

21世纪高等学校教材

大学物理教程 (下)

DAXUE WULI JIAOCHENG

汪晓元 赵明 陈德彝 邓伟明 等编

UNIVERSITY
PHYSICS
COURSE



北京邮电大学出版社
<http://www.buptpress.com>

大学物理教程

(下)

汪晓元 赵 明 等编
陈德彝 邓伟明

北京邮电大学出版社

内容简介

本套书是根据教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的精神,结合当前高等学校大学物理课程教学改革实际情况和多年教学经验而编写的。全书分上、下两册,上册:力学(含相对论)、机械振动与机械波和热学;下册:电磁学、光学和量子物理基础。与之配套的还有《大学物理教程(学习指导)》。两者既可彼此独立,又可相互配套使用。本套书对于大学物理课程内容与体系做了一些改革尝试,即精选经典内容,拓宽知识面,反映科技与物理学相关的新技术、新成果及其应用与发展,同时尽量使教材符合教学实际情况,篇幅适中,难度适宜。

本套书可作为各类高等学校工科各专业或理科非物理专业的大学物理课程的教材或参考书,也可供文科专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程. 下/汪晓元等编. —北京:北京邮电大学出版社, 2005

ISBN 7-5635-1040-0

I. 大... II. ①汪... III. 物理学—高等学校—教材 IV. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 005041 号

书 名: 大学物理教程(下)

编 者: 汪晓元 赵明 陈德彝 邓伟明 等

责任编辑: 陈露晓 付晓霞

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

电话传真: 010-62282185(发行部) 010-62283578(传真)

E-mail: sanwen99@mail.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 国防科技大学印刷厂印刷

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 22.75

字 数: 394 千字

版 次: 2005 年 2 月第 1 版 2005 年 8 月第 2 次印刷

ISBN 7-5635-1040-0/O·94

定 价(上、下册): 54.00 元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

目 录

第四篇 电磁学

第 12 章 真空中的静电场	(1)
12.1 电荷 库仑定律	(1)
12.1.1 电荷	(1)
12.1.2 库仑定律	(2)
12.2 电场 电场强度	(3)
12.2.1 电场	(3)
12.2.2 电场强度	(4)
12.3 高斯定理	(11)
12.3.1 电通量	(11)
12.3.2 静电场中的高斯定理	(14)
12.4 静电场力的功 电势	(19)
12.4.1 静电场的环路定理	(19)
12.4.2 电势差与电势	(21)
12.5 等势面 电场强度与电势的微分关系	(26)
12.5.1 等势面	(26)
12.5.2 电场强度与电势的微分关系	(28)
思考题	(30)
习题 12	(31)
第 13 章 静电场中的导体和电介质	(35)
13.1 静电场中的导体	(35)
13.1.1 导体的静电平衡及其条件	(35)
13.1.2 静电平衡下导体上电荷的分布	(36)
13.2 电容和电容器	(42)
13.2.1 电容	(42)
13.2.2 电容器串联和并联	(45)

13.3	静电场中的电介质	(47)
13.3.1	电介质的极化	(47)
13.3.2	电极化强度 电介质的极化规律	(49)
13.4	电位移矢量 有电介质时的高斯定理和环路定理	(49)
13.4.1	电介质中的电场	(49)
13.4.2	电位移矢量 有电介质时的高斯定理和环路定理	(51)
13.5	电场的能量	(56)
13.5.1	电容器的储能	(56)
13.5.2	电场的能量	(57)
	思考题	(58)
	习题 13	(60)
第 14 章	稳恒电流与稳恒电场	(64)
14.1	电流 电流密度	(64)
14.1.1	电流强度 电流密度	(64)
14.1.2	电流的连续性方程 稳恒电流	(65)
14.1.3	稳恒电场	(66)
14.2	电源 电动势	(67)
14.2.1	电源 电动势	(67)
14.2.2	欧姆定律的微分形式	(68)
14.2.3	稳恒电路的基本规律	(70)
	思考题	(72)
	习题 14	(72)
第 15 章	稳恒磁场	(74)
15.1	磁场 磁感应强度	(74)
15.2	磁通量 磁场中的高斯定理	(76)
15.3	毕奥-萨伐尔定律	(78)
15.3.1	毕奥-萨伐尔定律	(78)
15.3.2	毕奥-萨伐尔定律的应用	(79)
15.4	安培环路定理	(82)
15.4.1	安培环路定理	(82)
15.4.2	安培环路定理的应用	(83)
15.5	运动电荷的磁场	(86)
15.6	磁场对载流导线的作用	(87)
15.6.1	安培定律	(87)

