

物理

自习与辅导

ZIXI YU FUDAO

(第五册)

袁哲诚 唐锦顺 编

上海科学技术出版社

物理自习与辅导

(第五册)

袁哲诚 唐锦顺 编

上海科学技术出版社

物理自习与辅导

(第 五 册)

袁哲诚 唐锦顺 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 无锡县人民印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 8.25 字数 183,000

1984 年 6 月第 1 版 1984 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1—326,000

统一书号: 13119·1054 定价: 0.67 元

前 言

为了帮助正在进行文化学习的读者加深对物理概念、原理的理解,增强分析解决问题的能力,以提高学习物理的质量,我们编写了这套《物理自习与辅导》,共五册,本书是第五册,适合高中文化程度的读者使用。

本书对于一般的物理定律、定义、公式推导等在一般教科书中已有叙述的部分尽量不再重复,只是对定律、原理、公式中的要点,容易弄错而需要特别注意的地方作较为详细的论述,并提出了分析问题的思路和方法,对典型的例题进行分析。每一章后附有练习题和答案,可供学生检验自己掌握物理基本概念的程度和灵活应用知识的能力。

限于我们的水平,内容难免有不妥之处,我们诚恳地请教师们和同学们提出宝贵的意见。

编 者

目 录

第一章 磁场	1
一、磁场	1
二、磁场对电流的作用	9
三、磁场对运动电荷的作用	14
四、洛仑兹力的应用	21
五、习题和答案	27
第二章 电磁感应	35
一、电磁感应现象及其产生条件	35
二、楞次定律及其应用	36
三、法拉第电磁感应定律	40
四、互感和自感现象	60
五、霍耳效应	64
六、习题和答案	67
第三章 交流电	74
一、交流电概述	74
二、交流电路中的元件	88
三、交流电的功率	96
四、变压器	105
五、习题和答案	111
第四章 电磁振荡和电磁波	113
一、电磁振荡	113
二、电磁场和电磁波	120
三、习题和答案	123

第五章 电子技术基础	125
一、半导体的导电特性	125
二、二极管及其在整流电路中的应用	129
三、三极管及其放大作用	145
四、习题和答案	155
第六章 光的本性	161
一、光的微粒说和波动说	161
二、光的色散	168
三、光的干涉	174
四、光的衍射	182
五、光的偏振	190
六、光电效应	196
七、习题和答案	208
第七章 原子结构	212
一、原子不可分的观念是如何被打破的?	212
二、汤姆生模型和卢瑟福模型	215
三、光谱研究和玻尔理论	220
四、利用玻尔理论推导一些公式	222
五、例题分析	229
六、习题和答案	233
第八章 原子核	236
一、原子核也是可分的	236
二、为什么说 α 粒子就是氦原子核	238
三、天然衰变规律	238
四、人工转变原子核的实现有什么重大意义	246
五、为什么原子核能放射出 β 射线	250
六、原子核的结合能与原子结合能的比较	251
七、为什么重核裂变和轻核聚变能释放大量的原子能	254
八、习题和答案	257

第一章 磁 场

本章内容是高中物理电磁学中的重点。通过学习磁场、磁感应强度 B 矢量、电流的磁场和磁场对运动电荷的作用, 使我们对电磁作用的本质有进一步的认识, 并对场的物质性、场的普遍存在有进一步的理解。这一章还介绍了近代物理学中研究物质微观结构的重要仪器——质谱仪和回旋加速器的基本原理。在学习这一章内容时要特别注意磁感应强度 B 和磁场作用力 F 的矢量性, 同时要培养空间想象能力。这是学习本章和以后几章内容的一个重要基础。

一、磁 场

在初中阶段我们已经学习过磁极之间存在着相互作用: 把正常工作的阴极射线管放在马蹄形磁铁的磁极间, 可观察到由于受到力的作用使原来沿直线方向运动的射线径迹发生偏转; 两根平行的通电导线, 会发生相互作用。这些现象都表明了磁极周围和电流周围的空间里存在着磁场。磁场是磁极之间、磁极和电流间以及电流和电流间发生相互作用的物质基础。

1. 磁感应强度 B 矢量

磁极之间既然是通过磁场发生相互作用, 这说明了磁场具有力的性质, 这是磁场物质性的体现。那么我们是否可以采

用研究静电场的方法来研究磁场的性质呢？但困难的是我们不可能找到一个单一的磁极（磁极总是成对地出现）来研究它在磁场中的受力情况，因此只能借助于一小段通电导体来研究。设这一小段导体的长度为 Δl ，通过的电流为 I ，我们把这样的一小段通电导体叫做电流元 $I\Delta l$ ，以它作为研究磁场（包括磁场的存在、方向和强弱）的试探者，正如研究静电场时需要引入检验电荷一样。电流元 $I\Delta l$ 是一个矢量，它的方向决定于电流 I 的流向。

