

面向新世纪课程教材
Textbook Series for the New Century

基础物理学

(下册)

王少杰 顾 牡 主 编
孙迺疆 罗江龙 成 钢 副主编



同济大学出版社

面向新世纪课程教材
Textbook Series for the New Century

基础物理学

(下册)

王少杰	顾 牡	主 编
孙迺疆 罗江龙	成 钢	副主编
郭 琳 王少杰	葛永华	编 著
孙迺疆	罗江龙	

同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

基础物理学. 下册/王少杰,顾牡主编. —上海:同济大学出版社,2005.8

面向新世纪课程教材

ISBN 7-5608-3074-9

I. 基… II. ①王… ②顾… III. 物理学—高等学校—教材
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 061654 号

基础物理学 (下册)

王少杰 顾牡 主编

孙迺疆 罗江龙 成钢 副主编

郭琳 王少杰 葛永华 孙迺疆 罗江龙 编著

责任编辑 曹建 责任校对 杨江淮 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 苏州望电印刷有限公司印刷

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 23.75

字 数 475 000

印 数 1—6 100

版 次 2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-3074-9/O·272

定 价 29.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

目 录

第四篇 电磁学	(1)
第十三章 电荷与真空中的静电场	(2)
第一节 电荷 库仑定律	(2)
一、电荷的量子化	(2)
二、电荷守恒定律	(2)
三、真空中的库仑定律	(3)
第二节 电场和电场强度	(4)
一、电 场	(4)
二、电场强度	(5)
三、点电荷与点电荷系的电场强度	(6)
四、电场强度的计算	(8)
第三节 电通量 静电场的高斯定理	(13)
一、电场线	(13)
二、电通量	(14)
三、静电场的高斯定理	(16)
四、高斯定理的应用	(17)
第四节 电场力的功 静电场的环路定理	(19)
一、静电场力作功的特点	(19)
二、静电场的环路定理	(20)
第五节 电 势	(21)
一、电势能	(21)
二、电势和电势差	(22)
三、点电荷的电势 电势的叠加原理	(23)
四、电势的计算	(24)
第六节 电场强度和电势的关系	(27)
一、等势面	(27)
二、电场强度与电势梯度	(28)
阅读材料(十三) 静电的应用	(30)
一、静电复印	(30)
二、喷墨打印	(31)

三、静电除尘	(31)
四、静电分离	(32)
习题十三	(32)
第十四章 有导体和电介质时的静电场	(35)
第一节 静电场中的导体	(35)
一、导体的静电平衡	(35)
二、静电平衡时导体上的电荷分布	(36)
三、静电屏蔽	(38)
第二节 电容及电容器	(40)
一、孤立导体的电容	(40)
二、电容器的电容	(40)
三、几种常见的电容器	(41)
四、电容器的串联和并联	(43)
第三节 静电场中的电介质	(45)
一、电介质的极化	(45)
二、电介质对电容器电容的影响	(46)
三、有电介质时的静电场	(47)
四、有电介质时的高斯定理	(48)
第四节 静电场的能量	(51)
一、电容器储存的能量	(51)
二、静电场的能量	(52)
阅读材料(十四) 压电效应 铁电体	(54)
一、压电效应	(54)
二、铁电体	(54)
习题十四	(55)
第十五章 恒定电流与真空中的恒定磁场	(58)
第一节 恒定电流和恒定电场 电动势	(58)
一、电流形成的条件	(58)
二、恒定电流和恒定电场	(59)
三、电流与电流密度	(60)
四、欧姆定律的微分形式、焦耳-楞次定律的微分形式	(61)
五、电源及电源电动势	(64)
第二节 恒定磁场和磁感应强度	(66)
一、磁性起源于电荷的运动	(67)
二、磁场 磁感应强度 B	(68)