15.6.2 磁力的功	(90)
15.7 带电粒子在电场和磁场中的运动	(91)
15.7.1 带电粒子在磁场中的运动	(91)
15.7.2 带电粒子在均匀电场和均匀磁场中的运动	(93)
15.7.3 霍尔效应	(94)
思考题	(95)
习题 15	(96)
第 16 章 磁介质	(101)
16.1 介质的磁化	(101)
16.1.1 磁介质的分类	(101)
16.1.2 介质磁化的微观机理	(102)
16.1.3 介质的磁化	(104)
16.2 磁介质中的安培环路定理	(105)
16.3 铁磁质	(108)
16.3.1 铁磁化的磁滞曲线	(108)
16.3.2 铁磁质分类与磁化的微观机理	(109)
思考题	(111)
习题 16	(111)
第 17 章 电磁感应	(112)
17.1 电磁感应定律	(112)
17.1.1 法拉第电磁感应定律	(112)
17.1.2 楞次定律	(115)
17.2 动生电动势与感生电动势	(117)
17.2.1 动生电动势	(117)
17.2.2 感生电动势	(121)
17.3 电子感应加速器 涡电流	(124)
17.3.1 电子感应加速器	(124)
17.3.2 涡电流	(126)
17.4 自感应与互感应	(128)
17.4.1 自感应	(128)
17.4.2 互感应	(129)
17.5 磁场的能量	(132)
17.5.1 自感磁能	(132)
17.5.2 磁场能量	(133)

思考题	(136)
习题 17	(138)
第 18 章 电磁场和电磁波	(143)
18.1 位移电流 麦克斯韦方程组	(143)
18.1.1 位移电流 全电流定律	(143)
18.1.2 麦克斯韦方程组	(148)
18.2 电磁波	(150)
18.2.1 振荡电偶极子与电磁波	(150)
18.2.2 平面电磁波	(151)
18.2.3 振荡电路 赫兹实验	(152)
18.2.4 电磁波谱	(156)
思考题	(157)
习题 18	(157)

第五篇 波动光学

第 19 章 光的干涉	(159)
19.1 光波的一般知识 光波的叠加	(159)
19.1.1 光是一种电磁波	(159)
19.1.2 光源	(161)
19.1.3 光波的叠加	(162)
19.1.4 光程和光程差	(164)
19.2 分波阵面干涉	(166)
19.2.1 杨氏双缝干涉	(166)
19.2.2 其他分波阵面干涉	(169)
19.3 薄膜干涉	(171)
19.3.1 薄膜干涉	(171)
19.3.2 薄膜干涉的应用 增透膜与增反膜	(174)
19.4 劈尖干涉 牛顿环	(176)
19.4.1 劈尖干涉	(176)
19.4.2 牛顿环	(178)
19.5 迈克尔孙干涉仪	(181)
* 19.6 时间相干性和空间相干性	(182)
19.6.1 光的时间相干性	(182)
19.6.2 光的空间相干性	(185)

思考题	(186)
习题 19	(187)
第 20 章 光的衍射	(190)
20.1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	(190)
20.1.1 光的衍射现象及其分类	(190)
20.1.2 惠更斯-菲涅耳原理	(191)
20.2 单缝夫琅禾费衍射	(192)
20.2.1 单缝夫琅禾费衍射的实验装置	(192)
20.2.2 菲涅耳半波带方法	(193)
20.2.3 单缝夫琅禾费衍射的条纹分布	(195)
20.3 光栅衍射	(197)
20.3.1 衍射光栅	(197)
20.3.2 光栅衍射条纹	(198)
20.4 圆孔衍射 光学仪器的分辨率	(203)
20.4.1 圆孔夫琅禾费衍射	(203)
20.4.2 光学仪器的分辨本领	(204)
20.5 X射线的衍射	(206)
思考题	(208)
习题 20	(209)
第 21 章 光的偏振	(211)
21.1 光的偏振状态	(211)
21.2 起偏和检偏 马吕斯定律	(213)
21.2.1 偏振片的起偏和检偏	(213)
21.2.2 马吕斯定律	(214)
21.2.3 偏振光的应用	(216)
21.3 反射光和折射光的偏振	(217)
21.4 光的双折射	(219)
21.4.1 双折射现象	(219)
21.4.2 双折射现象的解释	(221)
* 21.5 偏振光的干涉及其应用	(222)
21.5.1 椭圆偏振光和圆偏振光	(222)
21.5.2 偏振光的干涉	(223)
21.5.3 人为双折射现象	(224)
* 21.6 旋光现象	(225)

