

全国民族院校统编教材

物 理

(下)

主 编：樊怀德

副主编：徐光蔚 李俊儒

宋文轩 刘宛生

中央民族学院出版社

全国民族院校统编教材

物 理

(下)

主 编：樊怀德

副主编：徐光蔚 李俊儒

宋文轩 刘宛生

中央民族学院出版社

〔京〕新登字 184 号

责任编辑:邱 立

封面设计:金 文

物 理

(上、下册)

*

中央民族学院出版出版

(北京西郊白石桥路 27 号)

(邮政编码:10081)

新华书店北京发行所发行

印 刷 北京东方印刷厂

850×1168 毫米 32 开 17.25 印张 465 千字
1993 年 11 月第 1 版 1993 年 11 月第 1 次印刷
印刷:4000 册

ISBN7—8001—504-4/G·223

定价:9.65 元

前 言

本书根据民族学院大学预科部学生进入大学理工科专业学习时应该掌握的物理基础知识要求编写而成。

编写时希望做到便于学生阅读和复习，因而很多地方写得比较详细，所以篇幅显得多一些。各民族学院预科部在教学过程中，可根据自己的实际情况，对内容进行删减。此书也可作为中等理工科专业学校的教材或参考用书。

该书分第一册、第二册。其中第一册由西南民族学院大学预科部蔡书老师编写第一章；韩光德老师编写第二章；樊怀德老师编写第三章；由中南民族学院、西南民族学院樊怀德、刘宛生合编第四章；中南民族学院、西南民族学院蔡书、刘宛生合编第五章；中南民族学院、西南民族学院王礼祥、刘宛生合编第六章；西南民族学院徐光蔚老师编写第七、八、九三章。中央民族学院、西南民族学院王礼祥、李律屏合编第十章；中央民族学院李俊儒老师编写第十一章；西北第二民族学院匡瑜老师编写第十二、十三章；西北第二民族学院张尔晶老师编写第十四、十五章；青海民族学院宋文轩老师编写第十六、十七章；海民族学院朱登浩老师编写第十八章；

第一册实验由西南民族学院徐光蔚老师编写；第二册电学实验由西北第二民族学院匡瑜老师编写；利用双缝干涉测定光波的波长的实验由青海民族学院张生秀老师编写。

由于我们水平低，错误和不妥之处肯定不少，对教材内容的处理也不一定恰当。望各兄弟民族学院预科部老师和读者给予指正。

编者

1993年2月

目 录

第十章 静电场 (1)

§ 10—1 电荷及其相互作用 (1)

§ 10—2 电场 电场强度 (8)

§ 10—3 电势和电势差 (13)

§ 10—4 电力线和等势面 (19)

§ 10—5 带电粒子在电场中的运动 (23)

§ 10—6 静电场中的导体和电介质 (28)

§ 10—7 电容 电容器 (35)

§ 10—8 电场的能量 (41)

思考题与练习题 (44)

练习题参考答案 (48)

第十一章 稳恒电流 (50)

§ 11—1 稳恒电流 (50)

§ 11—2 部分电路的欧姆定律 (53)

§ 11—3 电路的基本连接法 (57)

§ 11—4 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律 (61)

§ 11—5 电功和电功率 (66)

§ 11—6 电阻的测量 (70)

§ 11—7 电路的分析与计算 (73)

§ 11—8 基尔霍夫定律 (77)

思考题与练习题 (80)

练习题参考答案 (85)

第十二章 磁场 (86)

§ 12—1 磁场、物质的磁性 (86)

§ 12—2 磁感应强度 (90)

§ 12—3	磁场对通电导线的作用力—安培力	(95)
§ 12—4	磁场对通电线圈的作用力矩	(98)
§ 12—5	磁场对运动电荷的作用力—洛伦兹力	(102)
§ 12—6	带电粒子在匀强磁场中的运动	(103)
§ 12—7	带电粒子在磁场中偏转的应用	(107)
	思考题与练习题	(110)
	练习题参考答案	(116)
第十三章	电磁感应	(118)
§ 13—1	产生电磁感应的条件	(118)
§ 13—2	楞次定律	(120)
§ 13—3	法拉第电磁感应定律	(122)
§ 13—4	自感、互感与涡流	(127)
§ 13—5	动生电动势和感生电动势	(131)
	思考题与练习题	(136)
	练习题参考答案	(142)
第十四章	交流电	(144)
§ 14—1	交流电的产生	(144)
§ 14—2	表征交流电的物理量	(148)
§ 14—3	简单交流电路	(151)
§ 14—4	交流电的功率	(158)
§ 14—5	变压器	(162)
§ 14—6	三相交流电	(165)
	思考题与练习题	(170)
	练习题参考答案	(173)
第十五章	电磁振荡和电磁波	(174)
§ 15—1	电磁振荡	(174)
§ 15—2	电磁场	(177)
§ 15—3	电磁波	(179)

