

W U L I X U E J I A O C H E N G



工 科 高 等 教 育 基 础 课 程 教 材

物理学教程 (第2版) 下册

严导淦 主编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

工科高等教育基础课程教材

物理学教程

(第2版) 下册

严导淦 主编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书是在原《物理学教程》(第1版)的基础上,参照教育部高等学校物理与天文教育指导委员会物理基础课程教学指导分委员会颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》修订的,内容涵盖该基本要求中的A类核心内容和一些有关的B类扩展内容,共18章,内容借鉴国内外诸多名著多年来行之有效、且富具科学性的体系,并结合国情进行安排,且可在教学中灵活调整。主要内容为力学、机械振动和机械波以及热力学基础;电磁学、光学和量子物理学基础等。每章配有习题和问题,习题附有答案。

本书在内容论述上详略得当,难度适中,行文简明,知识系统,深入浅出,好教易学,可作为全日制普通高等院校非物理类本科专业的大学物理课程的教材,并可兼作函授、夜大学、网络教育、高等职业技术学院以及高等自学考试的本、专科教学用书。

与本教材同步出版的教学辅导书——《大学物理教学指导》(第2版)对教师备课、授课和学生学习、复习以及巩固本教材的教学效果不无裨益,亦可作为本教材配套的习题课参考书。

图书在版编目(CIP)数据

物理学教程.下册/严导淦主编.——2版.——上海:同济大学出版社,2014.7

ISBN 978-7-5608-5535-6

I. ①物… II. ①严… III. ①物理学—高等学校—教材 IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第120049号

工科高等教育基础课程教材

物理学教程(第2版)下册

严导淦 主编

责任编辑 陈佳蔚

责任校对 徐春莲

封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路1239号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市华顺印刷有限公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 19.5

字 数 390 000

版 次 2014年7月第2版 2014年7月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5535-6

定 价 38.00元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

随着我国经济在科学发展观的指引下持续稳健的增长,为了改革开放和自主创新的需要,推进有中国特色社会主义和谐社会的建设,各类高等学校的“宽口径、厚基础、重能力、求创新”的通识教育理念日益受到各方面的认同。

本书作为《物理学教程》(以下简称“原书”)第2版,根据历年来使用原书第1版的有关院校教学实践反馈的信息,作者重新学习了教育部高等学校物理与天文学教学指导委员会物理基础课程教育指导分委员会颁行的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》),拟定了本书的修订宗旨:在确保教学时数的前提下,基本上涵盖了全部A类核心内容,择要保留了少量B类扩展性内容。为了便于教学,基本上保持原书的体系和内容的论述,仅作少量更动和损益,冀求更适于教学操作和便于读者自学,力图体现培养工科类应用型人才对物理学这门基础课的需求,以提升工科大学生的科学素养。

考虑到本课程一般安排在两个学期内完成教学任务。为此,相应地将全书内容划分为两大部分。建议在第一学期讲授力学(含机械振动和机械波)和热学两个板块;第二学期讲授电磁学(含光学)和近代物理两个板块。旨在分散重点和难点,有助于减轻师生的教学负荷。

其次,如果有些院校对有关专业所安排的本课程学时数偏低,则可仿照国外大学的传统措施,由任课教师根据专业需求,精选本书某些章节施教。其他内容则可供学生毕业后从事专业工作中按需参考自学。