思考题	(226)
习题 21	(227)
第 22 章 现代光学简介	(228)
22.1 非线性光学	(228)
22.1.1 强光下光学介质的极化	(228)
22.1.2 倍频效应和混频效应	(229)
22.1.3 光束的自聚焦	(230)
22.1.4 自感应透明与双光子吸收	(231)
22.2 全息照相技术	(231)
22.2.1 全息纪录	(232)
22.2.2 全息再现	(233)
22.2.3 全息照相技术的应用	(234)
22.3 光纤通讯技术	(235)
22.3.1 光导纤维	(235)
22.3.2 光纤通讯的工作原理	(238)
22.3.3 光纤通讯的优势和特点	(239)

第六篇 量子物理基础

第 23 章 量子物理基础	(240)
23.1 黑体辐射 普朗克能量子假设	(240)
23.1.1 热辐射	(240)
23.1.2 黑体辐射定律	(241)
23.1.3 普朗克能量子假设	(242)
23.2 光的量子性	(243)
23.2.1 光电效应	(243)
23.2.2 爱因斯坦光子假设	(245)
23.2.3 康普顿效应	(247)
23.3 氢原子光谱的实验规律 玻尔理论	(250)
23.3.1 氢原子光谱的实验规律	(250)
23.3.2 玻尔的氢原子理论	(251)
23.4 德布罗意假设 电子衍射实验	(255)
23.4.1 德布罗意物质波假设	(255)
23.4.2 电子衍射实验	(256)
23.5 波函数 薛定谔方程	(257)

23.5.1	波函数	(257)
23.5.2	薛定谔方程	(259)
23.5.3	定态薛定谔方程	(259)
23.6	不确定关系	(260)
23.7	一维势阱 势垒 隧道效应	(263)
23.7.1	一维无限深势阱	(263)
23.7.2	一维势垒 隧道效应	(267)
23.8	氢原子	(268)
23.8.1	氢原子定态	(269)
23.8.2	氢原子的量子化特征	(269)
23.8.3	氢原子中的电子分布——电子云	(270)
23.9	斯特恩-盖拉赫实验 电子自旋	(271)
23.9.1	电子的轨道磁矩	(271)
23.9.2	斯特恩-盖拉赫实验	(272)
23.9.3	电子的自旋	(273)
23.10	原子的壳层结构	(274)
	思考题	(277)
	习题 23	(278)
第 24 章	原子核物理和粒子物理简介	(281)
24.1	原子核的基本性质	(281)
24.1.1	原子核的组成	(281)
24.1.2	原子核的大小	(282)
24.1.3	核力	(282)
24.1.4	核的自旋与磁矩	(283)
24.2	原子核的结合能 裂变和聚变	(284)
24.2.1	原子核的结合能	(284)
* 24.2.2	重核的裂变	(286)
* 24.2.3	轻核的聚变	(287)
24.3	原子核的放射性衰变	(289)
24.3.1	放射性衰变	(289)
24.3.2	放射性衰变规律	(290)
* 24.3.3	放射性强度	(291)
* 24.4	粒子物理简介	(292)
24.4.1	粒子的基本特征	(292)

24.4.2 粒子的相互作用及其统一模型	(293)
24.4.3 粒子的分类	(293)
24.4.4 夸克模型	(295)
思考题	(297)
习题 24	(297)
第 25 章 工程新技术的物理基础	(299)
25.1 固体的能带结构	(299)
25.1.1 晶态固体的基本性质	(299)
25.1.2 固体的能带	(301)
25.2 激光	(310)
25.2.1 激光的基本原理	(310)
25.2.2 激光介绍	(315)
25.3 超导电性	(318)
25.3.1 超导的基本特性	(318)
25.3.2 超导的微观机理	(321)
25.3.3 超导材料的分类	(324)
25.4 纳米科学与技术	(333)
25.4.1 纳米材料的奇异特性	(333)
25.4.2 纳米技术的应用及其前景	(336)
思考题	(340)
习题 25	(340)
附表	(341)
参考答案	(343)

第四篇 电磁学

第 12 章 真空中的静电场

相对于观察者静止的电荷所激发的电场,称为静电场.本章研究真空中静电场的基本特性,并从电场的外在表现,即对处在场空间中的电荷有力的作用,以及电荷在电场中移动时电场力将对其做功这两个方面,引入描述电场的两个重要物理量:电场强度和电势.同时介绍反映静电场基本性质的场强叠加原理、高斯定理和场强环路定理,并讨论电场强度和电势之间的积分和微分关系.

