

# 电磁学教程

◀ 下册 ▶

梁百先 汤建国 张才国 编

0441/232

031688

64683-92



科工委书号802 2 0037143 2

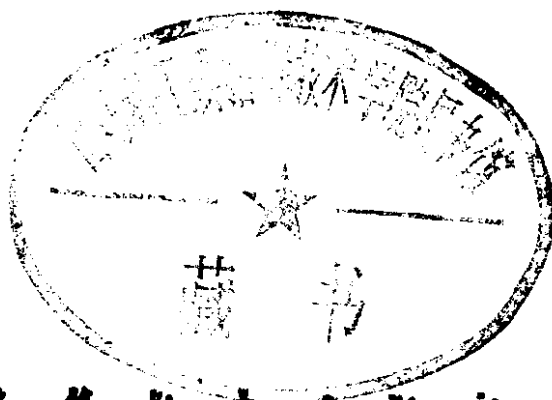
高等学校教材

# 电磁学教程

下册

(第二版)

梁百先 汤建国 张才国



高等教育出版社

本书是原作者前编《普通物理学(电学部分)》一书的第二版,本版由原作者梁百先教授在汤建国、张才国两位同志协助下,参照1980年电磁学教学大纲加以修订,并将书名改为《电磁学教程》,仍分上、下两册出版。本版改用国际单位制,对原有的习题作了增删,并增设思考题,以便教学。本版还对与后续课程有重复的内容作了删节,并补充了一些电磁学在现代物理应用中新的事例。

本书下册内容包括:真空中电流的磁场、带电粒子在电场和磁场中的运动、磁介质、电磁感应、交流电路、麦克斯韦方程组与电磁波。本册末设有附录和上、下两册全部习题的答案。

本书可作为高等学校物理专业电磁学课程教材,也可供其他专业有关教师、学生参考。

高等学校教材

电磁学教程

下 册

(第二版)

梁百先 汤建国 张才国

\*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京市顺义县印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 10.375 字数 242,000

1965年6月第1版 1984年3月第2版 1985年5月第2次印刷

印数 13 201—15,220

书号 13010·0996 定价 2.35 元

# 目 录

## 第七章 真空中电流的磁场

|       |                     |    |
|-------|---------------------|----|
| § 7.1 | 电流的磁场 磁感应强度矢量       | 1  |
| § 7.2 | 毕奥-萨伐尔定律及其应用        | 11 |
| § 7.3 | 磁感应线和磁感应通量 磁场的高斯定理  | 17 |
| § 7.4 | 磁感应强度的环流 安培环路定律及其应用 | 22 |
| § 7.5 | 磁场对电流的作用力           | 29 |
| § 7.6 | 运动电荷的磁场             | 36 |
| § 7.7 | 稳恒电流的磁场与静电场的比较      | 38 |

## 第八章 带电粒子在电场和磁场中的运动

|       |                    |    |
|-------|--------------------|----|
| § 8.1 | 带电粒子在电场和磁场中所受的力    | 44 |
| § 8.2 | 带电粒子在均匀电场及均匀磁场中的运动 | 47 |
| § 8.3 | 回旋加速器              | 51 |
| § 8.4 | 电子荷质比的测定           | 54 |
| § 8.5 | 离子荷质比的测定 质谱仪       | 57 |
| § 8.6 | 霍耳效应               | 61 |
| § 8.7 | 带电粒子在非均匀磁场中的运动     | 64 |

## 第九章 磁介质

|       |                          |    |
|-------|--------------------------|----|
| § 9.1 | 磁介质及其磁化 磁介质的分类           | 70 |
| § 9.2 | 原子、电子的磁矩 爱因斯坦和德-哈斯实验     | 71 |
| § 9.3 | 磁化强度                     | 74 |
| § 9.4 | 磁介质中的安培环路定律 磁场强度 磁化率及磁导率 | 76 |
| § 9.5 | $B$ 与 $H$ 的边界条件          | 79 |
| § 9.6 | 介质中的磁场与静电场的对比            | 81 |
| § 9.7 | 抗磁质的磁化机理                 | 82 |

|        |             |     |
|--------|-------------|-----|
| § 9.8  | 顺磁质         | 83  |
| § 9.9  | 铁磁质的基本特征    | 85  |
| § 9.10 | 铁磁质的分类      | 90  |
| § 9.11 | 铁磁性的解释 磁畴学说 | 93  |
| § 9.12 | 铁氧体         | 97  |
| § 9.13 | 磁荷观点        | 98  |
| § 9.14 | 磁路定律 电磁铁    | 104 |
| § 9.15 | 地球的磁场       | 108 |