在对原书的修订过程中,参阅有关著作,从中屡挹清芬,深受启迪,获益良多,谨向这些著作的作者深表谢忱。

对于本书错漏和不当之处,希望读者不吝赐正,是所至盼。

最后,在本书修订第2版的过程中,深受同济大学出版社副总编辑曹建和责任编辑陈佳蔚的关注和大力支持,为感无既。

严守谕

2014年仲春于同济学舍

目 次

前 言

第 11 章 静电场	(1)
11.1 电荷 库仑定律	(1)
11.1.1 电荷 电荷守恒定律	(1)
11.1.2 库仑定律	(2)
11.1.3 静电力叠加原理	(3)
11.2 电场 电场强度	(4)
11.2.1 电场	(4)
11.2.2 电场强度	(5)
11.2.3 电场强度叠加原理	(6)
11.3 电场强度和电场力的计算	(7)
11.3.1 点电荷电场中的电场强度	(8)
11.3.2 点电荷系电场中的电场强度	(8)
11.3.3 连续分布电荷电场中的电场强度	(10)
11.3.4 电荷在电场中所受的力	(15)
11.4 电通量 真空中静电场的高斯定理	(17)
11.4.1 电场线	(17)
11.4.2 电通量	(18)
11.4.3 高斯定理	(19)
11.4.4 高斯定理的应用示例	(21)
11.5 静电场的环路定理 电势	(24)
11.5.1 静电力的功	(24)
11.5.2 静电场的环路定理	(25)
11.5.3 电势能	(26)
11.5.4 电势 电势差	(26)
11.5.5 电势的计算	(27)
11.6 等势面 电场强度与电势的关系	(30)
11.6.1 等势面	(30)
11.6.2 电场强度与电势的关系	(31)

11.7 静电场中的金属导体	(33)
11.7.1 金属导体的电结构	(33)
11.7.2 导体的静电平衡条件	(33)
11.7.3 静电平衡时导体上的电荷分布	(35)
11.7.4 静电屏蔽	(37)
11.7.5 计算示例	(38)
11.8 静电场中的电介质	(39)
11.8.1 电介质的电结构	(39)
11.8.2 电介质在外电场中的极化现象	(41)
11.9 有电介质时的静电场和高斯定理	(42)
11.9.1 有电介质时的静电场	(42)
11.9.2 有电介质时静电场的高斯定理 电位移矢量 $\mathbf{D}$	(43)
11.9.3 有电介质时静电场的高斯定理的应用	(45)
11.10 电容 电容器	(48)
11.10.1 孤立导体的电容	(48)
11.10.2 电容器的电容	(49)
11.10.3 电容器的串联和并联	(52)
11.11 电场的能量	(54)
习题 11	(56)
第 12 章 稳恒磁场	(62)
* 12.1 恒定电流	(62)
12.1.1 电流	(62)
12.1.2 电流密度	(63)
12.1.3 电流的连续性方程 稳恒电场	(64)
12.1.4 欧姆定律	(64)
12.1.5 焦耳定律	(65)
12.1.6 电源 电动势	(66)
12.2 磁的基本现象	(67)
12.2.1 磁现象的早期认识	(68)
12.2.2 磁力、磁性的起源	(69)
12.3 磁场 磁感应强度	(70)
12.3.1 磁场	(70)
12.3.2 磁感应强度	(71)
12.4 毕奥-萨伐尔定律及其应用	(72)
12.4.1 毕奥-萨伐尔定律	(72)

12.4.2	应用示例	(74)
12.4.3	运动电荷的磁场	(78)
12.5	磁感应线 磁通量 真空中磁场的高斯定理	(79)
12.5.1	磁感应线	(79)
12.5.2	磁通量	(81)
12.5.3	真空中磁场的高斯定理	(81)
12.6	安培环路定理	(82)
12.6.1	安培环路定理	(82)
12.6.2	应用示例	(85)
12.7	磁场对载流导线的作用 安培定律	(88)
12.7.1	安培定律	(88)
12.7.2	两条无限长直电流之间的相互作用力 “安培”的定义	(89)
12.7.3	均匀磁场中的载流线圈	(91)
12.8	带电粒子在电场和磁场中的运动	(95)
12.8.1	磁场对运动电荷的作用力——洛伦兹力	(95)
12.8.2	带电粒子在电场和磁场中的运动	(97)
12.9	磁场中的磁介质	(100)
12.9.1	磁介质在外磁场中的磁化现象	(100)
12.9.2	抗磁质和顺磁质的磁化机理	(101)
12.9.3	磁介质的磁导率	(102)
12.10	有磁介质时磁场的高斯定理和安培环路定律	(103)
12.11	铁磁质	(105)
12.11.1	铁磁质的磁化特性 磁滞回线	(105)
12.11.2	铁磁性的磁畴理论	(106)
习题 12		(107)
第 13 章	电磁感应和电磁场理论基础	(113)
13.1	电磁感应及其基本定律	(113)
13.1.1	电磁感应现象	(113)
13.1.2	楞次定律	(114)
13.1.3	法拉第电磁感应定律	(115)
13.2	动生电动势	(120)
13.2.1	动生电动势	(120)
13.2.2	动生电动势的表达式	(121)
13.3	感生电动势 涡旋电场	(124)
13.3.1	感生电动势与感生电场 涡旋电场	(124)

