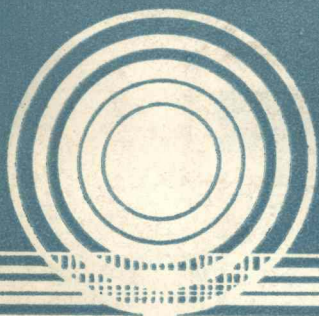


中学生学物理

电磁感应

胡祖德 编 著
张玉文



大连出版社

● 青少年自学文库 ●

ISBN7—80555—406—4/G·127

定价：1.75元

电 磁 感 应

胡祖德 张玉文 编著

大 连 出 版 社

《青少年自学文库》编委会

主 编：崔孟明

副主编：宋志唐 石绍珺 李勃梁

编 委：庄世群 周去难 胡祖德 曹居东

赵学智 赵仲国 李维福

电 磁 感 应

胡祖德 张玉文 编著

大连出版社出版 辽宁省新华书店发行
(大连市西岗区大公街市场南口) 抚顺教育印刷厂印刷

字数：100千 开本：787×1092 1/32 印张：4.875
印数：1—6500

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

责任编辑：许 芹 刘 民

封面设计：克 峻

责任校对：童 娇

ISBN 7-80555-406-4/G·127

定价：1.75元

编者的话

本书的内容基本上是高中阶段的物理知识，部分内容稍有扩展。书中对磁场、电磁感应、交流电、电磁振荡和电磁波、电子技术初步知识的一些问题做了较为深入的讨论。

本书编写的目的在于帮助读者掌握基本概念和基本规律，学会物理学的学习方法，并培养读者运用所学知识解决实际问题的能力。

本书渗透着编者多年的教学经验和体会。可以帮助读者提高学习物理效果。有不当之处，欢迎指正。

目 录

第一章	磁 场	1
第二章	电磁感应	54
第三章	交流电	110
第四章	电磁振荡和电磁波	132
第五章	电子技术初步知识	144

第一章 磁 场

我国最早有关磁石的记载，见于春秋战国时期的《管子·地数篇》，里面有“上有慈石者，其下有铜金”的说法。公元前3世纪的战国时代《吕氏春秋》一书中，就有了“慈石召铁”的记载。

大约在公元前3世纪，我国人民就发现了磁铁指南的特性，并制成了世界上最早的指南工具“司南”。汉代的王充在其所著《论衡》中对“司南”作了较为详细的论述，他说：“司南之杓，投之以地，其祇指南。”

宋代的沈括、曾元亮等人在著作中都记述了人工磁化的各种方法。沈括是最早发现地磁偏角的人，他说：“方家以磁石摩针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也。”对世界文明有重要影响的指南针是我国古代人民的伟大发明。沈括就曾指出了四种指南针的安放方法：水浮法，把针放在水面上；指甲法，把针放在光滑的指甲上；碗唇法，把针放在光滑的碗唇上；丝悬法，以蚕丝缀针腰，悬吊磁针的方法。

我国也是最早把指南针用于航海的。1119年宋代的朱或在《萍洲可谈》中就记载了航海用指南针一事，他



沈括 (1031—1095)

图1-1

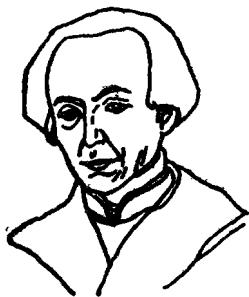
写道，舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”

马克思把指南针、火药和印刷术一起看作是“资产阶级发展的必要前提”。没有指南针，就不会有哥伦布的环球旅行。

磁铁和电流都能够产生磁场。电流的磁场是由电荷的运动形成的。而磁铁的磁场是如何产生的呢？法国学

者安培根据通电螺线管与条形磁铁磁场相似的实验事实和他的电与磁统一的指导思想提出了分子电流假说。安培是在1821年1月前后提出这个假说的，认为每个分子的圆电流形成一个小磁体，并以此作为物体宏观磁性形成的内在依据。随着科学的发展，安培分子电流假说已经得到实验证实，假说上升为理论，我们可以把它称之为安培分子电流理论。这个理论揭示了磁现象的电的本质。它使我们认识到，磁铁的磁场和电流的磁场一样，都是由电荷的运动产生的。这里所说的电荷的运动包括宏观的电荷的运动在内，也就是说带电物体的运动也能产生磁场。此外，当我们在后面学习到英国物理学家麦克斯韦的电磁理论时，还会了解到变化的电场也可以在周围空间产生磁场。