## 第十章 电磁感应

|         |                         |     |
|---------|-------------------------|-----|
| § 10.1  | 电磁感应现象 楞次定律             | 117 |
| § 10.2  | 电磁感应定律                  | 123 |
| § 10.3  | 感生电场                    | 128 |
| § 10.4  | 感应电动势的实例 电子感应加速器        | 131 |
| § 10.5  | 自感现象与自感系数               | 137 |
| § 10.6  | 似稳电流 $RL$ 电路接通和断开时的暂态过程 | 141 |
| § 10.7  | 互感现象和互感系数               | 145 |
| § 10.8  | 自感与互感现象的实际应用            | 147 |
| § 10.9  | 涡电流 趋肤效应                | 150 |
| § 10.10 | 电流系的磁相互作用能              | 154 |
| § 10.11 | 磁场能量的定域和分布              | 158 |
| § 10.12 | 磁滞损失                    | 160 |
| § 10.13 | 冲击电流计测电量及磁感应通量          | 162 |

## 第十一章 交流电路

|        |                   |     |
|--------|-------------------|-----|
| § 11.1 | 交变电流的基本概念         | 176 |
| § 11.2 | 交流电的平均值与有效值       | 181 |
| § 11.3 | 正弦函数的矢量图示法        | 185 |
| § 11.4 | 复数表示法             | 187 |
| § 11.5 | 分别具有电阻、电感或电容的交流电路 | 190 |
| § 11.6 | 串联电路 串联谐振         | 197 |

|         |                  |     |
|---------|------------------|-----|
| § 11.7  | 交流电路的基尔霍夫定律 并联电路 | 205 |
| § 11.8  | 交流电桥             | 211 |
| § 11.9  | 交流电路中的功率 功率因数    | 214 |
| § 11.10 | 变压器的基本原理 理想变压器   | 220 |
| § 11.11 | 实际变压器            | 223 |
| § 11.12 | 三相交流电            | 225 |
| § 11.13 | 旋转磁场             | 233 |
| § 11.14 | 感应电动机的构造和运行原理    | 236 |

## 第十二章 麦克斯韦方程组与电磁波

|         |                   |     |
|---------|-------------------|-----|
| § 12.1  | 位移电流              | 250 |
| § 12.2  | 迅变电磁场             | 255 |
| § 12.3  | 麦克斯韦方程组           | 256 |
| § 12.4  | 电磁波               | 260 |
| § 12.5  | 电磁振荡 无阻尼自由振荡      | 265 |
| § 12.6  | 阻尼自由振荡            | 268 |
| § 12.7  | 受迫振荡              | 272 |
| § 12.8  | 开放振子 赫兹实验         | 274 |
| § 12.9  | 能流密度 坡印廷矢量        | 278 |
| § 12.10 | 偶极振子的电磁辐射         | 281 |
| § 12.11 | 电磁辐射的压力 电磁场的动量和质量 | 284 |
| 附录 A    | 矢量分析              | 290 |
| 附录 B    | 电磁学的单位制           | 298 |
|         | 习题答案              | 310 |
|         | 索引                | 319 |

## 第七章 真空中电流的磁场

### §7.1 电流的磁场 磁感应强度矢量

#### 1. 电流的磁场

电流与电流或电流与磁铁之间的相互作用是电磁理论的实验支柱,也是电工技术的基础,这种相互作用是由电流的磁效应引起的。现在我们首先来研究真空中恒定电流的磁效应。

远在电流磁效应被发现以前,人们早就发现了磁现象(详见第九章末的介绍)。例如:磁针可以吸引铁屑;一根条形磁铁或者磁针总是有两个吸引铁屑力量最强的部分,称为磁极;磁铁或磁针可以在水平面内自由旋转时,这两个磁极总是一个指南,一个指北。我们把指南的叫“南极”,用 $S$ 表示;把指北的叫北极,用 $N$ 表示。两根磁针的磁极之间也有相互作用:异号磁极相吸引,同号磁极相排斥。据早期对磁现象的解释,认为磁极就是磁荷集中的地方,犹如电荷产生电场一样,磁荷也能产生磁场,磁荷通过它们的磁场相互作用。由磁荷观点出发,可以得出一系列和静电场相类似的磁场规律。

