

最新版21世纪高等院校教材



大学物理学

DAXUEWULIXUE

(下册)

主编 黄新民 潘宏利

陕西科学技术出版社

最新版 21 世纪高等院校教材

大学物理学

(下册)

主 编 黄新民 潘宏利

副主编 何军锋 赵文英 高荣发 任亚杰 徐立邦

编著者 (以姓氏笔画为序)

王玉梅 冉 文 任亚杰 刘宝盈 李 英 何军锋

陈德胜 杨 萍 赵文英 徐立邦 高荣发 黄新民

崔富刚 熊晓军 翟保清 潘宏利

陕西科学技术出版社

内 容 简 介

本书以普通物理学教学大纲(非物理专业)为依据,系统地论述了普通物理学的基本内容,全书分力学、振动与波、热学、电磁学、光学和近代物理共五篇.全书内容丰富,观点明确,注重物理思想方法,注意启发思维,培养能力.特别是对基本概念、基本理论、基本规律和方法的叙述严密、准确,重点突出,脉络分明.尤其对定理和公式的推导、分析、应用,表述简明、清晰;对易错或混淆之处讲述详尽.

本书可作为理工科、师范院校及各类高职院校、成人大学普通物理课程的教材,也可供有关科技人员及广大青年自学者参考.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/黄新民,潘宏利编著. - 西安:陕西科学技术出版社,2005.8
ISBN 7-5369-3995-7

I. 大… II. ①黄…②潘… III. 物理学 - 高等学校 - 教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 083424 号

出 版 者 陕西科学技术出版社

西安北大街 131 号 邮编 710003

电话(029)87211894 传真(029)87218263

<http://WWW.snstp.com>

发 行 者 陕西科学技术出版社

电话(029)87212206 87260001

印 刷 陕西省汉中印刷厂

规 格 787 × 960mm 1/16

印 张 18

字 数 320 千字

版 次 2005 年 8 月 1 日第 1 版

2005 年 8 月 1 日第 1 次印刷

定 价 52.00 元(上、下册)

版权所有 翻印必究

前 言

物理学是一门自然科学.它是研究宇宙间物质存在的各种基本形式,即它们的性质、运动和转化以及内部结构,从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律的科学.范围大到星系团的集合(即宇宙的已知部分约 10^{26} m),小到微观粒子(约 10^{-15} m 以下).

自然界是由形态不同的物质所组成,物质的固有属性是运动,一切物质都在永恒不停地运动着,宇宙间一切现象都是物质运动的表现.物质的运动形式是多种多样的.物理学研究的最基本最普遍的运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、分子、原子、原子核及基本粒子的运动等.这些运动形式,普遍地存在于如化学运动、生物运动等更高级、更复杂的运动形式之中.从应用观点来看,它几乎为所有领域提供了可用的理论、实验手段和研究方法.以它的普遍性、基本性以及与其它学科的相关性,使它在自然科学中占有独特的地位.实践证明,研究一切现代科学技术都离不开物理学的知识,所以物理学是一门重要的基础科学.

物理学的发展过程,是人类对客观世界不断认识的过程,物理学的理论是由一系列概念、定律和定理组成的.定律和定理好比是理论的骨骼,概念、分析和形象化的图形好比是理论的血和肉,概念是具有特殊意义的,它是文字说明、数学表达及实验事实联系起来的链条.物理学的定律都是从生产实践和科学实验中由观察、经验和实验等归纳而总结出来的.但更多的物理定律和理论是建立在大量科学实验的基础上,通过对物理现象的观察、分析、假设、抽象和总结等步骤建立起来的.定理是根据定律用数学知识推导出来的.从科学实验中得到理论,再回到实践中去检验,以上升为公认的理论,由此不但能解释已知的事实,而且还具有预见性.所以,生产实践和科学实验是物理学发展的动力和源泉.因而,物理学的研究方法主要是观察和实验,在观察和实验的基础上,对物理现象进行分析、抽象和概括,从而建立物理定律,形成物理理论,再回到实践中去检验.