实验证明，电流元矢量 $I\Delta l$ 在磁场中某一固定点的受力情况跟它自身的方向有关，把它从取某一方向时受力为零的位置转过 90° 角时，则受力为最大。在这电流元取向改变的过程中，发现它所受力的方向始终垂直于电流元 $I\Delta l$ 。如果保持使电流元 $I\Delta l$ 受到最大力时的方向不变，则发现它所受的磁场力 F 的大小和电流元 $I\Delta l$ 的大小成正比，即

$$F \propto I\Delta l$$

比值 $\frac{F}{I\Delta l}$ 的大小与方向只决定于这一点在磁场中的位置，而跟所引入的电流元矢量的大小无关。如果在磁场的另一点引入同一电流元矢量，则可得出另一比值。因此，可以用这个比值的大小与方向来描述磁场的强弱与方向。我们把在磁场中某点，电流元所受到的最大磁场力 F 跟电流元 $I\Delta l$ 的比值定义为磁场该点的磁感应强度。

$$B = \frac{F}{I\Delta l}$$

磁感应强度 B 是一个矢量，它的方向表示了该点的磁场方向。它的单位是特斯拉。

磁感应强度 B 和电流元 $I\Delta l$ 以及电流元受到的磁场力 F

的方向都是相互垂直的, 它们的方向关系如图 1-1 所示。

磁场中磁感应强度 B 都相同的区域, 叫做匀强磁场。例如, 蹄形磁铁的磁极间有一部分区域可认为是匀强磁场。

2. 磁力线 磁通量

一般说来, 磁场中各点的磁感应强度 B 的大小和方向是不同的, 为了形象地了解磁场中磁感

应强度的分布情况, 我们可以用磁力线来进行描述。磁力线是一条曲线, 它具有下列性质:

(1) 磁力线上各点的切线方向就是各该点的磁感应强度 B 的方向。

(2) 磁场中两条磁力线不可能相交。

(3) 磁力线从磁铁或通电线圈的 N 极出发, 经过空间到达 S 极, 在磁体内部又从 S 极回到 N 极, 磁力线是封闭曲线。

匀强磁场区域中的磁力线应是一系列分布均匀而且平行的直线。

从磁场中磁力线的走向可以了解磁感应强度的方向改变。怎样从磁力线在磁场中的分布疏密程度来表示磁场的强弱呢? 这里我们可以从匀强磁场的例子来进行讨论。

首先我们要建立磁通量的概念, 把穿过磁场中某一个面的磁力线数定义为穿过这个面的磁通量, 用 Φ 表示, 并且规定在磁感应强度 $B=1$ 特斯拉的地点垂直穿过 1米^2 面积上的磁通量为 1 韦伯, 于是在磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 穿过垂直于磁场方向、面积为 S 的某一个面的磁通量 Φ 可以写成

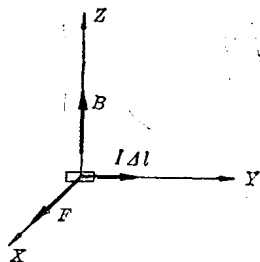


图 1-1

$$\Phi = BS$$

从以上的规定可知,在磁感应强度越大的磁场中,穿过垂直于磁场方向的单位面积上的磁力线数越多。从这个意义来说,磁感应强度 B 的大小可以写成

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

B 也称为磁通量密度。它表示了穿过垂直于磁场方向的单位面积上的磁力线数。但必须注意,磁通量密度是一个标量,它只是形象地用磁力线分布的疏密程度来说明磁感应强度 B 的大小。

如果平面和磁场方向并不垂直,可以想象穿过的磁通量

将会减少(如图 1-2 所示);如果这个面平行于磁场,则穿过它的磁通量将等于零。于是,计算磁通量的一般式应写成

$$\Phi = BS \cos \theta$$

式中 θ 是平面法线 N 与磁感应强度 B 的方向夹角。可见当平面 S 和磁场

垂直时(即平面法线 N 与 B 的方向夹角为 0° 或 180° 时)穿过它的磁通量最大。

上面虽从匀强磁场来讨论,但对于非匀强磁场同样适用。

3. 地磁场

(1) 地磁场 任何磁体包括天然磁铁矿和人造磁铁,除了能吸引铁磁性物质外,还都具有一定的指向性。这就是说,将磁铁悬挂起来,使悬线通过它的重心并垂直于磁铁的两个磁极的连线,让磁铁能自由转动,在没有其他磁场存在的情况下,磁铁最后的平衡位置总是采取使两个磁极的连线大致指

