

高等学校教材

普通物理学

(1982年修订本)

程守洙 江之永 编

朱咏春等修订

人民教育出版社

高等学校教材

普通物理学

第二册

(1982年修订本)

程守洙 江之永 编

朱泳春 等修订

人民教育出版社

本书是以第二版为基础，参考 1980 年教学大纲(200 学时)进行修订的。修订本保存了第二版的风格，吸取了第三版的某些优点。增加了例题，配了习题，统一采用国际单位制。

修订时注意到打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学几个方面，并且适当控制了篇幅。全书讲授(包括习题课)约为 140 学时。

全书分三册。第一册包括力学、机械振动和机械波、热学，第二册包括电学，第三册包括光学和近代物理学基础。

第二册经恽瑛、胡迪炳、郭永江、顾梅玲开会审查。王志符、李椿作了复审并参加了审后的修订工作。

本书可作工科院校、电视大学普通物理课程的教材。

责任编辑：汤发宇。

高等学校教材

普通物理学

第二册

(1982 年修订本)

程守洙 江之永 编

朱泳春 等修订

*

人民教育出版社出版

四川省新华书店重庆发行所发行

重庆新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 8.75 字数 211,000

1961 年 8 月第 1 版 1982 年 10 月第 4 版 1983 年 2 月第 1 次印刷

印数 00,001—294,000

书号 13012·0807 定价 0.67 元

第一、二版序言摘录

本书 1961 年第一版为上海市高等工业学校物理学编写组编。编写时，注意到学习和吸收兄弟院校的经验，并从西安交通大学、浙江大学的教材中采用了某些章节的全部内容。在定稿过程中，清华大学、北京矿业学院、南京工学院、浙江大学、西安交通大学、西安冶金学院各物理教研组的同志协助作了进一步的修改和润饰。

1964 年第二版，是在第一版的基础上根据 1962 年高等工业学校普通物理学教学大纲（试行草案）改编的，是高等工业学校五年制各专业的普通物理课程的教材。讲授学时约为 120。第二版与第一版相比，内容变动较大，不少章节是完全改写过的，基础理论加强了，例题和插图增加了，对第一版中某些要求过高或偏重具体技术应用的部分作了压缩或删减，全书篇幅比第一版减少了三分之一。

参加第二版改编工作的有上海交通大学程守洙、朱咏春、胡盘新，同济大学江之永、魏墨鑫，华东化工学院黄德昭，华东纺织工学院汤毓骏。

第二册 目录

第四篇 电 学

第九章 静电场	1
§ 9-1 电荷 电场	2
§ 9-2 库仑定律 电介质的影响	5
§ 9-3 电场强度 电力线	9
§ 9-4 电位移 电通量 高斯定理	21
§ 9-5 电场力的功 电势	34
§ 9-6 电场强度与电势梯度的关系	44
习题	46
第十章 静电场中的导体和电介质	53
§ 10-1 电场中的导体	53
§ 10-2 电场中的电介质 电介质的极化	59
* § 10-3 电介质的损耗和击穿	62
* § 10-4 变电体 压电现象	64
§ 10-5 电容 电容器	64
§ 10-6 电场的能量	72
习题	75
第十一章 稳恒电流	83
§ 11-1 稳恒电流 电流密度	83
§ 11-2 一段电路的欧姆定律及其微分形式	88
§ 11-3 电流的功和功率 焦耳-楞次定律及其微分形式	92
§ 11-4 电动势 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律	94
* § 11-5 基尔霍夫定律及其应用	100
§ 11-6 金属导电的经典电子论的基本概念	102
§ 11-7 电子的逸出功	105
* § 11-8 接触电势差	107