第三节 毕奥-萨伐尔定律	(70)
一、毕奥-萨伐尔定律	(70)
二、毕奥-萨伐尔定律应用举例	(71)
三、匀速运动电荷的磁场	(79)
第四节 磁场中的高斯定理	(80)
一、磁感应线	(80)
二、磁通量	(80)
三、恒定磁场中的高斯定理	(81)
第五节 真空中恒定磁场的安培环路定理	(82)
一、恒定磁场的安培环路定理	(82)
二、安培环路定理的应用	(85)
第六节 磁场对运动电荷和载流导线的作用	(90)
一、洛伦兹力	(90)
二、带电粒子在磁场中的运动	(90)
三、应用电场和磁场控制带电粒子的实例	(92)
四、安培力	(96)
第七节 磁力的功	(102)
一、磁力对运动载流导线的功	(102)
二、磁力矩对转动载流线圈的功	(102)
阅读材料(十五) 电学中的“牛顿”——安培	(104)
习题十五	(106)
第十六章 磁介质中的恒定磁场	(111)
第一节 磁介质及其磁化	(111)
一、磁介质及其分类	(111)
二、分子磁矩 分子附加磁矩	(113)
三、顺磁质和抗磁质的磁化	(114)
四、磁化强度矢量与磁化电流	(115)
第二节 介质中的高斯定理和安培环路定理	(117)
一、有介质时的高斯定理	(117)
二、有介质时的安培环路定理	(117)
第三节 铁磁质	(121)
一、铁磁质的特点	(121)
二、铁磁质的起始磁化曲线 磁滞回线	(121)
三、磁 畴	(123)
四、简单磁路	(123)

阅读材料(十六) 超导电性	(126)
一、超导现象的发现	(126)
二、超导态物质的特性	(126)
三、第Ⅱ类超导体	(128)
四、高温超导体	(130)
五、超导的理论机制	(130)
六、超导的应用	(131)
习题十六	(131)
第十七章 电磁场与麦克斯韦方程组	(133)
第一节 电磁感应定律	(133)
一、电磁感应现象	(133)
二、法拉第电磁感应定律	(134)
三、楞次定律	(135)
四、全磁通 感应电流 感应电量	(137)
第二节 动生电动势	(139)
一、产生动生电动势的原因——洛伦兹力	(139)
二、动生电动势的计算	(140)
第三节 感生电动势	(143)
一、产生感生电动势的原因——感生电场	(143)
二、感生电场及感生电动势的计算	(144)
第四节 自感与互感	(146)
一、自感现象 自感系数	(146)
二、自感系数及自感电动势的计算	(147)
三、互感现象及互感系数	(148)
四、互感系数及互感电动势的计算	(149)
* 五、LR 电路的暂态过程	(151)
六、LC 谐振电路	(153)
第五节 磁场的能量	(154)
一、自感线圈的磁能	(154)
二、磁场的能量	(155)
第六节 位移电流与电磁场	(158)
一、位移电流的引入	(159)
二、全电流定律	(160)
三、电磁场	(161)
第七节 麦克斯韦方程组与电磁波	(162)

一、麦克斯韦方程组	(162)
二、电磁波	(163)
三、平面电磁波的性质	(165)
四、平面电磁波的能量密度和能流密度	(165)
* 五、电偶极振子发射的电磁波	(167)
六、电磁波谱	(168)
阅读材料(十七) 磁悬浮列车	(169)
习题十七	(172)
第五篇 光 学	(176)
第十八章 几何光学	(178)
第一节 几何光学的基本定律	(178)
一、光线及其基本实验定律	(178)
二、理想光学系统及成像基本概念	(180)
三、光程和费马原理	(181)
四、单球面折射成像 横向放大率和角放大率	(183)
五、平面反射和折射成像	(189)
第二节 薄透镜	(189)
一、薄透镜及其成像规律	(189)
二、薄透镜成像的作图法 横向放大率	(192)
阅读材料(十八) 望远镜和显微镜	(194)
一、望远镜	(194)
二、显微镜	(196)
习题十八	(197)
第十九章 波动光学	(199)
第一节 光的相干性	(199)
一、光的电磁理论	(199)
二、光的相干性	(200)
三、普通光源发光微观机制的特点	(202)
第二节 双缝干涉	(203)
一、杨氏双缝实验	(203)
二、洛埃德镜	(206)
第三节 薄膜干涉	(208)
一、薄膜干涉	(208)
二、等厚干涉——劈尖干涉和牛顿环	(211)
三、增反膜和增透膜	(215)