自从磁现象发现以来,人们十分关心的一个问题就是:电现象和磁现象究竟有没有关系?早在十七世纪初,英国皇家医生兼物理学家吉尔伯特曾仔细地对比、研究了电现象和磁现象的性质,他断言电和磁是两种截然不同的现象。后来法国物理学家库仑曾从理论上证明电现象和磁现象不可能有什么关系。但是有些自然现象,如雷闪等现象,不断地向人们暗示,电、磁现象之间存在着一定的内在联系。1731年有人注意到雷闪能使木箱子中的钢针、钢叉磁化

的现象；1751 年美国物理学家富兰克林用莱顿瓶放电的办法使焊条磁化。1774 年德国巴伐利亚电学研究院专门出了一个智力竞赛题目：“电力和磁力是否存在着实际的和物理的相似性？”当时有不少学者应征，最令人注目的是德国学者哈采特(J. N. Hachette)和笛索姆斯(C. B. Desormes)于 1805 年作的实验，他们用一根绳将一绝缘的伏打电堆悬挂起来，企图观察在地球磁场作用下电堆是如何取向的，结果电堆随意取向，表明两者在此情况下无相互作用。从 1812 年起丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted)在理论上、实验上坚持了近廿年的探索、研究，终于发现了电流的磁效应，并于 1820 年 7 月 21 日以题为《关于磁针上电流碰撞的实验》的论文，宣布了这一重大发现。奥斯特的这一重大发现以无可争辩的事实推翻了以前认为电现象和磁现象彼此无关的旧观点，从而使人们开始认识到磁现象的本质。下面简述电流产生磁效应的几个演示实验。图 7.1-1 所示的实验就是奥斯特最初的实验，在一段

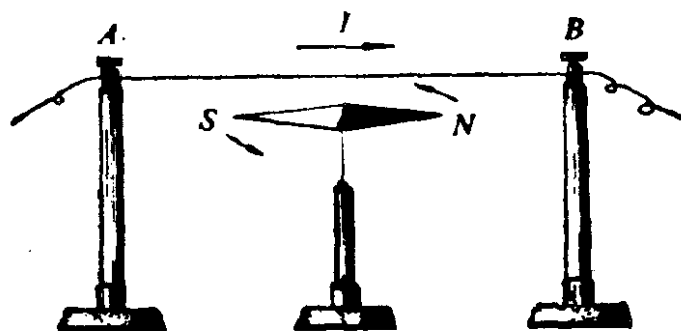


图 7.1-1 载流导线对磁针的作用

南北指向的导线  $AB$  下方，安置一个可以在水平面内自由转动的磁针，并设磁针与轴心无摩擦力。当导线中无电流时，磁针的指向与导线平行。当导线中通过较大的电流时，磁针立刻发生偏转，直到它与导线接近垂直。如果电流的方向从  $A$  到  $B$ ，我们从导线上方向下看时，便可看到磁针沿逆时针方向转动；如果电流方向反过来，则磁针沿顺时针方向转动。

不仅载流导线对磁针有作用,而且磁铁对载流导线也有作用。如图 7.1-2 所示,在一个磁性较强的蹄形磁铁两极间,用两根软导线悬挂一根粗导线,当电流接通时,粗导线就会移动,移动的方向,与电流的方向有关。