* § 11-9	温差电现象及其应用	108
* § 11-10	气体中的电流 被激放电和自激放电	111
	习题	113
第十二章	电流的磁场	119
§ 12-1	基本磁现象	119
§ 12-2	磁场 磁感应强度 磁力线 磁通量	122
§ 12-3	毕奥-萨伐尔定律	128
§ 12-4	磁场强度 安培环路定律	138
§ 12-5	运动电荷的磁场	147
	习题	149
第十三章	磁场对电流的作用	155
§ 13-1	磁场对载流导线的作用力 安培定律	155
§ 13-2	磁场对载流线圈的作用	157
§ 13-3	载流导线或载流线圈在磁场内改变位置时磁力所作的功	161
§ 13-4	平行电流间的相互作用力 电流单位“安培”的定义	164
§ 13-5	运动电荷在磁场中所受的力——洛伦兹力	166
§ 13-6	带电粒子在电场或磁场中的运动 *电子射线管 *回旋加速器	168
* § 13-7	离子荷质比的测定 质谱仪	178
§ 13-8	霍耳效应	180
	习题	183
第十四章	电磁感应	191
§ 14-1	电磁感应的基本定律	191
§ 14-2	在磁场中运动的导线内的感应电动势	195
§ 14-3	在磁场中转动的线圈内的感应电动势和感应电流	199
§ 14-4	涡旋电场	201
§ 14-5	涡电流	204
§ 14-6	自感应	205
§ 14-7	互感应	209
§ 14-8	磁场能量	212
	习题	217

第十五章 物质的磁性	223
§ 15-1 磁介质 磁化强度.....	223
* § 15-2 磁感应强度、磁场强度、磁化强度之间的关系式.....	227
§ 15-3 铁磁质.....	229
习题.....	235
第十六章 电磁场理论的基本概念 电磁振荡 电磁波	237
§ 16-1 麦克斯韦电磁场理论的基本概念.....	237
§ 16-2 电磁波的辐射和传播.....	243
§ 16-3 振荡电路 赫兹实验.....	249
§ 16-4 电磁波谱.....	259
习题.....	262
习题答案	266

注 目录中标有星号 * 的章节和正文中小字部分, 是供选择的内容.

第四篇 电 学

电学的知识范围很广，它研究电磁现象的有关规律，主要是电磁场的规律以及物质的电学性质与磁学性质。电学与生产技术的关系十分密切。原因有以下几点：第一，电能便于转换为其他形式的能量，如机械能、热能、光能、化学能等；第二，电能便于远距离输送，而且电机和电气器械的效率一般都很高；第三，电磁波在空中传播，能在极短时间内把信号传送到远方；第四，电气测量仪表和调节、控制仪表具有很高的灵敏度。电工学、电化学、无线电工学及晚近所发展的遥控和自动控制学、电视学、固态电子学等，都以电学的研究为基础。

电学的研究，在理论方面也很为重要。人们对于物质各种性能的认识，就以物质的电结构为基础。在分子和原子等微观领域中，电磁力起着主要作用，有许多现象粗看起来好象与电学并无关系，例如固体和液体的弹性、金属的导热性、光学中的折射率等等，却都可以从物质的电结构得到解释。可见，电磁学理论在现代物理学中占有重要地位。

第九章 静 电 场

本章及下章是静电学内容。静电学主要研究静止电荷所产生的静电场的基本性质和规律，还研究静电场与导体和电介质(绝缘体)的相互作用、相互影响，研究导体和电介质的静电特性等。

在本章中，将先后从电场对电荷作用的电场力和电荷在电场

中移动时电场力对电荷做功这两个方面，引入电场强度和电势这两个描述电场特性的重要物理量；说明反映静电场基本性质的规律：场强叠加原理、高斯定理和场强环流定律，并讨论场强和电势两者之间的关系。

在下章中，主要从导体和电介质的电结构特征出发，介绍导体和电介质在静电平衡状态下的特性。电容是导体的重要性质。电容器又是电工及电子设备中的基本元件之一。导体和电容器的带电过程，都是静电场建立的过程。有关电容器的电容、能量及电场能量也是静电学的重点内容之一。

