



21世纪高职高专规划教材·机电系列

物理学基础与 应用技术

韩瑞功 主 编
孙学英



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

21 世纪高职高专规划教材·机电系列

物理学基础与应用技术

韩瑞功 孙学英 主编

清华大学出版社

北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是根据高等职业院校计算机科学与技术专业所需物理基础与应用技术知识和《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》而编写的。

本书在编写过程中,注意高等职业教育的自身特点,全面贯彻素质教育,体现“以应用为目的,以必需、够用为度”和“以素质为核心、能力为基础、技能为重点”的教学原则,注意培养学生综合能力、创新意识和基本技能。全书共分9章,包括:第1章静电场,第2章稳恒电场,第3章交流电路,第4章波和粒子,第5章电磁场和电磁波,第6章相对论,第7章半导体与纳米技术,第8章激光技术,第9章常用电工仪表与测量。书中附有思考题与习题和部分习题参考答案。

本书可作为高等职业学院、中等职业学校、成人高等职业学校及本科院校所属的二级学院和民办高校计算机专业的基础教材,也可供有关人员自学参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

物理学基础与应用技术 / 韩瑞功, 孙学英主编. —北京: 清华大学出版社; 北京交通大学出版社, 2004. 2

(21 世纪高职高专规划教材·机电系列)

ISBN 7-81082-223-3

I. 计… II. ①韩… III. 物理学—高等学校: 技术学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 093401 号

责任编辑: 闫 聪

特邀编辑: 宋望溪

出版者: 清华大学出版社 邮编: 100084 电话: 010-62776969

北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686045, 62237564

印刷者: 北京瑞达方舟印务有限公司

经销者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12.25 字数: 300 千字

版 次: 2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 1~5000 册 定价: 18.00 元

21 世纪高职高专规划教材·机电系列

编审委员会成员名单

主任委员 李兰友 边奠英

副主任委员 周学毛 崔世钢 王学彬 丁桂芝 赵 伟
韩瑞功 汪志达

委 员 (按姓名笔画排序)

马 辉	万志平	万振凯	王永平	王建明
尤晓晔	丰继林	左文忠	叶 华	叶 伟
付晓光	付慧生	冯平安	江 中	佟立本
刘 炜	刘建民	刘 晶	曲建民	孙培民
邢素萍	华铨平	吕新平	陈小东	陈月波
李长明	李 可	李志奎	李 琳	李源生
李群明	李静东	邱希春	沈才梁	宋维堂
汪 繁	张文明	张权范	张宝忠	张家超
张 琦	金忠伟	林长春	林文信	罗春红
苗长云	竺士蒙	周智仁	孟德欣	柏万里
宫国顺	柳 炜	钮 静	胡敬佩	姚 策
赵英杰	高福成	贾建军	徐建俊	殷兆麟
唐 健	黄 斌	章春军	曹豫莪	程 琪
韩广峰	韩其睿	韩 劼	裘旭光	童爱红
谢 婷	曾瑶辉	管致锦	熊锡义	潘玫玫
薛永三	操静涛	鞠洪尧		

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分，它的根本任务是培养生产、建设、管理和服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高等技术应用型专门人才，所培养的学生在掌握必要的基础理论和专业知识的基础上，应重点掌握从事本专业领域实际工作的基本知识和职业技能，因而与其对应的教材也必须有自己的体系和特色。

为了适应我国高职高专教育发展及其对教学改革和教材建设的需要，在教育部的指导下，我们在全中国范围内组织并成立了“21 世纪高职高专教育教材研究与编审委员会”（以下简称“教材研究与编审委员会”）。“教材研究与编审委员会”的成员单位皆为教学改革成效较大、办学特色鲜明、办学实力强的高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及高等院校主办的二级职业技术学院，其中一些学校是国家重点建设的示范性职业技术学院。

为了保证规划教材的出版质量，“教材研究与编审委员会”在全国范围内选聘“21 世纪高职高专规划教材编审委员会”（以下简称“教材编审委员会”）成员和征集教材，并要求“教材编审委员会”成员和规划教材的编著者必须是从事高职高专教学第一线的优秀教师或生产第一线的专家。“教材编审委员会”组织各专业的专家、教授对所征集的教材进行评选，对列选教材进行审定。