12.1 电荷 库仑定律

12.1.1 电 荷

人们对于电的认识最初来自人为的摩擦起电现象.两个不同质料的物体,例如干燥的丝绸和玻璃棒,经互相摩擦后,都能吸引羽毛、纸片等轻微物体,这表明两个物体经摩擦后,处于一种特殊状态,人们把处于这种状态的物体称为带电体,并说它们分别带有电荷.带电体吸引轻微物体能力的强弱与它所带电荷的多少有关,用来量度电荷多少的量称为电量,在国际单位制(SI)中,电量的单位为库仑,用C表示.在某些情况下,“电荷”一词实际是指带电体本身,在更多情况下则把电荷作为电量的同义词.

物体所带的电荷有两种,而且自然界也只存在这两种电荷.为了区别起见,分别称为正电荷和负电荷.带同号电荷的物体互相排斥,带异号电荷的物体互相

吸引. 静止电荷之间的相互作用力称为静电力.

物体是由原子构成的. 在正常情况下, 由于原子核外的电子数和核内的质子数相等, 且每个电子所带的负电荷量与每个质子所带的正电荷量是等值的, 因而整个原子呈电中性, 这亦使得通常的宏观物体处于不带电的电中性状态. 一般而言, 使物体带电的过程就是使处于电中性状态的物体获得或失去电子的过程. 实验证明: 无论是摩擦起电的过程, 还是透过其他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. 即当一种电荷出现时, 必然伴随有等量值的异号电荷同时出现; 一种电荷消失时, 亦必然相伴有等量值的异号电荷同时消失. 由此可见, 在一个与外界没有电荷交换的孤立系统内, 无论发生怎样的物理过程, 系统内正、负电荷的代数和总是保持不变, 这就是由实验总结出来的自然界中守恒定律之一的电荷守恒定律. 要注意, 定律中强调的是正、负电荷的代数和保持不变, 而不是正、负电荷各自的量. 在基本粒子的相互作用过程中, 电荷是可以产生和消失的. 例如, 能量超过 1.02 MeV 的光子, 在经过另一粒子(通常是原子核)附近时, 可能转化为正、负电子对; 又例如, 在一定条件下, 一个电子和一个正电子相遇会同时消失而产生两个光子. 然而, 这些电荷的产生和消失并未改变系统中正、负电荷的代数和, 并不违背电荷守恒定律.

迄今为止的所有实验表明, 一切带电体包括微观粒子所带电荷量, 都是电子电量 $e=1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的整数倍. 这种物体所带电量只能取分立的、不连续量值的性质, 称为电荷的量子化. 不过, 由于基本电荷量 e 很小, 对于荷电量比它大得多的宏观带电体而言, 电荷的量子性显现不出来, 因此, 在讨论宏观带电系统时可以不考虑电荷的量子性, 而把它作为电荷连续分布来处理. 近代物理的一种理论认为, 有可能存在电量为 $\pm \frac{1}{3}e$ 和 $\pm \frac{2}{3}e$ 的基本粒子, 但至今尚未为实验所证实.

此外, 实验还证明, 一个电荷的电量与它的运动状态无关, 亦就是说, 在不同的参考系中观察, 尽管电荷的运动状态不同, 但其电量不变. 电荷的这一性质叫电荷的相对论不变性.

12.1.2 库仑定律

不同物体带电后, 其间存在着相互作用. 研究静止电荷之间的相互作用的理论叫静电学. 一般而言, 带电体之间的相互作用是十分复杂的, 它与带电体的形状、大小、所带电荷和电荷分布、带电体间的相对位置以及周围的介质的性质有关. 这里先讨论最简单也是最基本的情况, 即真空中静止点电荷之间的相互作用.

