1 磁是什么

磁是普遍存在的

提到磁，一般人想到的往往只是指南针指示南北方向、磁石吸引铁针等日常生活现象。虽然随着科学发展,不少人接触到了磁录音和磁录象,甚至磁碟(也叫磁盘)了,但仍认为磁是少见的现象,同我们的关系并不大。

情况真的是这样吗？现代科学的发展和高新技术的应用已经充分表明，在现代社会里，不论在生产、国防和科学研究中，还是在社会生活和家庭生活中，都是离不开磁的。例如，在产生电力的发电机，输送电力改变电压的变压器，应用电力产生动力的电动机和多种测量电流、电压、电功率、电能的仪表中，都需要使用各种磁性材料。在磁性水雷、磁性地雷、雷达和电磁炮等国防武器和设备中，都要应用磁场、磁性器件和磁性材料。在科学研究中，各种高能加速器和粒子探测器、热核聚变研究

需要全本请访问 www.ertongbook.c

装置、同步辐射研究装置等都需要约束和控制高能粒子运动的多种类型的强磁场。各种电子计算机需要输入(写入)、存储和输出(读出)数字信息的写入磁头、读出磁头、磁记录器和磁存储器。在社会生活、学校教学和家庭生活中使用的电话机、电视机、收音机、录音机、录象机、电子钟表、多种家用电器等，都需要应用磁性材料制成的磁性器件。比如,一部现代汽车便使用了 30 多件由永磁材料制成的小型永磁电动机。总之，在现代电气化、电子化和信息化的社会里，可以说是离不开磁的应用的。

通过现代科学的多方面研究，科学家还进一步认识到，近至我们的身体、周围的生物和我们居住的地球,远至月球、太阳、各种天体和宇宙空间，小至原子、原子核和各种基本粒子，大至各种天体、星系和宇宙，所有构成它们的物质都具有或弱或强的磁性；不论远近的空间，都存在或低或高的磁场。因而可以说，任何物质都具有或弱或强的磁性,任何空间都存在或低或高的磁场,磁是普遍存在的。从某种意义上说，我们是生活在磁的世界里。

那么磁又是什么呢 概括地说,磁是指物质具有的磁性和空间存在的磁场。进一步地,我们可以再问,磁性和磁场又是什么呢 磁性和磁场具有什么特点 磁性跟电性等其他物性有什么差别 磁场跟电场等其他物理场又有什么差别 怎样去辨别及

测量磁性和磁场？对这些问题，下面将会进行一些简单的介绍。

根据我们国家关于磁学的基本术语和定义标准“磁场是一种场，其特性可用在场内运动着的带电粒子上所受的力来确定，这种力来源于粒子的运动及其所带电荷。”这样的定义是同国际上一致的。物质磁性则是由物质在磁场中（严格说是在不均匀磁场中）会受到磁力作用来定义。根据所受到磁力的方向和大小可进一步辨别物质磁性的种类和强弱。研究和应用物质磁性和磁场是磁学和边缘磁学（也称交叉磁学）的主要内容，它们合称广义磁学，有时也简称为磁学。

讲到磁学，我们要特别指出我们祖国对于古代磁学的重要贡献。首先，我们祖国最早发明和应用了利用磁性的指南器（古代称为“司南”）和指南针。指南针被称为我国古代文明的四大发明之一（其他为火药、活字印刷术和造纸术）。在航海中，指南针曾经在明代郑和七下西洋、哥伦布发现美洲新大陆和麦哲伦环行地球一周等重大历史活动中起过重要的作用。我国最早将磁应用于医药上，在汉代司马迁著的《史记》中便有了用慈（磁）石治病的记载，在明代李时珍著的《本草纲目》中记载了利用慈石制成多种药物和治疗 10 多种疾病。此外，我国还有最早和最多的关于指南针以外的地球磁现象（如北极光）和太阳磁现象（如太阳黑子）的记载。我们的祖先对磁学的贡献，今天看来，依然足以自豪。