目前，“教材研究与编审委员会”计划用 2~3 年的时间出版各类高职高专教材 200 种，范围覆盖计算机应用、电子电气、财会与管理、商务英语等专业的主要课程。此次规划教材全部按教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”编写，其中部分教材是教育部《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》的研究成果。此次规划教材编写按照突出应用性、实践性和针对性的原则编写并重组系列课程教材结构，力求反映高职高专课程和教学内容体系改革方向；反映当前教学的新内容，突出基础理论知识的应用和实践技能的培养；适应“实践的要求和岗位的需要”，不依照“学科”体系，即贴近岗位群，淡化学科；在兼顾理论和实践内容的同时，避免“全”而“深”的面面俱到，基础理论以应用为目的，以必要、够用为度；尽量体现新知识、新技术、新工艺、新方法，以利于学生综合素质的形成和科学思维方式与创新能力的培养。

此外，为了使规划教材更具广泛性、科学性、先进性和代表性，我们希望全国从事高职高专教育的院校能够积极加入到“教材研究与编审委员会”中来，推荐“教材编审委员会”成员和有特色、有创新的教材。同时，希望将教学实践中的意见与建议及时反馈给我们，以便对已出版的教材不断修订、完善，不断提高教材质量，完善教材体系，为社会奉献更多更新的与高职高专教育配套的高质量教材。

此次所有规划教材由全国重点大学出版社——清华大学出版社与北方交通大学出版社联合出版。适合于各类高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及高等院校主办的二级职业技术学院使用。

21 世纪高职高专教育教材研究与编审委员会
2003 年 9 月

前 言

本书是 21 世纪高职高专规划教材(机电系列)之一,是针对高职高专教育的总体要求和人才培养目标而编写的。全书主要包括:静电场、稳恒磁场、交流电路、波和粒子、电磁场和电磁波、相对论、半导体与纳米技术、激光技术、常用电工仪表与测量,对高职高专计算机专业具有较强的针对性和适用性。本书在编写中突出了基础理论教学要以应用为目的,以讲清概念、强化应用为教学重点和综合训练为特色。对学生的动手、应用操作和创新能力的培养作了有益的探索,同时,在编写过程中,紧密联系经济发展实际,吸收科学技术进步的最新成果,体现了高职高专的办学特色。

各章在重点介绍基础知识,强化能力培养,体现高职高专教育特色的同时,十分重视实践和学生实际能力的培养。授课时教师可根据教学大纲和实际授课情况进行取舍,每章后都附有小结、思考题与习题,便于学生自学时参考,也便于教师在教学中组织指导复习。

思考题与习题是学生学习每一章后,需要完成的课后作业,通过对思考题与习题的解答,可激发学生的创造性思维活动,巩固基础知识,熟记基本概念,达到培养实际能力和创造能力的目的,习题答案可供学生在学习时参考。本书供高职高专、本科院校所属的二级学院计算机及相关专业使用,也可供计算机相邻专业的教学和自学使用。

编写高职高专教材是我们的初步尝试,在编写过程中得到了有关领导、老师的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢!由于时间紧,编写过程中难免存在一些错误,恳求广大教师在使用时不吝赐教。