§9-1 电荷 电场

电荷 两个不同材料的物体，例如丝绢和玻璃棒，互相摩擦后，都能吸引羽毛、纸片等轻微物体。这时，我们说这两个物体已处于带电状态，分别带了电（或带了电荷）。处于这种状态的物体称为带电体。实验证明，物体所带的电有两种，而且只有两种，称为正电和负电。带同号电的物体互相排斥，带异号电的物体互相吸引。这种相互作用称为电力。电力与万有引力有些相似，但万有引力总是相互吸引的，而电力却随异号电或同号电而有吸引与排斥之分。根据带电体之间的相互作用力的大小，我们能够确定物体所带电荷的多寡。表示物体所带电荷多寡程度的物理量称为电量。

电场 关于电荷或带电体之间的相互作用是怎样进行的问题，原有不同的看法。在很长一个时期内，人们认为带电体之间的作用是“超距”作用，也就是说，一个带电体所受到的电力是由另一带电体直接给予的。这种作用既不需要中间物质进行传递，也不需要时间，而是从一个带电体立即到达另一个带电体，可用下式表示：

电荷 $\longleftrightarrow$ 电荷

到了上世纪,法拉第提出新的观点,认为在带电体周围存在着电场,其他带电体所受到的电力(即电场力)是由电场给予的。这种作用可表示如下:

电荷 $\longleftrightarrow$ 场 $\longleftrightarrow$ 电荷

近代物理学证明后一种看法是正确的。

场与分子、原子等所组成的实物一样,也具有能量、动量和质量。所以,场也是物质的一种形态。

相对于观察者为静止的带电体周围所存在的场,称为静电场。静电场的对外表现主要有:

- (1) 引入电场中的任何带电体都将受到电场所作用的力;
- (2) 电场能使引入电场中的导体或电介质分别产生静电感应现象或极化现象;
- (3) 当带电体在电场中移动时,电场所作用的力将对带电体做功,这表示电场具有能量。

电荷守恒定律(或称电量守恒定律) 下述各种事实,可以帮助我们了解电荷的本质。把负电荷逐渐加到一个原来带正电的物体上去时,物体所带的正电荷先是逐渐减少,以至完全失去,只有在完全失去正电荷之后,这物体才开始显出带负电的性质。反之,一个原来带负电的物体,也必须在负电荷逐渐减少以至完全失去之后,才能带上正电。由此可见,异号电荷可以互相中和。其他现象,如摩擦起电时,原来两个不带电的物体,经过摩擦后都带了电,而且总是一个带正电,另一个带数量相等的负电。又如在静电感应中,正的感生电荷和负的感生电荷也总是同时产生,而且在数量上总是相等的。因此可以推想:在不带电的物体中,也总是有等量的正、负电荷同时存在,互相中和;要使物体带正电或负电,就是使物体所带的正电或负电超过中和时的数量,这种超过中和数量的电荷可称

为过剩电荷或净电荷。由以上种种事实,可总结出如下结论:电荷只能够从一物体转移到另一物体,或者从物体的一部分转移到另一部分。但电荷既不能被创造,也不能被消灭。这个结论称为电荷守恒定律。这个定律也可叙述如下:在一孤立系统内,无论发生怎样的物理过程,该系统电量的代数和总保持不变。所以又称为电量守恒定律。电荷守恒定律是物理学中基本定律之一。

物质电结构理论的提出及证实,使人们进一步认识电荷的本质:正负电荷是每个原子的组成部分。常见的宏观物体(实物)都由分子、原子所组成;任何化学元素的原子,都含有带正电的原子核,和一定数目的绕核运动的带负电的电子。据测定,电子电量的绝对值为 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{C}$, 质量为 $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg}$, 半径的数量级为 10^{-15}m 。原子核中含有质子和中子。质子带正电,其量值和电子的负电相等,中子不带电。在正常状态下,原子核外围的电子数目,等于原子核内的质子数目,所以原子呈现中性。这样,整个宏观物体也呈中性。如果原子或分子由于外来原因而失去一个或若干个电子,就会成为带正电的正离子。反之,如果原子或分子从外界获得一个或若干个电子,就成为带负电的负离子。同样,如果在一定的外因作用下,宏观物体(或其中的一部分)得到或失去一定数量的电子,使电子的总数和质子的总数不再相等,物体就呈现电性。物质的电结构理论,能够说明静电感应、电介质极化、各种物质的导电性、磁性等许多电现象和磁现象。