所谓点电荷,是一个理想的模型.在实际问题中,通常将其线度与其他带电体之间的距离相比很小,以至于其本身的形状和大小对于所研究的问题来说可以忽略的带电体视作一个带电的几何点,亦即点电荷来处理.

库仑于 1785 年通过实验确立了两个静止点电荷之间相互作用的静电力(亦称库仑力)所服从的基本规律,即库仑定律,它是静电学的理论基础,可陈述如下:

在真空中,两个静止点电荷之间的相互作用力的大小与这两个点电荷的电量 q_1 和 q_2 的乘积成正比,而与它们之间距离 r 的平方成反比,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.其数学表达式为

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (12-1)$$

或

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (12-2)$$

式中, r 为施力电荷指向受力电荷的矢径. k 和 ϵ_0 为比例系数,在国际单位制(SI)中, $k = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$, $\epsilon_0 = 1/4\pi k = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, ϵ_0 称为真空电容率或真空介电常量.

实验证明,当点电荷 q 在点电荷系 q_1, q_2, \dots, q_n 的共同作用下,它所受到的静电力,等于 q_1, q_2, \dots, q_n 等各点电荷单独存在时作用于它的静电力的矢量和,即

$$F = F_1 + F_2 + \dots + F_n \quad (12-3)$$

这一结论叫做静电力的叠加原理.按照这个原理,也可计算两个连续带电体之间的静电力,具体做法是先将带电体划分为许多可看成是点电荷的电荷元,利用式(12-2)求出每一对电荷元间的作用力,然后再借助静电力的叠加原理,便可最终得到两个连续带电体之间的静电力.库仑定律和静电力的叠加原理相配合,原则上可以求解静电学中的一切问题.

12.2 电场 电场强度

12.2.1 电 场

库仑定律反映了两个点电荷相互作用力的规律,但它没有从本质上说明电

荷间相互作用力是怎样传递的. 对于电力的传递问题, 历史上有两种不同的观点: 一种是所谓“超距作用”的观点, 即认为库仑力是由一个带电体超越空间直接作用到另一个带电体, 这种作用不需要任何中间物质, 也不需要传递的时间. 这种作用方式可表示为

$$\text{电荷} \Rightarrow \text{电荷}$$

另一种是所谓“近距作用”的观点, 即认为电荷间相互作用是通过这些电荷在周围空间所产生的实在的场而实现的, 也就是说任一电荷都在自己的周围空间产生电场, 并通过电场来对其他的电荷施以力的作用. 这种作用方式可表示为

$$\text{电荷} \Rightarrow \text{电场} \Rightarrow \text{电荷}$$

理论和大量实验证明场的观点是正确的. 电场是一种客观存在的特殊物质, 它和其他一切实物一样, 也具有能量、质量和动量.

相对于观察者静止的电荷在周围空间所产生的电场称为静电场, 静电场的最主要的外在表现有:

(1) 处于电场空间中的任何电荷均会受到电场的作用力, 这种力称为电场力.

(2) 当电荷在电场中移动时, 电场力将对其做功.

静电场的这些性质是人们从不同的角度认识静电场的基础.

12.2.2 电场强度

1. 电场强度

下面先从静电场对处于场中的电荷有力的作用这一表现出发, 利用试验电荷 q_0 引入一个与电场有关的矢量来描述电场. 所谓试验电荷, 就是带电量很小的电荷, 它的线度必须足够小, 当它处于场中某点时, 它的位置应具有确定的意义; 它的电量也必须足够小, 把它引入电场中, 不会对电场有显著的影响, 即不会改变产生电场的那些电荷的分布.

实验发现, 试验电荷受到的电场力 F 除了与电场中场点的位置有关外, 还和试验电荷 q_0 本身有关, 但在电场中某一确定点, 试验电荷受到的电场力 F 与试验电荷的电量 q_0 的比值 F/q_0 却是一个无论大小和方向都与试验电荷 q_0 无关的确定矢量, 只决定于场点的位置. 这就说明, F 只能反映电场的某个侧面, 而 F/q_0 才能客观地表达电场的特性, 是表示电场中给定点电场性质的物理量, 将其称为电场强度或简称场强, 以符号 E 表示, 即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (12-4)$$

当式中 q_0 为一个单位的正电荷, 则 $E = F$, 即电场中任一点的电场强度在数值上等于单位正电荷在该点所受电场力的大小, 场强的方向与正电荷受力的方向一致. 在国际单位制(SI)中, 场强 E 的单位是 $\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$, 有时也写作 $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$.