编 者
2004 年 1 月

目 录

第 1 章 静电场	(1)
1.1 电荷与库仑定律	(1)
1.1.1 电荷的量子化	(1)
1.1.2 库仑定律	(2)
1.2 电场与电场强度	(3)
1.2.1 静电场	(3)
1.2.2 电场强度	(3)
1.3 环路定理	(4)
1.4 电容器与静电场的能量	(6)
1.4.1 电容及电容器	(6)
1.4.2 电容器的串并联	(8)
1.4.3 电容器的能量	(9)
1.4.4 静电场的能量	(9)
1.5 静电场中的电介质	(10)
1.5.1 电介质的极化	(10)
1.5.2 电场中的导体	(11)
1.6 静电的除尘技术	(13)
1.6.1 静电的除尘原理	(13)
1.6.2 静电的防护	(13)
小结	(16)
思考题与习题	(16)
第 2 章 稳恒磁场	(18)
2.1 磁现象的电本质	(18)
2.1.1 磁现象的发现	(18)
2.1.2 电流的磁效应	(18)
2.1.3 磁现象的电本质	(19)
2.2 磁场与磁感应强度	(19)
2.2.1 磁场	(19)
2.2.2 磁感应强度	(20)
2.2.3 磁力线	(21)
2.2.4 毕奥 - 萨伐尔定律	(22)
2.3 磁场对运动电荷及通电导线的作用	(23)
2.3.1 磁场对运动电荷的作用	(23)
2.3.2 带电粒子在磁场中的运动	(24)
2.3.3 磁聚焦与磁约束	(26)
2.3.4 电子荷质比(e/m_e)的测定	(27)
2.3.5 回旋加速器	(28)

2.3.6 磁场对通电导线的作用	(29)
2.4 磁材料技术	(31)
2.4.1 物质的磁性	(31)
2.4.2 磁性材料内的磁场	(32)
2.4.3 有铁心的磁铁	(32)
2.4.4 磁性材料	(33)
2.4.5 磁屏蔽	(35)
小结	(35)
思考题与习题	(36)
第3章 交流电路	(38)
3.1 交流电的产生	(38)
3.1.1 单相交流电的产生	(38)
3.1.2 正弦交流电	(38)
3.1.3 周期和频率	(39)
3.1.4 交流电的有效值	(39)
3.2 纯电阻正弦交流电路	(40)
3.2.1 电流与电压的关系	(40)
3.2.2 功率	(41)
3.3 纯电感正弦交流电路	(41)
3.3.1 正弦电压与电流的关系	(41)
3.3.2 电感电路的功率	(43)
3.4 纯电容正弦交流电路	(43)
3.4.1 正弦电压与电流的关系	(43)
3.4.2 电容电路中的功率	(44)
3.5 变压器	(45)
3.5.1 变压器的基本结构	(45)
3.5.2 变压器的工作原理	(46)
3.6 变压器的额定值和运行特性	(49)
3.6.1 变压器的额定值	(49)
3.6.2 变压器的外特性和电压变化率	(49)
3.6.3 变压器的损耗和效率	(50)
3.7 仪用互感器	(50)
3.7.1 自耦变压器	(50)
3.7.2 电焊变压器	(51)
3.7.3 互感器	(52)
3.7.4 1:1 隔离变压器	(56)
3.8 安全用电知识	(56)
3.8.1 触电	(56)
3.8.2 防止触电的保护措施	(57)
3.8.3 电气防火和防爆	(60)
小结	(61)

思考题与习题	(62)
第4章 波和粒子	(63)
4.1 简谐运动.....	(63)
4.1.1 简谐运动及其特征	(63)
4.1.2 表征简谐运动的物理量	(65)
4.2 简谐振动的合成.....	(66)
4.2.1 两个同方向同频率简谐振动的合成	(66)
4.2.2 两个互相垂直的同频率的简谐运动的合成.....	(67)
4.3 波的传播.....	(68)
4.3.1 机械波的概念	(68)
4.3.2 波函数及波的能量	(69)
4.4 波的干涉与多普勒效应.....	(70)
4.4.1 波的叠加原理	(70)
4.4.2 波的干涉.....	(71)
4.4.3 多普勒效应	(72)
4.5 波的衍射和偏振.....	(74)
4.5.1 波的衍射.....	(74)
4.5.2 光的偏振.....	(75)
4.6 超声波及其应用.....	(82)
4.6.1 声波	(82)
4.6.2 超声波	(82)
4.6.3 次声波	(84)
4.7 实物粒子的波粒二象性.....	(84)
4.7.1 光的波粒二象性	(84)
4.7.2 德布罗意物质波假说	(85)
4.8 光电效应.....	(86)
4.8.1 光电效应实验	(86)
4.8.2 爱因斯坦方程	(87)
4.8.3 光电效应在现代技术中的应用	(87)
小结	(88)
思考题与习题	(89)
第5章 电磁场和电磁波	(91)
5.1 电磁场.....	(91)
5.1.1 涡旋电场.....	(91)
5.1.2 位移电流.....	(91)
5.1.3 电磁场	(92)
5.2 电磁波.....	(92)
5.2.1 振荡电路.....	(92)
5.2.2 LC 振荡方程	(93)
5.2.3 LC 电磁振荡能量.....	(94)
5.3 电磁波的传播.....	(95)

