

PUTONGWULIXUE

普通物理学



焦亚峰 尹继祖 主编

延边大学出版社

普通物理学

(下)

焦亚峰 尹继祖 主编

延边大学出版社

1988年·延吉

普通物理学(下)

焦亚峰 尹继祖 主编

延边大学出版社出版发行

(吉林省延吉市延边大学院内)

延边大学印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 14.625 插页: 4

字数: 316千字 印数: 1—5,050

1988年3月第1版 1988年3月第1次印刷

ISBN 7-5634-0095-8/O·8 (课)

定价: 4.15元

目 录

第四篇 电磁学..... (1)

第十章 真空中的静电场..... (2)

§ 10—1 电荷 库论定律..... (2)

§ 10—2 电场 电场强度..... (6)

§ 10—3 电力线 电场强度通量..... (18)

§ 10—4 真空中的高斯定理..... (23)

§ 10—5 静电场力所作的功..... (29)

§ 10—6 电势能 电势..... (31)

§ 10—7 等势面、场强与电势的关系..... (37)

习题..... (43)

第十一章 静电场中的导体与电介质..... (48)

§ 11—1 静电场中的导体..... (48)

§ 11—2 电容 电容器..... (58)

§ 11—3 静电场中的电介质..... (72)

§ 11—4 电介质中的高斯定理..... (84)

§ 11—5 电场的能量 能量密度..... (89)

习题..... (93)

第十二章 稳恒电流..... (100)

§ 12—1 电流密度 欧姆定律及焦耳定律

的微分形式	(100)
§ 12—2 电源 电动势	(111)
§ 12—3 基尔霍夫定律	(118)
习题	(125)
 第十三章 电流与磁场	 (131)
§ 13—1 磁场 磁感应强度	(131)
§ 13—2 磁通量与磁场的高斯定理	(136)
§ 13—3 安培定律及其应用	(140)
§ 13—4 毕奥—萨伐尔定律	(149)
§ 13—5 安培环路定律	(158)
§ 13—6 两相互平行载流导线间的相互作用	(160)
§ 13—7 运动电荷的磁场	(168)
§ 13—8 洛它兹力	(170)
§ 13—9 带电粒子在电磁场中的运动	(177)
§ 13—10 磁介质 磁介质中的磁场	(184)
习题	(190)
 第十四章 电磁感应与电磁波	 (196)
§ 14—1 电磁感应基本定律	(196)
§ 14—2 动生与感生电动势	(202)
§ 14—3 自感与互感	(210)
§ 14—4 磁场的能量	(214)
§ 14—5 电磁感应现象的应用	(220)
§ 14—6 位移电流 电磁场基本方程的	

积分形式	(224)
§ 14—7 电磁振荡与电磁波	(229)
习题	(236)
第五篇 光学	(240)
第十五章 波动光学	(240)
§ 15—1 相干光源	(240)
§ 15—2 杨氏双缝 双镜 洛埃镜	(245)
§ 15—3 光程 光程差 薄膜干涉	(253)
§ 15—4 劈尖干涉 牛顿环	(261)
§ 15—5 干涉仪	(267)
§ 15—6 光的衍射	(271)
§ 15—7 惠更斯—菲涅耳原理	(272)
§ 15—8 单缝衍射	(273)
§ 15—9 衍射光栅	(281)
§ 15—10 光学仪器的分辨率	(287)
§ 15—11 X射线衍射	(293)
§ 15—12 自然光 偏振光	(298)
§ 15—13 反射光与折射光的偏振	(302)
§ 15—14 光的双折射	(304)
§ 15—15 起偏和检偏	(308)
§ 15—16 旋光	(313)
§ 15—17 偏振光的干涉	(316)
习题	(321)

第十六章 光度学和光学仪器	(326)
§ 16—1 光度学中的几个物理量	(326)
§ 16—2 从能量标准的物理量过渡到视觉标准的物理量	(331)
§ 16—3 放大镜 显微镜	(337)
§ 16—4 电子显微镜	(343)
§ 16—5 摄谱仪	(347)
习题	(349)
第六篇 近代物理简介	(350)
第十七章 狭义相对论	(351)
§ 17—1 相对性原理	(351)
§ 17—2 洛仑兹变换	(357)
§ 17—3 时空观	(360)
§ 17—4 相对论动力学	(365)
§ 17—5 质能关系	(368)
习题	(371)
第十八章 原子与固体	(374)
§ 18—1 黑体辐射 普朗克假设	(374)
§ 18—2 光电效应 光子	(380)
§ 18—3 康普顿效应	(384)
§ 18—4 物质的粒子性和波动性	(389)
§ 18—5 氢原子光谱	(393)

