

高等学校教学用书

电 磁 学

(下 册)

任兰亭 陈鹏万 任妙真 编

石油大学出版社

高等学校教学用书

电 磁 学

(下册)

任兰亭 陈鹏万 任妙真 编

石油大学出版社

电 磁 学

(下册)

任兰亭 陈鹏万 任妙真 编

*

石油大学出版社出版

山东省新华书店发行

山东电子工业印刷厂印刷

(淄博市周村)

*

开本 850×1168 1/32 13印张 338千字

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数1—4000册

ISBN 7-5636-0025-6/O₄·02

定价: 3.07元

内 容 提 要

本书是作者为适应物理教学改革的需要，在总结几年来教学及教学改革一些经验的基础上编写的电磁学下册。主要内容有稳恒电流、电磁感应与暂态过程、磁介质、交流电路、电磁场与电磁波、电磁学的单位制和习题答案。每节附有练习题，每章有解题示例一节，通过典型的综合性题例，分析解题的步骤和技巧。章后还附有课堂讨论题和复习题。书中还适当编入了一些物理学史，从而体现物理规律发现的过程和实验方法。

本书可作为大专院校及成人教育教材，也可供中学物理教师参考。

目 录

第五章 稳恒磁场	1
§ 5.1 基本磁现象	1
一、磁现象	1
二、电流的磁现象	3
三、磁铁对电流的作用	4
四、载流导线间的相互作用	4
五、物质磁性的本质	5
六、地球的磁场	7
§ 5.2 磁感应强度矢量 $\mathbf{B}$	8
一、磁场	8
二、磁感应强度矢量 $\mathbf{B}$	9
三、磁感应线	11
四、运动电荷在磁场中受到的力	12
习题十八	14
§ 5.3 毕奥-沙伐尔定律	15
一、毕奥-沙伐尔定律	15
二、磁场的迭加原理	18
三、毕-沙定律应用举例	19
四、运动电荷的磁场	24
习题十九	30
§ 5.4 磁感应通量 磁场的“高斯定理”	32
一、磁感应通量	32
二、磁场的“高斯定理”	33
习题二十	33

§ 5.5 安培环路定理	34
一、安培环路定理	34
二、安培环路定理的应用举例	39
习题二十一	43
§ 5.6 带电粒子在电磁场中的运动	45
一、带电粒子在磁场中的运动	45
二、回旋加速器的基本原理	47
三、汤姆孙实验——电子荷质比的测定	50
四、霍尔效应	51
五、磁偏转	55
六、磁约束	56
习题二十二	58
§ 5.7 磁场对载流导体的作用	60
一、安培力公式	60
二、均匀磁场中矩形载流线圈受到的磁力矩	63
三、磁电式电流计原理	64
习题二十三	66
§ 5.8 闭合载流线圈的磁矩和磁力矩	68
一、任意平面闭合电流所受的磁力矩	68
二、用磁矩表示平面载流线圈的磁场	69
习题二十四	70
§ 5.9 电流强度的单位——安培的定义	71
一、两平行长直载流导线间的相互作用力	71
二、电流强度的单位——安培的定义	72
三、电流强度的绝对测量	73
习题二十五	74
§ 5.10 解题示例	75
课堂讨论题五	83
复习题五	87

附录	93
第六章 电磁感应与暂态过程	95
§ 6.1 电磁感应定律	95
一、电磁感应现象	95
二、法拉第电磁感应定律	99
三、楞次定律	102
四、涡电流和电磁阻尼	106
五、趋肤效应	110
习题二十六	111
§ 6.2 感应电动势	113
一、动生电动势	113
二、感生电动势 涡旋电场	118
三、电子感应加速器	123
习题二十七	127
§ 6.3 互感和自感	130
一、互感现象	130
二、自感现象	134
三、互感线圈的串联	137
四、自感线圈的磁能	140
五、互感线圈的磁能	142
习题二十八	144
§ 6.4 暂态过程	145
一、RL电路的暂态过程	146
二、RC电路的暂态过程	149
三、RLC电路的暂态过程	152
习题二十九	156
§ 6.5 灵敏电流计与冲击电流计	157
一、灵敏电流计	157
* 二、冲击电流计	162