纵观物理学的内容,由两大部分组成,一个是以 Newton 力学,Maxwell 电磁学及热力学为基础而构成的经典物理学;一个是以相对论及量子力学为主要基础而构成的近代物理学.近代物理学是更为普遍的理论,它可以把经典物理作为一种特例包括进去.但是,对宏观领域内的绝大多数研究现象来说,经典物理不仅仍然适用,所得的结论的正确程度与近代物理的处理并无差异,而且方法更为简便方便,所以经典物理并没有丧失其独立存在的价值,而且还在不断地取得新的进展和应用.从教材编排上来讲,我们采取了保证基础、加强现代物理的原则.以经典物理为基础,但注意精炼经典物理内容,注重新知识,新理论的建立和发展;以现代物理为导向,但注意精炼相对论中的抽象理论,注重量子物理学的发展及应用.在编写过程中,以黄新民主编的《大学物理学》(陕西科学技术出版社,1998 年版)为基础,该教材获陕西省人民政府优秀教学成果奖.在内容的具体安排上,以普通物理学教学大纲(非物理专业)为依据,确保作为一门基础课的普通物理学自身的系统性,把重点放在基本概念、基本原理和基本方法的阐述上,充分注意实验事实和方法.对物理概念和物理规律的叙述,力求严密、准确、重点突出,脉络分明,便于形成知识框架;对定理、公式的表述,简明、清晰,给出它们的作用、使用条件、范围、联系、区别及其推论,对易错或混淆之处给予重点说明,注意启发思维,创新精神和综合能力的培养.

由于作者水平所限,在内容的编排结构和叙述的方法上肯定存在不少不妥之处,恳请专家及读者不吝指正.

编 著 者

2005 年 8 月

目 录

第十三章 稳恒磁场	(1)
13.1 磁感应强度 磁场的 Gauss 定理	(1)
13.2 Biot-Savart 定律	(6)
13.3 Ampere 环路定理	(14)
13.4 带电粒子在磁场中的运动	(19)
13.5 磁场对载流导线的作用	(26)
13.6 磁场对载流线圈的作用	(30)
思考题	(33)
习 题	(34)
第十四章 磁介质	(40)
14.1 磁介质 顺磁质和抗磁质的磁化	(40)
14.2 磁化强度 磁介质中的 Ampere 环路定理	(42)
14.3 铁磁质及其应用	(45)
思考题	(49)
习 题	(50)
第十五章 电磁感应	(52)
15.1 电磁感应定律	(52)
15.2 动生电动势与金属电子理论	(56)
15.3 涡旋电场——感生电动势	(60)
15.4 自感与互感	(63)
15.5 磁场的能量	(68)
思考题	(71)
习 题	(72)
第十六章 Maxwell 电磁理论	(76)
16.1 电磁场 Maxwell 方程组	(76)
16.2 Hertz 实验	(80)
16.3 电磁波	(80)
思考题	(83)
习 题	(84)

第五篇 光 学

第十七章 光的干涉	(85)
17.1 光的相干性 杨氏干涉实验	(85)
17.2 干涉条纹的可见度	(92)
17.3 Fresnel 公式	(98)
17.4 等倾干涉和等厚干涉	(103)
17.5 Michelson 干涉仪	(109)
思考题	(111)
习 题	(111)
第十八章 光的衍射	(113)
18.1 光的衍射现象	(113)
18.2 单缝的 Fraunhofer 衍射	(115)
18.3 圆孔的 Fraunhofer 衍射 光学仪器的分辨本领	(118)
18.4 光栅衍射 衍射光谱	(122)
18.5 Röntgen 射线衍射 Bragg 公式	(127)
18.6 全息照相原理	(129)
思考题	(132)
习 题	(132)
第十九章 光的偏振	(134)
19.1 自然光和偏振光	(134)
19.2 偏振片的起偏和检偏 Malus 定律	(136)
19.3 反射光和折射光的偏振	(139)
19.4 双折射现象	(141)
19.5 椭圆偏振光和圆偏振光 波片	(146)
19.6 偏振光的干涉 人为双折射现象	(148)
19.7 旋光的现象	(150)
思考题	(151)
习 题	(152)