13.3.2	电子感应加速器	(125)
13.3.3	涡电流及其应用	(126)
13.4	自感和互感	(127)
13.4.1	自感	(127)
13.4.2	互感	(130)
13.5	磁场的能量	(132)
13.6	麦克斯韦的位移电流假设	(134)
13.7	麦克斯韦方程组的积分形式	(137)
13.7.1	电场	(137)
13.7.2	磁场	(138)
13.7.3	电磁场的麦克斯韦方程组(积分形式)	(139)
13.8	电磁振荡 电磁波	(140)
13.8.1	电磁振荡	(140)
13.8.2	电磁波	(142)
13.8.3	电磁波的辐射和传播	(143)
13.8.4	电磁波的能量	(145)
13.9	电磁波谱	(147)
	习题 13	(149)
第 14 章	几何光学	(154)
14.1	几何光学的基本定律	(154)
14.1.1	光的直进定律	(155)
14.1.2	光的反射定律 平面镜	(155)
14.1.3	光的折射定律 全反射	(157)
14.2	棱镜	(159)
14.2.1	棱镜 全反射棱镜	(159)
14.2.2	棱镜的偏向角	(161)
14.2.3	光的色散	(161)
14.3	球面傍轴成像	(163)
14.3.1	基本概念和符号法则	(163)
14.3.2	球面反射成像	(165)
14.3.3	球面折射成像	(167)
14.4	薄透镜的成像	(169)
14.4.1	透镜	(169)
14.4.2	薄透镜的成像公式	(170)
14.4.3	薄透镜的焦距	(172)

14.4.4 薄透镜成像的作图法	(173)
14.5 光学仪器简介	(174)
14.5.1 眼睛	(174)
14.5.2 放大镜	(174)
14.5.3 显微镜	(175)
14.5.4 望远镜	(177)
14.5.5 照相机	(178)
习题 14	(179)
第 15 章 波动光学	(181)
15.1 光的干涉 光强度	(181)
15.1.1 波干涉现象的回想	(181)
15.1.2 光强度 光的干涉	(182)
15.1.3 相干光的获得	(184)
15.2 双缝干涉	(186)
15.2.1 杨氏双缝干涉实验	(186)
15.2.2 洛埃德镜实验 半波损失	(189)
15.3 光程 光程差	(190)
15.3.1 光程	(190)
15.3.2 光程差	(192)
15.3.3 额外光程差 干涉条件的一般表述	(193)
15.3.4 透镜不引起额外的光程差	(194)
15.4 平行平面薄膜的光干涉	(194)
15.5 劈形薄膜的光干涉	(198)
15.5.1 劈形薄膜	(198)
15.5.2 牛顿环	(201)
* 15.6 迈克耳孙干涉仪	(203)
15.7 光的衍射现象	(205)
15.7.1 光的衍射现象	(205)
15.7.2 惠更斯-菲涅耳原理	(206)
15.8 单缝衍射	(207)
15.8.1 单缝的夫琅禾费衍射	(207)
15.8.2 单缝衍射条纹的形成	(207)
15.8.3 单缝衍射条纹的明、暗条件	(208)
15.9 衍射光栅 衍射光谱	(211)
15.9.1 衍射光栅	(211)

