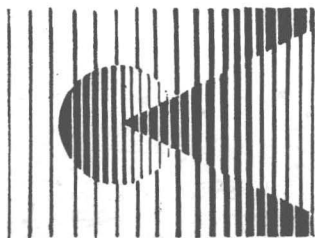


初中教师进修用书

电 磁 学

林 典 要 编

山 东 教 育 出 版 社



初中教师进修用书

电 磁 学

林典要 编

山东教育出版社

初中教师进修用书

电 磁 学

林典要 编

*

山东教育出版社出版

(济南经九路胜利大街)

山东省新华书店发行 山东新华印刷厂潍坊厂印刷

*

787×1092 毫米 32 开本 19.5 印张 2 插页 416 千字

1986 年 2 月第 1 版 1986 年 2 月第 1 次印刷

印数 1—1,000

书号 13275·29 定价 2.65 元

内 容 提 要

本书是初中教师进修用书之一。书中系统地讲述了电学与磁学的基本理论和应用，内容包括静电场的基本规律、导体和电介质、稳恒电流、稳恒电流的磁场、电磁感应、磁介质、电磁场和电磁波等。其基本内容符合高师专科教学大纲的要求，加上标有 * 号的选学内容则符合高师本科教学大纲的要求。

本书除供初中教师进修之外，也可作为高等师范院校物理专业的教学参考书。

出版说明

《初中教师进修用书》是为了适应培训教师的需要，由华东地区上海、山东、江苏、安徽、浙江、江西、福建等六省一市八家出版社协作组织编写出版的。目的是供在职初中教师业余进修，帮助他们系统地学习和掌握有关专业的基础理论、基本知识和基本技能，提高文化水平和教学能力，以便在一定时间内通过考核达到两年制高等师范专科学校毕业的水平。

这套用书，目前先出语文、数学两个学科，共十九种，以后将逐步扩大到其他学科。编写当中，在坚持四项基本原则，坚持思想性和科学性相统一的前提下，注意了以下几个方面：

一、根据教育部制订的高等师范专科学校教学大纲的要求，确定各册内容的深度和广度，既体现各学科知识的系统性，又力求作到简明、精炼，避免繁琐。

二、以提高教师科学文化水平为主，适当联系中学教材和教学实际，把提高知识水平和提高教学能力结合起来，达到学以致用目的。

三、从初中教师的实际水平出发，循序渐进，逐步提高要求，重视讲清学习中的难点和疑点，文字力求浅显易懂，并根据自学或函授的需要，配置必要的提示、注释、思考题和提供参考书目等学习辅助材料。

协作编写教师进修用书，尚属初次尝试。我们将在实践过程中广泛听取读者的意见和建议，努力提高书籍质量，使它更好地适合教学进修的需要。

目 录

第一章 静电场的基本规律	1
§ 1.1 物质的电结构	1
§ 1.2 库仑定律	4
§ 1.3 电场强度矢量	12
§ 1.4 电场强度矢量计算实例	20
§ 1.5 电力线和电通量	30
§ 1.6 高斯定理及其应用	35
§ 1.7 电势能	48
§ 1.8 电势及其计算方法	57
§ 1.9 等势面	67
§ 1.10 电势与电场强度的关系	69
§ 1.11 外电场中的电偶极子	73
本章提要	75
习题	76
第二章 导体和电介质	85
§ 2.1 导体静电平衡的条件	85
§ 2.2 电荷在导体上的分布	88
§ 2.3 导体表面的电荷分布	92
§ 2.4 静电屏蔽	98
§ 2.5 静电起电机	101
§ 2.6 几种常用的静电仪器	105
§ 2.7 导体的电容 电容器	108