第六篇 近代物理

第二十章 狭义相对论基础	(153)
20.1 力学相对论原理和 Galileo 变换	(153)
20.2 狭义相对论的基本原理	(155)

20.3 狭义相对论的时空观	(158)
20.4 Lorentz 变换	(163)
20.5 狭义相对论质点动力学简介	(167)
思考题	(172)
习 题	(172)
第二十一章 量子物理基础	(175)
21.1 热辐射 Planck 公式 能量子	(175)
21.2 光电效应 Einstein 的光子理论	(182)
21.3 Compton 效应	(188)
21.4 氢原子光谱 Bohr 的氢原子理论	(191)
21.5 微观粒子的波粒二象性 不确定关系	(200)
21.6 Schrödinger 方程	(205)
21.7 Schrödinger 方程的应用	(209)
21.8 电子自旋 四个量子数	(224)
21.9 原子的电子层结构	(226)
21.10 激 光	(228)
思考题	(232)
习 题	(232)
第二十二章 固体物理基础	(235)
22.1 固体的力学性质	(235)
22.2 固体的能带理论	(237)
22.3 导体 绝缘体 半导体	(239)
22.4 超导电性	(241)
思考题	(243)
第二十三章 原子核与粒子物理简介	(244)
23.1 原子核的基本性质	(244)
23.2 放射性衰变规律	(248)
23.3 原子核反应	(253)
23.4 原子能的利用	(256)
23.5 粒子物理简介	(262)
思考题	(269)
习 题	(269)
常用物理常数	(271)
英汉人名对照表	(273)
参考文献	(276)

第十三章 稳恒磁场

静止电荷在其周围的空间激发静电场,当电荷运动时,在它周围的空间不仅激发电场,同时还激发磁场.本章讨论稳恒电流在其周围空间激发的稳恒磁场的基本性质和遵从的基本规律.所谓稳恒磁场是指这种磁场在空间的分布不随时间变化.

13.1 磁感应强度 磁场的 Gauss 定理

很长一段时期里,人们普遍认为电现象和磁现象是互不相关的,对它们的研究也是彼此独立进行的,直到 1819 年,丹麦科学家 H.C. Oersted 发现了电流的磁效应,开始揭示了磁现象和电现象之间的联系.如图 13-1 所示为 Oersted 实验,在通电直导线附近的小磁针受到作用而产生偏转,这说明小磁针受到了电流的作用力.不久,他又发现磁铁也可使通电导线发生偏转,这说明磁铁可对电流产生作用力.1820 年,法国科学家 A.M. Ampers 在实验中发现了载流导线或载流线圈

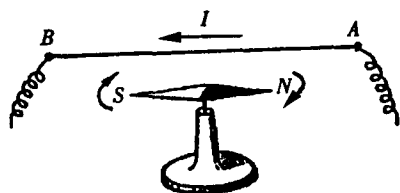


图 13-1 Oersted 实验

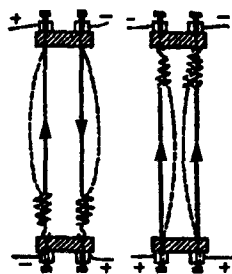


图 13-2 直线电流间的作用

之间有相互作用力,并通过实验进一步指出两根载流的平行直导线,在它们的电流同向时互相吸引,在电流反向时互相排斥,如图 13-2 所示.

无论是电流和磁铁之间的作用力,还是电流和电流之间的作用力,都可以归结为运动电荷之间的作用力.磁铁看来似乎和电流很不相象,但根据原子论观点,磁铁中包含永久运动着的电荷,即原子尺度上的电流, Ampers 把这种电流称为分子圆电流.如图 13-3 所示,分子圆电流相当于一个基元磁体.利用 Ampers 分子圆电流假设不仅可以解释物质磁性本质,还可以解释磁铁的 N 、 S 极不能单

独存在的原因,因为基元磁体的两个极对应于分子圆电流的正反两个面,显然分子圆电流的这两个面是不能单独存在的.近代物理理论进一步表明,原子核外电子除绕核运动外,电子自身还具有自旋的特性.分子、原子等微观粒子内部电子的运动就构成了等效的分子电流,因此,作用在磁铁上的力同样可用运动电荷之间的作用力来解释.由此可见,一切磁现象源于电荷的运动.

