

高等學校教材

普通物理学

电学部分

下 册

梁 百 先 编

高 等 教 育 出 版 社

普通物理学讲义

普通物理学

电学部分

· 1 ·

· 2 ·

· 3 ·

高等学校教材



普通物理学

电学部分

下册

梁百先编

高等教育出版社

本书是編者根据他在武汉大学物理系讲授普通物理学課程中电学部分所用讲义修改补充而成的,分上、下两册。下册第七章至第十二章的内容为真空中电流的磁場、带电质点在电場和磁場中的运动、磁介质、电磁感应、交流电路、麦克斯韦方程組与电磁波等,其中以第七、第十和第十一等章为重点。

本书可作为綜合大学及高等师范学校物理系各专业普通物理学課程电学部分的教材,也可供高等工业学校的相近专业参考。

普通物理学

电学部分

下册

梁 百 先 编

北京市书刊出版业营业許可証出字第119号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

統一書号K13010·1186 开本 850×1168 $1/32$ 印张 8 $4/16$

字数 212,000 印数 0,001—7,500 定价(5) 0.80

1965 年6月第1版 1965 年6月北京第1次印刷

下册目录

第三篇 恒定磁场

第七章 真空中电流的磁场	323
§ 7.1 电流的磁场 磁感应强度矢量.....	323
§ 7.2 电磁单位制 磁感应强度的单位.....	328
§ 7.3 毕奥-薩伐尔-拉普拉斯定律及其应用.....	331
§ 7.4 磁感綫和磁感通量 磁場的奥-高定理.....	338
§ 7.5 磁感应强度的环流 安培环路定律及其应用.....	342
§ 7.6 磁場对电流的作用力 安培公式.....	348
§ 7.7 均匀磁場中的载流綫圈 圈轉式仪表.....	353
§ 7.8 运动电荷的磁场.....	357
§ 7.9 恒定电流的磁場与静电場的比較.....	360
习题.....	361
第八章 带电质点在电場和磁場中的运动	365
§ 8.1 带电质点在电場和磁場中所受的力.....	365
§ 8.2 带电质点在均匀电場及均匀磁場中的运动.....	368
§ 8.3 迴旋加速器.....	372
§ 8.4 电子荷质比的測定.....	374
§ 8.5 离子荷质比的測定 质谱仪.....	377
§ 8.6 霍耳效应.....	380
习题.....	383
第九章 磁介质	385
§ 9.1 磁介质及其磁化 磁介质的分类.....	385
§ 9.2 原子、电子的磁矩 爱因斯坦和德-哈斯的实验.....	386
§ 9.3 磁化强度及磁感应强度.....	388
§ 9.4 磁介质中的宏观場 磁場强度矢量.....	391
§ 9.5 B 与 H 的边界条件.....	394
§ 9.6 有磁介质存在时电流在磁場中受到的机械力.....	395
§ 9.7 介质中磁場与静电場的对比.....	396
§ 9.8 抗磁质的磁化机理 順磁质.....	397
§ 9.9 铁磁质的特征.....	401
§ 9.10 铁磁性的解释 磁畴学說.....	408

§ 9.11 铁氧体	412
§ 9.12 永久磁铁 磁荷观点	412
§ 9.13 磁路定律 电磁铁	416
§ 9.14 地球的磁场	422
习题	426

第四篇 电磁感应及交流电

第十章 电磁感应

§ 10.1 电磁感应现象 楞次定律	428
§ 10.2 感生电动势 法拉第电磁感应定律	431
§ 10.3 感生电动势的实例 电子感应加速器	436
§ 10.4 自感现象与自感系数	440
§ 10.5 似稳电流 R 、 L 电路接通和断开时的暂态过程	444
§ 10.6 互感现象与互感系数	448
§ 10.7 自感与互感现象的实际应用	450
§ 10.8 涡流 趋肤效应	452
§ 10.9 电流系的磁相互作用能	456
§ 10.10 磁场能量的定域和分布	460
§ 10.11 磁滞损失	462
§ 10.12 冲击电流计测量电量及磁感通量	465
习题	469