根据电荷守恒定律,可以知道,电荷不能被创造或消灭,而只能被转移(分离或中和)。当分离正负电荷而建立电场时,外界必须做功,付出能量。这部分能量最后转变为正、负电荷周围电场的能量。当正负电荷中和时,电场以及电场的能量都将随之消失。这时,电场能量转换为其他形式的能量。这都是符合能量守恒和转换定律的。

到目前为止的所有实验表明，电子是自然界具有最小电量的粒子，所有带电体或其他微观粒子的电量都是电子电量的整数倍。这个事实说明，物体所带的电荷不是以连续方式出现的，而是以一个个不连续的量值出现的。这称为电荷的量子化。电荷的最小单元（即电子电量的绝对值 e ）是如此之小，以致使电的量子性在研究宏观现象的绝大多数实验中不表现出来。

§ 9-2 库仑定律 电介质的影响

在静电现象的研究中，我们经常用到点电荷这个概念。点电荷是带电体的理想模型。所谓点电荷，是指这样的带电体，它本身的几何线度比起它到其他带电体的距离小得多。只有当两个带电体可以看作点电荷时，它们之间的距离才有确定的意义，而且也只有在这种情形下，它们之间的相互作用力才不依它们的形状为转移。

库仑定律 点电荷之间相互作用的基本规律，称为库仑定律。库仑定律可陈述如下：

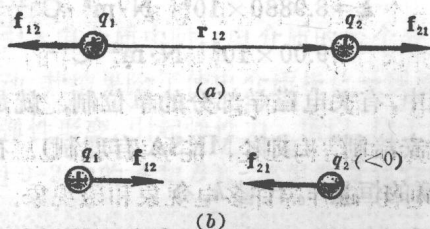


图 9-1 两个点电荷之间的作用力

在真空中， q_1 和 q_2 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，同号电荷相斥，异号电荷相吸，作用力的大小与电量 q_1 和 q_2 的乘积成正比，而与这两个点电荷之间的距离 r_{12} 的平方成反比，即

$$f_{12} = -f_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

式中 k 是比例系数, f_{12} 表示 q_2 对 q_1 的作用力 $\mathbf{f}_{12}$ 的量值, f_{21} 表示 q_1 对 q_2 的作用力 $\mathbf{f}_{21}$ 的量值。比例系数 k 的数值和单位, 取决于式中各量所采用的单位。 $\mathbf{f}_{12}$ 和 $\mathbf{f}_{21}$ 大小相等, 方向相反, 可用矢量式表示如下:

$$\mathbf{f}_{21} = -\mathbf{f}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \cdot \frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}}$$

式中 $\mathbf{r}_{12}$ 是由点电荷 q_1 至点电荷 q_2 所作的矢径, $\frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}}$ 是 $\mathbf{r}_{12}$ 方向上的单位矢量。 q_1 和 q_2 同号时 (图 9-1a), $\mathbf{f}_{21}$ 和矢径 $\mathbf{r}_{12}$ 方向相同, 表明 q_1 和 q_2 之间的作用力是斥力; q_1 和 q_2 异号时 (9-1b), $\mathbf{f}_{21}$ 和矢径 $\mathbf{r}_{12}$ 方向相反, 表明 q_1 和 q_2 之间的作用力是引力。所以, 上述矢量式同时给出作用力的大小和方向。

在国际单位制中, 以电流的单位安培 (A) 为基本单位, 电量的单位定为库仑 (符号 C), 库仑是导出单位。1 库仑的电量就是当电流等于 1 安培时, 在 1 秒内流过导体横截面的电量。根据实验测定, 在国际单位制中, 比例常数

$$k = 8.9880 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

$$\approx 9.00 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

在国际单位制中, 有关电磁学部分的单位制, 就是至今通用的“有理化米千克秒安培制” (或称 MKSA 有理化制)。在 MKSA 有理化制中, 通常引入新的恒量 ϵ_0 代替 k , 令