习题三十	164
§ 6.6 解题示例	164
课堂讨论题六	171
复习题六	176
附录	181
第七章 磁介质	183
§ 7.1 磁介质存在时稳恒磁场的基本规律	183
一、磁介质的磁化 磁化强度矢量	183
二、磁化电流	185
三、磁场强度 H 磁介质中的安培环路定理和 高斯定理	187
四、磁化率和磁导率	189
五、静电场与稳恒磁场的对比	191
习题三十一	192
§ 7.2 磁介质的磁化规律	193
一、顺磁质和抗磁质	194
二、铁磁质	197
习题三十二	204
§ 7.3 磁路定理	206
一、磁路	206
二、磁路定理	207
三、磁屏蔽	211
习题三十三	212
§ 7.4 磁场的能量	213
习题三十四	216
* § 7.5 磁荷理论	216
一、磁的库仑定律	216
二、磁场强度 磁偶极子	217
三、磁极化强度矢量 J	218

四、磁荷理论的高斯定理和磁感应强度 B	219
五、磁荷理论与分子电流理论的等效性	219
* § 7.6 B 与 H 的边界条件	221
§ 7.7 解题示例	223
课堂讨论题七	230
复习题七	232
第八章 交流电路	235
§ 8.1 交变电流的概念	235
一、交变电流和简谐交流电	235
二、描述简谐交流电的特征量	237
三、交流电的有效值与平均值	240
习题三十五	242
§ 8.2 简单交流电路	243
一、概述	243
二、纯电阻元件	244
三、纯电容元件	245
四、纯电感元件	246
习题三十六	248
§ 8.3 交流电的复数表示法与矢量表示法	249
一、复数的基本知识	249
二、简谐量的复数表示法	252
三、简谐量的矢量表示法	254
四、三种理想元件电压、电流关系的复数形式	256
五、复阻抗	260
习题三十七	264
§ 8.4 交流电路定律的复数形式	266
一、交流电路的欧姆定律	266
二、交流电路的基尔霍夫定律	267
三、交流电桥	273

习题三十八.....	276
§ 8.5 交流电路的功率	277
一、瞬时功率与平均功率 功率因数.....	277
二、有功电流与无功电流.....	281
三、视在功率与无功功率.....	282
四、有功电阻与无功电抗.....	283
习题三十九.....	285
§ 8.6 谐振现象	286
一、串联谐振.....	286
二、 Q 值的物理意义.....	291
三、并联谐振.....	295
习题四十.....	297
§ 8.7 变压器原理	298
一、理想变压器.....	298
二、理想变压器的阻抗变换.....	303
三、变压器的应用.....	304
习题四十一.....	305
§ 8.8 解题示例	306
课堂讨论题八.....	314
复习题八.....	318
第九章 电磁场与电磁波.....	325
§ 9.1 麦克斯韦电磁理论	325
一、麦克斯韦电磁理论的产生.....	325
二、位移电流.....	326
三、麦克斯韦方程组.....	332
习题四十二.....	334
§ 9.2 电磁波	334
一、电磁波的波动方程.....	334
二、平面电磁波.....	337

三、无阻尼自由电磁振荡·····	341
四、振荡偶极子辐射的电磁波·····	343
五、电磁波谱·····	349
习题四十三·····	353
§ 9.3 电磁场的能量、能流和动量·····	351
一、电磁场的能量和能流密度矢量·····	354
* 二、电磁波的动量、质量和光压·····	357
习题四十四·····	359
§ 9.4 解题示例·····	360
复习题九·····	364
第十章 电磁学的单位制·····	367
§ 10.1 物理量的单位制 量纲·····	367
一、物理量的单位制·····	367
二、量纲式·····	368
§ 10.2 国际单位制·····	369
§ 10.3 高斯单位制·····	375
§ 10.4 单位制的换算·····	379
附录 常用物理基本常数表·····	385
习题答案·····	385
主要参考书目·····	403