* 四、等倾干涉	(217)
五、迈克耳孙干涉仪	(218)
第四节 单缝衍射	(220)
一、惠更斯-菲涅耳原理	(220)
二、单缝夫琅禾费衍射	(222)
三、圆孔衍射和光学仪器的分辨本领	(227)
第五节 光栅衍射	(230)
一、衍射光栅	(230)
二、光栅方程	(231)
三、光栅光谱和色分辨本领	(233)
第六节 X射线的衍射	(236)
第七节 光的偏振现象	(237)
一、光的偏振态	(237)
二、偏振片 马吕斯定律	(240)
第八节 反射和折射时的偏振现象	(242)
第九节 双折射现象	(244)
一、晶体双折射现象的基本规律	(244)
二、惠更斯对双折射现象的解释	(246)
三、偏振棱镜	(249)
阅读材料(十九) 数码照相机	(251)
一、照相机的基本要素	(251)
二、数码相机的“数码”特征	(252)
三、数码相机的前景	(255)
习题十九	(256)
第六篇 量子物理基础	(260)
第二十章 早期量子论	(261)
第一节 黑体辐射和普朗克量子假设	(261)
一、黑体辐射及其基本规律	(262)
二、普朗克量子假设	(264)
第二节 光的量子性	(266)
一、光电效应	(266)
二、爱因斯坦光子假说	(269)
第三节 康普顿散射	(272)
第四节 玻尔氢原子理论	(275)
一、经典氢原子模型	(275)

二、氢原子光谱	(276)
三、玻尔氢原子理论	(277)
阅读材料(二十) 量子理论的发展	(281)
习题二十	(282)
第二十一章 量子力学简介	(284)
第一节 微观粒子的波粒二象性和不确定关系	(284)
一、微观粒子的波粒二象性	(284)
二、不确定关系	(288)
第二节 波函数及其统计解释	(291)
一、概率波	(292)
二、态叠加原理	(295)
第三节 薛定谔方程	(296)
第四节 一维定态问题	(301)
一、一维无限深方势阱	(302)
二、隧道效应	(305)
三、一维谐振子	(308)
第五节 原子中的电子 原子的壳层结构	(310)
一、氢原子中电子的波函数及其概率分布	(310)
二、电子的自旋 施特恩-格拉赫实验	(313)
三、泡利原理 多电子原子的壳层结构	(315)
阅读材料(二十一) 激 光	(318)
习题二十一	(319)
第二十二章 核物理与粒子物理简介	(321)
第一节 原子核的基本性质	(321)
一、原子核的组成	(321)
二、核的自旋和磁矩	(323)
三、核 力	(324)
四、结合能	(325)
第二节 放射性衰变和核反应	(327)
一、放射线衰变	(328)
二、核反应	(332)
三、核裂变和核聚变	(336)
第三节 粒子的分类以及粒子间的相互作用	(339)
一、粒子的分类	(339)
二、四种基本相互作用	(340)

第四节 守恒定律.....	(343)
一、重子数和轻子数	(343)
二、同位旋 I 和同位旋 z 分量 I_z	(344)
三、奇异数	(344)
四、超 荷	(344)
五、宇 称	(345)
阅读材料(二十二) 核磁共振.....	(347)
习题二十二.....	(348)
参考答案	(349)
习题十三.....	(349)
习题十四.....	(350)
习题十五.....	(351)
习题十六.....	(353)
习题十七.....	(353)
习题十八.....	(355)
习题十九.....	(355)
习题二十.....	(356)
习题二十一.....	(357)
习题二十二.....	(358)
附 录	(359)
附录一 名词索引.....	(359)
附录二 书中物理量的符号及单位.....	(366)
参考文献	(369)

第四篇 电磁学

电磁学(electromagnetism)主要是研究电荷(electric charge)、电场(electric field)和磁场(magnetic field)的基本性质、基本规律以及它们之间相互联系的科学。电磁运动是物质的一种基本运动形式。