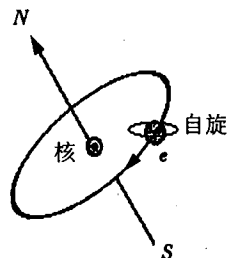


图 13-3 分子电流

一、磁场

电流之间、磁铁之间、磁铁与电流之间的相互作用都可以等效为运动电荷之间的相互作用,并且这些相互作用是通过磁场来实现的,即运动电荷(电流、磁铁)在其周围空间激发磁场,磁场对置于其中的运动电荷(电流、磁铁)有力的作用,反过来亦如此,这种相互作用可表示为

运动电荷(电流、磁铁) $\leftrightarrow$ 磁场 $\leftrightarrow$ 运动电荷(电流、磁铁)

磁场和电场一样,也是客观存在的一种特殊物质,磁场物质性的重要表现有:

- (1) 磁场对进入其中的运动电荷(电流、磁体)有力的作用.
- (2) 当载流导体在磁场中运动时,磁场力将对之做功,这表明磁场具有能量.

磁场的基本性质是它对位于其中的运动电荷有磁场力的作用,与静电场的研究方法相似,我们将从磁场对运动电荷的作用力出发,定义出描述磁场性质的物理量——磁感应强度 B .

二、磁感应强度

仿照定义电场强度 E 时引入点电荷概念的方法,我们在磁场中引入运动的试探电荷,设试探电荷的电量为 q ,速度为 v ,以不同的方向进入磁场,实验表明:

(1) 磁场中存在某一特定方向,当正、负试探电荷沿着这个方向正向或逆向运动时,均不受磁场力的作用,此时电荷的速度方向和磁感应强度 B 的方向在同一条线上,规定此处小磁针 N 极的指向为此点磁感应强度 B 的方向.如图 13-4(a)所示.

(2) 当电荷 q 以不同于磁场方向的速度 v 通过磁场中某点时,磁场作用在运动电荷上的磁场力 F 的大小,与试探电荷的电量 q 和运动速率 v 的乘积 qv 成正比,与 v 和 B 的夹角 θ 的正弦 $\sin\theta$ 成正比;磁场力 F 的方向总是垂直于速度 v 与磁场方向组成的平面.改变电荷 q 的符号,则磁场力 F 的方向反向,如图 13-4(b)所示.

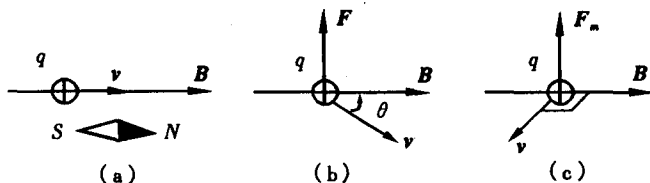


图 13-4 磁场作用在运动电荷 $+q$ 上的力

(3) 当运动电荷的速度 v 垂直于磁场方向时, 运动电荷所受的磁场力具有最大值 F_m , 而 F_m 与乘积 qv 成正比. 显然, 若电荷的速率 v 及电量 q 不同, F_m 的值也不同, 然而对磁场中某一给定点来说, 比值 F_m/qv 却是一定的, 与运动电荷的 qv 值的大小无关, 而在磁场中不同位置处比值有不同的量值, 比值真实地反映了磁场的空间分布. 可见, 比值反映该点磁场的性质, 因此, 我们把这个比值定义为磁场中某点的磁感应强度 B 的大小, 即

$$B = \frac{F_m}{qv} \quad (13-1)$$

实验表明, F_m 的方向既与运动电荷的速度 v 垂直, 又与磁感应强度 B 的方向相垂直, F_m 的方向总是垂直于速度 v 和磁感应强度 B 所组成的平面, 且三者相互垂直, 如图 13-4(c) 所示.