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

于是, 真空中库仑定律可写作

$$\mathbf{f}_{21} = \mathbf{f}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \quad (9-1)$$

或

$$\mathbf{f}_{21} = -\mathbf{f}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \cdot \mathbf{r}_{12} \quad (9-2)$$

式中恒量 ϵ_0 称为真空的介电系数。介电系数亦称电容率。

$$\begin{aligned}\epsilon_0 &= \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{4\pi \times 8.9880 \times 10^9} \\ &= 8.8538 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \\ &\approx 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \quad (9-3)\end{aligned}$$

应该指出，所谓“有理化”，就在于因子 4π 的引入。这样，显然使库仑定律的形式变得复杂一些，但是以后可以看到，在由此而推导出来的一些常用公式中，却不出现因子 4π ，形式变得简单，所以这样规定还是有利的。所以国际单位制中采纳了 MKSA 有理制。MKSA 有理制的优越性可在以后学习中逐步体会到。

在 MKSA 有理制中和国际单位制中，电量的量纲是 IT ，恒量 ϵ_0 的量纲是 $I^2 L^{-3} M^{-1} T^4$ 。这里引用电流强度 I 作为第四个基本量，就意味着电荷运动、电磁过程有其特殊性。电磁量是标志力学量的长度、质量、时间三个基本量所不能包括的。而且，表征真空特性的恒量 ϵ_0 并不是纯数，它有单位又有量纲。

电介质的影响 在一般电介质中，带电体之间相互作用的情况是相当复杂的。

当带电体被引入电介质中时，电介质的每个分子中的正、负电荷发生微观移动，其结果除了使电介质极化呈现极化电荷外，还要使电介质产生弹性形变，引起弹性力。所以，位于电介质中的两个带电体（例如图 9-2 中的 A 和 B ），不但要受到它们自己所带电

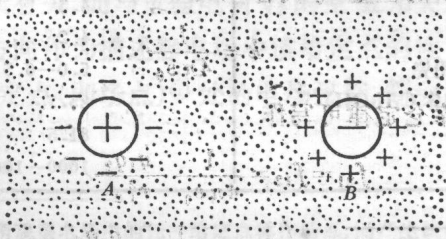


图 9-2 电介质对电荷间相互作用的影响

荷之间的相互作用力，还要受到电介质中极化电荷对它们的作用力和电介质对它们的弹性力，因之情况是很复杂的。

现在，我们只介绍一种最简单的情况，即无限大①均匀电介质中两个相距为 r 的点电荷 q_1 与 q_2 之间的相互作用力。实验和理论证明，在这种情况下，两个点电荷之间的相互作用力要比在真空中时小 ϵ_r 倍。所以，在无限大均匀电介质中的库仑定律，采用国际单位制时的表式为

$$f = \frac{1}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1q_2}{r^2} \quad (9-4)$$

式中 ϵ_r 称为电介质的相对介电系数， $\epsilon_r\epsilon_0 = \epsilon$ ， ϵ 称为电介质的介电系数。各种电介质的相对介电系数 ϵ_r 各不相同，除真空的 ϵ_r 规定为 1 外，各种电介质的 ϵ_r 都大于 1（见表 9-1）。在电介质中电荷之间的相互作用力较在真空中为小的事实，可用电介质的极化来解

表 9-1 电介质的相对介电系数 ϵ_r

电 介 质	ϵ_r
真空	1
空气(1个大气压)	1.000585
氢(1个大气压)	1.000264
石蜡	2.0—2.3
玻璃	5—10
云母	6—8
聚氯乙烯	3.1—3.5
硬橡胶	4.3
硫	4.2
绝缘子用瓷	5.0—6.5
乙醇(液体 C_2H_5OH)	25.7
纯水	81.5
钛酸钡	1000—10000