§ 18—6 原子的核型结构.....	(397)
§ 18—7 玻尔氢原子理论.....	(400)
§ 18—8 原子光谱 分子光谱.....	(405)
§ 18—9 量子力学简介.....	(410)
§ 18—10 固体的能带.....	(416)
§ 18—11 半 导 体.....	(419)
§ 18—12 激光及全息照相.....	(424)
习题.....	(430)
 第十九章 原子核及基本粒子.....	 (433)
§ 19—1 核结构.....	(433)
§ 19—2 放射性.....	(436)
§ 19—3 人工转变 核反应.....	(438)
§ 19—4 重核裂变 轻核聚变.....	(440)
§ 19—5 基本粒子简介.....	(445)
习题.....	(450)
 习题答案.....	 (451)

第四篇 电磁学

前几篇介绍了物质机械运动和热运动的基本规律。这一篇主要介绍电磁运动的基本规律，即研究和讨论电磁场的规律以及物质的电学性质与磁学性质。

电磁运动和机械运动一样是物质运动的一种基本形式。它与其它运动形式既不相同又有着密切的联系。在宏观世界，万有引力起着重要的作用，但在分子和原子的层次内，电磁力比起万有引力来要大得无可比拟。在这个层次内，电磁相互作用是起主要作用的。因此掌握电磁运动的规律对于人类认识物质世界有着重要的意义。许多重要的学科，例如关于物质结构的理论、光的波动学说，以及近代的量子场论、基本粒子的理论等，都是在电磁学理论的基础上，或者是从电磁学理论得到借鉴，而建立和发展起来的。可见，电磁学理论在现代物理学中占有重要地位。

第十章 真空中的静电场

任何电荷（静止或运动的电荷）周围都存在着电场，静止电荷周围的电场是静电场。本章主要讨论在真空中静电场的基本性质。主要内容有：描述静电场的两个物理量——电场强度和电势，真空中的高斯定理及应用，场强与电势的迭加原理以及场强与电势的关系。

§ 10—1 电荷 库仑定律

一 电荷 电荷守恒定律

实验表明，两个不同材料的物体，例如丝绸和玻璃棒相互摩擦后，都能吸引羽毛、纸片等轻小物体。这时，我们就说这两个物体已处于带电状态，或者说，这两个物体分别带了电（或带了电荷）。带了电的物体称为带电体。自然界只存在两种性质不同的电荷：正电荷与负电荷。带同号电荷的物体相互排斥带异号电荷的物体相互吸引。物体所带电荷的多少称为电量，常用符号 Q 或 q 表示。电量的单位称为库仑，简称库，符号为 c 。例如：质子带正电，电量为 $1.602 \times 10^{-19}c$ 。电子带负电，电量为 $-1.602 \times 10^{-19}c$ 。

带电体所带的电量 q 总是某一电量 e 的整数倍($e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$)，即 $q = ne$ ，这里 n 为整数。可见电量不能连续地变化，这种电量的不连续性，称为电荷的量子化。

实验指出：无论是摩擦起电过程，还是其它方法使物体带电的过程，正负电荷总是同时出现的，而且这两种电荷的量值一定相等。当两种异号电荷相遇时，则相互中和；如果原来两种异号电荷的量值相等，经中和后物体就不带电了。由以上种种事实，可总结出如下结论：电荷只能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，该系统的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。

二 真空中的库仑定律

带电体之间的相互作用力，与带电体的大小、形状、电荷分布以及相互之间的距离等因素有关。当带电体之间的距离比它们自身的几何线度大得多时，上述因素的影响就可忽略不计。这时就可把带电体视为“点电荷”。点电荷的概念类似于力学中质点的概念，一个带电体能否当作点电荷处理，必须根据具体情况而定。