§ 2·8	电容器的联接	115
§ 2·9	电介质的极化	122
§ 2·10	极化强度矢量	127
§ 2·11	特殊情况下电介质中电场强度的计算	132
§ 2·12	电位移矢量 电介质存在时的高斯定理	135
§ 2·13	静电场方程 边界条件	142
§ 2·14	电容器的能量 电场能	147
*§ 2·15	带电系统的静电能	152
本章提要		159
习题		161
第三章 稳恒电流		173
§ 3·1	电流 电流强度 电流密度矢量	173
§ 3·2	一段均匀电路的欧姆定律	180
§ 3·3	电功和电功率 焦耳定律	188
§ 3·4	金属导电的经典电子论	193
§ 3·5	电阻的联接	198
§ 3·6	电源 电动势	204
§ 3·7	闭合电路欧姆定律	210
§ 3·8	简单电路	219
§ 3·9	电流表、电压表和欧姆表	229
§ 3·10	复杂电路 基尔霍夫定律	235
§ 3·11	基尔霍夫定律的应用	245
§ 3·12	温差电现象	250
§ 3·13	液体中的电流	257
§ 3·14	气体导电现象	262
§ 3·15	热电子发射	265
本章提要		266
习题		269

第四章 稳恒电流的磁场	282
§ 4·1 基本磁现象	282
§ 4·2 磁感应强度矢量	286
§ 4·3 毕奥-萨伐尔定律	289
§ 4·4 磁感应线 磁通量 磁场中的高斯定理	304
§ 4·5 安培环路定理	310
§ 4·6 磁场对电流的作用力	320
§ 4·7 磁场对载流线圈的作用	325
§ 4·8 运动电荷的磁场	331
§ 4·9 运动电荷在磁场中所受的力	335
§ 4·10 带电粒子在电磁场中的运动	339
*§ 4·11 磁感应强度 B 的几种定义	359
本章提要	362
习题	366
第五章 电磁感应和暂态过程	385
§ 5·1 电磁感应现象	385
§ 5·2 楞次定律	389
§ 5·3 法拉第电磁感应定律	392
§ 5·4 动生电动势 交流发电机原理	400
§ 5·5 感生电动势 电子感应加速器原理	411
§ 5·6 自感	421
§ 5·7 互感	429
§ 5·8 涡流 趋肤效应	436
§ 5·9 暂态过程 似稳电流	440
§ 5·10 RL 电路的暂态过程	442
§ 5·11 RC 电路的暂态过程	449
§ 5·12 RLC 电路的暂态过程	453
§ 5·13 灵敏电流计和冲击电流计	462

§ 5.14 磁能	469
本章提要	473
习题	478
第六章 磁介质	497
§ 6.1 磁介质	497
§ 6.2 磁介质的磁化	501
§ 6.3 磁化强度矢量	505
§ 6.4 磁场强度矢量 磁介质存在时的安培环路定 理和高斯定理	511
§ 6.5 边界条件	522
§ 6.6 铁磁介质	526
* § 6.7 磁感应强度矢量和磁场强度矢量的物理意义	536
§ 6.8 磁路及其计算	544
§ 6.9 磁场的能量	552
本章提要	558
习题	562
第七章 电磁场和电磁波	574
§ 7.1 麦克斯韦方程组	574
§ 7.2 电磁波	582
§ 7.3 电磁波的获得	586
§ 7.4 电磁波的能流密度和动量	591
本章提要	596
习题	597
习题答案	600
附录 电磁学单位换算表	

第一章 静电场的基本规律

本章将从静止电荷间的相互作用出发引入静电场，着重讲述用以描写静电场的两个基本概念——电场强度矢量和电势，及它们间的联系，讲述电场强度和电势的基本计算方法，并在此基础上，总结出静电场的基本规律，为后几章的学习打好基础。

§ 1.1 物质的电结构

一、物质的电结构

一根用毛皮摩擦过的胶木棒或一根用丝绸摩擦过的玻璃棒，都能吸引轻小的物体，我们就说这些棒上带了电。实验证明，物体带的电有两种，且仅有两种——正电和负电，用毛皮摩擦过的胶木棒上带的是负电，而用丝绸摩擦过的玻璃棒上带的是正电。实验还证明，带有同种电的物体彼此排斥，带有异种电的物体互相吸引；同种电放在一起互相增强，异种电放在一起互相抵消；并且正、负电荷总是同时产生的。例如，当被毛皮摩擦过的胶木棒带有负电时，毛皮上必然带正电；而当被丝绸摩擦过的玻璃棒上带正电时，丝绸上必然带负电。那么电究竟是什么呢？这就要从物质的电结构说起。