15.9.2	光栅衍射条纹的成因	(213)
15.9.3	光栅公式	(214)
15.9.4	衍射光谱	(216)
15.10	光学仪器的分辨率	(217)
15.10.1	圆孔衍射	(217)
15.10.2	光学仪器的分辨率	(218)
* 15.11	X射线的衍射 布拉格公式	(219)
15.12	光的偏振	(221)
15.13	偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	(223)
15.13.1	偏振片的起偏和检偏	(224)
15.13.2	马吕斯定律	(225)
15.13.3	偏振片的应用	(225)
15.14	反射和折射时光的偏振	(226)
15.14.1	反射和折射的起偏	(226)
* 15.14.2	光的双折射现象	(229)
* 15.15	偏振光的干涉 人工双折射	(230)
习题 15		(232)
第 16 章	早期量子论	(235)
16.1	热辐射	(235)
16.1.1	热辐射及其定量描述	(235)
16.1.2	绝对黑体辐射定律 普朗克公式	(236)
16.2	光电效应	(239)
16.2.1	光电效应的实验规律	(239)
16.2.2	光电效应与光的波动理论的矛盾	(240)
16.2.3	爱因斯坦的光子假设 光的波粒二象性	(241)
16.2.4	光电效应的应用	(242)
16.3	康普顿效应 电磁辐射的波粒二象性	(243)
16.3.1	康普顿效应	(243)
16.3.2	电磁辐射的波粒二象性	(245)
16.4	氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	(246)
16.4.1	氢原子光谱的规律性	(246)
16.4.2	玻尔的氢原子理论	(247)
习题 16		(251)
第 17 章	量子力学基础	(253)
17.1	德布罗意的假设 海森伯的不确定关系	(253)

17.1.1 实物粒子的波动性——德布罗意假设	(253)
17.1.2 海森伯的不确定关系	(255)
17.2 波函数及其统计解释	(257)
17.2.1 波函数	(257)
17.2.2 波函数的统计解释	(259)
17.2.3 波函数的归一化条件及标准条件	(260)
17.3 薛定谔方程	(261)
17.3.1 薛定谔方程	(261)
17.3.2 定态薛定谔方程	(262)
17.4 定态薛定谔方程的应用	(263)
17.4.1 一维无限深方形势阱	(263)
* 17.4.2 一维线性简谐振子	(266)
17.4.3 势垒贯穿	(268)
17.4.4 氢原子	(270)
17.5 电子的自旋 多电子的原子及电子壳层模型	(273)
17.5.1 电子的自旋 自旋磁量子数	(273)
17.5.2 多电子的原子	(275)
17.5.3 原子中的电子壳层模型 元素周期表的本源	(276)
习题 17	(279)
* 第 18 章 原子核和基本粒子简介	(280)
18.1 原子核的结构和基本性质	(280)
18.1.1 原子核的组成	(280)
18.1.2 原子核的电荷	(280)
18.1.3 原子核的质量	(280)
18.1.4 原子核的结合能	(281)
18.1.5 核力	(282)
18.1.6 原子核的大小	(283)
18.2 原子核的衰变和衰变规律	(284)
18.2.1 天然放射性现象	(284)
18.2.2 原子核衰变的规律	(285)
18.2.3 位移定则	(286)
18.2.4 探测放射性现象的方法	(286)
18.3 核反应	(287)
18.3.1 人工核反应 中子	(287)
18.3.2 人工放射性 正电子	(288)

18.3.3 放射性同位素及其应用	(289)
18.3.4 获得高能粒子的方法	(290)
18.4 原子核能的利用	(290)
18.4.1 重核裂变	(291)
18.4.2 轻核聚变	(293)
18.5 基本粒子简介	(294)
18.5.1 基本粒子的发现 强子的夸克模型	(294)
18.5.2 夸克模型	(294)
18.5.3 基本粒子的相互作用	(295)
参考文献	(297)

第 11 章

静 电 场

天才是 1% 的灵感
和 99% 的汗水.

——(美)爱迪生

T. A. Edison(1847—1931)

电磁运动是物质运动的一种基本形式,电磁相互作用是自然界已知的四种基本相互作用之一.电磁学是人类深入认识物质世界必不可少的基础理论,它在工程技术和自然科学领域中具有十分广泛的应用.

19 世纪以来,许多科学家对电磁现象的规律和物质的电结构做了大量的实验和理论研究,总结出了经典电磁场理论.

电场是一种特殊的物质形态.本章从静止电荷之间相互作用出发引述静电场,并着重描写静电场的两个基本概念——电场强度和电势以及彼此的联系;介绍高斯定理和环流定理,并由此揭示静电场的基本性质;继而研究导体和电介质在静电场中的行为;最后讨论静电场的能量.