思考题与练习题	(184)
练习题参考答案	(185)
第十六章 几何光学	(186)
§ 16-1 光的传播	(186)
§ 16-2 光的反射	(189)
§ 16-3 球面镜	(190)
§ 16-4 光的折射	(196)
§ 16-5 透镜	(198)
思考题与练习题	(204)
练习题参考答案	(207)
第十七章 物理光学	(208)
§ 17-1 光的色散与干涉	(208)
§ 17-2 光的衍射和偏振	(213)
§ 17-3 光的电磁说	(216)
§ 17-4 光电效应和光的波粒二象性	(219)
思考题与练习题	(225)
练习题参考答案	(227)
第十八章 原子和原子核物理	(228)
§ 18-1 原子的核式结构	(228)
§ 18-2 氢原子光谱的规律	(232)
§ 18-3 玻尔的氢原子理论	(234)
§ 18-4 天然放射现象	(240)
§ 18-5 原子核的组成	(244)
§ 18-6 原子核的结合能	(249)
§ 18-7 原子核的裂变和聚变	(254)
§ 18-8 基本粒子	(258)
思考题与练习题	(264)
练习题参考答案	(266)

学生实验	(267)
实验七 把电流表改装为伏特表	(267)
实验八 测定电池的电动势和内电阻	(269)
实验九 电阻的测量	(270)
实验十 示波器的使用	(272)
实验十一 利用双缝干涉测定波的波长	(275)

第十章 静电场

电磁学是研究电荷在静止或运动时引起的各种现象和规律的学科。它包括电荷的产生、静止电荷产生的电场的性质、运动电荷产生的磁场的性质以及电磁运动的规律、电磁场对带电粒子的作用规律和它们的具体应用。按照近代物理的观点，物质是有电结构的，电结构是物质的基本组成形式，电磁场是物质世界的重要组成部分，电磁相互作用是物质之间四种基本相互作用之一，电过程是自然界的基本过程。因此电与磁的研究渗透到物理学中的各个领域，成为研究物质过程必不可少的基础；另一方面，也由于磁与其它物质运动形态有着广泛的联系，以及电技术具有一系列突出的优点，如精密、准确、传递迅速、转化方便、易于控制等，所以电磁学又成为其它自然科学和技术的基础。今天，无论是人类生活、还是科学技术及物质生产活动都离不开电，当代的技术革命更是与电密切联系的——无线电电子技术的集成化、大规模集成化，促使计算机的不断更新换代，技术革命的周期是趋于缩小等等。可见，学好电磁学对今后的学习和工作是极其重要的。

由本章起，我们用六章篇幅讨论电磁学基础知识，它包括静电场、稳恒电流、磁场、电磁感应、交流电、电磁振荡和电磁波。

静电场是相对于观察者静止的电荷产生的电场。静电场的理论基础是库仑定律，我们将由库仑定律出发去研究和描述电场的性质及其规律；静电场与导体、电介质之间的相互制约、相互影响、相互作用；最后以电容器储能为例阐明电场能的概念，进一步认识电场的物质性。

§ 10-1 电荷及其相互作用

电荷

电荷是物质的一种属性,是宏观物体或物体之间由于摩擦、受热、光照或化学反应等使物体进入的一种全新的特别的状态,这种状态的特殊性就表现在物体进入该状态后能够吸引轻小的物体,如毛发、纸屑等。我们把处于这种特殊状态的物体叫做带电体,带电体本身一定带有多余的净电荷,带电体所带电荷的多少叫做电量。使物体带电的过程叫做起电。电荷与电量这两个概念在电学里经常是混同使用,没有特别声明我们也不加分辨。

大量的实验事实表明,自然界中有两种电荷。一种是与用丝绸摩擦玻璃棒后,玻璃棒上所带的电荷相同的,叫做正电荷;另一种是与用毛皮摩擦硬橡胶棒后,硬橡胶棒上所带的电荷相同的,叫做负电荷。电荷的正、负规定是人为的,但这两种电荷确实具有许多相反的性质,恰如正、负数所代表的意义一样,因此我们这样定义正电荷和负电荷是方便的,是极易反映电荷的许多特性的。电荷主要具有以下三个重要特性。