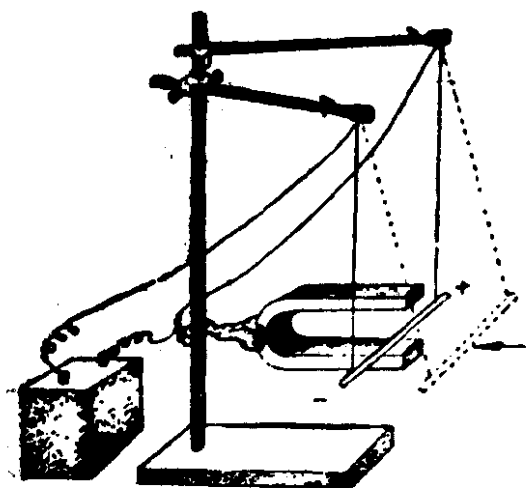


图 7.1-2 磁铁对载流导线的作用

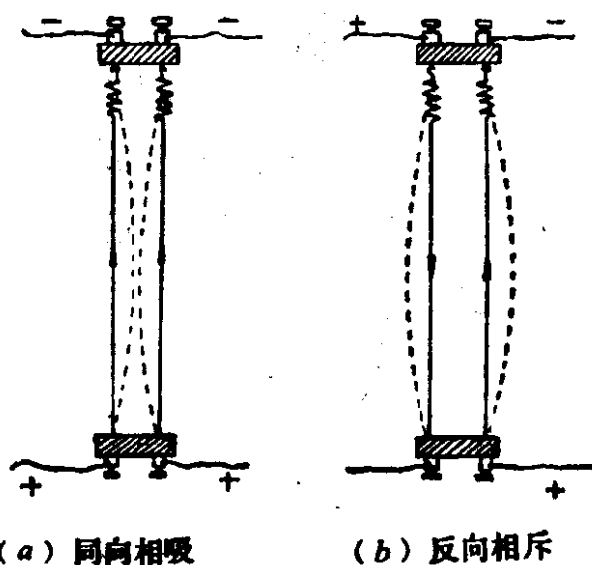


图 7.1-3 载流导线之间的相互作用

另外一个更重要的实验能够表明两根载流导线之间有相互作用力。两根平行导线保持在适当的距离(图 7.1-3),当流经两导线的电流方向相同时,我们发现它们互相吸引;而当流经两导线的电流方向相反时,则发现它们互相排斥。

从上述三个实验可见,电流与磁针或磁铁之间、电流与电流之间存在着相互作用,和十九世纪以前观察到的磁铁与磁铁之间的相互作用非常相似。因此,如果假定电流周围的空间存在着磁场,那么这些现象就能得到统一的解释。1822 年法国科学家安培(A. M. Ampère)提出了分子电流假说,他认为磁铁之所以有磁场,是由于磁铁本身包含了无数的有规则排列的微观环形电流——分子电流(将在第九章详细讨论),因此磁铁磁性的本质也应当是电流的磁效应。

## 2. 磁感应强度矢量

在静电场中我们曾用单位电荷所受的力来描述电场的基本性

质, 这个力我们定义为电场强度  $E$ 。在磁场中我们应该引进一个什么物理量来描述磁场的基本性质呢? 在电流的磁效应发现以前, 人们用磁的库仑定律定义磁荷, 用单位磁荷在磁场中受到的力作为描述磁场基本性质的物理量, 这个量叫做磁场强度, 通常以  $H$  表之, 这就是磁荷观点(第九章还要讨论); 在电流的磁效应发现以后, 人们认识到产生一切磁现象的根源是运动电荷或者电流, 因此采用运动电荷或电流在磁场中所受的力作为描述磁场的基本量, 这就是电流观点。用这个观点定义的磁场基本量叫做磁感应强度矢量, 通常以  $B$  表示, 而  $H$  只不过是一个辅助量(详见第九章)。

奥斯特关于电流的磁效应的发现极大地震动了当时的法国物理学家, 安培反应尤为敏锐, 他立即安排了一系列实验, 并作出了许多重要成果, 其中最著名的是建立了有关稳恒电流元之间的相互作用的基本定律。实际上, 我们研究的是两个载流回路之间的相互作用, 为便于分析设想把载流回路分成许多无穷小的线元, 并把它们叫做电流元。因此在稳恒条件下不存在孤立的电流元, 安培公式不可能直接从实验得到, 而是在四个设计得很巧妙的示零实验和一个假设的基础上通过理论分析得到的。

第一个示零实验。安培先制作了一个称作无定向秤的装置作为探测仪器。无定向秤是由硬质导线弯成的两个共面的矩形线框组成的, 这两个线框是互相连通的, 如图 7.1-4(a) 所示。线框的两个端点  $A$ 、 $B$  通过水银槽和固定支架相连, 可以接通电源, 但两个线框中电流方向相反, 且可以以水银槽为支点自由转动。无定向秤在均匀磁场(如地磁场)中所受到的合力和合力矩为零, 处于随遇平衡; 在非均匀磁场中受到的合力和合力矩将不为零, 因而会发生运动。安培用它对一对折通电导线进行探测, 结果表明无定向秤没有任何反应, 如图 7.1-4(b) 所示。这说明两个大小相等、方向相反的电流所产生的作用力也是大小相等、方向相反。