虽然磁是普遍存在的,磁也有着广泛的应用,但是,在一般的普通物理教材中,同力学、声学、热学、电学和光学等相比,磁学所占的分量和涉及的内容却是很少的。为了使读者对磁有更深入、更具体的认识,我们有必要先简单介绍当代广义磁学的主要内容和最新进展。

磁性与磁性材料

我们一般讲的磁学是指狭义磁学，它研究和应用物质的磁性,主要是强磁(性)物质,包括铁磁物质和亚铁磁物质(它们常合称为磁性材料),有时也涉及反铁磁物质。强磁物质和反铁磁物质合称序磁物质，这些物质中产生序磁性的原子磁矩是有序排列的,称为磁有序。我们都知道,在原子中,电子绕原子核运动,从而具有一定的轨道磁矩 此外,电子本身还具有自旋磁矩。轨道磁矩和自旋磁矩都是有方向的，原子中各个电子的轨道磁矩与自旋磁矩的迭加就形成了整个原子的磁矩。原子磁矩是宏观物质磁性的微观来源。

磁性材料中有关磁有序的变化(即磁化)包含两个方面。一个是不受外加磁场作用时的原子磁矩排列,称为自发磁化 另一个是受到外加磁场作用时，原子磁矩排列随磁场强度的变化而改变,称为技术磁化。

磁性材料的自发磁化是由于材料中相邻原子磁

矩间具有交换(相互)作用而出现的磁有序排列。如果相邻原子磁矩是互相平行排列，称为铁磁有序或铁磁性，在宏观磁性上表现最强，如金属铁(Fe)和镍(Ni)等。如果相邻原子磁矩是互相反平行排列，但相邻原子磁矩大小并不相等，因而出现不完全抵消的剩余磁矩，称为亚铁磁有序或亚铁磁性，在宏观磁性上表现较弱，如四氧化三铁(Fe_3O_4)和镍铁氧体($NiFe_2O_4$)等。如果相邻原子磁矩是互相反平行排列，相邻原子磁矩又大小相等，最终原子磁矩几乎完全抵消，在宏观磁性上表现最弱，称为反铁磁性，如氧化亚铁(FeO)和氧化镍(NiO)等。在第6章里，我们还会对这些宏观磁性作更深入的介绍。这三类磁有序物质中的原子磁矩都是平行或反平行排列，为较简单的磁有序，当然也有更为复杂的排列。原子磁有序排列可以用中子衍射方法来测定，称为磁结构的测定。对于有限大小的磁有序材料，由于要使材料系统的自由能最小，这些磁有序排列往往只能在材料中的微小区域内实现。这些磁有序的微小区域称为磁畴。在一般情况下，材料中许多磁畴是无序排列的，使各磁畴的合磁矩互相抵消，以降低材料系统的自由能而使其处于稳定状态，称为磁中性态或退磁状态。

当磁性材料受到外加磁场作用时，由于添加了外磁场产生的磁化能，为了使材料系统保持最小的自由能，材料中的各个磁畴便会发生变化，进而引起材料宏观磁性的变化。因为磁畴是由磁畴体和磁畴

需要全本请访问 www.ertongbook.c

壁构成的,在外加磁场作用下,磁畴壁要产生移动,称为壁移,磁畴内原子磁矩要产生转动,称为畴转。材料中壁移和畴转过程同外加磁场的方向、大小和频率等都有关系。由这些过程引起的磁性变化称为技术磁化。技术磁化同外加磁场、材料处理和形状,以及温度等环境情况都有关,是决定材料应用性能的重要因素。

磁性材料的磁性除直接受到外加磁场的影响外,也会受到其他物理作用而改变 同样,磁性材料的磁性和外加磁场也会使材料的其他物性发生变化,称为磁效应。例如,外加磁场引起磁性材料的长度发生变化,称为磁致伸缩效应 外加磁场引起材料的电阻发生变化,称为磁电阻效应 外加磁场引起材料的光学性质发生变化,称为磁光效应 外加磁场在一定条件下使材料的温度发生变化,称为磁致温差效应;等等。这些还将在第 8 章里有更进一步的阐述。