第一,电荷之间有相互作用,并且是同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引的。这是电荷的最基本的特性。人们正是由此鉴别了自然界中的电荷只有两种的。利用同种电荷相互排斥的性质可制成验电器和静电计。使用它们可以方便地判定一个物体是否带电、带什么电和带多少电。

第二,电荷是既不能被创生,也不能被消灭的,只能由一个物体转移到另一个物体,或从物体的一部分转移到另一部分。换句话说,在一个孤立的与外界无电荷交换的系统内,无论系统发生什么样的物理过程,系统内的正、负电荷代数和始终保持不变。这即是电荷的第二个重要特征——电荷守恒。以上结论又称电荷守恒定律。

电荷守恒定律是人们分析总结各种宏观起电中总是正、负电荷同时出现,并且正、负电荷的量值始终相等;宏观带电体正、负电荷相遇会部分中和,电性减弱;不带电的物体无非是带电体本身带有等量的正、负电荷,因而正、负电荷完全中和,物体对外

不显电性；起电就是改变物体原来所含两种电荷的比例；微观带电粒子如电子、质子从不因为它的状态变化不同，所处的环境不同，产生的方式不同而带电不同等等大量实验事实得出的结论。电荷守恒定律是物理学中几条少有的普遍成立的基本定律之一，它不仅适用于宏观、微观过程而且还适用于变速过程等所有物理过程。

第三，电荷是量子化的，即任何带电体上所带的电量都只能是基本电荷的整数倍。基本电荷就是电子的电量的绝对值或质子的电量。即电量是只能取一些分立的不连续的量值。这就是电荷的又一种重要特性——“量子性”。电荷的量子化是与物质的电结构密切联系的。

物质的电结构

各种宏观物体的起电现象表明，电荷确实是物质的固有属性，起电不过是物体本身电荷的重新分布或分配。近代物理证实物质是有电结构的，电结构是物质的基本组成形式。

所谓物质的电结构是指物质（实物）是由分子、原子组成的，而原子是由更密的、带正电的原子核和环绕于核外的带负电的电子所组成。原子核又由质子和中子组成，质子带正电，电荷量值与电子所带电量绝对值相等，即等于 e ($e=1.602\times 10^{-19}$ 库仑)，中子不带电。质子带正电正是原子核带正电的根本原因。

根据物质的电结构理论，我们可以逐一解释电荷的各种特性。以起电过程和电荷“量子性”为例。假如某个物体的原子或分子中总共含有 N_1 个质子和 N_2 个电子，那么这个物体所带的电量应为 $Q=e(N_1-N_2)$ 。可见不论物体带正电或负电，确实有电量是 e 的整数倍的结论，即电量只取分立的、不连续的值。原因是 N_1 和 N_2 均为整数，整数之差也是整数。具体物体是带正电还是负电，取决于质子数和电子数之差，若 $N_1>N_2$ ，则 $Q>0$ ，物体带正电；若 $N_1<N_2$ ，则 $Q<0$ ，物体带负电；若 $N_1=N_2$ ，则 $Q=0$ ，正负电荷中和，物体对外不显电性。这说明起电就是使物体的电

子数和质子数不再相等，电子过剩物体带负电，电子不足物体带正电。起电的微观本质就在于此。

电荷的中和，电荷的相互作用，电荷的守恒等其它电荷的特性仍可由物质的电结构去说明，这里从略。物质的导电性，即导体、绝缘体（电介质）、半导体的导电特性也可由物理的电结构理论得到相应的解释。导体之所以能够导电是由于导体内部具有大量能够自由移动的电荷（电子、正、负离子）。绝缘体之所以不导电，是由于其内部原子的核外电子受核束缚最紧，绝缘体内基本没有自由电荷（电子）的结果。半导体内原子的核外电子，受核的约束不太紧也不太松，有一定数量的自由电子存在，所以其导电性介于导体和绝缘体之间。半导体还有许多重要的特性。这里就不介绍了。

库仑定律

电荷之间有相互作用，并且同种电荷相互排斥、异种电荷相互吸引，这是电荷的重要而基本的特性。然而它仅仅是定性的结论，深入一步定量研究电荷之间的相互作用力，情况会是怎样的呢？

