向情况十分相似。小磁针在磁石球的两个磁极处垂直地指向球面，而在两个磁极之间它平行于球面，如图4所示。由此吉尔伯特认为，地球本身就是一个巨大的磁体，而且与磁石球的两个磁极一样，地球的南北两极就是地球的两个磁极。他首次提出，任何磁体的两个磁极可分别称为

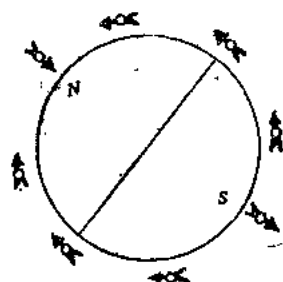


图4 磁南极与磁北极

似北极和似南极。后来人们索性就直接称为磁北极和磁南极，分别用字母N和S代表，N和S是英文北方和南方的字头。

人们还发现，把一个制作好的磁铁(经磁化而制成的人造磁体总要用钢铁材料才行，所以又常称它们为磁铁)放入一堆细小的铁钉中，当把它再拿出来时，磁铁的两端吸附了许多小铁钉，而磁铁的中间部分吸附的铁钉却很少，如图5所示。这就表明，一块磁铁的两端磁性最强，而在磁铁的中间部分则几乎没有磁性。如把一个磁铁自由地悬挂起来，使它能够自由地转动时，可以发现，它的两端将自动地指向南北方向，如图6所示。这就是说，一个磁铁的两端就是磁铁的两个磁极，而磁极也就是磁体上磁性最强的部分。人们把磁体上能指向北方的一极称为磁北极，

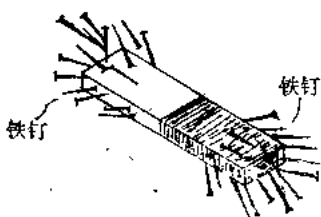


图5 磁极的磁性最强

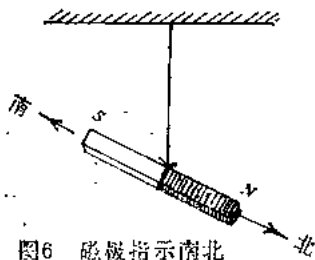


图6 磁极指示南北



图7. 磁极的相互作用

而把磁体上能指向南方的一极称为磁南极。

此外，如图7所示的那样，当把磁铁的磁北极靠近另一悬挂着的磁铁的磁南极时，后者会被吸引过来；用磁铁的磁北极去靠近那悬挂着的磁铁的磁北极时，后者则被排斥过去。如果再拿磁铁的磁南极去分别靠近悬挂着的磁铁的磁南极和磁北极时，所观察到的现象和上述情况恰恰相反，即磁南极被排斥开，而磁北极被吸引过来。这种现象表明，磁体还具有另外一种重要性质：同种磁极之间有相互排斥力的作用，而异种磁极之间有相互吸引力的作用。不管是排斥力，还是吸引力，这种磁极之间的相互作用力统称为磁力。

上述磁力相互作用的性质，无论是在1269年马里古特的文章中，还是在吉尔伯特于1600年的著作里，都有过类似的记载。同样，在他们的实验研究中，都曾作过先把一个磁体一挤两段，然后用另外一个磁体对那两段磁体分别去重复上述的实验步骤。观察的结果大大出乎当时人们的意料，每一段磁体仍象一个完整的磁体一样，依然都还具有自己的磁南极和磁北极，而且无论再折成几段，其中每一段都仍然自成一个新的完整的磁体。由此，人们开始确信，两个磁极是不可分开的，也就是说不存在单独的磁南极或单独的磁北极。

仅仅知道了任何磁体都有磁极，而且磁极之间存在着相互作用力，那自然还是很不够的。科学要求准确。一般说来，不同磁体的磁极，其磁性的强弱可能是不相同的，而且实验观察早已表明，磁极间相距的远近不同，磁力的

表现也有大小之分。因此，人们自然想要知道，磁力作用的大小服从什么样的规律？

然而，在科学发展的道路上，一帆风顺的环境、一蹴而就的成功可以说是没有的。相反，困难和挫折却经常是科学进步的伴侣。因为每一个磁体都具有两个不同的磁极，这样，在研究一个磁体的某一磁极与另一磁体的一个磁极之间的相互作用时，就无法排除其余两个磁极的影响。这是一个非常棘手的困难，或者说是一个似乎无法逾越的障碍，怎样才能克服这一困难，或者绕过这一障碍呢？