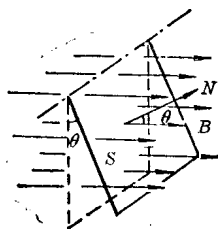


图 1-2

着南北方向。这是因为地球周围空间存在着磁场。

地球是一个磁体,地球周围空间有磁场分布,这就是地磁场。地磁的北极大致在地理位置的南极附近,地磁的南极大致在地理位置的北极附近。

地磁场中磁力线走向大致由南向北。也就是说,在地球的南半球,地磁场的磁力线大致由地球表面斜向穿出,经过空间到达地球的北半球,斜向进入地球表面,在两极附近可认为磁力线是垂直于地球表面的,如图 1-3 所示。

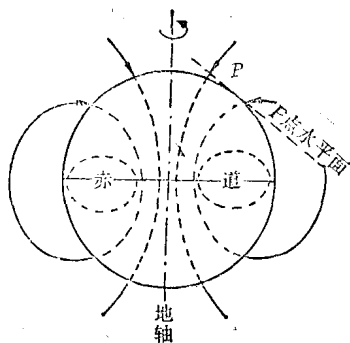


图 1-3

(2) 地磁三要素 我们现在研究一下在北半球纬度 ϕ 处的 P 点的地磁场磁感应强度 B_P 。

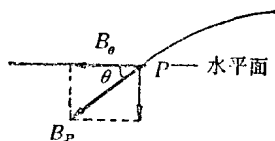


图 1-4

由于磁力线在 P 点斜向进入地球表面,所以可把磁感应强度 B_P 分解成两个分量。沿水平

方向的分量称为水平分强度,用 B_0 表示,见图 1-4。

$$B_0 = B_P \cos \theta$$

式中 θ 称为磁倾角。可以想象在地球表面赤道附近的水平分强度最大,而在两极附近水平分强度 $B_0 = 0$ 。

B_P 的竖直分量称为竖直分强度。

仔细观察,可以发现,如果没有其他磁场影响,当一个磁针静止时,它的轴线并不指向正北,而略向西偏,这说明地磁南极并不和地理位置的北极重合。也就是说,在地理子午面

和地磁子午面间存在一个夹角，这个夹角称为磁偏角，如图

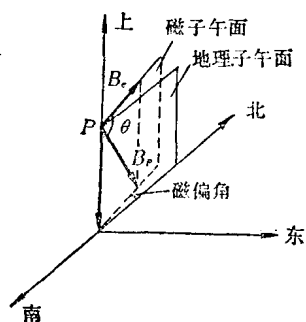


图 1-5

1-5 所示。

我们把磁偏角、磁倾角、水平分强度称为地磁三要素，就是说如果测定了某一地点的磁偏角、磁倾角和水平分强度，则该地点的地磁场磁感应强度的大小和方向才能被确定。在地球表面各个地点，地磁三要素的数据是不同的。

(3) 小磁针的作用 在不存在其他磁场影响的情况下，可以绕竖直轴转动的小磁针总是静止在当地的磁子午面内。如果使磁针两极连线偏离磁子午面，则在水平分强度 B_h 的作用下，磁针将会受到力偶矩的作用使它回复到磁子午面内，如图 1-6 所示。但是，如果在该地点同时还存在其他磁场，则由于磁场的叠加，小磁针将偏离磁子午面而停留

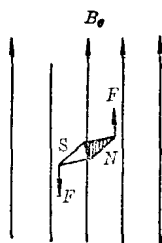


图 1-6

在合成磁场的方向上。由于水平分强度 B_h 一般很小，如果其他磁场远强于水平分强度，则可认为磁针 N 极的偏离方向就是顺着其他磁场的方向。因此，用小磁针可以检测是否存在其他磁场以及确定其他磁场的方向。

4. 电流的磁场

(1) 奥斯特实验 电流周围存在着磁场，这是丹麦科学家奥斯特的一项重大发现。它的重要意义在于使人们认识到电现象和磁现象的联系。

一根很长的直导线，放在磁子午面内，在导线的正下方放

一磁针,当在导线上通以电流时,发现磁针将发生偏转,而且当磁针离导线很近时,磁针最后平衡时的位置几乎跟导线垂直(如图1-7);若将磁针放在导线的正上方,则磁针的偏转方向相反;当磁针的位置离导线较远时,则磁针偏离磁子午面的角度将小于 90° 。