11.1 电荷 库仑定律

11.1.1 电荷 电荷守恒定律

实验和研究表明,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(+)电荷和负(-)电荷.带同种电荷的物体相互排斥,带异种电荷的物体相互吸引.

组成任何物质的原子,都具有带正电的质子和带负电的电子.质子集中在原子核内,电子在核外绕核运动.每一个质子所带的电荷和每一个电子所带的电荷在数值上相等.在正常状态下,一个原子中的质子数和电子数相等.因此,原子呈电中性,整个宏观物体也呈电中性.当由于某种原因破坏了物体的电中性状态,使物体内电子过多或不足时,物体就相应地带了负电或正电.

摩擦起电、感应起电等实验表明,任何使物体带电的过程,都是借外界做功使物体中原有的正、负电荷分离或转移的过程.当一个物体失去一些电子时,必

有其他物体同时得到这些电子.由此人们总结出:在一个与外界没有电荷交换的孤立系统内,正、负电荷的代数和在任何物理过程中始终保持不变.这个结论称为电荷守恒定律,它是物理学的基本定律之一.

目前认为,电子是自然界具有最小电荷 e 的粒子,所有带电体或其他微观粒子的电荷都是电子电荷绝对值的整数倍.即物体所带电荷是不连续的,这称为电荷的量子化.不过,常见的宏观带电体所带的电荷远大于电子的电荷,在一般灵敏度的电学测试仪器中,电荷的量子性是显示不出来的.因此在分析带电情况时,可以认为电荷是连续变化的.这正像人们看到江河中滔滔流水时,认为它是连续的,而并不感觉到水是由一个个分子、原子等微观粒子组成的一样.

物体所带电荷的多少叫做电量,记作 Q 或 q ,电量的单位是库仑,简称库,符号为 C. 经实验测定质子带正电,电量为 1.602×10^{-19} C. 电子带负电,电量为 -1.602×10^{-19} C.

11.1.2 库仑定律

实验指出:带电体之间有相互作用,这种相互作用与它们各自的形状、大小、电荷分布情况以及带电体之间的相对位置都有关系.但是随着带电体之间距离的增大,对带电体本身的形状、大小及其上电荷分布的影响将逐步减少.当带电体之间距离远大于它们本身的几何线度时,上述影响可以忽略不计.这时,就可以忽略带电体本身的大小、形状及其上电荷分布情况、而把它们看成为点电荷.这里“点电荷”这个概念和力学中的“质点”概念相仿,只有相对的意义.例如,有两个带电体线度皆为 d ,若二者相距为 r ,只有当 $r \gg d$ 时,我们才可以把它们当作点电荷来处理.下面讨论两个静止点电荷的相互作用力.

两个静止的点电荷之间相互作用力的大小与两个点电荷所带电量 q_1, q_2 的乘积成正比,与两个点电荷之间的距离 r 的平方成反比,作用力的方向沿着两个点电荷的连线;同号电荷相斥,异号电荷相吸.这就是库仑定律.它是库仑从实验中总结出来的静电学基本定律.如果两个电荷处于真空中,把从 q_1 指向 q_2 的单位矢量设为 e_r ,那么电荷 q_2 受到电荷 q_1 的作用力 F (图 11-1)可表示为

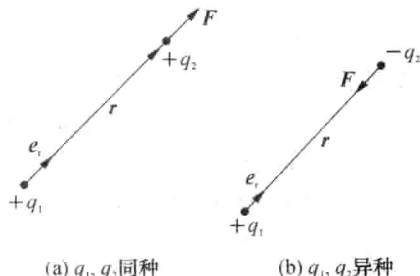


图 11-1 q_1 对 q_2 的作用力

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (11-1)$$

式中,比例系数 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}=8.987\,776\times 10^9\text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}\approx 9\times 10^9\text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$ (计算时取近似值);其中 ϵ_0 称为真空电容率, $\epsilon_0=8.85\times 10^{-12}\text{ C}\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

静电力 F 通常又称为库仑力.如图11-1(a)、(b)所示,当 q_1, q_2 为同种电荷时, F 与 e_r 同方向,二者之间表现为斥力;当 q_1, q_2 为异种电荷时, F 与 e_r 反方向,二者之间表现为引力.