5.3.1 电磁波的传播	(95)
5.3.2 电磁波的产生	(96)
5.3.3 电磁波的基本性质	(98)
5.3.4 赫兹实验	(98)
5.3.5 电磁波的能量	(99)
5.4 电磁波谱	(99)
5.5 红外辐射	(100)
5.5.1 热辐射	(101)
5.5.2 黑体辐射规律	(101)
5.5.3 量子论的诞生	(102)
5.5.4 实际物体的热辐射	(102)
5.5.5 红外辐射	(103)
5.5.6 红外探测	(104)
5.5.7 红外技术的应用	(105)
小结	(106)
思考题与习题	(107)
第6章 相对论	(108)
6.1 伽利略变换式	(108)
6.2 狭义相对论的两个基本假设	(109)
6.3 洛伦兹变换和相对性原理	(109)
6.4 运动效应	(110)
6.4.1 极限速度	(110)
6.4.2 长度缩短	(110)
6.4.3 时间膨胀	(111)
6.4.4 狭义相对论的时空观	(111)
6.4.5 相对论力学	(111)
6.5 广义相对论	(112)
6.6 光速的测定	(113)
小结	(114)
思考题与习题	(114)
第7章 半导体与纳米技术	(116)
7.1 半导体的基本概念	(116)
7.1.1 半导体	(116)
7.1.2 半导体导电的特性	(116)
7.1.3 本征半导体的导电特性	(117)
7.1.4 P型和N型半导体	(118)
7.1.5 PN结	(118)
7.2 晶体二极管	(119)
7.2.1 晶体二极管的结构	(119)
7.2.2 晶体二极管的伏安特性	(120)
7.2.3 二极管的参数	(122)

7.2.4 晶体二极管的测试	(122)
7.3 整流电路	(123)
7.3.1 单相半波整流	(123)
7.3.2 单相全波整流	(123)
7.3.3 单相桥式整流	(123)
7.3.4 三相整流	(124)
7.4 倍压整流和滤波器	(125)
7.4.1 二倍压整流电路	(125)
7.4.2 三倍压整流电路	(125)
7.4.3 滤波器	(126)
7.5 晶体三极管	(127)
7.5.1 晶体三极管的结构和特点	(127)
7.5.2 晶体三极管的放大作用	(128)
7.5.3 晶体三极管放大器	(128)
7.6 纳米技术	(128)
7.6.1 纳米技术的基础理论——介质物理学	(129)
7.6.2 纳米微粒	(130)
7.6.3 纳米材料与纳米固体	(131)
7.6.4 纳米材料的制备	(132)
7.6.5 纳米新材料	(132)
7.6.6 纳米器件	(132)
7.6.7 纳米材料的应用	(134)
7.6.8 微/纳米光电测控技术	(135)
小结	(135)
思考题与习题	(136)
第8章 激光技术	(137)
8.1 激光产生的机理	(137)
8.1.1 自发辐射与受激辐射	(137)
8.1.2 负温度	(138)
8.1.3 激光的增益	(138)
8.2 激光的特性	(139)
8.3 激光器的组成	(140)
8.4 激光器的振荡条件	(141)
8.5 激光的模与锁模	(142)
8.6 激光器件	(143)
8.7 激光技术的应用	(144)
8.7.1 激光精密计量	(144)
8.7.2 激光信息处理	(146)
8.7.3 强激光的应用	(147)
8.7.4 激光医疗	(149)
8.7.5 激光生物的应用	(150)