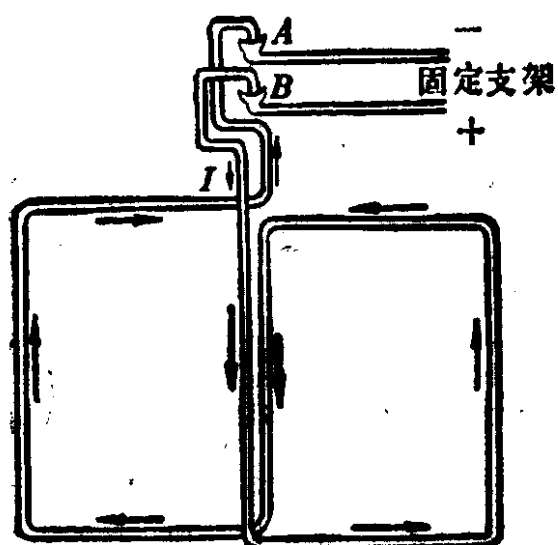


图 7.1-4 (a) 无定向秤

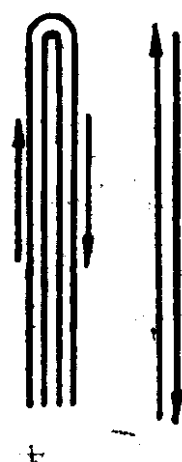


图 7.1-4 (b) 对折通电导线的作用

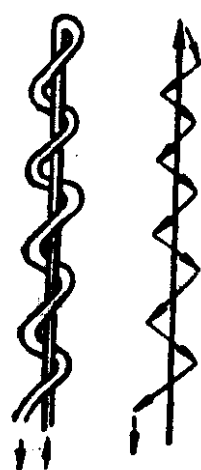


图 7.1-4 (c) 螺旋状导线的作用

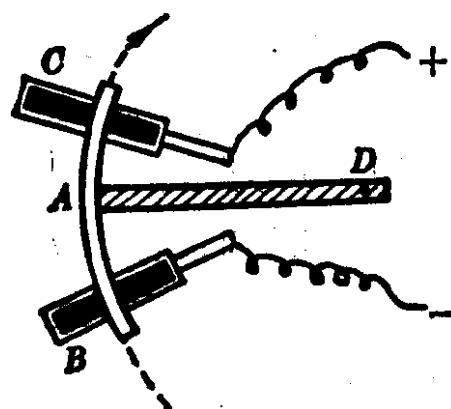


图 7.1-4 (d) 电流作用力的横向性

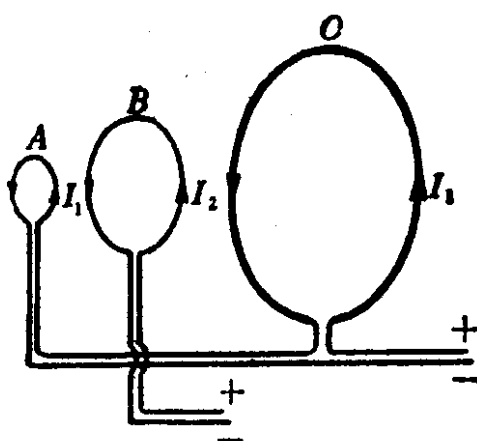


图 7.1-4 (e) 电流作用力的比例性

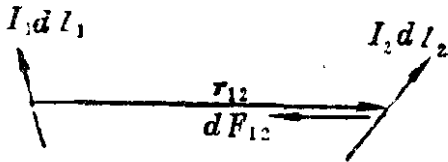
第二个示零实验。将一导线对折，然后将其中一段绕在另一段上，成螺旋状，如图 7.1-4(c) 所示。通电流后，用无定向秤对它进行探测，结果为零。这表明螺旋状导线的作用与直导线的作用相同，如果将螺旋状导线的每一小段看作一电流元，则可以看出电流元的合作用是单个电流元产生的作用的矢量迭加。

第三个示零实验。安培设计了一个检测装置，用一刚性绝缘棒固定在  $D$  轴上，棒的另一端固连一圆弧形导体  $A$ ，让导体放在两个水银槽  $B, C$  上，水银槽引出导线与电源的两极接通，如图 7.1-4(d) 所示。这样，通电后，用各种载流线圈对这个检测装置产生作用力。显然，这个装置中的弧形导体  $A$  只能沿着以  $D$  为圆心的圆弧运动，不能横向位移。实验结果发现，弧形导体  $A$  不运动。这表明电流元所受的作用力的方向与电流元本身垂直，即这种作用具有横向性。