下面讨论两个静止点电荷间的相互作用力。

假定在真空中有两个点电荷，它们的电量分别为 q_1 和 q_2 ，它们之间的距离为 r ，如图10—1所示。实验表明：两点电荷之间存在相互作用力，其大小与两点电荷电量的乘积成

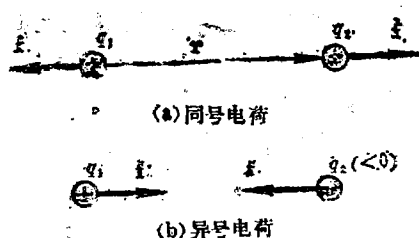


图10-1 两个点电荷之间的作用力

矢量式可表示如下：

$$\vec{F} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad (10-1)$$

式中 $\vec{F}$ 是两点电荷之间的静电作用力， r 为两点电荷之间的距离， $\vec{r}_0$ 是从施力电荷 q_1 指向受力电荷 q_2 的单位矢量。 K 是比例系数。在国际单位制中 $K = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ 。为了简化有关的电磁学公式，在电磁学中取

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

其中 ϵ_0 叫真空的介电常数。介电常数亦称电容率。

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi K} = \frac{1}{4\pi \times 8.988 \times 10^9} = 8.8538 \times 10^{-12}$$

$$\approx 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

于是，库仑定律又可用下式表示：

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad (10-2)$$

根据上式，我们分析一下图10-1中 q_2 的受力方向。当 q_1 、 q_2 同号时（图10-1a），即 $q_1 q_2 > 0$ ， q_2 受斥力，按式（10-2），斥力 $\vec{F}$ 与 $\vec{r}_0$ 方向相同；当 q_1 、 q_2 异号时（图10-1

b), 即 $q_1 q_2 < 0$, q_2 受引力, 此时引力 $\vec{F}$ 的方向与 $\vec{r}_0$ 的方向相反。

例 α 粒子 (即氦原子核) 的质量 m 为: $6.68 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 它的电荷 $q = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$, 当两 α 粒子相距为 r 时, 试比较它们之间静电斥力与万有引力的大小。

解 静电力的大小为

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q^2}{r^2} \right) = K \left(\frac{q^2}{r^2} \right)$$

万有引力的大小为

$$F_m = G_0 \left(\frac{m^2}{r^2} \right)$$

式中 $G_0 = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$, 为引力常数。将已知数据代入, 得两力之比为

$$\frac{F_e}{F_m} = \frac{K}{G_0} \frac{q^2}{m^2} = 3.1 \times 10^{35}$$

显然, 在微观粒子的相互作用中, 万有引力与静电力相比甚小, 可略去不计。

应该指出, 库仑定律是静电学的基本定律之一, 它只适用于点电荷的情况。对于两个以上的点电荷, 实验证明: 其中每一个点电荷所受的总的静电力, 等于其它点电荷单独存在时作用在该点电荷上的静电力的矢量和。这就是静电力的迭加原理。

§ 10—2 电场 电场强度

一 电场

库仑定律给出了两个点电荷之间的相互作用力的定量关系，而并未阐明电荷之间的相互作用是通过什么方式来实现的。过去，人们一直认为：电力可以超越距离即时地作用于其它带电体，这种作用既不需要经过媒质，也不需要传递时间，而是从一个带电体直接作用到另一个带电体。即

电荷 $\longleftrightarrow$ 电荷

直到上世纪，法拉第提出新的观点，认为在带电体周围存在着电场，其它带电体所受到的作用力是与电场相互作用而产生的，叫做电场力。因此，电荷之间的相互作用，是通过电场来传递的。可表示为：

电荷 $\longleftrightarrow$ 电场 $\longleftrightarrow$ 电荷

理论和实验都已证明，后一种看法是正确的，电场与分子、原子等组成的实物一样，也具有能量、动量和质量。所以电场也是物质的一种形态，场与实物的一个重要区别，就是同一空间不能同时被两个实物占据，但可以存在两个以上不同的场，如果是同一性质的场，还可在同一空间迭加。静电场对外表现主要有下面三点：