实验表明，两个静止的带电体之间的作用力（静电力）除与两个带电体的带电量及相对位置有关外，还依赖于带电体的大小、形状及电荷分布情况。要用实验直接确定所有这些因素对静电力的影响是困难的。但是，如果**带电体的大小（又称几何线度）比起带电体之间的距离来小得很多时**，问题就会得到简化，此时静电力基本上只由带电体的**电量和它们之间的距离**决定。满足这个条件的带电体就叫做**点电荷**。点电荷跟质点一样是一个**理想化的模型**，是实际问题的近似处理。一个带电体能否简化为点电荷，必须依据实际具体情况来判定。在带电体的线度远比带电体之间的距离为小的情况下，可以忽略带电体的大小和形状，而视带电体上所带的电量为集中在一个几何点上，那么像这样的没有大小和形状的电量集中在一个几何点上的抽象化模型就是点电荷模型。

库仑正是在点电荷概念的基础上用著名的扭秤实验总结出真空中静止的两个点电荷之间的作用力关系的，后人为了纪念他的功绩把这个关系命名为库仑定律。

定律的内容是：真空中两个静止的点电荷 q_1 和 q_2 之间的相互作用力的大小与 q_1 和 q_2 的乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比；作用力的方向沿着它们的连线，同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。其数学表达式是

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (10-1)$$

式中 K 是比例常数，它的数值由实验确定，与式中各量所取单位有关，在国际单位制（SI 制）中

$$K \approx 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

常近似为 $K \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

在电学中（10—1）式中的 K 又常改写成

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (10-2)$$

（10—2）式中的 ϵ_0 为真空的介电常数，数值为

$$\epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$$

之所以这样改写比例系数 K ，是为了使其它电学公式更简洁、对称、好记忆。其次是公式便于推广，再就是这个公式中出现了 4π ，其它大多数的公式就消除了 4π 这个无理数。

改写了比例系数的库仑定律公式是

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad 10-3$$

应该指出，库仑定律只适用于真空中相对于观察者静止的点电荷之间的作用力计算。在带电体不能简化为点电荷时定律不成立，但任何带电体都总可分小，把带电体分割到任何一部份都可视为点电荷后，原则上带电体之间的作用力问题也可由库仑定律得到解决。点电荷周围不是真空时，库仑定律也不直接适用，但

当点电荷周围空间充满电介质时，定律的(10—3)式作适当推广，即换 ϵ_0 为电介质的介电常数 $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ ，定律就仍可运用了。

例 10—1 在氢原子中，电子和原子核之间的距离约为 5.3×10^{-11} 米，试计算它们之间的静电作用力和万有引力，并比较两者的大小。

解：我们知道，H 原子核就是一个质子，在它的外面也只有一个电子。注意到在原子内部，质子与电子之间可视为真空，而且，无论是原子核的线度或电子的线度，都比它们之间的平均距离来小得很多（约是 10^5 倍关系），故我们可视原子核（质子）和电子为点电荷。根据库仑定律，原子核与电子的静电作用是

$$F_{\text{电}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(-e) \cdot e}{r^2} = -9 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \\ = -8.2 \times 10^{-8} \text{ (牛顿)}$$

上式负号表示作用力为引力。再由万有引力定律，原子核与电子的万有引力是

$$F_{\text{引}} = G \frac{m \cdot M}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \\ = 3.6 \times 10^{-47} \text{ (牛顿)}$$

两者的比值为

$$\frac{F_{\text{电}}}{F_{\text{引}}} = \frac{8.2 \times 10^{-8}}{3.6 \times 10^{-47}} = 2.3 \times 10^{39}$$

这就告诉了我们，在处理电子和原子核之间的相互作用时，只需考虑静电力，万有引力太弱可以忽略。

例 10-2 在空气中，已知电量分别为 q_1 和 q_2 的两个正的点电荷被安放在相距为 l 的 x 轴两点 O 、 A 。今引入一个点电荷 q_3 ，欲使三个点电荷都处于平衡状态，问 q_3 应放在什么位置？它的量值与符号如何？

解：本题涉及多个点电荷之间的静电力问题，实践证明：任意两个点电荷之间的作用力从不因为第三个点电荷的引入而改

变。点电荷系中两两之间的作用力仍服从库仑定律。其中某个点电荷所受的合静电力是其它点电荷对它的静电力的矢量和。这个结论叫做静电力的独力作用原理或迭加原理。

根据静电力的独力作用原理，引入点电荷 q_3 后，三个点电荷组成的点电荷系中，任何一个都要受到其它两个对它的静电力作用。而 q_1 与 q_2 之间的静

电力必然沿着 x 轴，欲使 q_3 的引入三个点电荷都分别平衡，那么 q_3 只能位于 x 轴上，并且在 q_1 与 q_2 之间， q_3 只能带负电（读者可自行分