根据以上的实验事实,得出如下结论:

① 直线电流周围存在着磁场。

② 直线电流的磁场中的磁力

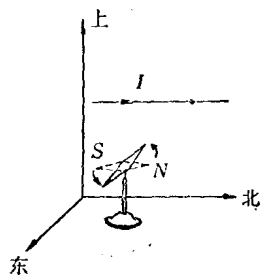


图 1-7

线分布在垂直于电流方向的平面上,是以直线电流为圆心的一系列封闭的同心圆。这个磁场的方向和电流方向有关,可用安培右手定则(简称安培定则)表示。即伸出右手,使大拇指跟其他四指垂直,如果以大拇指的指向表示电流方向,则自然弯曲的四指表示这个电流产生的磁场的磁力线方向。

③ 直线电流的磁场中某点的磁感应强度 B 的大小跟电流 I 成正比,跟该点离直线电流的距离 r 成反比,

$$B = k \frac{I}{r}$$

式中 k 是比例常数,在“SI”制中, $k = 2.0 \times 10^{-7}$ 牛顿/安培²。

④ 由于作用力是相互的,既然电流的磁场能对磁针施加作用,那么磁铁的磁场也必然会对电流施加作用。

(2) 叠加原理的应用

① 匀强磁场的获得 无限长的直线电流磁场不存在 N 极和 S 极。如果是一个环形电流,由于在环内的磁场方向相同,叠加的结果使得这个环如同一个小磁体,在磁力线穿出的

一面相当于磁体的 N 极, 在磁力线进入的一面相当于磁体的 S 极(如图 1-8)。

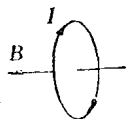


图 1-8

一个通电螺线管的磁场分布之所以类同一根条形磁铁, 是由于每一匝环形电流的磁场叠加的结果。当电流稳恒时, 在通电螺线管内部的

磁场可看成是一匀强磁场。这个匀强磁场的磁感应强度 B 的大小正比于通过螺线管的电流 I 和单位长度上的匝数 n (即密绕程度)。

两个相同的半径为 R 的圆形线圈, 使它们彼此保持平行而且同轴, 如图 1-9。这两个线圈上的绕线有相同的绕向、相同的匝数, 并且是串联的。当通以电流时, 在两个线圈间有磁场分布。理论证明, 当两线圈平面间的距离 $d=R$ 时, 在线圈之间的区域内是一匀强磁场。这种间距等于圆半径的一对共轴圆线圈, 称为亥姆霍兹线圈。

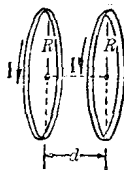


图 1-9

在高中物理下册的封二彩色图版 1 中, 用以观察电子射线在磁场作用下变成圆形的装置中, 在电子射线管的两侧, 有两个同轴圆线圈即是亥姆霍兹线圈。用它可提供范围足够大的匀强磁场。

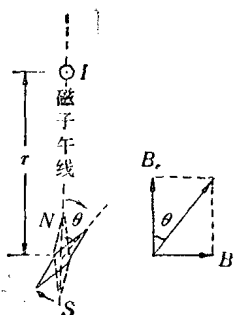


图 1-10

② 地磁场水平强度的测定 如前所述, 在有电流的磁场存在的情况下, 磁针的平衡位置将由该地点的合成磁感应强度的方向所决定, 利用这一点可以测定某地的地磁场的水平分强度 B_h 。

例如, 在一平衡着的小磁针的轴线的延长线上距磁针中

心为 r 处放一竖直方向的直导线, 当在导线上通以电流 I 时, 测得磁针的偏转角 θ , 如图 1-10 所示。由于 B 是可知的,

$$B = k \frac{I}{r}, \text{ 于是}$$

地磁场水平分强度

$$B_0 = \frac{B}{\operatorname{tg} \theta} = \frac{kI}{r} \operatorname{ctg} \theta$$

式中 I 、 r 、 θ 均可用实验方法测得, 因此水平分强度 B_0 可求得。

二、磁场对电流的作用

1. 磁场对直线电流的作用

我们以处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中的一段长度为 l 的通电直导线为例进行讨论。设电流 I 是稳恒的, 把这导线放在这样的位置, 使电流方向恰与磁场方向垂直。根据磁感应强度的定义可知, 长度为 Δl 、电流为 I 的电流元 $I\Delta l$ 所受的磁场力

$$\mathbf{F} = I\Delta l \times \mathbf{B}$$

对于长度为 l 的整段导线所受的磁场力的大小为

$$F = IlB$$

值得注意的是, 所谓导线所受的磁场力实际上是磁场对电流的作用力 (又称安培力)。力 F 的方向跟电流元 $I\Delta l$ 的方向以及磁感应强度 B 的方向都互相垂直。它们三者方向间的关系可用左手定则表示, 即摊开左手, 使四指并拢, 并使大拇指跟其他四指垂直, 如果让磁力线从手心穿入, 四指所指的是电流方向, 则大拇指的指向便是电流所受的安培力 F 的方向, 如图 1-11 所示。