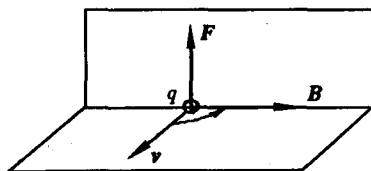


图 13-5 B 、 F 、 v 的方向关系

可见, F 、 v 及 B 方向之间的关系遵从右手螺旋法则, 由于磁场力 F 与速度 v 的方向, 原则上都可通过实验测定, 于是, 可由右手螺旋关系唯一地确定磁感应强度 B 的方向. 具体方法是: 右手四指由速度 v 的方向经小于 180° 角转向磁感应强度 B 的方向, 则大拇指所指方向即为磁场力 F 的方向, 即正电荷所决定的 $v \times B$ 的矢量方向, 如图 13-5 所示.

磁感应强度 B 是与空间位置有关的函数, 如果磁场中某一区域内各点的磁感应强度 B 都相同, 即该区域内各点 B 的方向一致、大小相等, 则该区域内的磁场就叫均匀磁场, 否则就是非均匀磁场.

在国际单位制中, 力的单位是 Newton (N), 电量的单位是 Coulomb (C), 速度的单位是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 磁感应强度的单位为 Tesla (T), 即

$$1\text{T} = 1\text{N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

磁感应强度的量纲为 $[\text{I}^{-1} \text{MT}^{-2}]$. 某些磁场的磁感应强度的大小如表 13-1 所示.

表 13-1 某些磁场的磁感应强度的大小

中子星表面	约 10^8 T
太阳表面	约 10^{-2} T
地球两极附近	约 $6 \times 10^{-5} \text{ T}$
地球赤道附近	约 $3 \times 10^{-5} \text{ T}$
超导电磁铁	$5 \sim 40 \text{ T}$
大型电磁铁	$1 \sim 2 \text{ T}$

目前还在使用的 CGS 制中,磁感应强度的单位是 Gauss(GS),它与 Tesla(T)在数值上有下述关系

$$1\text{Gs} = 10^{-4}\text{T}$$

由图 13-4 和式(13-1)可知,若已知磁场中某点的磁感应强度 B ,则以速度 v 运动的电荷在该点受到的磁场力为

$$F = qv \times B \quad (13-2)$$

上式决定的结果与实验结果完全一致.对正电荷($+q$)来说, F 的方向与 $v \times B$ 的方向相同;而负电荷($-q$)的 F 则与 $v \times B$ 的方向相反.

产生磁场的运动电荷或电流可称为磁场的源,在有若干个磁场源的情况下,它们产生的磁场服从叠加原理.以 B_i 表示第 i 个磁场源在某处产生的磁感应强度,则在该处的总磁感应强度为

$$B = \sum_i B_i$$

三、磁场中的 Gauss 定理

1. 磁感应线

为了形象地描绘磁场中磁感应强度 B 的分布,类比电场中引入电力线的方法引入磁感应线(磁力线).稳恒电流的磁场中某给定点磁感应强度 B 的大小和方向都是确定的,因此,我们规定曲线上每一点的切线与该点的磁感应强度 B 的方向在一条直线上,曲线的疏密程度表示该点磁感应强度 B 的大小,通过垂直于 B 的单位面积上的磁感应线条数正比于该处 B 的大小.这样,磁感应线密集处磁场强,磁感应线稀疏处磁场弱.于是磁感应线的分布就能形象而直观地反映磁场的分布情况.磁感应线也是一种人为地画出来的辅助曲线,并非磁场中真有这种线存在.

磁场中的磁感应线可借助小磁针或铁屑显示出来,如图 13-6 所示.由载流

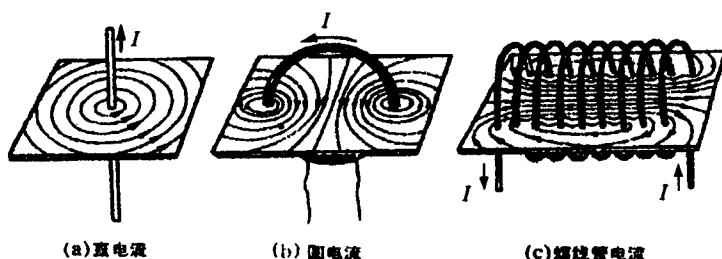


图 13-6 几种不同形状电流磁场的磁感应线

长直导线的磁感应线图形可以看出,磁感应线的回转方向和电流之间的关系遵从右手螺旋法则,即用右手握住导线,使大拇指伸直并指向电流方向,这时其他四指弯曲的方向,就是磁感应线的回转方向.同样,如果右手四指握向电流的流向,则伸直的大拇指的指向就是磁感应线的方向,如图 13-7 所示.