第五章 稳恒磁场

磁现象的发现要比电现象早得多。早在公元前人们就发现磁石能吸引铁。公元前300余年，我国古书上曾记载磁石吸铁有如慈母之恋子，这就是磁铁命名的由来。东汉时期王充所描述的“司南勺”被公认为是最早的磁性指南工具。北宋时期著名科学家沈括在他的名著《梦溪笔谈》中，记载了指南针的制造、安装和使用方法。直到十九世纪，在发现了电流的磁场和磁场对电流的作用以后，人们才逐步认识到磁现象和电现象的本质以及它们之间的联系，并扩大了磁现象的应用范围。到了二十世纪初，由于科学技术的进步和原子结构理论的建立，人们对磁现象起源的认识有了进一步的提高，认识到磁场也是物质的一种形式，运动电荷之间，除静电力之外，还有磁力相互作用。

本章首先介绍一些基本的磁现象，然后讨论磁场的基本性质和规律，以及磁场对载流导体和运动电荷的作用。

§ 5.1 基本磁现象

一、磁现象

人们最早发现的天然磁铁矿的化学成份是四氧化三铁(Fe_3O_4)。它具有吸引铁、钴、镍等物质的性质，这种性质叫做磁性。能够长期保持磁性的物质叫做磁体。磁铁矿石叫天然磁体；但通常用的磁体都是用铁、钴、镍及其合金制成的，叫人造磁铁。人造磁铁可做成条形、蹄形和针形。

磁体有如下性质：

把一个条形磁铁放入碎铁屑中，可以看到条形磁铁的两端吸

引铁屑特别多，中部几乎没有铁屑(图5.1)。这表明条形磁铁两

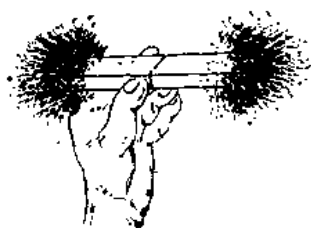


图5.1 磁极

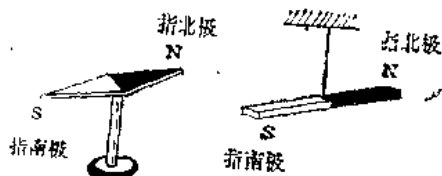


图5.2 磁体的NS极

端的磁性最强，而中部几乎无磁性。两端磁性最强的区域称为磁极，而中间几乎没有磁性的区域称为中性区。

把一根条形磁铁悬挂或支撑起来，使它能在水平面内自由转动。可以看到，当磁铁静止以后，它的一个磁极总是指北方，另一个磁极总是指南方。指北方的磁极称为北极，用N表示；指南方的磁极称为南极，用S表示(如图5.2)。

将一根条形磁铁用一根细线悬起来，使它能够自由转动。若用另一根条形磁铁的磁极去接近它(图5.3)，可以发现两个磁铁之间有相互作用力，这种力称为磁力，并且同性磁极之间有排斥力，异性磁极之间有吸引力。由磁针在地球上能自动指向南北的事实可以推断，地球本身就是一个巨大的永磁体，它的N极在地理南极的附近，S极在地理北极的附近。这也是指南针能指南北