第十一章 交流电路

§ 11.1 交变电流的基本概念	472
§ 11.2 交流电的平均值与有效值	477
§ 11.3 正弦函数的矢量图示法	481
§ 11.4 复数表示法	483
§ 11.5 分别具有电阻、电感或电容的交流电路	485
§ 11.6 串联电路 串联谐振	492
§ 11.7 交流电路中的功率 功率因数	500
§ 11.8 交流电路的基尔霍夫定律 并联电路	506
§ 11.9 交流电桥	511
§ 11.10 变压器的基本原理 理想变压器	514
§ 11.11 实际变压器	517
§ 11.12 三相交流电	519
§ 11.13 旋转磁场	527
§ 11.14 感应电动机的构造和运行原理	529
习题	533

第五篇 迅变电磁场

第十二章 麦克斯韦方程组与电磁波	537
§ 12.1 位移电流.....	537
§ 12.2 迅变电磁场.....	541
§ 12.3 麦克斯韦方程组 高斯单位制.....	543
§ 12.4 电磁波.....	546
§ 12.5 能流密度 烏莫夫-坡印廷矢量.....	550
§ 12.6 电磁振荡 无阻尼自由振荡.....	552
§ 12.7 阻尼自由振荡.....	555
§ 12.8 受迫振荡.....	558
§ 12.9 开放振子 自由电磁波的形成.....	561
§ 12.10 赫兹实验.....	566
§ 12.11 电磁辐射的压力 电磁场的动量和质量.....	567
附录	570

在电流发现以前,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;一个条形磁铁或者磁针总有两个吸引铁屑力量最强的点,称为磁极;磁极成磁针可以在水平面内自由地旋转,这两个磁极总是一个指南,一个指北;两个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;磁早期对磁现象尚了解,认为磁极能产生磁场,犹如电荷产生电场一样,这磁场再和另一磁极发生作用。由这种概念出发,可以得出一些列和静电场规律相平行的磁现象。

十九世纪初,在丹麦发现了电流的磁效应,才使人们以前认为电现象和磁现象是彼此无关的观点,并且使人们开始认识到磁现象的本质。下面简述

电流产生磁场的几个实验。如图 7-1-1 所示。

在一段南北方向的导线上方,安置一个小磁针,当导线中通以电流时,小磁针将发生偏转。如果将导线绕成线圈,通以电流,小磁针将发生偏转。



图 7-1-1

第三篇 恒定磁場

第七章 真空中电流的磁場

§ 7.1 电流的磁場 磁感应强度矢量

1. 电流的磁場 电流与电流之間或电流与磁铁之間的相互作用是电工技术的基础, 这种相互作用是由电流的磁效应引起的, 关于这种效应, 我們已經在第四章中讲电流的各种效应时提到. 現在我們將对它作进一步的研究, 首先来研究真空中恒定电流的磁效应.

远在电流发现以前, 人們早就发现了磁现象(詳見第九章末的介紹), 例如: 磁針可以吸引铁屑; 一个条形磁铁或者磁針总是有两个吸引铁屑力量最强的区域, 称为磁极; 磁铁或磁針可以在水平面內自由旋轉时, 这两个磁极总是一个指南, 一个指北. 两个磁針的磁极之間也有相互作用: 异号磁极相吸引, 同号磁极相排斥. 据早期对磁现象的解釋, 认为磁极能产生磁場, 犹如电荷产生电场一样, 这磁場再和另一磁极发生作用. 由这种概念出发, 可以得出一系列和静电場規律相平行的磁場規律.