8.7.6 激光武器	(150)
8.7.7 科学实验	(151)
8.8 激光器发展简史	(151)
8.9 激光技术的发展	(153)
8.9.1 激光产业的建立	(153)
8.9.2 发展短波和长波激光技术	(154)
8.9.3 新型激光器的发展方向	(155)
小结	(155)
第9章 常用电工仪表与测量	(156)
9.1 常用指示仪表的基本结构和工作原理	(156)
9.1.1 指示仪表的基本结构	(156)
9.1.2 指示仪表的工作原理	(157)
9.2 电流和电压的测量	(160)
9.2.1 电流的测量	(160)
9.2.2 电压的测量	(162)
9.3 万用表	(163)
9.3.1 指针式万用表	(163)
9.3.2 数字式万用表	(165)
9.4 兆欧表	(167)
9.4.1 兆欧表的结构和工作原理	(167)
9.4.2 兆欧表的使用方法	(167)
9.4.3 接地电阻测量仪	(168)
9.5 功率表	(169)
9.5.1 电动式功率表的结构和工作原理	(169)
9.5.2 功率表的正确使用	(171)
9.5.3 低功率因数功率表	(172)
9.5.4 功率表和低功率因数功率表的读数	(173)
9.5.5 三相电路功率的测量	(173)
9.6 电度表的安装和使用	(174)
9.6.1 电度表的型号和分类	(174)
9.6.2 电度表的构造及有功电能的计算	(174)
9.6.3 电度表的接线	(175)
小结	(178)
思考题与习题	(178)
部分习题参考答案	(179)
参考文献	(181)

第1章 静 电 场

在自然界中,运动的电荷将同时激发电场和磁场,而电场和磁场又是相互联系,密不可分的。

静电场是相对于观察者静止的电荷所产生的电场。本章将从电荷在电场中受力情况入手,引入静电场的有关知识,并对一些基本的概念、定律、定理进行学习,为学习计算机的专业知识打下坚实的理论基础。

本章主要学习的内容有:静电场的基本定律——库仑定律,静电场的基本定理——环路定理,描述静电场的两个基本物理量——电场强度和电势。结合对静电场中介质的学习,简要介绍静电的危害。

1.1 电荷与库仑定律

1.1.1 电荷的量子化

自1897年J.J.汤姆逊发现电子之后,人们立即开始了建立各种原子结构模型的尝试。由于原子是中性的,而电子是带负电的,表明原子中还有与电子等量的正电荷。因此,所谓原子模型就是要解决正电荷的性质,正、负电荷的分布,正、负电荷之间的相互作用,以及原子的稳定性、周期性、光谱和放射性等问题。

J.J.汤姆逊1856年12月18日出生于英国的曼彻斯特,1880年在剑桥大学取得学士学位,并获得第二个数学荣誉学位,同年成为剑桥大学的研究生。1883年任该院的讲师,第二年接替瑞利任卡文迪许实验室教授。在此实验室工作和研究的学者、科学家后来有7位获得诺贝尔奖金。J.J.汤姆逊的著名实验是测定了阴极射线的电荷与质量的比值 e/m_e (后来被称为电子的“荷质比”),并于1906年获得诺贝尔奖金。

J.J.汤姆逊从实验中测出电子的“荷质比”后,通过数年的努力,1913年R.A.密立根终于从实验中测定所有电子都具有相同的电荷,而且带电体的电荷是电子电荷的整倍数。如以 e 代表电子的电荷绝对值,带电体的电荷为 $q = ne$, n 为1,2,3,...。这是自然界存在不连续性(即量子化)的又一个例子。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。电子电荷的绝对值 e 为元电荷,或称电荷的量子。

电荷的单位名称为库仑,简称库,符号为C。1986年国际推荐的电子电荷绝对值为 $e = 1.602\,177\,33(49) \times 10^{-19} \text{ C}$,在通常的计算中,取它的近似值 $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