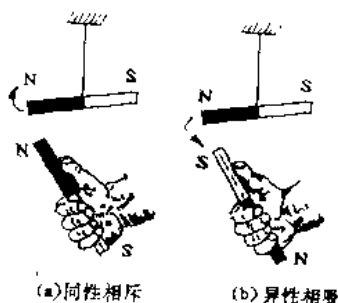


图5.3 磁极的相互作用

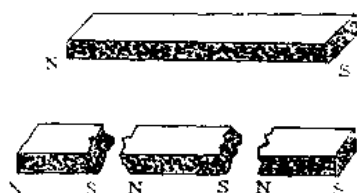


图5.4 磁铁分成几段

的原因。

任何磁体都有南北两个磁极，若把它一分为二，二分为四，不断地分割下去，所得的每一个小磁体总是有南北两个磁极(图5.4)。所以N极和S极始终是互相依存，不能单独存在。这就是磁极和电荷的根本区别。

二、电流的磁现象

在1820年4月的一次物理讲座上，丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted)发现了通电导线附近小磁针的转动。经过接连三个月的深入研究，在1820年7月21日宣布了他的实验结果，这便是著名的奥斯特实验。



奥斯特(1777—1851)

奥斯特实验的原理如图5.5所示。

导线AB沿南北方向放置，下面放置一个可在水平面内自由转动的小磁针。当导线AB中无电流通过时，在地磁场的作用下，磁针也南北取向，与AB的方向一致。当电流I从导线的A端流向B

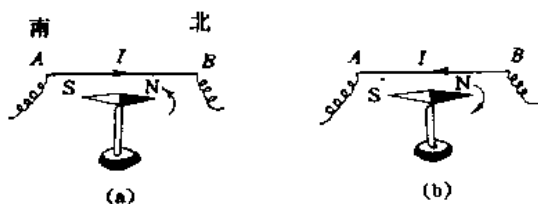


图5.5 奥斯特实验

端时，磁针的指向就会发生偏转，若从上往下看时，磁针沿着逆时针方向旋转。若改变电流I的方向，磁针将沿相反的方向旋转。奥斯特实验的重大意义在于它第一次指出了电流也有磁现象，从而揭示了电现象和磁现象之间的相互联系，架起了一座连通电和磁之间的桥梁，为电磁学领域的研究工作开辟了新的

途径。

三、磁铁对电流的作用

奥斯特的实验说明电流可以对磁铁产生力的作用。反之，磁铁是否也会对电流产生力的作用呢？在奥斯特实验的第二年，安培的实验就回答了这个问题。他发现放在磁铁附近的载流导体或线圈，也要受到力的作用而运动。

如图5.6所示，把一条导线 AB 放在蹄形磁铁的中间，两端用细导线将其悬挂，并与支架绝缘。当电流由 A 流向 B 时，导线就会向外运动。若改变电流的方向，使之由 B 流向 A ，则导线 AB 就向蹄形磁铁的内部运动。

一个通电线圈放在蹄形磁铁的两磁极中间，线圈将受到一个

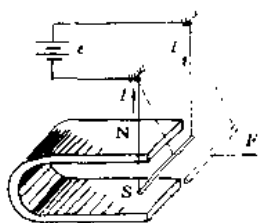


图5.6 磁铁对电流的作用

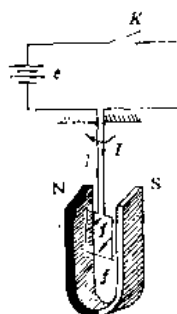


图5.7 磁场对通电线圈的作用

转动力的作用，如图5.7所示。若改变电流的方向(或者交换两磁极的位置)，线圈的转动方向也要发生改变。

由以上实验推知，运动电荷通过磁极中间时，也会受到力的作用。一电子射线管如图5.8所示，当阴极和阳极分别接到高压电源的负极与正极上时，电子流通过狭缝形成一束电子射线。若在电子射线管外面放一块磁铁，可以看到电子射线的路径要发生弯曲。