十九世紀初, 在西欧发现了电流的磁效应, 才推翻了以前认为电现象和磁现象是彼此无关的旧观点, 并且使人們开始認識到磁现象的本质. 下面簡述电流产生磁場的几个实验. 如图 7.1-1 所示, 在一段南北指向的导綫 AB 下方, 安置一个可以在水平面內自由轉动的

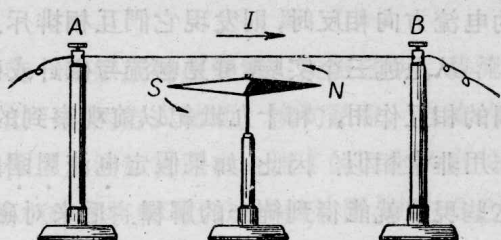


图 7.1-1

磁針，并設磁針与軸心无摩擦力。当导綫中无电流时，磁針的指向与导綫平行。当导綫中通过較大的电流时，磁針立刻发生偏轉，直到它与导綫接近垂直。如果电流的方向从 A 到 B ，我們从导綫上方往下看时，便可看到磁針沿逆时针方向旋轉；如果电流方向反过来，則磁針沿順时针方向旋轉。

不仅載流导綫对磁針有作用，而且磁針对載流导綫也有作用。如果把一个磁性較强的蹄形磁铁移近一根載流导綫，如图 7.1-2 所示，并設磁铁的两磁极位于图面前后，而导綫在图面內，則可观察到导綫向左或向右移动，視电流的方向而定。

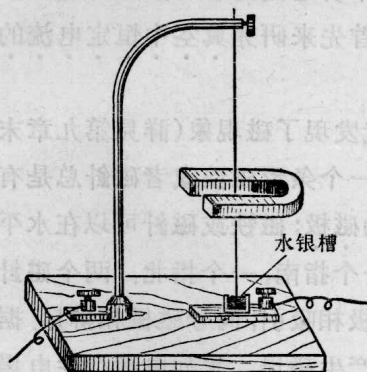


图 7.1-2

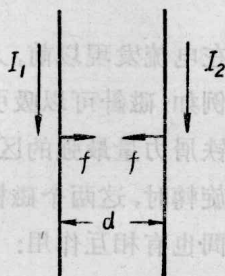


图 7.1-3

另外一个更重要的实验能够表明两根載流导綫之間有相互的作用力。两根平行导綫保持在适当的距离(图 7.1-3)，当流經两导綫的电流方向相同时，我們发现它們互相吸引；如果流經两导綫的电流方向相反时，則发现它們互相排斥。

从上述三个实验，可見电流与磁針或磁铁之間、电流与电流之間的相互作用，和十九世紀以前观察到的磁铁与磁铁之間的相互作用非常相似。因此，如果假定电流周圍的空間存在着磁場，那么这些現象就能得到統一的解釋。后来对磁铁的深入研究证明，磁铁之所以有磁場，是由于磁铁本身包含了无数有規則地排列的微

观电流(将在第九章详细讨论), 因此磁性的本质应当归结为电流的磁效应。

电流对磁针的作用、电流与电流的相互作用都是通过磁场来传递的。要显示电场的存在, 我们需用试验电荷; 与此相似, 我们需要通过磁针或另一电流的受力来显示电流磁场的存在。下面我们利用电流回路所产生的磁场对一载流小线圈(图 7.1-4a)的作用来研究电流磁场的性质。由于磁场一般是不均匀的, 因此这小线圈的线度和它与产生磁场的导线间的距离比起来应当很小。同时, 为了避免磁场对引导电流进出小线圈的那部分导线的影响, 可以将这部分导线紧紧靠攏或者作成绞线(图 7.1-4b)。这样, 由于磁场作用力与电流方向有关, 磁场对这部分导线的作用将等于零, 因而我们观察到的将只是磁场对小线圈的作用。把这种线圈用有弹性的细线悬挂起来, 放在通电流的导线附近, 便可以研究电流磁场的性质。