我们知道电荷间的相互作用是通过电场发生的，电场是一种物质。而运动电荷（电流）之间的相互作用是通过磁



哥伦布

(1451—1506)

图1-2

场发生的，磁场也是一种物质。

正象在电场中可以利用电力线来形象的描写各点的电场方向一样，在磁场中可以利用磁力线来形象的描写各点的磁场方向。磁力线是在磁场中画出一些有方向的曲线，在这些曲线上，每一点的曲线方向，亦即该点的切线方向，都跟该点的磁场方向相同。磁力线的特点是：

1. 磁力线上某点的切线方向，表示该点的磁场方向。
2. 磁力线密处磁场强，稀处磁场弱。
3. 两条磁力线绝不会相交。
4. 与电力线不同，磁力线总是闭合的。

磁感应强度 B 是描述磁场强弱的物理量，某点 B 的数值大小表明该点磁场的强弱。磁感应强度 B 的大小决定于产生磁场的电流 I 和该点在磁场中的位置，而与 F 和 IL 无关。所以我们不能说 B 与 F 成正比和 B 与 IL 成反比。

为了用磁力线的疏密来定性的描述磁场的弱或强，人们规定：穿过垂直于磁感应强度方向的单位面积的磁力线条数，等于磁感应强度。若用 ϕ 表示穿过某一面积的磁通量（即穿过某一面积的磁力线的条数），则在匀强磁场的情况有

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

的式子成立。这个式子表明磁感应强度等于单位面积的磁通量，因此常把磁感应强度叫磁通密度，并且用韦/米²作单位。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 特} &= 1 \text{ 韦/米}^2 \\ &= 1 \text{ 牛/安} \cdot \text{米} \end{aligned}$$

通常把通电导线在磁场中受到的作用力叫做安培力。安培力等于导线中的电流强度、导线的长度和磁场的磁感应强度三者的乘积。

$$F = I L B$$

如果电流方向不跟磁场垂直时，我们把磁感应强度 B 分解为与电流方向垂直的分量 B_{\perp} 和与电流方向平行的分量 B_{\parallel} ，分量 B_{\perp} 对电流有作用， B_{\parallel} 对电流无作用。所以，电流方向不跟磁场方向垂直，而跟磁场方向有一夹角 θ ，这时电流受到的安培力是

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

当电流方向跟磁场平行时，安培力是零。上式适用的条件是磁场是均匀的。

安培力的方向用左手定则来判定。当电流方向与磁场方向不垂直时，要把磁感应强度 B 分解为 B_{\perp} B_{\parallel} ，电流方向、 B_{\perp} 方向、安培力方向间的关系符合左手定则。

磁场对运动电荷的作用力叫做洛仑兹力。当电荷在垂直于磁场的方向上运动时，磁场对运动电荷的作用力，等于电荷的电量和速率跟磁感应强度的乘积。即

$$f = qv B$$

公式的适用条件是电荷运动速度方向与磁场方向垂直。若电荷运动方向不垂直于磁场方向，而跟磁场方向有一个夹角 θ ，这时运动电荷受到的洛仑兹力是

$$f = qv B \sin \theta$$

当电荷运动方向与磁场方向平行时，洛仑兹力是零，即电荷不受磁场的作用力。

洛仑兹力的方向用左手定则来判定。当电荷运动方向不

垂直于磁场方向时，可把磁感应强度 B 分解为与电荷运动方向垂直的 B_{\perp} 和平行的 B_{\parallel} ，对运动电荷有作用的是 B_{\perp} ，正电荷运动的方向（相当于电流的方向）， B_{\perp} 的方向和洛仑兹力的方向符合左手定则。

【题1】 一个铜质环形线圈悬挂在水平放置的条形磁铁 N 极附近，线圈平面与磁铁轴线垂直，如图 1-3 所示。当线圈通以图示方向的电流时，线圈将如何运动？试从磁现象的电本质的认识出发，解释此现象。



图 1-3

【答】 线圈将向远离磁铁的左方移动。

【方法指导】 根据安培的分子电流的假说，从宏观上来看，条形磁铁每一个横截面内各分子环流的总和相当于沿截面边缘的一个大的环形电流，整个磁铁就像一个由这种等效大的环形电流组成的通电螺线管，如图 1-4 所示。



图 1-4

由安培定则可以判断这些大环形电流的方向与线圈中通过的电流方向相反。再根据平行电流间通过磁场相互作用时，反向电流相斥的知识，可以断定线圈将如何运动。

【题2】 下列单位中同磁感应强度单位特等效的有：

()

A. $\frac{\text{牛}}{\text{库} \cdot \text{米} / \text{秒}}$;

B. $\frac{\text{牛}}{\text{安} \cdot \text{米}}$;

C. $\frac{\text{伏/米}}{\text{米/秒}}$; D. $\frac{\text{韦}}{\text{米}^2}$.

【答】此题应选A、B、C、D。

【方法指导】由 $B = \frac{F}{Il}$ 可知1特 = $1 \frac{\text{牛}}{\text{安} \cdot \text{米}}$.