本世纪初，通过一系列科学实验和理论工作证明：构成

物质的各种元素的原子都是由带负电的电子和带正电的原子核组成的。电子的质量等于 9.1×10^{-31} 千克，电量等于 1.6×10^{-19} 库仑。原子核是由带正电的质子和中性的中子组成的。质子的质量等于 1.672×10^{-27} 千克，电量与电子电量的数值相同，但符号相反。中子的质量等于 1.675×10^{-27} 千克。在正常状态下，原子中的质子数与电子数相同，由于异种电的抵消作用，因而整个原子呈现中性状态，不显电性。

总之，一切物质都是由电子、质子、中子等基本粒子组成的，而且这些粒子都带有电*，它们之间存在着电的相互作用。所谓物质的电结构，就是说，一切物质都是由相互作用着的带电的基本粒子组成的。前面提到的摩擦起电过程，只不过是带电粒子（通常是电子）从一个物体转移到另一个物体的过程，即正、负带电粒子分离的过程。例如，胶木棒与毛皮摩擦时，电子从毛皮转移到胶木棒上，所以胶木棒带负电，而毛皮因失去电子而带正电。应该指出的是，在摩擦起电的（正、负电的分离）过程中，外力一定要克服异号电荷间的吸引力做功，将其他形式的能量转变成电能。

在力学中，我们已经知道，一切物质之间存在着万有引力的作用，万有引力是一切物质具有的基本属性。同样，组成物质的基本粒子都存在着电力的相互作用，因此，电的相互作用（即电力）也是物质的一种固有的基本属性。

二、电量 电量的单位

在力学中，我们用质量表示物体与其他物体间的万有引

* 中子虽然不带电，但在核反应中，一个中子往往转化为一个质子和一个电子。

力作用的量度。一个物体的质量越大，则作用在其他物体上的引力也越大。与此类似，在电学中，我们用电量来表示一个带电体与其他带电体间电力作用的量度。实验证明，一个带电体的电量越大，则作用在其他带电体上的电力也越大。

电量的单位由采用的单位制决定。本书采用国际单位制（记作 SI）。电磁学在这单位制中有四个基本量：长度、质量、时间和电流强度，其中长度以米（m）为单位，质量以千克（kg）为单位，时间以秒（s）为单位，电流强度以安培（A）为单位（见 § 4.6），所以，这种单位制也叫做 MKSA 单位制，其他各物理量的单位都可以从这四个基本单位导出。在 MKSA 单位制中，电量的单位是库仑，库仑的定义是：如果导线中载有 1 安培的稳恒电流，则在 1 秒内通过导线横截面的电量为 1 库仑，即

$$1 \text{ 库仑} = 1 \text{ 安培} \cdot \text{秒}$$

由于 MKSA 单位制中有长度（L）、质量（M）、时间（T）、电流强度（I）四个基本量，因而任何一个电磁学中的物理量 x 的量纲式都可以写成如下形式：

$$[x] = L^p M^q T^r I^n$$

指数 p 、 q 、 r 、 n 为量纲。电量 q 的量纲式为

$$[q] = T^1 I^1$$

在电磁学中还经常用到“电荷”这个名词，所谓电荷即电的负荷者。由于当初人们对物质的电结构认识不清，因而认为带正电的物体上具有“正电荷”，而带负电的物体上具有“负电荷”。事实上，由物体的电结构可知，电的负荷者就是物质本身，如电子、质子等，并不存在另外的正、负电荷。但是，由于历史的原因，目前在习惯上已把电荷当作了电量，