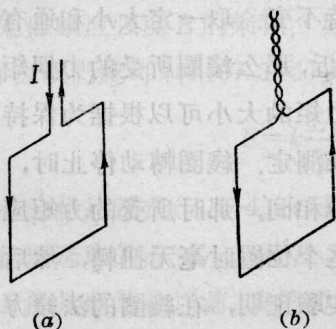


图 7.1-4

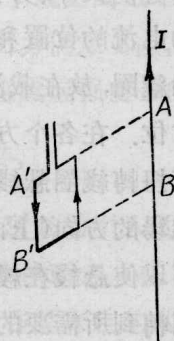


图 7.1-5

2. 磁场的方向和大小 磁感应强度矢量 实验证明, 载流小线圈将受电流的作用而依一定的方式转动。换句话说, 电流的磁场对小线圈施以取向的作用。例如在通有电流 I 的固定的直长导线附近(图 7.1-5), 这种小线圈将转动到这样的位置, 使它自己的平面包含了直长导线, 如图 7.1-5 所示。这里我们假设已使悬丝

无扭轉。綫圈的取向与綫圈中电流的方向有关，在改变綫圈中电流的方向时，綫圈便轉过 180° 的角。

磁場对綫圈所施的取向作用，可以用来描述磁場的方向。我們这样規定綫圈的正法綫方向：将綫圈中电流繞行方向看作右手螺旋轉动的方向时，則螺旋前进的方向为綫圈的正法綫方向。既然小綫圈在給定电流的磁場中有一定的取向，那么綫圈的正法綫也有一定的取向。显然，綫圈在磁場中有一定取向这个事实，正表明磁場本身的有向性，因此可取綫圈的正法綫方向为綫圈所在处磁場的方向。这样，我們就能够利用綫圈单值地确定任意电流的磁場中每一点的磁場方向。

其次，我們可用同一小綫圈来确定各点磁場的大小。綫圈在磁場中发生轉动并取一定的方向說明它是受了磁場的力偶作用。实验証明这力偶的力矩 L 的大小与产生磁場的电流的强度和位置以及綫圈本身的大小、方位和綫圈中的电流强度都有关。我們假定产生磁場的电流的位置和强度保持不变。取一定大小和通有一定电流强度的綫圈，放在載流导綫附近，那么綫圈所受的力偶矩只决定于它的方位。在各个方位所受力矩的大小可以根据为保持綫圈在該方位而扭轉綫圈悬綫的程度来測定。綫圈轉动停止时，法綫的方向与磁場的方向(上面定义的)相同，那时所受的力矩应等于零。我們可以使悬綫在綫圈处于这个位置时毫无扭轉，然后扭轉悬綫使綫圈轉到所需要的方位。实验証明，在綫圈的法綫方向与磁場方向垂直时，力偶矩达到最大值。因此，在所有情况下，当我們要利用綫圈对磁場作定量的描述时，我們規定把綫圈放在其法綫垂直于磁場方向的位置。其次，实验証明，力偶矩的最大值 $L_{\text{最大}}$ 与綫圈中的电流强度 I' 及綫圈面积 S 的乘积成正比，而与綫圈的形状无关，即

$$L_{\text{最大}} \propto I' S. \quad (7.1-1)$$

我們称 $I'S$ 为綫圈的磁矩, 記作 p_m , 即

$$p_m = I'S. \quad (7.1-2)$$

磁矩和电偶极子的电矩一样, 也是矢量, 其方向为載流綫圈的正法綫方向. 在磁場的某一点, 所有具有相同磁矩 p_m 的綫圈将受到相同的力矩 L 的作用.

如果将磁矩一定的綫圈放在电流磁場中不同的各点上, 則一般会发现綫圈所受的力矩不同; 譬如在靠近一載流直长导綫时, 綫圈所受力矩就比远离时要大. 因此我們可以利用这一事实对磁場作定量的描述, 即认为綫圈所在处磁場的磁感应强度 B 越大, 則綫圈所受的力偶矩也越大. 換句話說, p_m 一定时, 我們有

$$L_{\text{最大}} \propto B. \quad (7.1-3)$$

将(7.1-1)和(7.1-3)結合起来, 就得到

$$L_{\text{最大}} \propto BI'S \propto Bp_m, \quad (7.1-4)$$

即作用在磁場中載流綫圈的力偶矩正比于綫圈的磁矩 p_m 与綫圈所在处磁感应强度 B 的乘积. 如果能測出力偶矩 $L_{\text{最大}}$, 而 p_m 为已知, 那么我們就可利用(7.1-4)式来确定磁感应强度 B 的大小, 即