由 $B = \frac{\phi}{S}$ 可知, 1特 = $1 \frac{\text{韦}}{\text{米}^2}$. 因1安 = $1 \frac{\text{库}}{\text{秒}}$,

所以1特 = $1 \frac{\text{牛}}{\text{库} \cdot \text{米/秒}}$. 又因 $W = qv$, 可知1焦 = $1 \text{牛} \cdot \text{米}$

= $1 \text{库} \cdot \text{伏}$, 即1特 = $\frac{\text{伏/米}}{\text{米/秒}}$.

【题3】如图1-5所示, 电源电动势为 ε , 内电阻为 r , 竖直导轨上滑接一段质量为 m , 电阻为 R , 长度为 l 的金属导体 PQ , PQ 与导轨间的最大静摩擦力为 f . 为了使导体 PQ 能静止于导轨上, 在导轨平面内加一个方向垂直纸面向里的匀强磁场, 求此磁场感应强度大小的范围. (已知 $f < mg$, 导轨电阻不计)

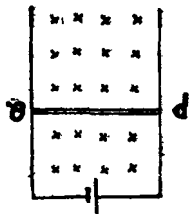


图1-5

【解】使导体 PQ 保持静止, 磁感应强度取最小值 B_{\min} 时, 安培力方向竖直向上, 大小为

$$F = Il B_{\min} \quad \text{①}$$

根据全电路欧姆定律, 式中电流强度

$$I = \frac{e}{R+r} \quad \text{②}$$

此时最大静摩擦力方向竖直向上，根据物体平衡条件有

$$mg = F_1 + f \quad \text{③}$$

由①②③式联立可得

$$B_{\min} = \frac{(mg-f)(R+r)}{el}$$

又使导体 PQ 保持静止，磁感应强度取最大值 B_{\max} 时，安培力方向竖直向上，大小为

$$F_2 = IlB_{\max} \quad \text{④}$$

此时最大静摩擦力方向竖直向下，根据物体平衡条件有

$$F_2 = mg + f \quad \text{⑤}$$

由②④⑤式联立可得

$$B_{\max} = \frac{(mg+f)(R+r)}{el}$$

故可以使导体 PQ 能静止于导轨上，磁感应强度大小的取值范围应是

$$\frac{(mg-f)(R+r)}{el} \leq B \leq \frac{(mg+f)(R+r)}{el}$$

【方法指导】 加上匀强磁场后，通电导体 PQ 受有向上的安培力的作用。导体 PQ 在重力、安培力和静摩擦力作用下处于静止状态。当磁场感应强度是所求范围的最小值时，安培力小于重力， PQ 所受的最大静摩擦力的方向竖直向上；当磁感应强度是所求范围的最大值时，安培力大于重力， PQ 所受的最大静摩擦力的方向竖直向下。根据物体的

平衡条件可以求解此题。

【题4】图1-6所示，轻质细导体 AC ，质量为 $m = 2$ 克，长度 $L = 10$ 厘米，用长为 L 的丝线悬挂后，恰好与水平光滑金属导轨接触，有磁感应强度 $B = 0.4$ 特方向竖直向下的匀强磁场通过导轨平面。如闭合开关时导体 AC 向右摆动，最

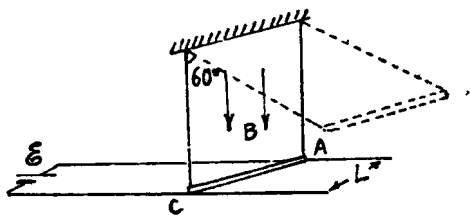


图1-6

大偏角达 60° ，问接通开关的短时间内有多少电量通过导体 AC 。（ g 取 10 米/秒²）

【解】 根据机械能守恒定律

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgl(1 - \cos 60^\circ) \quad (1)$$