第四个示零实验。安培用导线弯成三个几何形状相似的线圈  $A, B, C$ ，它们的周长之比为  $1:a:a^2$ 。 $A, C$  互相串联，通入电流  $I_1$ ； $B$  置于  $A, C$  之间，通入电流  $I_2$ 。如图 7.1-4(e) 所示。这个装置用来检验线圈  $A, C$  对线圈  $B$  的作用力的大小。实验发现，当  $A, B$  间距与  $B, C$  间距之比为  $1:a$  时，线圈  $B$  上所受的作用力为零，即  $A$  对  $B$  的作用力大小与  $C$  对  $B$  的作用力的大小相等、方向相反。这表明电流元长度增加，作用力增大；相互距离增加，作用力减小，而电流元长度及相互间距增加同一倍数时，作用力不变。

除上述四个示零实验，安培还提出下述假设：两个电流元之间的相互作用力的方向沿着它们的连线。依据这四个实验和一个假设，安培运用数学方法推出了电流元之间的相互作用力公式。若两个电流元分别为  $I_1 dl_1, I_2 dl_2$ ，且令电流元 1 到电流元 2 的矢径为  $r_{12}$ ， $dF_{12}$  为电流元 1 对电流元 2 的作用力，如图 7.1-5

所示,那么安培最初给出的电流元相互作用的原始公式①为

$$d\mathbf{F}_{12} = -kI_1I_2\mathbf{r}_{12}\left[\frac{2}{r_{12}^3}(d\mathbf{l}_1\cdot d\mathbf{l}_2) - \frac{3}{r_{12}^5}(d\mathbf{l}_1\cdot\mathbf{r}_{12})(d\mathbf{l}_2\cdot\mathbf{r}_{12})\right],$$


(7.1-1)      图 7.1-5 两电流元的作用力

目前普遍采用的矢量表示式为

$$d\mathbf{F}_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 I_2 d\mathbf{l}_2 \times (d\mathbf{l}_1 \times \mathbf{r}_{12})}{r_{12}^3}. \quad (7.1-2)$$

由此我们看到,电流元之间的相互作用的数学形式有点类似于点电荷之间相互作用力的库仑定律。在静电场中,我们引入电场的概念,认为点电荷在周围空间激发出电场,电场对另一个点电荷产生作用力。因此可以把库仑定律

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^3} \mathbf{r},$$

分成两个部分,即电场强度定义式

$$\mathbf{F} = q_2 \mathbf{E},$$

及点电荷的场强公式

$$\mathbf{E} = k \frac{q_1}{r^3} \mathbf{r}.$$

同样,从电流观点,我们可以认为电流元在周围空间激发出磁场,磁场对另一个电流元产生作用力。类似地,我们先将式(7.1-2)沿电流元1所在的回路 $L_1$ 对 $d\mathbf{l}_1$ 积分,得整个载流回路 $L_1$ 对电流元 $I_2 d\mathbf{l}_2$ 的作用力 $\mathbf{F}_{12}$ ,则有

$$d\mathbf{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{(L_1)} \frac{I_1 I_2 d\mathbf{l}_2 \times (d\mathbf{l}_1 \times \mathbf{r}_{12})}{r_{12}^3}$$

① 安培原始的电流元相互作用公式理论分析可参阅 Maxwell, «A treatise on Electricity and Magnetism», vol. II; 赵凯华, “安培定律是如何建立起来的?”, «物理教学», 1980 年第一期。

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} I_2 d\mathbf{l}_2 \times \oint_{(L_1)} \frac{I_1 d\mathbf{l}_1 \times \mathbf{r}_{12}}{r_{12}^3}, \quad (7.1-3)$$

为便于与静电场类比, 我们将式 (7.1-3) 中的  $I_2 d\mathbf{l}_2$  改写为  $I d\mathbf{l}$ , 然后也分成两部分,

$$d\mathbf{F} = I d\mathbf{l} \times \mathbf{B}, \quad (7.1-4)$$

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{(L_1)} \frac{I_1 d\mathbf{l}_1 \times \mathbf{r}_{12}}{r_{12}^3}. \quad (7.1-5)$$

我们将式 (7.1-4) 称作安培公式, 它是由实验结果通过理论方法间接分析出来的, 实际上就是  $\mathbf{B}$  的定义式。为方便起见, 我们设电流元  $I d\mathbf{l}$  和  $\mathbf{B}$  同处于  $abcd$  平面内, 如图 7.1-6 所示, 它们之间的夹角为  $\theta$ , 根据矢量积的右手定则规定,  $d\mathbf{F}$  的方向与该平面垂直, 大小为  $B I d\mathbf{l} \sin \theta$ 。所以式 (7.1-4) 可以写成