$$B = k \frac{L_{\text{最大}}}{p_m} = k \frac{L_{\text{最大}}}{I'S}, \quad (7.1-5)$$

式中 k 为将比例式(7.1-4)改写成等式时所必需引入的常数, 它的数值依所选取的 B 、 $L_{\text{最大}}$ 、 I' 及 S 的量度单位而定. 在未說明如何选取 B 的量度单位以前, 我們暂时将 k 看作是未定的常数.

磁感应强度 B 有方向 (即上面所定义的磁場的方向) 又有大小, 因此是一个矢量. 总括以上的討論, 我們得到結論: 磁場中每一点的磁感应强度矢量 B 的方向, 为載流綫圈在磁場中取稳定平衡位置时 (由这个位置轉 180° , 虽也能平衡但不稳定) 綫圈的正法綫方向; 根据(7.1-5)式, 磁感应强度的大小是由綫圈的法綫处在垂直于 B 的位置时, 作用在綫圈上的力偶矩所决定. 为了能尽量

正确地决定磁場中一点 B 的大小和方向，所用綫圈必須小到在它所在位置上的磁場可以认为是均匀的。

§ 7.2 电磁单位制 磁感应强度的单位

1. 电流强度的电磁单位 設在真空中有两条平行直导綫，通过的电流强度分别为 I_1 及 I_2 (图 7.1-3)；它們之間的距离 d 比每一导綫的长度小得多。这样的两条载流导綫通常称为“无限长”的平行直电流。如上节所述，当 I_1 和 I_2 方向相同时，两导綫互相吸引，力的方向在两导綫所决定的平面内且和导綫垂直。实验证明，每一导綫的单位长度所受力的 $\frac{\Delta f}{\Delta l}$ 和电流强度 I_1 与 I_2 的乘积成正比而和距离成反比，即

$$\frac{\Delta f}{\Delta l} \propto \frac{I_1 I_2}{d}.$$

过渡到等式时，通常将上面的比例式写成：

$$\frac{\Delta f}{\Delta l} = 2\mu_0 \frac{I_1 I_2}{d}, \quad (7.2-1)$$

式中 μ_0 为比例系数，称为真空中的磁导率。

和靜电学中的庫侖定律相似，上式可作为一新单位制的基础。在这种单位制中，凡是力学量的单位都用厘米克秒制的单位，并令上式中 μ_0 为純数且等于 1。于是，当真空中两条无限长直电流其强度相等 ($I_1 = I_2$) 并相距为 1 厘米时，如果每一导綫每 1 厘米长度所受的力为 2 达因，则每条导綫上通过的电流强度为 1 电磁单位电流强度，或表为 1 CGSM 电流强度。其它电学量和磁学量的单位都可从电流强度的电磁单位导出，組成一绝对电磁单位制，或简称电磁单位制。

电磁单位制中电流强度的量綱可从 (7.2-1) 式求出：

$$[I_{\text{CGSM}}] = [\Delta f]^{\frac{1}{2}} = [LMT^{-2}]^{\frac{1}{2}} = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}.$$

2. 电磁单位电流强度与静电单位电流强度之间的关系 根据(7.2-1)式, 如果电流强度 I_1 和 I_2 都用静电单位来量度, 则 μ_0 是一个有量纲的数. 由于静电单位电流强度的量纲为

$$[I_{\text{CGSE}}] = L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2},$$

所以在静电单位制中 μ_0 的量纲为

$$[\mu_0] = [\Delta f][I_{\text{CGSE}}]^{-2} = LMT^{-2} \cdot L^{-3} M^{-1} T^4 = L^{-2} T^2.$$