除了具有较强磁性的磁性材料外,自然界中还有大量弱磁物质,它们的宏观磁性很弱,甚至很难测出。顺磁物质是指其中的原子磁矩间因无交换作用而不能形成磁有序的物质。而如果物质中原子内的电子磁矩都互相抵消而使原子(合)磁矩为零,则称为抗磁(性)物质。顺磁物质和抗磁物质均为弱磁物质。

物质中的磁矩系统在恒定磁场和交变磁场的同时作用下,当恒定磁场强度和交变磁场频率满足一

定的条件时，该磁矩系统便会对交变磁场产生强烈的能量吸收,称为磁共振。例如,对于顺磁物质和铁磁物质中的电子磁矩系统可产生顺磁共振和铁磁共振,对于物质中的原子核磁矩系统可产生核磁共振。核磁共振和顺磁共振在致冷、精密测量等方面都有着十分广泛的应用,我们会在第 4 章和第 5 章中有更深入的描述。

根据磁性材料的磁特性和用途的不同，一般把磁性材料分为永磁材料、软磁材料、信(息)磁材料和特(种)磁材料四大类,每类又可根据其不同特点分为若干小类。永磁材料是指经外磁场磁化后能够在撤去外磁场时仍保持其强磁性的材料，例如稀土永磁材料等。软磁材料是指加外磁场时表现强磁性，但不加外磁场时则不表现强磁性的材料，例如硅钢片等。信磁材料是指具有适用于信息技术（如计算机和通信等)的磁特性的材料,例如磁记录材料等。特磁材料是指适用于特定用途的磁性材料，例如用于磁光记录的磁光材料、用于绝热退磁致冷的磁致冷材料等。

磁性材料的应用既多又广，在前一节中已列举若干例子。这里仅再举一些正在研究或发展或设想的例子,如正在上海浦东等地兴建的磁浮列车、无污染的磁储氢汽车、具有非易失性和耐辐射的磁电子随机存储器、具有可变形可恢复的磁智能材料等。可以相信,在 21 世纪里，磁性材料将肯定会有更大的用武之地。

磁与其他学科

边缘磁学(交叉磁学)是广义磁学的一个重要组成部分,它体现了一切物质都具有磁性,任何空间都存在磁场的磁的普遍性，是磁学同其他科学互相联系和互相影响的结果。这里仅介绍一部分的边缘磁学 生物磁学、原子核磁学、基本粒子磁学、地球磁学和宇宙磁学。

生物磁学又称生命磁学，它是研究物质磁性和磁场同生物结构和生命现象之间相互联系的科学。生物磁学的主要内容有生物磁性和生物在生命活动中产生的磁场、外加磁场及环境磁场对生物的影响等，它还包括把磁学方法和磁技术应用于生物学的研究,及其在工业、农业、医学、环境保护和其他方面的应用。因此,生物磁学的涉及面很多,应用领域广阔。这里仅举一些重要的例子：通过对人体磁场的观测(如心磁图、脑磁图和肺磁图等)可以获得相关生命活动的生理和病理信息，同类似的心电图和脑电图等相比,测磁图不需要测电图的电极,既避免电极的接触影响,又可获得三维测量的更多信息,磁图既可测恒定磁场,又可测交变磁场,因而扩大了观测面(电图只能测量交变电场),提高了疾病的确诊率。计算机化层析成象术(简称 CT)是医学上常用的诊断手段,利用核磁共振 CT 可以比 X 射线 CT 获得更多的人体内部信息,因为前者显示的是原子核即化