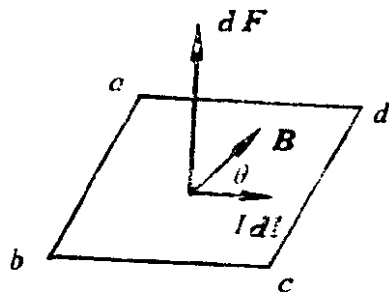


图 7.1-6 安培公式的说明。

$$d\mathbf{F} = B I d\mathbf{l} \sin \theta, \quad (7.1-6)$$

由此式可知, 当  $\theta = \frac{\pi}{2}$  时,  $d\mathbf{F}$  的值为最大, 所以

$$d\mathbf{F}_{\text{最大}} = B I d\mathbf{l},$$

即

$$B = \frac{d\mathbf{F}_{\text{最大}}}{I d\mathbf{l}}. \quad (7.1-7)$$

我们用式 (7.1-7) 来定义  $\mathbf{B}$ , 亦即磁场中某点的磁感应强度  $\mathbf{B}$  的大小等于每单位电流元所受到的最大磁力, 其方向即矢量积  $d\mathbf{F}_{\text{最大}} \times I d\mathbf{l}$  的方向。

如上所述, 实际上利用电流元  $I d\mathbf{l}$  来确定  $\mathbf{B}$  是无法办到的, 只有在均匀磁场中测量一段载流导线上所受的力才可能确定  $\mathbf{B}$ 。

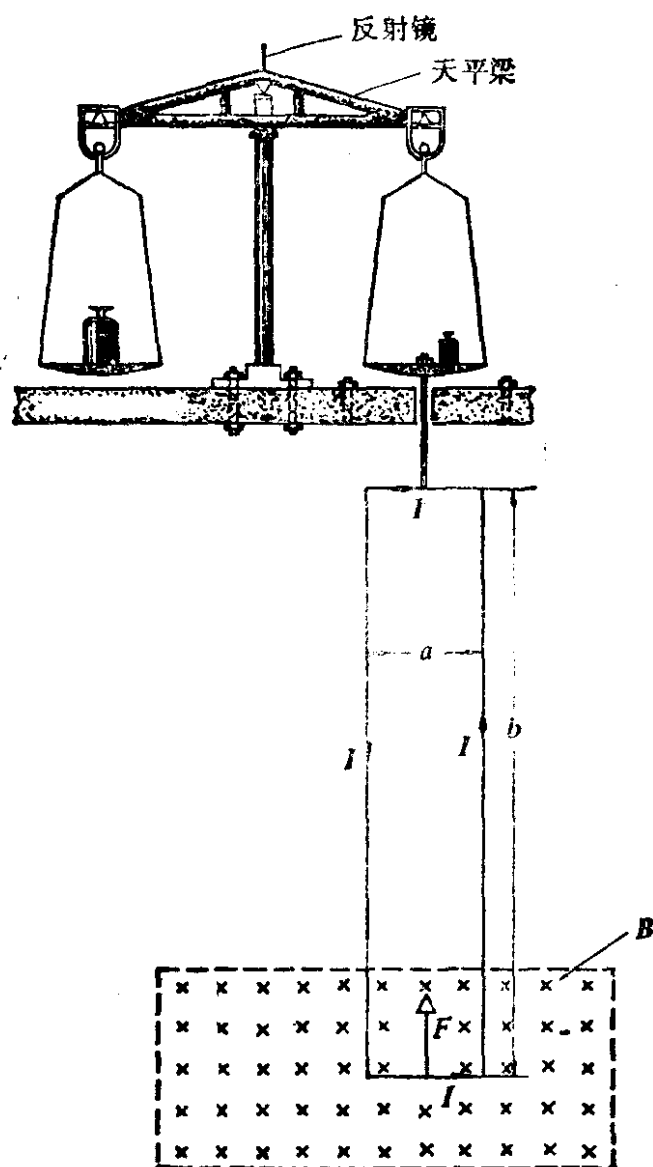


图 7.1-7 测量  $B$  的装置

一种测量磁感应强度  $B$  的装置如图 7.1-7 所示。

矩形线圈有 9 匝, 宽  $a$  与长  $b$  分别为 10 厘米与 70 厘米, 线圈的下端放在待测的均匀磁场中, 磁场方向垂直于纸面向内, 线圈的上端悬挂在天平的右臂上。设通以方向如图所示的电流 0.10 安培, 则因线圈的下端处处和磁场垂直, 各段所受磁力  $dF$  的方向都是向上的, 因此其合力的大小为