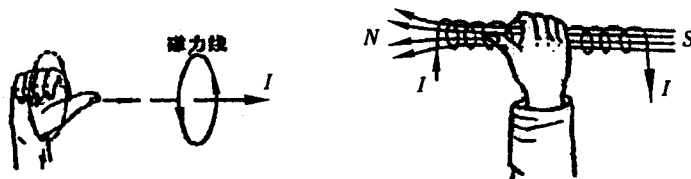


图 13-7 磁感应线与电流方向的关系

分析上述几种典型的载流导线的磁场中磁感应线的图形可以看出,磁感应线具有如下特性:

(1) 由于磁场中每点的磁场方向具有唯一性,所以磁场中的磁感应线不会相交.这一特性和电力线是相同的.

(2) 载流导线周围的磁感应线都是环绕电流的闭合曲线,既无起点,也没有终点.这一特性和静电场中的电力线有起点也有终点明显不同.

2. 磁通量

磁场是一种矢量场,在分析磁场的规律时,类比于电通量,引入磁通量的概念.定义通过磁场中某一曲面 S 的磁感应线数叫做通过该曲面 S 的磁通量,用符号 Φ_m 表示.

在如图 13-8 所示的磁场中,取一曲面 S ,在曲面上取一面积元 dS ,它所在处的磁感应强度 B 与法线矢量 n 之间的夹角为 θ ,则通过面积元 dS 的磁通量

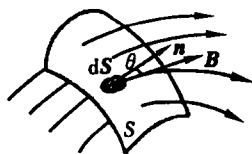


图 13-8 磁通量

为

$$d\Phi_m = B dS \cos\theta = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

于是通过某一有限曲面 S 的磁通量就等于通过这些面积元 dS 上的磁通量的总合,即

$$\Phi_m = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \mathbf{n} = \int_S B \cos\theta dS \quad (13-4)$$

在国际单位制中,磁通量的单位为 Weber(Wb), $1\text{Wb} = 1\text{T} \cdot \text{m}^2$, 所以 1T 也用 $1\text{Wb} \cdot \text{m}^{-2}$ 表示.

3. 磁场中的 Gauss 定理

如果在如图 13-9 所示的磁场中取一闭合曲面 S , 规定垂直于闭合曲面向外的指向为面积元的正法线方向, 这样从闭合曲面穿出的磁通量为正, 穿入闭合曲面的磁通量为负. 由于任何磁场的磁感应线都是无头无尾的闭合曲线, 因此穿入闭合曲面的磁感应线数必等于穿出闭合曲面的磁感应线数, 所以通过任一闭合曲面的总磁通量恒等于零, 即

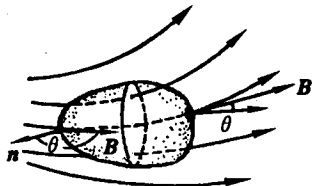


图 13-9 穿过封闭曲面的磁通量

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (13-5)$$

上式叫做磁场中的 Gauss 定理, 它是表明磁场性质的重要定理之一. 将静电场的 Gauss 定理 ($\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \sum q_i$) 与磁场中的 Gauss 定理相比较, 虽然它们在形式上相似, 但两者有着本质上的区别. 通过任意闭合曲面的电场强度通量可以不为零, 而通过任意闭合曲面的磁通量则必为零. 两者的差别在于静电场中的电力线是由电荷发出的, 总是源于正电荷, 终止于负电荷, 因此, 静电场是有源场; 而磁感应线都是环绕电流的、无头无尾的闭合曲线, 因此, 磁场是无源场.