为了研究和解决问题方便,在研究宏观电磁现象时,所涉及的电荷通常总是电子电荷的许多倍。在这种情况下,可以认为电荷连续地分布在带电体上,而忽略电荷的量子性。

在正常状态下,物体是电中性的,物体里正、负电荷的代数和为零。在孤立系统中,不管系统中的电荷如何迁移,系统的电荷的代数和保持不变,这也叫电荷守恒定律。电荷守恒定律像

能量守恒定律、动量守恒定律和角动量守恒定律一样,也是自然界中的基本定律。

1.1.2 库仑定律

在真空中,两个静止的点电荷之间的相互作用力,其大小与它们电荷的乘积成正比,与它们之间距离的二次方成反比;作用力的方向沿着两点电荷的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸,这就是真空中的库仑定律。

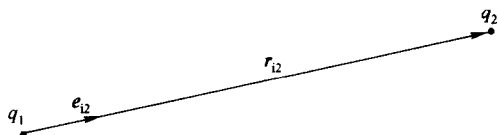


图 1-1 库仑定律

如图 1-1 所示,两个点电荷分别为 q_1 和 q_2 , 由电荷 q_1 指向电荷 q_2 的矢量用 r_{12} 表示。那么, 电荷 q_2 受到电荷 q_1 的作用力 F_{12} 为

$$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} e_{12}$$

式中, e_{12} 为从电荷 q_1 指向电荷 q_2 的单位矢量, 即 $e_{12} = r_{12}/r_{12}$; 而 k 为比例系数, 其数值和单位取决于上式中各量的单位, 且可由实验确定。在国际单位制中, $k = 8.987\,55 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$, 通常在计算中取它的近似值, $k \approx 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ 。

k 也可用 ϵ_0 表示, ϵ_0 叫做真空电容率, 它也是电学中常用的一个常数, 它的大小和单位

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= \frac{1}{4\pi k} = 8.854\,2 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{C}^2 = \\ &8.854\,2 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1} \approx 8.9 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1} \end{aligned}$$

说明:

(1) 在库仑定律的计算公式中, 不论 q_1 和 q_2 是正还是负, 公式都适用。当 q_1 和 q_2 同号时, q_1 与 q_2 的积为正, F 与 r 同向, 为排斥力; 反之, 当 q_1 和 q_2 异号时, q_1 与 q_2 的积为负, F 与 r 反向, 为吸引力, 如图 1-2 所示。因此, 静止电荷间的电作用力, 又称为库仑力。

(2) 静电力同样符合力的叠加原理。

(3) 两个静止点电荷之间的库仑力遵从牛顿第三定律。所谓静止, 其含意是速率非常小 ($v \ll c$, c 为光速), 即低速运动的情况。

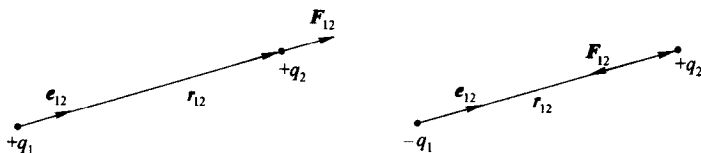


图 1-2 静止电荷的作用力

例 1-1 试比较氢原子中电子与原子核之间的静电力和万有引力。

在此问题中, 由于电子和质子之间的距离较近, 可以把电子和质子看做是点电荷。根据原子物理学的有关知识, 得知电子与质子之间的距离大约为 $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$, 电子的电荷量与氢原子的电荷量大小相等, 且符号相反。设氢原子的电荷量为 $+e$, 则电子的电荷量为 $-e$ 。 e 的大小为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, 电子的质量 $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, 质子的质量 $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。

根据库仑定律可知, 它们之间库仑力的大小为

$$F = k \frac{e^2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \quad (1-1)$$

根据万有引力定律可知,电子与质子之间万有引力的大小为

$$F' = G \frac{m_e m_p}{r^2} \quad (1-2)$$

式中, $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ 为万有引力常数。将式(1-1)和式(1-2)相比较,得

$$\frac{F}{F'} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 G m_e m_p} \quad (1-3)$$