① 所谓无限大，是指电介质的边缘离点电荷很远。

释。电介质极化后，在点电荷周围所出现的束缚电荷总是与点电荷异号(图 9-2)，束缚电荷的作用就相当于减少点电荷的电量，因而在电介质中点电荷之间的相互作用力就小一些。

在静电学中，除束缚电荷外，导体上过剩的电荷，以及由于外界作用(如摩擦起电)从电介质的母体原子或分子中分离出来的电荷，都称为自由电荷。

§ 9-3 电场强度 电力线

电场强度 电场中任一点处电场的性质，可利用试验正电荷 q_0 来进行研究。试验电荷是一个足够小的点电荷。首先，试验电荷所带的电量必须很小，把试验电荷引入电场后，在实验精确度的范围内，不会对原有电场有任何显著的影响。其次，试验电荷的线度也必须充分小，即可以把它看做是点电荷，这样才可以用来研究空间各点的电场性质。把试验电荷 q_0 放在电场中不同各点时，在一般情况下， q_0 所受力的方向和大小是逐点不同的。但在电场中一给定点处， q_0 所受力的方向和大小却是完全一定的。如果我们在电场中某给定点处改变试验电荷 q_0 的量值，就发现 q_0 所受力的方向仍然不变，但力的大小改变了。当 q_0 取各种不同量值时，所受力的与相应的 q_0 值之比 f/q_0 却具有确定的量值。由此可见，比值 f/q_0 以及 f 的方向只与试验电荷 q_0 所在点的电场性质有关，而与试验电荷 q_0 的量值无关。因此，把比值 f/q_0 和 f 的方向作为描述静电场中该给定点的性质的一个物理量，称为该给定点(即场点)①处的电场强度，简称场强。场强是矢量，用 E 表示，

① 我们把所观察电场中的任一给定点称作场点，而产生该电场的各个点电荷所在的点称作源点。

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{f}}{q_0} \quad (9-5)$$

如果取上式 $q_0 = +1$, 即得 $\mathbf{E} = \mathbf{f}$, 可见电场中任一场点的电场强度在量值和方向上等于单位正电荷在该点处所受的力。

在国际单位制中, 力以牛顿为单位, 电量以库仑为单位; 所以场强的单位是牛顿·库仑⁻¹ (符号 $\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$)。场强的单位也可写成伏特·米⁻¹ (符号 $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$) (见 § 9-6 末)。电工计算中常采用后者。场强的量纲是 $I^{-1} L M T^{-3}$ 。

场强迭加原理 将试验电荷 q_0 放在点电荷系 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 所产生的电场中时, 试验表明, 实验电荷 q_0 在给定场点处所受合力 $\mathbf{f}$ 等于各个点电荷各自对 q_0 作用的力 $\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2, \dots, \mathbf{f}_n$ 的矢量和, 即

$$\mathbf{f} = \mathbf{f}_1 + \mathbf{f}_2 + \dots + \mathbf{f}_n$$

两边除以 q_0 , 得

$$\frac{\mathbf{f}}{q_0} = \frac{\mathbf{f}_1}{q_0} + \frac{\mathbf{f}_2}{q_0} + \dots + \frac{\mathbf{f}_n}{q_0}$$

按场强的定义, 右边各项分别是各个点电荷单独存在时所产生的场强, 左边为总场强, 即

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n \quad (9-6)$$

上式说明, 电场中任一场点处的总场强等于各个点电荷单独存在时在该点各自产生的场强的矢量和。这就是场强迭加原理, 是电场的基本性质之一。利用这一原理, 可以计算任意带电体所产生的场强, 因为任何带电体都可以看作许多点电荷的集合。

场强的计算 如果电荷分布为已知, 那么根据场强迭加原理, 从点电荷的场强公式出发, 就可求出电场中各点的场强。下面说明计算场强的方法。

1. 点电荷电场中的场强 设在真空中有一个点电荷 q , 则其周围电场中, 在距离 q 为 r 的 P 点处的场强可计算如下: 设想在