这样看来, μ_0 的量纲是速度平方的倒数的量纲, 因此通常将 μ_0 写成 $\mu_0 = \frac{1}{c^2}$, c 为一有速度量纲的量, 叫做电动力常数.

c 的数值可用下述方法测定. 实验证明, 如果两根无限长直导线各有电流 2.998×10^{10} 静电单位通过, 则当它们相距为 1 厘米时, 每根导线每 1 厘米长度所受的力也是 2 达因. 因此根据(7.2-1)式, 我们有

$$2 = \frac{2}{c^2} \cdot \frac{(2.998 \times 10^{10})^2}{1},$$

$$\text{或} \quad \frac{1}{c^2} \cdot (2.998 \times 10^{10})^2 = 1,$$

即 $c = 2.998 \times 10^{10}$ 厘米/秒 $\approx 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒.

以后在讨论电磁波时将证明 c 就是电磁波在真空中传播的速度.

两根无限长直导线的距离一定时, 不论导线中电流强度是用 CGSE 单位还是用 CGSM 单位来量度, 它们每单位长所受的力总是一定的. 因此, 根据(7.2-1)式, 得

$$\frac{I_1(\text{CGSE})I_2(\text{CGSE})}{c^2} = I_1(\text{CGSM})I_2(\text{CGSM}),$$

$$\text{或} \quad I(\text{CGSE}) = cI(\text{CGSM}). \quad (7.2-2)$$

上式说明, 同一电流用 CGSE 单位量度比用 CGSM 单位量度在数

值上約大 3×10^{10} 倍。也就是說，一个电磁单位的电流比一个静电单位的电流約大 3×10^{10} 倍，即

$$1 \text{ CGSM 电流强度} \approx 3 \times 10^{10} \text{ CGSE 电流强度}. \quad (7.2-3)$$

这个道理可用一个日常生活中的例子再說明一下。譬如有一定量的米，用斗来量是 5 斗，用升来量就会是 50 升；用斗量的数值小，用升量的数值大，但是一斗却等于 10 升。

电流强度是每秒通过一导线横截面的电量，因此电量的电磁单位和静电单位之间的关系与电流强度的两种单位之间的关系一样，即

$$1 \text{ CGSM 电量} \approx 3 \times 10^{10} \text{ CGSE 电量}. \quad (7.2-4)$$

例如电子的电量用两种单位表示为

$$e = 4.80 \times 10^{-10} \text{ CGSE 电量} = 1.60 \times 10^{-20} \text{ CGSM 电量}.$$

从实用单位和静电单位之间的关系，我們可以得到实用单位和电磁单位之间的关系，如

$$1 \text{ 安培} = 0.1 \text{ CGSM 电流强度};$$

$$1 \text{ 庫侖} = 0.1 \text{ CGSM 电量}.$$

3. 磁感应强度的电磁单位 現在可以根据上节(7.1-5)式来确定磁感应强度的单位。当一个面积为 1 厘米² 的小载流线圈其电流强度为 1 电磁单位时，我們說它的磁矩为 1 电磁单位磁矩，即 $p_m = I'S = 1$ 。把 1 电磁单位磁矩的线圈放在某一电流迴路的磁场中，如果线圈所受的最大力矩为 1 达因·厘米，那末线圈所在处的磁感应强度就定义为 1 电磁单位磁感应强度，通常用 1 CGSM 磁感应强度表示，又称为 1 高斯。

把上述定义与(7.1-5)式比較，可見 $k=1$ 。該式变成

$$B = \frac{L_{\text{最大}}}{I'S} = \frac{L_{\text{最大}}}{p_m}, \quad (7.2-5)$$

这和静电学中定义静电单位电场强度的式子相似。場中某点的磁

磁感应强度数值上等于一个具有 1 电磁单位磁矩的小载流线圈在该点所受的最大力矩。如果流过小线圈的电流强度是用静电单位量度, 则(7.2-5)式中得出的磁感应强度值即为静电单位制的磁感应强度值。由此可见, 在静电单位制中, 公式(7.1-5)的 k 仍等于 1。