11.1.3 静电力叠加原理

在一般情况下,对于两个以上的点电荷,实验证明:其中每个点电荷所受的总静电力,等于其他点电荷单独存在时作用于该点电荷上的静电力之矢量和.这就是静电力的叠加原理.也就是说,不管周围有无其他电荷存在,两个点电荷间的相互作用力总是符合库仑定律的.设 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 分别为点电荷 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 单独存在时对点电荷 q_0 作用的静电力,则 q_0 所受静电力的合力 F (矢量和)为

若 r 为 q_1 指向 q_2 的位置矢量,简称位矢,则自 q_1 指向 q_2 的单位矢量 $e_r=r/r$ 标志了位矢 r 的方向.

$$F = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum_i F_i \quad (11-2)$$

上式即为静电力叠加原理的表达式.

库仑定律与静电力叠加原理是静电学的最基本规律.原则上,有关静电学的问题都可用这两条规律解决.

例题 11-1 α 粒子(即氦原子核)的质量 m 为 $6.68\times 10^{-27}\text{ kg}$,它的电荷 $q=3.2\times 10^{-19}\text{ C}$.比较两个 α 粒子间的静电斥力与万有引力的大小.

解 静电力的大小为

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

式中, r 为两个 α 粒子间的距离.万有引力的大小为

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

式中, $G=6.67\times 10^{-11}\text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$,为引力常量.将已知数据代入,可算得两力大小之比为

$$\begin{aligned} \frac{F_e}{F_m} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0 G} \frac{q^2}{m^2} = 9\times 10^9\text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2} \times \frac{1}{6.67\times 10^{-11}\text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}} \times \\ &\quad \frac{(3.2\times 10^{-19}\text{ C})^2}{(6.68\times 10^{-27}\text{ kg})^2} = 3.1\times 10^{35} \end{aligned}$$

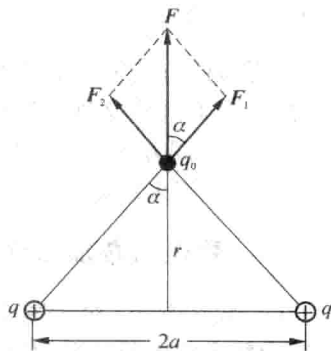
显然,在微观粒子的相互作用中,万有引力远小于静电力,可略去不计.然而,在讨论行

今后,凡对电荷周围介质的情况未加任何说明时,均指真空而言.

星、恒星、星系等大型天体之间的相互作用力时,则主要考虑万有引力,因为它们都是电中性的。

例题 11-2 如图所示,两个相等的正点电荷 q , 相距为 $2a$, 若一个点电荷 q_0 放在上述两电荷连线的中垂线上, 问: 欲使 q_0 受力最大, q_0 到两电荷连线中点的距离 r 为多大?

解 由库仑定律和静电力叠加原理可知, 电荷 q_0 受两个电荷 q 的静电力分别为 F_1 和 F_2 , 合力为 F , 其值随 r 而变。当 r 较大时, q_0 与 q 之间的距离较大, 合力随这个距离的增加而减小; 当 r 较小时, q_0 受 q 的力增大, 但所受两个力之间的夹角 2α 变大, 合力仍是减小。因此, 当 r 为某一定值时, q_0 所受的合力有最大值, 相应的 r 值可用求极值方法算出, 即



例题 11-2 图

$$F = 2F_1 \cos \alpha = \frac{2q_0 q}{4\pi\epsilon_0 (a^2 + r^2)} \frac{r}{(a^2 + r^2)^{\frac{1}{2}}} \\ = \frac{q_0 q r}{2\pi\epsilon_0 \sqrt{(a^2 + r^2)^3}}$$

$$\text{且} \quad \frac{dF}{dr} = \frac{q_0 q}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{\sqrt{(a^2 + r^2)^3} - 3\sqrt{a^2 + r^2} r^2}{(a^2 + r^2)^3} \right]$$

$$\text{令} \quad \frac{dF}{dr} = 0, \text{并化简后, 得}$$

$$r = \pm \frac{a}{\sqrt{2}}$$

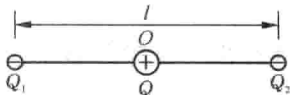
又可求出 $\left. \frac{d^2 F}{dr^2} \right|_{r=\pm \frac{a}{\sqrt{2}}} < 0$, 因此, 当 $r = \pm \frac{a}{\sqrt{2}}$ 时, F 具有极大值。