学元素的分布等多种信息，而后者仅显示密度分布的信息。此外，利用磁分离技术可以把磁性不同的红血球和白血球分离开来。近年来，测量人体微弱磁场的超导量子干涉仪(SQUID)式磁强计已经从使用温度极低和设备复杂的液氦装置发展到使用温度略高、设备较简单的液氮装置，测量则是在高度屏蔽并能容纳人体的大磁屏蔽室中进行。中国地震局地球物理研究所 1989 年建成了一个零磁空间实验室，其直径 2.3 米，剩磁低于 2.0×10^{-8} 特，在当时这样的大型高屏蔽磁屏蔽室全世界不到 10 个，作者本人也参加了这一实验室的鉴定会。2001 年 4 月，作者又在这个大型磁屏蔽室中，参加了用中国科学院物理研究所研制的液氮超导量子干涉仪式磁强计进行的心磁图测量，亲身感受了生物磁学在近年来的飞速发展。可以说，生物磁学将会成为 21 世纪的一个热门学科。

原子核磁学和基本粒子磁学也可简称核磁学和粒子磁学，它们分别是研究和应用原子核磁性和基本粒子磁性的边缘磁学。核和粒子的磁性与其微观结构有关，它们有许多重要的应用。这里也仅列举若干例子：利用原子核磁性的核磁共振已经在物理学、化学、生物学、地质学和技术科学中得到广泛的应用，自然界中 90% 以上的元素(包括同位素）都有核磁矩，因而可进行核磁共振研究，以获得物质结构、物相、元素分析和化学反应等信息。利用原子核系统的绝热退磁可以获得微

开(百万分之一开)级甚至纳开(10亿分之一开)级的极低温度,如铜(Cu)原子核已用绝热退磁方法降低到2纳开，这是目前达到的最低温度。利用中子磁矩的中子磁衍射技术可以测量各种磁性材料的微观磁结构。利用自旋旋进技术测量电子磁矩已达到10位有效数字(其理论计算也达到10位有效数字,两者十分吻合),这在现代科学上是极为少见的。还有磁单极子问题,从20世纪30年代初以来就一直在对其进行理论研究和多方面实验观测。它涉及电与磁的对称性、基本粒子结构理论和宇宙极早期演化等科学问题，到现在也没有完全肯定或否定的结论。

地球磁学和宇宙磁学涉及地球的结构和演化，宇宙极早期演化，各种天体结构和演化，以及星际(包括行星际、恒星际和星系际)空间磁场作用等许多重要问题，因为地球和宇宙（包括各种天体和星际空间）中的物质都具有或弱或强的磁性，宇宙空间都存在或低或高的磁场。

地球磁学包含一般地磁学、岩石磁学、古地磁断代学、地磁考古学等多个分支学科，其内容和应用是十分广泛的。例如：从大陆岩石和海洋底岩石磁性的变化证实了大陆漂移、海底扩张和地壳板块结构的新地球观；由不同岩层的磁极性变化建立起古地磁断代学，由此推定北京猿人、元谋猿人等的年代，其结果同其他考古断代法推定的年代是符合的从地磁场的观测分析可以得到地质构造和若干

矿产的信息；等等。在地球磁学中，地磁场的来源及地磁场的反向是两个重要问题。地磁现象的发现和应用虽然都是很早的，但关于地磁场来源的研究却是很晚的。从 20 世纪初开始，人们先后提出了 10 多种地磁场起源学说，如永磁体学说、内部电流学说、电荷旋转学说、压电效应学说、旋磁效应学说、温差电效应学说、发电机学说、旋转体磁效应学说、磁力线扭结学说、霍尔效应学说、电磁感应学说等，其中以发电机学说与现代地磁场的许多观测结果较为符合，但仍有一些问题尚待解决。这一学说的要点是由于地球内部外地核的金属（主要是铁）流体的流动，切割磁力线，就像发电机一样产生电流，电流又产生磁场。至于最初的微弱磁场的来源，则可以用电池效应等来说明。