13.2 Biot-Savart 定律

金属导线中的电流是由大量载流子作定向运动形成的, 因此, 所有运动电荷在其周围空间激发的磁场在宏观上就归结为载流导线在周围空间激发的磁场. Biot-Savart 定律反映了载流导线产生磁场的基本规律. 一般情况下, 载流导线的形状具有任意性, 因此, 需要把载流导线看成由许多电流元组合而成. 在载流导线上任取一电流元 Idl , 先求出电流元 Idl 在空间给定点激发的磁场 $d\mathbf{B}$, 再根

据磁场的叠加原理,则整个载流导线在磁场中某点所激发的磁感应强度 B 就是所有电流元在该点的 dB 的叠加。

一、Biot-Savart 定律

如图 13-10 所示,在载流导线上沿电流方向取一电流元 Idl , 电流元在某给定点 P 处的磁感应强度 dB 的大小与 Idl 和 $\sin\theta$ 的乘积成正比, $[\theta$ 为 Idl 与 r 之间夹角 (Idl, r)], 并与电流元到点 P 的距离 r 的平方成反比, 即

$$dB = k \frac{Idl \sin\theta}{r^2}$$

式中 k 为比例系数, 它的大小和单位

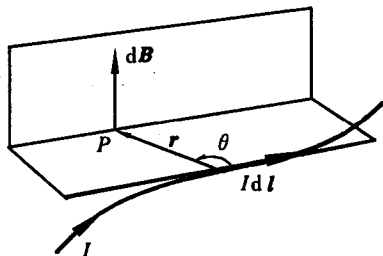


图 13-10 电流元产生的磁感应强度

取决于磁场中的磁介质和所选用的单位制. 对于真空中的磁场, 在国际单位制中, 规定 $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$, μ_0 为真空的磁导率, 其值为 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$. 于是 Biot-Savart 定律在真空中的表达式为

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin\theta}{r^2} \quad (13-6a)$$

dB 的方向垂直于 Idl 和 r 所组成的平面, 沿着矢积 $Idl \times r$ 的方向, 如图 13-10 所示. 因此, 电流元激发的磁感应强度 dB 可用矢量式表示为

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times r}{r^3} \quad (13-6b)$$

有了电流元的磁场规律式 (13-6), 对于任意形状的载流导线所产生的磁感应强度 B , 根据叠加原理, 则整个载流导线在 P 点产生的磁感应强度 B 等于 (13-6b) 式沿载流导线的积分, 即

$$B = \int dB = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times r}{r^3} \quad (13-7)$$

Biot-Savart 定律和磁场叠加原理, 是我们计算任意电流的磁场分布的基础, (13-7) 式是二者的具体结合. 但该式是一个矢量积分公式, 在具体计算时, 要用它的分量式。

二、Biot-Savart 定律的应用

由于电流元不能孤立地存在, 所以式 (13-6) 不能通过实验进行验证, 然而 Biot-Savart 定律是由大量实验结果分析总结出来的基本定律, 由该定律得出的结

果都很好地和实验结果相符合.下面举例说明如何用 Biot-Savart 定律求电流的磁场分布.

Biot-Savart 定律是一个矢量积分式,在应用该定律计算磁场中各点的磁感应强度 B 时,具体的思路与步骤是:(1)在载流导线上任取一个电流元 Idl ,并标出电流元 Idl 到所求场点的位矢 r ,从而确定两者之间的夹角 $\theta(Idl, r)$;(2)根据 (13-6a) 得出电流元在该点所产生的磁感应强度 dB 的大小,并由 $Idl \times r$ 确定 dB 的方向,(3)就整个载流导线对 dB 积分,求出磁感应强度 B .