这里还必须指出, 电场是客观存在的, 引入试验电荷 q_0 只是为了检验电场的存在, 而电场的性质仅由产生该电场的电荷的分布所决定, 与是否引入试验电荷无关.

一般来说, 电场强度矢量在场中各点的大小和方向是各不相同的, 它们是场中点的坐标的函数. 如果知道了电场强度在各空间点的大小和方向, 即如果知道了该矢量函数的形式, 就知道了该静电场的性质. 原则上, 一旦电荷的分布确定后, 电场矢量函数的形式就可确定.

2. 场强叠加原理

如果电场是由若干点电荷 q_1, q_2, q_3, \dots 产生的, 在电场中某点 P 放一试验电荷 q_0 , 并假设 F_1, F_2, F_3, \dots 为各点电荷单独存在时作用于它的静电力, 则根据静电力的叠加原理, q_0 受到的总静电力为

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$

两边同时除以 q_0 , 有

$$\frac{F}{q_0} = \frac{F_1}{q_0} + \frac{F_2}{q_0} + \frac{F_3}{q_0} + \dots$$

根据场强的定义, P 点的场强为

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{F_1}{q_0} + \frac{F_2}{q_0} + \frac{F_3}{q_0} + \dots = E_1 + E_2 + E_3 + \dots = \sum_i E_i \quad (12-5)$$

上式表明, 若若干个电荷在周围空间某点 P 产生的场强等于各个点电荷单独存在时在该点产生场强的矢量和. 这个结论称为场强叠加原理. 由于任何带电体均可视作许多点电荷的集合, 故由该原理, 原则上可求得任意带电体所产生的场强.

3. 场强的计算

如果产生电场的场源电荷的分布已知, 那么根据场强叠加原理, 原则上可求得该场源电荷所激发的场强.

(1) 点电荷的场强

设在真空中有一个静止的点电荷 q , P 为其周围空间中的一点, 称其为场点. 从 q 到 P 点的矢径写作 r . 现将试验电荷 q_0 置于 P 点, 由式(12-2)知, 作用

在 q_0 上的电场力为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} \mathbf{r}$$

利用式(12-4)可求得点电荷 q 在 P 点的场强为

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \mathbf{r} \quad (12-6)$$

由于 P 点的任意性,所以式(12-6)给出点电荷的电场分布,通常将它叫做点电荷的场强公式.由式(12-6)可以看出点电荷的电场中任一点 P 的场强方向总是在点电荷所在点与 P 点的连线上,若 $q > 0$,则 P 点的场强方向与 \mathbf{r} 的方向一致,即场强的方向是从点电荷所在位置指向 P 点;若 $q < 0$,则 P 点的场强方向与 \mathbf{r} 的方向相反,即场强的方向是从 P 点指向点电荷所在位置.此外,电场中任一点的场强大小与产生电场的点电荷的电量成正比,与该点到点电荷的距离平方成反比.若以点电荷所在位置为球心,作一半径为 r 的球面,则球面上各点的场强大小相等,方向沿各点径向,即点电荷产生的电场具有球对称性.

(2) 点电荷系的场强

如果电场由 q_1, q_2, \dots, q_n 所组成的点电荷系产生,设第 i 个点电荷指向场点 P 的矢径为 \mathbf{r}_i ,则根据式(12-5)和(12-6),可得 P 点的场强为

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} \mathbf{r}_i \quad (12-7)$$

(3) 连续分布电荷的场强

对于连续分布的电荷,可将其视为许多电荷元的集合,任意一电荷元 dq 的电场在场中给定点的场强为

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \mathbf{r}$$

式中 \mathbf{r} 为电荷元 dq 指向该点的矢径.根据电场的叠加原理,可求得连续分布的电荷的电场在该点的合成场强为

$$E = \int_0^E dE = \int_0^E \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \mathbf{r} \quad (12-8)$$

由于电荷的分布情况不同,点电荷元 dq 常有 3 种不同的表达方式:

① 体分布 电荷连续分布在带电体内的称为体分布.体分布电荷的电荷元,可以通过电荷体密度 ρ 表示为 $dq = \rho dV$,并用体积分

$$E = \int_V \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\rho dV}{r^2} \mathbf{r} \quad (12-9)$$

表达带电体上各电荷元场强的叠加.