由①式求出导体 AC 在摆动开始时的速度

$$V = \sqrt{gl} \quad (2)$$

根据动量定理有

$$Ft = mv \quad (3)$$

在上式中的安培力 F 为

$$F = IlB \quad (4)$$

又根据电流强度的定义式

$$I = \frac{Q}{t} \quad (5)$$

由②③④⑤式联立

$$\begin{aligned}
 Q &= I t \\
 &= \frac{F}{l B} \cdot t \\
 &= \frac{m v}{l B t} \cdot t \\
 &= \frac{m}{l B} \cdot \sqrt{g l} \\
 &= 0.05 \text{库}
 \end{aligned}$$

【方法指导】 导体 AC 在通电的短瞬间，受有磁场作用的安培力。安培力的冲量使导体 AC 获得动量和动能。导体 AC 摆动升高，动能又转化为势能。根据动量定理和机械能守恒定律可以列出两个方程。再结合电流强度的定义式

$I = \frac{Q}{t}$ ，就可以求出通过导体 AC 的电量。要注意到导体 AC 通电的时间和安培力作用于导体 AC 的时间相同。

【题5】 如图1-7所示，斜面上有一长10厘米质量为250克的木制圆柱，在圆柱上沿直径方向顺着圆柱体绕有10匝矩形线圈，斜面与水平面成 30° 角，整个装置处在方向竖直向上的磁感应强度 $B = 0.4$ 特的匀强磁场中，当线圈的平面与斜面的夹角成 30° 角时，线圈中至少需要通过多大的电流才能使圆柱体不向下滚动？（ g 取10米/秒²）

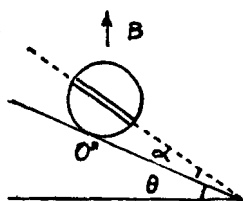


图1-7

【解】 以 O' 点为轴，作用在圆柱体上正的力矩为

$$M_1 = F \cdot 2R \cdot \sin(\alpha + \theta) \quad ①$$

作用在圆柱体上负的力矩为

$$M_2 = mg \cdot R \cdot \sin \alpha \quad ②$$

根据有固定转动轴的物体的平衡条件有

$$M_1 - M_2 = 0 \quad ③$$

又①式中安培力 F 为

$$F = nI l B \quad ④$$

由①②③④式联立可得

$$\begin{aligned} I &= \frac{mg \cdot \sin \alpha}{2nBl \sin(\alpha + \theta)} \\ &= \frac{0.25 \times 10 \times 0.5}{2 \times 10 \times 0.4 \times 0.1 \times 0.866} \text{ 安} \\ &= 1.8 \text{ 安} \end{aligned}$$

为使圆柱体不向下滚动，线圈中最少需通过的电流强度为1.8安。若电流强度大于1.8安，圆柱体将开始绕 O' 点的轴向上滚动。

【方法指导】 如图 1-8

所示，若圆柱不向下滚动，保持平衡，以 O' 点为轴，正的力矩为安培力 F 的力偶矩，负的力矩是重力的力矩。弹力 N 和摩擦力 f 皆过 O' 点，因而可以不考虑。根据有固定转动轴的物体的平衡条件可以列出方程解题。

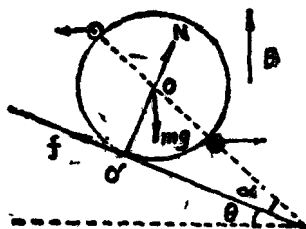


图1-8

【题6】 如图1-9所示，两根光滑金属的轨道置于同一

水平面上，相互距离 $d = 0.1$ 米，质量为 3 克的金属均匀细棒置于轨道一端，跨在两根轨道上，匀强磁场方向垂直于轨道平面上，磁感应强度 $B = 0.1$ 特，轨道平面距地面高 $L = 0.6$ 米。当接通电键 K 的瞬间，金属棒由于受到磁场力冲量作用被水平抛出，落地点距抛出点的水平距离 $S = 2$ 米。接通 K 瞬间，金属棒上通过的电量。

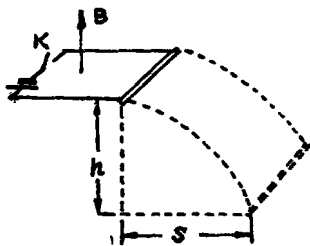


图1-9

(g 取 10 米/秒 2)

【解】棒被抛出做平抛运动，其飞行时间为 t ，根据公式有

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$= 0.4 \text{ 秒}$$

棒做平抛运动的初速度

$$v = \frac{S}{t}$$

$$= 5 \text{ 米/秒}$$

根据动量定理有

$$F \cdot \Delta t = mv \quad \text{①}$$

式中安培力的大小

$$F = IdB \quad \text{②}$$

通过棒的电量（在通电的 Δt 瞬间）

$$q = I \cdot \Delta t \quad \text{③}$$