在1820年以前,人们对电现象和磁现象是分别进行研究的,直到丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)发现了电流的磁效应后才结束了这种状态。1831年,英国物理学家法拉第(M. Faraday, 1791—1867)发现了电磁感应现象及其规律,将人类关于电、磁之间联系的认识推到了一个新阶段。1865年,英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)在《电磁场的动力学理论》中总结了前人研究电、磁现象的成果,提出了感生电场和位移电流假说,建立了完整的电磁场理论基础——麦克斯韦方程组。根据这个方程组,麦克斯韦预言了电磁波的存在,并计算出电磁波在真空中的传播速度等于光在真空中的传播速度。1888年,德国物理学家赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)从实验上证实了电磁波的存在。100多年来,随着科学技术的飞跃发展,人们又从许多方面更加充分证实了麦克斯韦方程组的正确性。

目前,电磁学的发展有两个重要方面。一个方面是电磁学规律被用来解决各种各样的实际问题。可以毫不夸张地说,当代高新技术和物质文明一刻也离不开电磁学的应用。另一方面是理论基础方面,更深入地研究电磁相互作用,使它成为更普遍的理论。1967年,温伯格(S. Weinberg, 1933—)和萨拉姆(A. Salam, 1926—)在格拉肖(S. L. Glashow, 1932—)理论的基础上,先后提出了电磁相互作用和弱相互作用统一的规范理论,并为实验所证实,即电磁相互作用和弱相互作用只是同一种相互作用——电弱相互作用的两种表现形式。物理学家正试图找出一个“超统一理论”,即能理解一切物理现象的基本规律。这种巨大的综合性工作,正等待着物理学家去探索。

第十三章 电荷与真空中的静电场

任何电荷的周围都存在着电场,相对于观察者来说静止的电荷在其周围激发的电场称为静电场.静电场是电磁学中首次遇到的一个矢量场,它是研究电磁学的基础.本章主要研究真空中的静电场的基本性质与规律.

第一节 电荷 库仑定律

一、电荷的量子化

人类认识电现象,开始于对摩擦起电(electrification by friction)现象的观察,中国古书上曾有“琥珀拾芥”的记载,也就是说,经过摩擦的琥珀能够吸引轻小的物体.后来,人们发现经毛皮摩擦过的橡胶棒和经丝绸摩擦过的玻璃棒也具有这种性质,我们说它们带了电(electricity),或者说带有了电荷(electric charge).美国物理学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)首先以正电荷、负电荷的名称来区分两种电荷,并在实验的基础上指出,自然界中只存在正负两种电荷,同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引.带电的物体称为带电体,带电体所带电荷的多少叫电量(electric quantity),用符号 Q 或 q 表示,在国际单位制中,其单位为库仑(C).正电荷的电量取正值,负电荷的电量取负值.

实验还证明,在自然界中,电荷是以一个基本单元的整数倍出现的.目前,我们认为电荷的一个基本单元就是一个电子所带电量的绝对值,常以 e 表示.即

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C.}$$

带电体所带的电量只能是 $q = ne$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).电荷的这种只能取离散的、不连续的量值的性质,叫做电荷的量子化(charge quantization).即物体所带的电量不可能连续地取任意量值.

近年来,理论上已提出可能存在更小的电荷单元,即所谓的分数电荷,但实验上并未发现.由于电子的电量是很小的,而在一般的实验中,电量的变化都涉及大量电子的迁移,在宏观上,我们通常近似地认为电量可以连续变化.

二、电荷守恒定律

大量的实验表明,一个孤立系统(即与外界无电荷交换的系统)的总电荷数(正负电荷的代数和)保持不变,即电荷既不能被创造,也不能被消灭,它只能从

一个物体转移到另一个物体,或者从物体的一个部分转移到物体的另一部分,这个定律称为电荷守恒定律(law of conservation of charge). 例如,用不带电的丝绸与玻璃棒摩擦使玻璃棒带正电,同时丝绸上必定带有等量的负电. 摩擦前的丝绸和玻璃棒都不带电,电荷的代数和为零,后来,尽管两者都带了电,但电荷的代数和仍为零. 电荷守恒定律是自然界的基本守恒定律之一.