或者是带电体本身。

另外，根据物质的电结构知，在一个与外界没有电量交换的系统内，正负电量的代数和在任何物理过程中始终保持不变，这叫做电荷（量）守恒定律，是物理学的重要规律之一。

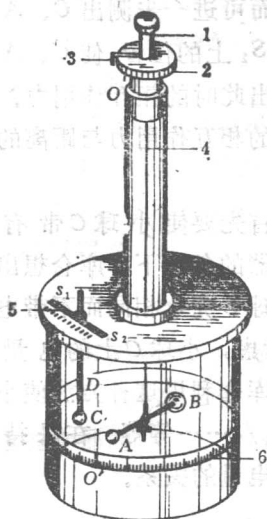
§ 1.2 库 仑 定 律

一、扭秤实验

电荷之间的相互作用力与什么有关系呢？实验结果表明，这个力与电荷的电量有关，与它们的形状以及相对位置有关，一般情况下是比较复杂的。为了方便起见，我们先研究点电荷间的相互作用力。

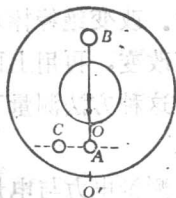
所谓点电荷，就是满足下列条件的带电体，即它们之间的距离比起它们本身的线度大得多，以至它们的形状对力的影响微弱到可以忽略不计的程度。因此，点电荷的概念是相对的，一个带电体能否看作是点电荷，要从问题的具体情况来分析，这正好象力学中质点的概念一样。

1785年，法国物理学家库仑用实验总结出了点电荷之间相互作用力的规律，即库仑定律。他主要的实验是“扭秤实验”，其实验用的仪器结构，如图1.1所示（为说明方便，扭秤结构已适当改动）。一根银制的悬丝4的上端固定在带有指针3的秤头1上。当秤头和指针扭转时，通过指针和秤头下面的刻度2可读出秤头（即悬丝）转过的角度。悬丝的下端挂一绝缘横杆，杆的一端有一导体小球A，另一端有一平衡物B。通过直缝 S_1S_2 可将一个固定在绝缘棒D上的导体小

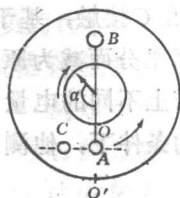


1. 秤头 2. 刻度 3. 指针
4. 悬丝 5. 直缝 S_1S_2 6. 外壳刻度

图 1.1



(a)



(b)

图 1.2

球 C 放在 A 的旁边，并使 A 、 B 、 C 在同一水平面内。当 A 和 C 都不带电时，秤头的指针 3 正好指在刻度为零的位置〔图 1.2(a) 中的 O 〕，而横杆 AB 的方向也正好对着扭秤外壳上刻度为零的位置〔图 1.2(a) 中的 O' 〕。直缝 s_1s_2 与 OO' 垂直， C 、 A 之间的距离可以从直缝 S_1S_2 边上的直尺读出。库仑扭秤的测量原理是，令 C 、 A 带同号电荷， A 便因受 C 的斥力而扭转，从上面看下去是沿逆时针方向转动的。我们沿顺时针方向转动秤头，从而使悬丝上端沿顺时针方向扭转，直到使横杆仍指刻度为零时为止，如图 1.2(b) 所示。由图 1.2 的 (b) 与 (a) 相比较可知，秤头转过的角度 α 就是悬丝扭转的角

度。通过转角 α 测出扭转力矩，从而可进一步测出 C 、 A 之间的电力。改变绝缘棒 D 在直缝 S_1S_2 上的位置，使 C 、 A 之间的距离改变，再用上面的方法测出此时的相互作用力。库仑就是用这种方法测量了电荷之间的相互作用力与距离的关系。

为了测量电力与电量的关系，首先要使小球 C 带有不同的电量。在当时尚无测量电量仪器的条件下，库仑想出了一个巧妙的方法。他用一个与导体球 C 完全相同而不带电的小球 C' 和 C 接触，基于对称性的考虑，小球 C 上的电量将被 C 、 C' 平分而减为原来的一半。库仑利用这种方法使小球 C 分别带上不同的电量 q_c 、 $q_c/2$ 、 $q_c/4$ ……等等。在保持距离不变的条件下，他测量了电力与电量的关系。

二、库仑定律

库仑定律可叙述如下：在真空中，电量分别为 q_1 和 q_2 的两个点电荷之间的相互作用力的方向沿着这两个点电荷的连线，同号相斥，异号相吸；作用力的大小与两个点电荷的电量 q_1 和 q_2 的相乘积成正比，与两个电荷之间的距离 r 的平方成反比，即