1. 引入电场中的任何带电体都将受到电场力的作用。

2. 当带电体在电场中移动时, 电场力将对带电体作功, 这表示电场具有能量。

3. 电场能使导体中的电荷重新分布, 能使电介质极化。

二 电场强度

为了判断电场的存在与否和电场的强弱, 我们可用试验电荷 q_0 进行探测。试验电荷必须满足下列两个条件: 首先它带的电量 q_0 很小, 不因 q_0 的存在而对原有的电场有显著影响; 其次, 带电体的线度必须很小, 即可以把它看作是点电荷。这样, 就可以用 q_0 对空间各点电场的性质进行检测和研究。实验表明:

1. 在给定电场中 (即产生电场的电荷分布已定) 的同一点 A_1 , 改变试验电荷 q_0 的大小, q_0 所受的电场力 $\vec{F}$ 将随之改变, 但其结果是 q_0 增大几倍 $\vec{F}$ 亦增大几倍, 反之 q_0 减少几倍, $\vec{F}$ 亦减小几倍, 而比值 $\vec{F}/q_0$ 却不变。

2. 任意选择电场中不同的点 A_1 、 A_2 、 $\dots$ 、 A_n , 重复上述实验, 比值 $\vec{F}/q_0$ 只随地点而变, 而与试验电荷 q_0 的大小无关。因此, 可用比值 $\vec{F}/q_0$ 来反映电场中各点的电场强弱程度, 并定义它为电场强度的大小。其次, 电场力的方向与 q_0 所带电荷的正、负有关, 为此规定: 电场中某点电场强度的方向, 就是放在该点的正电荷所受电场力的方向。

通过上述讨论可知, 电场强度是一个矢量, 它既有大小又有方向, 通常用 $\vec{E}$ 表示电场强度矢量, 简称场强。即

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (10-3)$$

在上式中取 $q_0 = +1$ ，则得 $\vec{E} = \vec{F}$ 。可见，电场中某点的电场强度在量值上等于放在该点的单位正电荷所受的力，电场强度的方向规定为正电荷在该点所受电场力的方向。

在国际单位中，力的单位为牛纯(N)，电荷的单位为库仑(c)，据式(10—3)，场强的单位为牛顿·库仑⁻¹(N·C⁻¹)，也可写成伏特·米(V·m⁻¹)。电场强度的量纲是I⁻¹LM T⁻³。

如果电场中各点场强的数值都相等，方向也都相同，这样的电场称为匀强电场。

若已知电场中任一点的电场强度 $\vec{E}$ ，则放在该点的正电荷受力为：

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (\vec{F} \text{ 与 } \vec{E} \text{ 同方向})$$

负电荷受力为：

$$\vec{F} = -q\vec{E} \quad (\vec{F} \text{ 与 } \vec{E} \text{ 反方向})$$

三 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，实验表明，试验电荷 q_0 在该电场中某点所受的合力是 $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \dots, \vec{f}_n$ 的矢量和，即

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

上式中的 $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \dots, \vec{f}_n$ 分别是 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 单独存在时各自对 q_0 作用的电场力。对上式两边同除以 q_0 ，则得

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

按电场强度的定义，等式右边各项分别是各个点电荷单独存在时各自产生的场强，左边为总场强，即

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \cdots + \vec{E}_n \quad (10-4)$$

由上式可见，点电荷系电场中任一点处的总场强等于各个点电荷单独存在时在该点产生的场强的矢量和。这就是场强的迭加原理。利用这一原理，原则上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是许多点电荷的集合。

四 电场强度的计算

1. 点电荷的电场 设在真空中有一个静止的点电荷 q ，其周围产生静电场。在距离 q 为 r 的 P 点处的场强可计算如下：把试验电荷 q_0 放在 p 点，根据库仑定律，作用于 q_0 的电场力为

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \vec{r}_0$$

所以

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{r}_0 \quad (10-5)$$

式中 $\vec{r}_0$ 是自 q 指向 p 点的单位矢量。由上式可知，如果 q 为正电荷， $\vec{E}$ 的方向与 $\vec{r}_0$ 的方向一致，是离开 q 的（见图 10-2）；如果 q 为负电荷， $\vec{E}$ 的方向与 $\vec{r}_0$ 的方向相反，而指向 q 。

2. 点电荷系的电场 设真空中的电场是由若干点电荷 $q_1, q_2, \cdots, q_n$ 所共同产生的，各点电荷到电场中的 p 点的矢径分别为 $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \cdots, \vec{r}_n$ ，按式 (10-5) 各点电荷在 p 点产生的