在 20 世纪对大陆岩石和海底岩石的磁性观测研究中，都发现在地球的几十亿年历史中曾有过许多次的地球磁场反向，即地磁北极转变为地磁南极，地磁南极转变为地磁北极。在 20 世纪 60 年代后曾提出过约 10 种学说来解释地磁场反向，例如：非偶极型磁场变化学说、无规磁场起伏学说、地核对流对称性变化学说、地核对流区分布变化学说、地核三偶极型磁场学说、偶极型磁场变化学说、双偶极型磁场学说、银河星系旋臂干扰学说、地外天体撞击学说。除最后两种学说认为其原因是来自地球以外，其他学说都认为地磁场反向的起因来自地球内部，并且大多同磁流体发电机制有关。可以

需要全本请访问 www.ertongbook.com

看出，关于地磁场来源和地磁场反向这两个重要问题,虽然已经有了许多研究,但仍未能很好地解决，有待于 21 世纪的继续研究和解决。

宇宙磁学是研究宇宙天体和宇宙空间磁现象的交叉学科，有时也称天体磁学。宇宙磁学中也有许多重要的成果,如 太阳表面的黑子、耀斑和太阳风等活动都是同磁场有关的磁活动，并可利用磁学手段进行观测；阿波罗飞船登月计划的重要科研活动中便有观测月球磁场和月岩磁性，因为由此可推断月球内部全部为固态物体，这是用其他天文学方法不能做到的；宇宙飞船观测到木星磁场远高于其他行星磁场，因而推断木星内部有金属氢的存在；从武仙座 X－1 脉冲星(中子星)的 X 射线谱可推断它具有超强磁场(约 5×10^8 特斯拉),这同理论值相符合，是宇宙间观测到的最强磁场。

从以上边缘磁学的介绍和例子可以看出，物质磁性和磁场不仅普遍存在，而且它们都具有重要的科学意义或应用价值。

磁学与诺贝尔奖

诺贝尔奖是瑞典化学家、产业家、甘油炸药的发明者诺贝尔(Alfred B. Nobel)在他去世的前一年(1895 年)写的遗嘱中提出的,他将自己约 3300 万克朗(约 900 万美元) 遗产中的大部分委托给指定的遗嘱执行人建立诺贝尔基金，并将基金的利息以

奖金的形式(即诺贝尔奖)每年颁发一次,以表彰那些‘曾给予人类最大利益的人’。诺贝尔逝世后,有关团体筹建了诺贝尔基金会，于 1901 年开始颁发第一次诺贝尔奖,分为物理学奖、化学奖、生理学医学奖、文学奖及和平奖 5 项。1969 年又增加经济学奖。

诺贝尔 1833年 10 月 21 日出生于瑞典首都斯德哥尔摩。父亲办有炸药工厂，并从事炸药研究。诺贝尔童年时在教会学校学习，9岁时随母亲和两个哥哥迁到俄国首都彼得堡父亲工作处。 17 岁前诺贝尔在家里跟家庭教师学习，17～19岁时由父亲安排先后到德国、法国、意大利和北美等地旅游、学习。青年时他不但重点学习了化学，而且还学习了德语、英语、法语和俄语。1853 年诺贝尔 20 岁时，回到父亲办的炸药工厂的炸药实验室工作。后来工厂停产，诺贝尔随家迁回瑞典，开始独自谋生。在他建立的生产硝化甘油的小工厂里，诺贝尔仍继续进行炸药方面的试验。他先后试验了甘油炸药的爆炸，发明了炸药发爆剂（也称为诺贝尔引燃器），获得了专利权，研制成了烈性炸药及其引爆物——雷管。1865年,诺贝尔在斯德哥尔摩郊外偏僻地区建立了世界上第一家生产危险性较小的硝化甘油工厂。他既是总经理，又是工程师、联络员、推销员、广告员和会计师，全身心投入炸药的生产、经营和研究。他在瑞典、英国和美国取得炸药的专利权，又先后研制和发明了炸药明胶、无烟炸药等。