问题 11.1.1 (1) 试述库仑定律及其比例系数; 什么叫做点电荷? 在库仑定律中, 倘若令 $r \rightarrow 0$, 则库仑力 $F \rightarrow \infty$, 显然没有意义, 试对此作出解释。

(2) 设 q_1, q_2 都是静止的点电荷, 且 F_{12} 为 q_2 对 q_1 的作用力, F_{21} 为 q_1 对 q_2 的作用力, 求证: 两者之间相互作用力服从牛顿第三定律: $F_{12} = -F_{21}$ 。

问题 11.1.2 (1) 试述静电力叠加原理。

(2) 如图, 两个带负电的静止点电荷, 其大小 $|Q_1|$ 和 $|Q_2|$ 可以相等或不相等, 相距为 l , 一个正的点电荷 Q 放在二者连线的中点 O , 试分别讨论电荷 Q 所受静电力的合力方向。



问题 11.1.2(2) 图

11.2 电场 电场强度

11.2.1 电 场

物体间的相互作用必须相互接触或借助于介乎其间的物质才能传递。否则,

物体之间的相互作用就不可能发生. 电荷间的相互作用是通过一种特殊的物质——电场传递过去的. 任何电荷周围都存在**电场**. 电场的基本特征是它对位于场中的任何电荷存在力的作用. 一个电荷之所以会受到另一个电荷的作用力, 是由于另一个电荷周围存在着电场, 另一个电荷因处于第一个电荷的电场中也受到作用力. 这种力称为**电场力**. 我们可以把点电荷 q_1 , q_2 之间的相互作用力归结为

$$\text{点电荷 } q_1 \xrightarrow[\text{作用于}]{\text{激发}} \text{电场 1} \xrightarrow[\text{激发}]{\text{作用于}} \text{电场 2} \xrightarrow[\text{作用于}]{\text{激发}} \text{点电荷 } q_2$$

与观察者相对**静止**的电荷所产生的电场称为**静电场**. 今后我们将会看到, 静电场只不过是**电磁场**中的一种特殊情形, 而电磁场与实物一样具有质量、能量、动量等一切物质所具有的重要属性, 电磁场一经产生还可以脱离电荷独立存在, 因而电磁场本身是一种物质. 不过这种物质不同于通常由电子、质子和中子等所构成的实物. 例如实物原子所占据的空间不能同时为另一原子所占据, 但几个电磁场却可以同时占据同一空间.

11.2.2 电场强度

为了判断电场的存在与否和描述电场的强弱和方向, 我们可用试探电荷 q_0 进行探测. q_0 必须满足下列两个条件: ①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; ②带电体的线度必须很小而可看作点电荷. 这样, 就可以用 q_0 对空间各点电场的强弱和方向进行检测和研究. 实验表明:

(1) 在给定电场中(指产生电场的电荷, 即场源电荷的分布已给定)的同一地点(简称**场点**) P_1 , 改变 q_0 的大小, q_0 所受的电场力 F 将随之改变, 但比值 F/q_0 却不变.

(2) 任意选择电场中不同的场点 $P_1, P_2, P_3, \dots$, 重复上述实验, 比值 F/q_0 只随地点而变, 而与试探电荷 q_0 的大小无关. 因此, 可用比值 F/q_0 来反映电场中各点的电场强弱和方向, 并定义它为**电场强度**. 其次, 考虑到电场力的方向和 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**.

电场强度是矢量, 具有大小和方向, 通常用 E 表示电场强度矢量, 即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (11-3)$$

在上式中取 $q_0 = +1$, 则得 $E = F$. 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力的**大小**, 电场强度的方向与正电荷在该点所受**电场力的方向一致**; 与负电荷在该点所受**电场力的方向相反**(如图 11-2 中的 E_1, E_2 等).