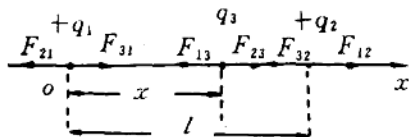


图 10-1

析)。设 q_3 与 q_1 之间的距为 x ，如图 10-1 所示。分析 q_1 、 q_2 、 q_3 的受力情况，有图示的受力图。由题意欲使 q_1 、 q_2 、 q_3 都分别平衡，则应有

$$\text{对 } q_1 \quad F_{21} + F_{31} = 0 \quad (1)$$

$$\text{对 } q_2 \quad F_{12} + F_{32} = 0 \quad (2)$$

$$\text{对 } q_3 \quad F_{23} + F_{13} = 0 \quad (3)$$

由库仑定律并注意力的方向性，即有

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 |q_3|}{x^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{l^2} \quad (4)$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 |q_3|}{(l-x)^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{l^2} \quad (5)$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 |q_3|}{(l-x)^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 |q_3|}{x^2} \quad (6)$$

化简 (6) 得

$$q_2 x^2 = q_1 (l-x)^2$$

解此方程有

$$x_1 = \sqrt{q_1} l / (\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2})$$

$$x_2 = \sqrt{q_1} l / (\sqrt{q_1} - \sqrt{q_2})$$

考查 x_2 , 发现它要么大于 l , 要么小于 0, 这就是说 q_3 位于 q_1 和 q_2 连线之外。它不满足题意是增根, 故舍去它。于是得第一问的答案:

$$x = \sqrt{q_1} l / (\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2}) \quad (7)$$

为求 q_3 , 化简 (4) 式为

$$l^2 |q_3| = x^2 q_2 \quad (8)$$

把 (7) 代入 (8), 则

$$|q_3| = q_1 q_2 / (\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2})^2$$

q_3 为负电荷, 所以

$$q_3 = -q_1 q_2 / (\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2})^2$$

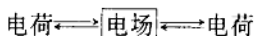
§ 10-2 电场 电场强度

电场

库仑定律从现象上给出了两个静止的点电荷在真空中的相互作用力的关系, 但没有揭示出库仑力 (静止电荷之间的相互作用力) 的本质。为了阐明库仑力的本质问题, 历史上出现了两种不同的观点。一种观点认为库仑力是超距作用力, 即点电荷 q_1 对点电荷 q_2 的作用力 F 是不需要任何中间媒介物质和时间来传递的, 是瞬息之间发生的直接超距作用。这种观点与力的本质相矛盾——力可以脱离物质而存在, 所以它是错误的。仅仅局限于静电问题它虽然也能解释一些现象, 但在电荷运动以及电荷变化时, 它的不足就暴露出来了。另一种观点认为电荷之间的相互作用力是通过中间媒介场来传递完成的, 场是存在于电荷的周围空间的特

殊物质。这种观点圆满解释了库仑力的本质，同时在电荷运动变化情况下也显示出了它的优异性。因此本节起我们将用场的观点来研究电荷之间的相互作用问题。

电场是存在于电荷的周围空间的一种特殊物质，说它特殊是因为它与实物物质不同，不是由分子、原子组成的，说它是物质是因为它具有物质的一些属性，如有能量，动量和质量等，并且它还可以脱离电荷而单独存在。电场正是传递电荷之间相互作用的媒介物质，电荷之间的相互作用过程可用下面的图式来概括：



即电荷之间的相互作用过程是：（1）一个电荷先在它的周围空间激发电场或产生电场；（2）另一个电荷放入那个电荷激发的电场中，那么该电荷就受到电场对它的作用力。可见，电荷是电场的源，电场是电力的传递者，库仑力在本质上就是电场力。

电场的基本特征是对置入其内的电荷施力，我们基于此来研究电场的力学性质，引入描述电场力学性质的物理量——电场强度。

电场强度

电场是既看不见又摸不着存在于电荷的周围空间的一种特殊物质，因此我们要认识它、掌握它、利用它，就只能凭它对外的各种反映或表现间接识别。电场既然对场中的电荷施力，我们就利用它来研究电场的力学性质。

为此，需引入“试探电荷”概念，所谓**试探电荷**，就是一个充分小的点电荷，其电量之小，以致不会因为它的引入而改变原电场的分布；其体积之小，以致在场中它所占的位置为一个确定的点。

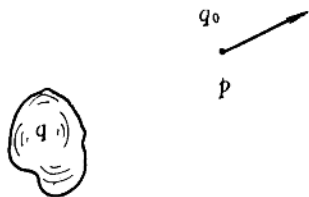


图 10-2

如图 10-2 所示，设在静止的