诺贝尔在其勤奋的一生中共获得了不少于 355 项发明专利，后来又用专利款购置了大面积的巴库油田。

诺贝尔不仅在多种炸药上有其发明和贡献，而且兴趣广泛，在电化学、光学、生物学和生理学上也有一定研究，学习掌握了德、英、法、俄等外语，也爱好文学，写过叙事诗和小说及未写完的悲剧。诺贝尔一生没有结婚，足迹遍及欧洲各国，因而常被称为欧洲“最富有的流浪汉”。

1896 年 12 月 10 日，诺贝尔在意大利逝世，终年 63 岁。这一逝世纪念日后来成为每年颁发诺贝尔奖的日期。

诺贝尔科学奖(指物理学奖、化学奖、生理学医学奖)是当今世界上水平最高、权威性最强、影响最大的科学成就奖。100 年来，它忠实地记录了 20 世纪物理学、化学和生命科学领域的几乎所有重大科学发现。自然科学中各个领域在 20 世纪的重大进展，也几乎都可以通过这个领域荣获诺贝尔奖的科学家及其成就来加以反映。这本小册子所讲的磁学，也是如此。

在磁学方面，最早获得诺贝尔奖的是洛伦兹(Hendrik A. Lorentz)和塞曼(Pieter Zeeman)，他们因为研究磁场对辐射现象的影响而荣获 1902 年诺贝尔物理学奖。此后，随着原子结构研究的不断深入和量子物理学的兴起，微观基本粒子和原子核磁性的研究与应用得到了极大发展，施特恩(Otto Stern)、拉

比(Isidor I. Rabi)、布洛赫(Felix Bloch)、珀塞尔(Edward Purcell)、兰姆(Willis E. Lamb)、库什(Polykarp Kusch)等人先后因在此领域的杰出贡献而荣获诺贝尔奖。这也充分表明了20世纪上半叶微观物理学和微观磁学的巨大进展。20世纪中叶以后,凝聚态物理学日益成为物理学中的重要分支。与此相应,固体磁性的研究成为一个热门课题。奈尔(Louis Néel)以其关于反铁磁性和亚铁磁性的研究,菲利普·安德森(Philip W. Anderson)、莫特(Nevill Mott)和范弗莱克(John van Vleck)以磁性系统与无序系统的电子结构研究先后荣膺诺贝尔奖桂冠。而1985年冯·克利青(Klaus von Klitzing)和1998年劳克林(Robert B. Laughlin)、施特默(Horst L. Störmer)与崔琦分别因量子霍尔效应和分数量子霍尔效应的发现获得诺贝尔物理学奖,则可以说是凝聚态物质中的宏观量子效应正在日渐受到人们重视的例证。

在这本小册子里,我们将分别对这些与磁学有关的诺贝尔物理学奖获奖项目的物理意义、历史背景、相关发展、应用前景,以及获奖者的个人生平和科学贡献作些浅显的介绍,希望它能让读者从中有所获益。

2
磁场对光的影响

什么是磁光效应

我们已经知道，任何物质都具有或强或弱的磁性，并处于或低或高的磁场之中。这些磁性或磁场对物质会产生磁效应。简单说来，磁效应是指外加磁场或物质磁性特别是强磁性变化所引起的该物质其他性质(主要是物理性质)的改变。反之,物质其他性质(主要是物理性质)的变化也会引起该物质磁性的变化，称为磁效应的逆效应。磁效应及其逆效应也可统称为(广义的)磁效应。例如,磁场和磁性改变可引起物质力学性质如长度、体积、弹性系数和刚度系数的变化,分别称为磁致伸缩效应(也称焦耳效应)、磁致体积效应(也称巴雷特效应)、磁致弹(性)变效应(也称布拉开效应)和磁致刚(性)变效应(也称金博尔效应)。又例如,磁场和磁性改变会引起物质电学性质如电阻、电阻抗和横向电势(或说横向电阻)的变化,分别称为磁(致)电阻效应、磁(致)

需要全本请访问 www.ertongbook.com