三、真空中的库仑定律

带电体之间的相互作用十分复杂,它不仅与带电体的电量、体积大小、形状以及带电体之间的相对位置有关,而且还与带电体的电荷分布以及周围介质的性质有关. 在这里,我们只讨论真空中静止的点电荷之间的相互作用. 所谓点电荷,是指大小和形状可忽略不计的带电体,即可以把带电体看作是一个带电荷的几何点. 与力学中质点概念一样,点电荷是一个理想的物理模型.

1785年,法国科学家库仑(A. de. Coulomb, 1736—1806)通过扭秤实验总结出一条规律:真空中两个静止的点电荷之间存在着相互作用力,其大小与两点电荷的电量乘积成正比,与两点电荷间的距离平方成反比;作用力的方向沿着两点电荷的连线,同性电荷互相排斥,异性电荷互相吸引. 这一结论称为库仑定律(Coulomb law),其数学表达式为

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

为了同时表示力 F 的大小和方向,可以将上式写成矢量式

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r.$$

式中, k 为比例系数, q_1, q_2 分别表示两个点电荷的电量, r 表示两个点电荷间的距离, \mathbf{e}_r 表示由施力电荷指向受力电荷径矢 r 的单位矢量. 在国际单位制中,力的单位为牛顿(N),电量的单位为库仑(C),距离的单位为米(m),用实验测得比例系数

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

为了今后计算方便,也可以用另一常量 ϵ_0 替换常量 k ,令

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

于是库仑定律又可写成

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r. \quad (13-1)$$

式中 ϵ_0 为真空电容率 (dielectric constant of vacuum), 又称真空介电常数, 其值为

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.885 \times 10^{-12} \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}.$$

从表面看, 引入“ 4π ”因子使库仑定律形式变得复杂了. 然而, 在今后将会看到, 经常遇到的电磁学公式却因此不出现“ 4π ”因子而变得简单些. 这种作法称为单位制的有理化.

我们称静止电荷之间的相互作用力 F 为静电力 (electrostatic force) 或库仑力. 应当注意, 式 (13-1) 只适用于计算真空中两个静止的点电荷之间的静电力, 对于一般的带电体不能简单地应用. 为了计算两个带电体之间的静电力, 应先将带电体分解成许多可看成点电荷的电荷元. 利用式 (13-1) 求出每一对电荷元间的作用力, 再应用力的叠加原理, 便可计算出两个带电体间的静电力.

实验表明, 当两静止点电荷之间的距离在 $10^{-17} \sim 10^7 \text{m}$ 时, 库仑定律仍然成立. 此时, 满足牛顿第三定律.

第二节 电场和电场强度

一、电 场

大家知道, 要想推动或拉动一个物体, 就必须直接或通过某种媒介和它接触. 例如, 从井里往上提水, 我们是用手拉住绳子, 绳子的另一端系住水桶, 绳子就是传递作用力的媒介.

电荷之间是如何进行作用的呢? 历史上曾经有过两种不同观点的长期争论. 一种称为超距作用 (action at a distance) 观点, 即认为电荷之间的作用力不需要媒介传递, 也不需要时间, 而是从一个带电体瞬时地到达另一个带电体的. 这种观点, 可形象地表示为

电荷 \rightleftharpoons 电荷.

另一种是近距作用 (short-range action) 观点, 即认为任一电荷都在自己的周围空间激发电场, 两个带电体间的相互作用是通过媒介, 即电场来传递的, 也可形象地表示为

电荷 \rightleftharpoons 电场 \rightleftharpoons 电荷.

大量的科学实验证明, 近距作用观点是正确的. 电场是一种客观存在的特殊物质, 它与普通的实物物质一样, 也具有能量、质量与动量, 但它又与普通的实物物质不同, 例如, 几个电场可以占据一个空间, 电场和实物也可以共占一个空间, 即电场具有“可侵人性”. 而实物却不一样.

本章只讨论相对于观测者静止的电荷在其周围空间激发的电场,称为静电场(electrostatic field).