$$|F| = \left| \int dF \right| = \left| \int I d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \right| = IB \int dl$$

$$= I a B_0 \quad (7.1-8)$$

且因导线有 9 匝，线圈下端的两个竖直边上所受的磁力大小相等方向相反，其作用互相抵消，因而全部磁力就是线圈下端所受的全部磁力  $F$ ，即  $9IaB_0$ 。

现在在右盘放适量砝码，使天平平衡，然后使电流方向反向，这时作用在线圈上的磁力也反向，要在天平的左盘增加质量为 8.78 克的砝码才能保持平衡，此时所增加的砝码重量应等于磁力  $F$  的两倍，即

$$mg = 2F = 2(9IaB) = 18IaB_0.$$

所以

$$B = \frac{mg}{18aI} = \frac{8.78 \times 10^{-3} \text{ 千克} \times 9.80 \text{ 米/秒}^2}{18 \times 0.10 \text{ 米} \times 0.10 \text{ 安培}}$$

$$= 0.48 \text{ 牛顿/安培} \cdot \text{米}.$$

在 MKSA 单位制中， $B$  的单位有个专用名称，叫做特斯拉(tesla)；符号是 T，实际上就是牛顿/安培·米，即

$$1 \text{ 特斯拉} = 1 \text{ 牛顿/安培} \cdot \text{米}.$$

因此特斯拉的定义是，当长为 1 米的导线通有 1 安培的电流在垂直的均匀磁场中受力为 1 牛顿时，则该磁场的磁感应强度为 1 特斯拉。但在实用中，习惯上还用高斯(gauss)作为  $B$  的单位，符号是 G，它们的换算关系是

$$1 \text{ 特斯拉} = 10^4 \text{ 高斯}.$$

为了建立高斯大小的概念，我们可以举出几个实际例子。如：地磁场在地球表面附近的  $B$  约为 0.5 高斯；一般电表永久磁铁产生的  $B$  约为几千高斯；大型电磁铁产生的  $B$  可达 1—2 万高斯；用超导材料制成的磁体可以产生几万甚至十几万高斯的磁场。

## §7.2 毕奥-萨伐尔定律及其应用

上节我们只介绍了如何根据电流元  $Idl$  在磁场中的受力情况来定义  $B$ , 本节我们要进一步研究  $B$  是如何产生的。

在奥斯特介绍他于1820年7月发现电流能使磁针偏转的现象后不到两个月, 毕奥(J. B. Biot)和萨伐尔(F. Savart)就发表了关于载流长直导线附近作用在磁极上力的测量结果, 并且用全部电流元产生磁场的方法来分析这些结果, 也就是说, 任何载流导线在其磁场中某点所产生的磁感应强度  $B$  可看成是由这导线上所有电流元  $Idl$  在该点的作用结果。他们总结出了一条基本规律, 这条基本规律就叫做毕奥-萨伐尔定律。这定律的内容如下:

设  $dl$  为导线的一个线元, 其电流强度为  $I$ , 则在真空中距该线元为  $r$  处的元磁感应强度为

$$dB = \frac{k_m Idl \sin \theta}{r^2}, \quad (7.2-1)$$

式中  $\theta$  是电流元  $Idl$  ( $dl$  的方向即电流的方向) 与矢径  $r$  之间的夹角,  $k_m$  为一比例系数, 其值与所选用的单位有关。在 MKSA 制中, 为了定义电流的单位——安培, 特选取  $k_m$  的数值为  $10^{-7}$ 。但一般不用  $k_m$ , 而把它改写为  $\frac{\mu_0}{4\pi}$ , 并称  $\mu_0$  为真空磁导率, 因此

$$\mu_0 = 4\pi k_m = 4\pi \times 10^{-7},$$

$\mu_0$  的单位是特斯拉·米/安或牛顿/安<sup>2</sup>。这时式(7.2-1)可改写为

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2} \quad (7.2-2)$$

或

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times r}{r^3}, \quad (7.2-3)$$

式中  $r$  为从电流元指向场点的矢径。

当距离一定,  $\theta$  也一定时, 我们从图 7.2-1 可以看出,  $dB$  具有