1. 直线电流的磁场

设在真空中有一通有电流 I 长为 L 的直导线,现计算距离载流直导线为 a 处一点 P 的磁感应强度 B .如图 13-11 所示,在载流直导线上任取一电流元 Idl ,它在场点 P 处产生的磁感应强度 dB 的大小为

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin\theta}{r^2}$$

由 $Idl \times r$ 可知 dB 的方向垂直于纸面向里,用图中符号表示,并且导线上各电流元在 P 点产生的 dB 的方向都是一致的,因此, P 点的磁感应强度 B 的大小可用标量积分表示为

$$B = \int dB = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin\theta}{r^2}$$

图 13-11 直载流导线的磁场

式中 l, r, θ 都是变量,因此在积分运算时我们统一为一个变量 θ ,由图 13-11 中的几何关系可知 l, r 和 θ 之间有如下关系

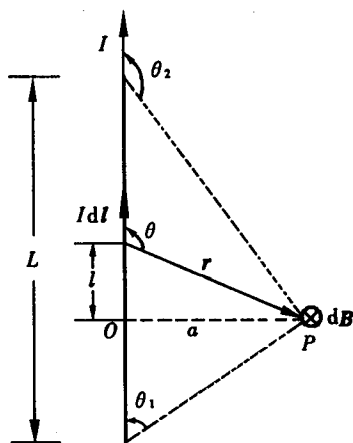
$$r = a \cos\theta \quad l = a \operatorname{ctg}(\pi - \theta) = -a \operatorname{ctg}\theta \quad dl = a \cos^2\theta d\theta$$

把以上关系代入上式积分得

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (13-8)$$

式中 θ_1, θ_2 分别为载流直导线两端的电流元与其到 P 点的位矢 r 之间的夹角, a 是场点 P 到载流直导线的垂直距离.(13-8)式为计算有限长的直线电流的磁场分布公式,应用该式的重点在于准确地确定场点 P 到载流直导线的垂直距离 a 以及载流直导线两端与 P 点的夹角 θ_1, θ_2 .

如果研究的磁场在载流直导线的中部附近,且 $a \ll L$,则导线可视为“无限长”,那么, $\theta_1 \rightarrow 0, \theta_2 \rightarrow \pi$,将其代入(13-8)式可得无限长直载流导线所激发的磁



感应强度 B 的大小为

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (13-9)$$

可见,“无限长”直电流在某点所激发的磁感应强度 B 的大小,正比于电流强度 I ,反比于该点到直电流的垂直距离 a 。同时,由(13-9)式可知长直载流导线的磁场具有轴对称性分布,在任一垂直于导线的平面内,与导线等距离的各点的情况相同,长直载流导线的磁场中磁感应线的分布是一组围绕长直电流的同心圆。

在稳恒电流的情况下,载流直导线只产生磁场而不产生电场。这是由于载流直导线是呈电中性的,导线中的传导电子和以点阵形式排列整齐且静止不动的正离子的电荷线密度等值异号,故载流直导线的净电荷线密度为零,由此得出静电场为零。但是,若载流直导线的净电荷线密度不为零,则在其周围空间既产生磁场又产生电场。

2. 载流圆线圈轴线上的磁场

半径为 R 的载流圆线圈,圆心为 O ,电流强度为 I 。现计算在通过圆心、垂直于圆平面的轴上任一点 P 处的磁感应强度 B 。

如图 13-12 所示,选取直角坐标系,把圆线圈轴线作为 x 轴,坐标原点在圆心 O 上。在圆上任取一电流元 Idl ,电流元到点 P 的矢径为 r ,由于电流元 Idl 与 r 之间的夹角为 $\theta = 90^\circ$,所以电流元 Idl 在 P 点产生的磁感应强度 dB 的大小为

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin 90^\circ}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{r^2}$$

方向如图所示。由上式可见,圆线圈上各电流元在 P 点产生的磁感应强度的大小相等,而方向却各不相同,由于载流圆线圈对 x 轴的对称性分布特点,所以各

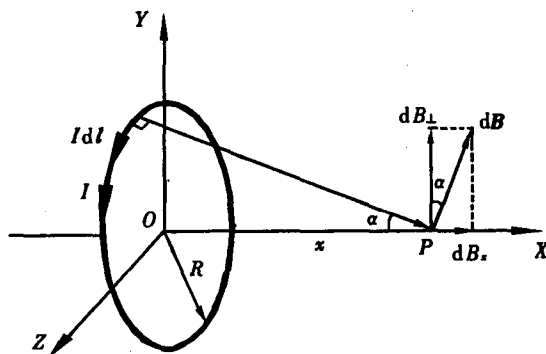


图 13-12 圆电流轴线上的磁场