二、电场强度

电场的的一个重要性质,是对放入其中的电荷施加力的作用,我们即可以从这一性质出发,对静电场进行定量的分析讨论.首先,我们在电场中放入电量为 q_0 的一个点电荷作为试验电荷(testing charge),检测它在场中各点所受到的静电力.所谓试验电荷必须具备两个条件,首先,它的电量必须足够小,不致影响待探测电场的分布;其次,它的几何尺寸必须很小,可以看成是点电荷.这是因为空间各点的电场一般是不同的,若试验电荷不是点电荷,探测到的将不是该点的电场的情况,而是该点所在区域内电场的平均情况.实验发现,在电场中的不同位置,试验电荷 q_0 所受静电力的大小和方向一般并不相同.如图13-1所示,显然,试验电荷 q_0 所受静电力不仅与试验电荷所在电场的性质有关,还与试验电荷本身所带的电量有关.

若直接用 q_0 受到的电场力 F 来描述电场显然是不恰当的.然而,实验表明,对电场中任一确定点来说,试验电荷所受的力 F 与它的电量 q_0 的比值 F/q_0 是一个确定的常矢量,与试验电荷的大小、正负无关,只与该场点的位置有关.可见比值 F/q_0 揭示了电场的

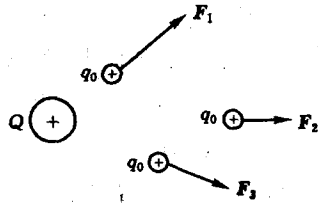


图13-1 试验电荷 q_0 在电场中受力的情况

性质,我们将它定义为电场强度(electric field strength),简称场强,用 E 来表示,即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (13-2)$$

式(13-2)说明,电场中某点的电场强度 E 的大小,等于单位试验电荷在该点所受到的电场力的大小,其方向与正试验电荷受力方向相同.

在国际单位制中,电场强度的单位为牛顿·库仑 $^{-1}$ ($N \cdot C^{-1}$),或伏特·米 $^{-1}$ ($V \cdot m^{-1}$).

一般来说,空间各处的电场强度 E 的大小和方向并不相同, E 是空间坐标的矢量函数.若 E 的大小和方向均与空间坐标无关,这种电场则称为均匀电场,或称匀强电场.

三、点电荷与点电荷系的电场强度

(一) 点电荷的电场强度

设真空中的静电场是由电量为 q 的点电荷产生的, 现将电量为 q_0 的试验电荷置于电场中的 P 点, 该点到 q_0 的距离为 r . 根据库仑定律, 试验电荷 q_0 受到的电场力为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \mathbf{e}_r.$$

式中, \mathbf{e}_r 是由点电荷 q 指向点 P 的单位矢量, 即 $\mathbf{e}_r = \frac{\mathbf{r}}{r}$. 由场强的定义式(13-2) 可得 P 点的电场强度为

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \mathbf{e}_r. \quad (13-3)$$

从式(13-3)可见, 点电荷周围的电场是不均匀的, 但具有球对称性, 在以点电荷 q 为球心, r 为半径的球面上, 各点的场强大小相等, 方向与球面垂直并沿半径方向. 当 $q > 0$ 时, \mathbf{E} 与 \mathbf{e}_r 的方向相同; 当 $q < 0$ 时, \mathbf{E} 与 \mathbf{e}_r 方向相反.

(二) 点电荷系的电场强度

若将试验电荷 q_0 置于由 n 个点电荷 q_1, q_2, \dots, q_n 共同产生的静电场中, 考察场内的某点 P , 以 $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_n$ 分别表示 q_1, q_2, \dots, q_n 单独存在时对 q_0 的作用力, 则按力的叠加原理, q_0 受到的合力 \mathbf{F} 为

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n,$$

将上式两端分别除以 q_0 , 得

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

于是有

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \mathbf{e}_i. \quad (13-4)$$

式中, \mathbf{e}_i 为 r_i 的单位矢量, 即 $\mathbf{e}_i = \frac{\mathbf{r}_i}{r_i}$, 由此可见, 点电荷系在某一点产生的场强, 等于每一个点电荷单独存在时在该点分别产生的场强的矢量和. 这一结论称为电场强度叠加原理 (superposition principle of electric field strengths). 这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的场强, 因为任意带电体