在研究磁学及电磁感应等现象时, 通常不用静电单位制; 今后除特别说明外, 我们将采用电磁单位来量度各电学量及磁学量。

4. 电磁单位制 从电流强度和磁感应强度的电磁单位出发, 可以导出电学和磁学各物理量的电磁单位, 构成一绝对电磁单位制。下面对我们已经学习过的一些物理量列出它们的电磁单位、静电单位和实用单位之间的关系。脚标 e 和 m 分别表示静电单位和电磁单位。

物理量	定义或转换公式	各单位间的关系
电量 Q	$t = \frac{Q_e}{I_e} = \frac{Q_m}{I_m}$	1 CGSM 电量 = c CGSE 电量 = 10 库伦
电场强度 E	$f = q_e E_e = q_m E_m$	1 CGSM 场强 = $\frac{1}{c}$ CGSE 场强 = 10^{-9} 伏特/米
电势 V	$W = \frac{1}{2} Q_e V_e = \frac{1}{2} Q_m V_m$	1 CGSM 电势 = $\frac{1}{c}$ CGSE 电势 = 10^{-9} 伏特
电容 C	$C = \frac{Q}{V}$	1 CGSM 电容 = c^2 CGSE 电容 = 10^9 法拉
电阻 R	$R = \frac{V}{I}$	1 CGSM 电阻 = $\frac{1}{c^2}$ CGSE 电阻 = 10^{-9} 欧姆

§ 7.3 毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律及其应用

在 § 7.1 中我们已经指出: 在空间一点的磁感应强度 B 与产生这磁场的载流导线的形状、电流强度和该点对载流导线的相对位置有关。如果我们有一已知磁矩 p_m 的小线圈, 就可以用实验方法通过所受力矩来测定各点的 B , 从而找出上述的 B 与各因素间的关系。

讓我們仍用直長導線的例子說明如何決定距這導線為 r 處的磁感應強度。設直長導線 AB 中電流強度為 I ，我們要用實驗方法找出 B 與 I 及 r 的關係。如 § 7.1 所述，將小綫圈放在距導線為 r 處時，綫圈將轉動到它的法綫與矢徑 r 垂直的位置(圖 7.3-1 a)。如果

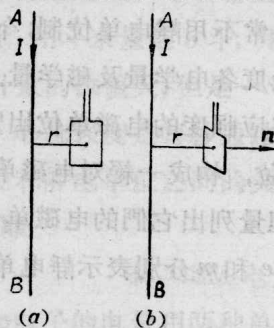


圖 7.3-1

果電流方向是從 A 到 B ，則綫圈的法綫 n 垂直於紙面並指向讀者，這就是 B 的方向。為了測定綫圈所在處 B 的數值，必須對綫圈施一力矩 L ，使它的法綫轉到與矢徑 r 一致，如圖 7.3-1 (b) 所示。設小綫圈的磁矩已知，實驗測定了 L 之後，便可根據 (7.2-5) 式算出 B 的值。

實驗結果證明直長導線 AB 內的電流強度 I 越大，則力矩 L 越大，也就是說，在某固定點的磁感應強度 B 的值正比於導線中的電流強度，或

$$B \propto I. \quad (7.3-1)$$

其次，將綫圈放在與導線有不同距離 r 的地方，會發現力矩 L 與距離 r 成反比，由此可知磁感應強度 B 也與 r 成反比，即

$$B \propto \frac{1}{r}. \quad (7.3-2)$$

這些關係是畢奧和薩伐爾兩人在 1820 年發現的，但這只適用於直長導線的特殊情況。對於其它的電路，磁場中某點的 B 與該點位置的關係將隨電路的形狀而異，但是 (7.3-1) 式，即 B 與 I 成正比的關係，對任何電路都是成立的。

導線中電流所產生的磁感應強度 B 是由這導線的所有電流元 $I dl$ 的作用來決定的。各電流元產生一元磁感應強度 dB ，我們在某點所觀察到的磁感應強度 B ，是所有電流元在該點產生的 dB 的