四、载流导线间的相互作用

不仅磁铁与载流导线之间有相互作用，两条载流导线之间也有相互作用(图5.9)。1822年安培发现，两根平行载流导线之间有

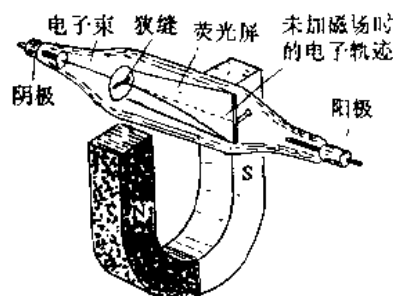


图5.8 电子射线的弯曲

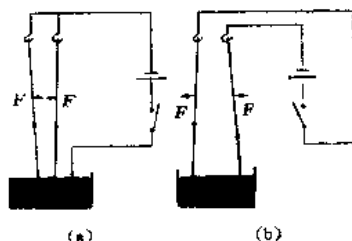


图5.9 平行电流间的相互作用
(a) 同向电流；(b) 反向电流

力的作用。当两根平行直导线电流方向相同时，相互吸引；电流方向相反时，互相排斥。

总结以上实验事实，磁铁与磁铁之间，磁铁与电流之间，以及电流与电流之间的力，都是属于同一性质的力，这就是磁力。

五、物质磁性的本质

1600年英国物理学家吉尔伯特发表了关于天然磁体的实验报告，这是对磁性所作的比较早的理论研究。后来，库仑、奥斯特和安培等人都作了不少研究工作，对人类认识磁性的本质起了很大作用。1822年法国科学家安培提出了关于磁现象本质的假说。安培认为一切磁现象的根源是电流。任何物质的分子中都存在着

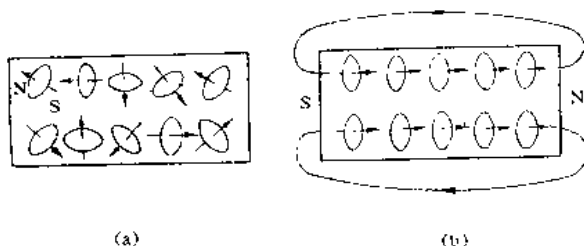


图5.10 分子电流假说

(a) 分子电流取向混乱；(b) 分子电流有规律地取向

环形电流，叫做分子电流。每一个分子电流相当于一个小磁体。若分子电流杂乱无章地排列，在外界引起的磁效应相互抵消，整个物质就不显磁性(图5.10a)；若这些分子电流定向地排列起来，整个物质就显示出磁性来(图5.10b)。这就是安培分子电流假说。

在一个多世纪以前，安培提出这个物质磁性本质的假说时，人们并不了解分子电流是怎样形成的。随着科学技术的发展，人们对物质结构的认识逐步深入，认识到了原子是由带正电的原子核和绕核旋转的电子所组成。从现在的观点看，分子电流是由于电子在原子中的运动引起的。电子在原子中的运动有两种形式：一是电子围绕原子核转动，使原子在结构上具有磁性(图5.11)；二是电子绕自身轴的自旋运动(图5.12)。每个自旋的电子也好像一个很小的永磁体。自旋有两个取向，分别用“+”自旋和“-”自旋来表示。两个反向自旋的电子趋向于成对的结合，因而使它们的磁性相互抵消(图5.12a)，对外显示的磁性主要取决于不成对的单个电子(图5.12b)。原子、分子等微观粒子内电子的轨道



图5.11 电子绕原子核的旋转所产生的磁性

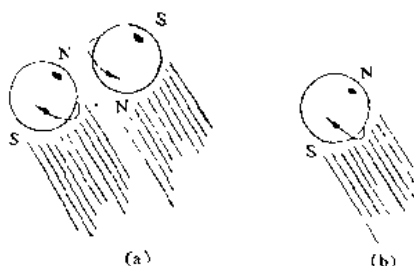


图5.12 电子自旋产生的磁性
(a) 成对的电子；(b) 不成对的电子

运动与自旋形成的所谓分子电流，就是物质磁性的基本来源。这就说明安培的假说与现代的观点是完全吻合的。

通过以上的讨论，我们可以看出，一切磁现象都起源于运动电荷或电流。无论静止电荷还是运动电荷，它们之间总是存在着