$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

式中 k 是比例系数，它的数值和量纲取决于单位制的选择。(1)式只能给出力的大小，不能给出力的方向。

如果用 $\mathbf{A}$ 表示一个矢量，用 a 表示它的大小，则 $\mathbf{A}/a$ 就表示在矢量 $\mathbf{A}$ 方向上大小等于 1 的一个矢量，叫做单位矢量，以 $\mathbf{A}^\circ$ 表示。因此，任何一个矢量都可以用它的大小与它的

单位矢量相乘积来表示, 即

$$\mathbf{A} = a\mathbf{A}^\circ \quad (2)$$

如图 1.3 所示。



为了将库仑定律写成矢量形式, 设 $\mathbf{f}_{12}$ 表示电荷 q_1 对电荷 q_2 的

$$\mathbf{A} = a\mathbf{A}^\circ$$

图 1.3

作用力, $\mathbf{r}_{12}$ 表示从电荷 q_1 指向电荷 q_2 的单位矢量, 则库仑定律可以写成

$$\mathbf{f}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \mathbf{r}_{12} \quad (3)$$

如果把 q_1 和 q_2 当作是可正可负的代数值, 即正电荷取正值, 负电荷取负值, 那么(3)式就能完整地表达库仑定律的全部内容 (即力的大小和方向)。例如 q_1 和 q_2 同号时, $q_1 q_2 > 0$, $\mathbf{f}_{12}$ 与 $\mathbf{r}_{12}$ 同方向, 表示 q_1 对 q_2 的力是斥力; 当 q_1 和 q_2 异号时, $\mathbf{f}_{12}$ 与 $\mathbf{r}_{12}$ 反向, 表示 q_1 对 q_2 的力是吸力。如图 1.4 所示。

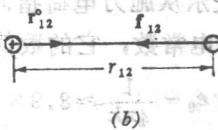
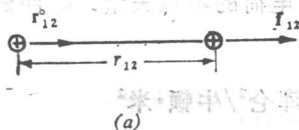


图 1.4

同理, 我们可以把 q_2 对 q_1 的作用力写成

$$\mathbf{f}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \mathbf{r}_{21} \quad (3a)$$

式中 $\mathbf{r}_{21}$ 表示从 q_2 指向 q_1 的单位矢量, 因为 $\mathbf{r}_{12} = -\mathbf{r}_{21}$, 所以 $\mathbf{f}_{12} = -\mathbf{f}_{21}$ 。

三、系数 k 的确定

在 MKSA 单位制中，我们可以直接从实验来确定 k 的数值。例如，将两个已知电量（以库仑为单位）的电荷，相隔一定的距离（以米为单位）放置，然后测出它们之间的作用力（以牛顿为单位），代入(1)式便可求出 k 。实验的结果表明，

$$k = 9.0 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库仑}^2$$

可见， k 是有单位和量纲的，这一点和万有引力常数 G 相似，

为了使今后推导出的一些公式从形式上看比较合理，常把 k 用一个新的常数 ϵ_0 来代替，并令

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

于是，库仑定律改写成

$$\mathbf{f} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}^\circ \quad (4)$$

式中 $\mathbf{r}^\circ$ 表示从施力电荷指向受力电荷的单位矢量。 ϵ_0 叫做真空中的介电常数，它的数值为

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} \approx 8.9 \times 10^{-12} \text{ 库仑}^2 / \text{牛顿} \cdot \text{米}^2$$

其量纲是

$$[\epsilon_0] = L^{-3} M^{-1} T^4 I^2$$

在电磁学中，除了采用 MKSA 单位制外，还可采用高斯单位制。高斯单位制是由力学中的厘米·克·秒制 (CGS 单位制) 发展而成的。在高斯单位制中，电量的单位叫做静库，它是这样规定的：将两个带有相等电量的点电荷（注意，这里只要求两个点电荷的电量一般多），放在真空中相距为 1 厘米，而斥力恰为 1 达因时，则每一个点电荷所带的电量就