直至18世纪中期，在英国学者约翰·米切尔研究工作的基础上，法国物理学家库仑和英国物理学家卡文迪许才各自独立地想出了一个聪明的办法。为了尽可能地减少其余两个磁极的影响，他们制成了很细很长的磁体，然后用这样的磁体进行实验研究。由于他们所用的磁体又细又长，在研究两个磁体的磁极间的相互作用时，就可以使要研究的那两个磁极之间的距离很小，而其余的两个磁极就离它们很远了，以至于另外两个磁极产生的影响就成为微不足道的了。

无论是库仑，还是卡文迪许，他们都无法改变自然界的“安排”，抛弃掉两个磁极中的某一个。他们的过人之处恰恰在于并不去做那些根本不可能做到的事，而是在自然界所允许的范围内，巧妙地绕过“礁石”，去达到向往着的“彼岸”。

另外，库仑和卡文迪许的办法还有一个好处。因为细长磁体的磁极自然是很小的，磁性也就非常集中。本来，

磁极是磁体上的一个区域，现在就可以把磁极看成是一个点了。这样，磁极的位置和磁极之间的距离就容易明确地表示和量度了。

库仑和卡文迪许分别对许多磁性强弱不同的磁极之间的相互作用力进行了实验研究，他们发现，磁极之间的相互作用力的大小，不论是吸引力，还是排斥力，都跟它们的磁性强弱程度成正比，跟它们之间的距离的平方成反比。这就是磁体之间相互作用力所遵从的规律。

2. 法拉第提出了磁场的概念

生活的经验与已往物理学的研究告诉我们，任何力的作用都必须通过物质的直接接触才能产生。例如，我们将钉子钉入墙壁中，是通过锤子与钉子相互接触，把力作用到钉子上的；起重机吊起重物，是通过它的钢丝绳与重物相互接触，把力作用到重物上的……。然而，磁力却发生在相隔一定距离的、并不直接接触的两个物体之间。也就是说，在它们之间并不需要有任何由原子、分子组成的物质作为传力的媒介。于是，人们自然就要发问，磁力究竟是怎样传递的呢？

在对某种自然现象的机理尚未明晰之前，提出一些猜测，也是科学研究中的一种探索方法。从18世纪中叶起，关于磁力作用的传递问题，也相继产生了多种猜测。有人认为，磁力根本就不需要任何媒介，也不需要经过任何时间，就能够由一个磁体立刻作用到相隔一定距离的另一个磁体之上。这就是物理学发展史上的“超距作用”观点。这种提法似乎有些武断，与人类生活中的众多经验格格不

人。然而，持有这种观点的人也可以提出辩解说：磁力作为一种“超距作用”也并非绝无仅有。声名显赫的物理学奠基人之一，英国科学家牛顿曾经发现，所有物体之间都存在着相互吸引力；无论是相距很近的微小物体，还是迢迢万里之遥的巨大星球之间，都无例外，因此这种力通称为“万有引力”。“万有引力”同样也不需要任何由原子、分子组成的物质作为传递的媒介。既然象牛顿这样卓越的学者对此也感到迷惑不解，以致于在他发表万有引力定律时，都不想解释万有引力的物理机理，那么我们为什么不能大胆地提出“超距作用”的假说呢？

与此同时，还有另外一些人认为，磁力是通过一种永远充满在整个空间的弹性媒质——“以太”来传递的。这种提法倒是维护了力是由于物质相互接触而产生的观点，但是“以太”到底是什么呢？却又无从观察，因而使人感到虚无缥缈。

总之，这样两种看法都未能尽如人意，更未能解释自然界的奥秘，所以它们之间的争论也就在一种似乎是无可奈何的气氛中进行着。科学召唤着巨人……。

1791年9月22日，在英国的一个铁匠家庭里，迈克尔·法拉第诞生了。他家境贫寒，没有条件去接受学校的系统教育，但他从小酷爱学习。当他22岁时，由于对物理学和化学的实验研究已经十分出色，由当时英国著名的化学家戴维推荐，进入了英国皇家学会工作。

在19世纪20~30年代，物理学的数学化程度已经很高，许多专门的数学知识已经广泛应用到物理学理论之中，但