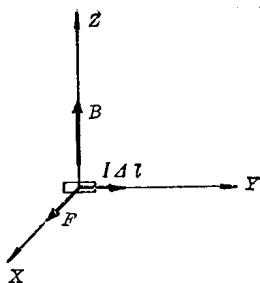


图 1-11

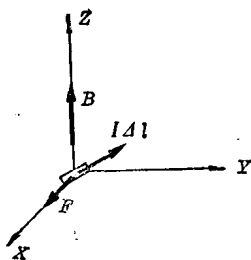


图 1-12

如果导线的初始位置如图 1-12 所示, 即电流元方向与磁场方向成 θ 角, 则安培力 F 的方向虽然仍垂直于 $I\Delta l$ 和 B 所决定的平面, 但 F 的大小将减小。而当 $I\Delta l$ 和 B 平时, 则 $F=0$ 。因此, 用一般式表示, 直线电流所受的安培力大小为

$$F = I l B \sin \theta$$

式中 θ 是电流元 $I\Delta l$ 和磁感应强度 B 的方向夹角。

2. 电流单位——1 安培的定义

电流单位安培, 作为 SI 制的基本单位之一, 是根据磁场

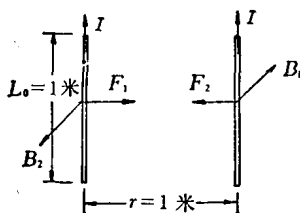


图 1-13

对电流的作用来定义的。在真空中相距 1 米保持平行的两根无限长、直径不计的直导线上, 通以恒定的相等的电流 (图 1-13), 如果由此在导线每 1 米长度上产生的相互作用力等于 2.0×10^{-7} 牛顿, 则导线上的

的电流是 1 安培 (又称绝对安培)。

根据定义规定, 这两根通电导线所处地点的磁感应强度

$$B_1 = B_2 = k \frac{I}{r}$$

$$\text{相互作用力 } F_1 = F_2 = IL_0 \times k \frac{I}{r} = \frac{kL_0}{r} I^2$$

式中 $F_1 = 2.0 \times 10^{-7}$ 牛顿, $L_0 = 1.0$ 米, $r = 1.0$ 米,

所以, 电流

$$I = \sqrt{\frac{F_1 r}{kL_0}} = \sqrt{\frac{2.0 \times 10^{-7} \text{ 牛顿} \times 1.0 \text{ 米}}{2.0 \times 10^{-7} \text{ 牛顿/安培}^2 \times 1.0 \text{ 米}}} = 1.0 \text{ 安培}.$$

3. 磁场对通电线框的作用

(1) 具有对称轴的通电矩形线框在匀强磁场中所受的力偶矩

如图 1-14 所示, 表示通电矩形线框 $abcd$ 从线框平面平行于磁场的位置, 转动到与磁场垂直的位置的过程中, 作用于线框 ab 边和 cd 边的两个同方向的力矩是逐渐变小的。在转动过程中线框的其他边虽然也受到磁场力的作用, 但是它们

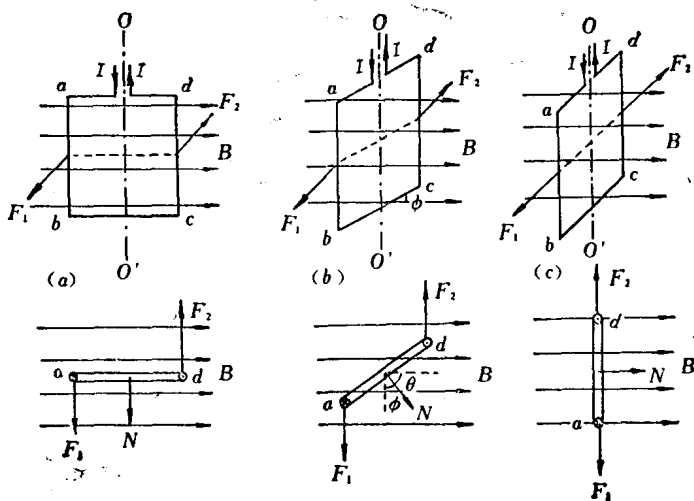


图 1-14