将上述已知量代入式(1-3),得

$$\frac{F}{F'} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 G m_e m_p} = 2.27 \times 10^{39}$$

由式(1-3)可知,库仑力要比万有引力大得多,所以一般研究原子核外电子上的力主要指库仑力,而忽略其万有引力。

1.2 电场与电场强度

1.2.1 静电场

物理学告之,凡是有电荷的地方,其四周就存在着电场,即任何电荷周围的空间都存在着电场,有时也形象地说成是任何电荷都在自己周围的空间激发电场。电荷的基本性质是,它对于处在其中的任何其他电荷都具有力的作用,这种力称为电场力。因此电荷与电荷之间就是通过电场相互作用的,具体地说,一个电荷受到另一个电荷的电场的作用。离开电荷,也就不存在电荷的电场,另一个电荷也受不到电场力的作用,如图 1-3 所示。

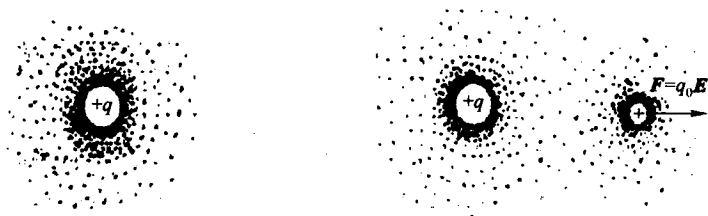


图 1-3 静电场

电场虽然不像由分子、原子组成的实物那样看得见摸得着,但科学实验和理论研究均证明,它具有一系列物质的基本属性,如能量、动量、作用力等,因而能被我们所感知。因此,电场是一种客观存在,是物质存在的一种形式。静电场存在于静电荷的周围,并且分布在一定的空间。

1.2.2 电场强度

如图 1-4 所示,在静电荷 Q 周围的静电场中,先后将试验电荷 $+q_0$ 放到电场中 A, B 和 C 三个不同的位置处。

通过研究会发现,试验电荷 $+q_0$ 在电场中不同的位置所受到的电场力的大小和方向均不相同。这充分说明,电场中各点的电场性质是不同的,但就电场中的某一点而言,试验电荷在

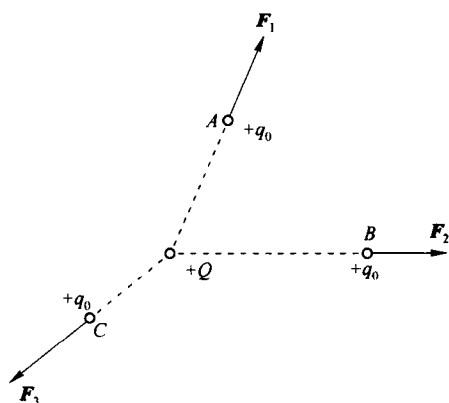


图 1-4 电荷在静电场中的受力情况

该点所受的电场力只与放入电荷 q_0 的大小有关,而电场力与电量之比,为一不变矢量。可定义这个矢量叫电场强度,简称场强,用符号 E 表示,即

$$E = \frac{F}{q_0}$$

它表明,电场中某点处的电场强度 E 等于位于该点处的单位试验电荷所受的电场力。由此可知,电场强度是空间位置的函数。

在国际单位制中,电场强度的单位是牛顿每库仑,符号是 $\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$ 。

应当指出的是,电场强度既然是一个空间位置的函数,是一个空间矢量,它就像力一样可以进行叠加。

对于单一电荷来说,其计算和分析比较方便,对于比较复杂且多个电荷合成的电场,要注意运用叠加原理进行综合处理。

当已知电场强度分布的电场,其放入的电荷所受的电场力可直接应用公式 $F = qE$ 进行计算。

对于点电荷的电场强度可用下列公式计算

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq_0}{r^2} e_r$$

e_r 为 r 的单位矢量,即 $e_r = r/r$

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} e_r$$

上式是在真空中点电荷 Q 所激发的电场中,任意点 P 处的电场强度表示式,也是计算点电荷电场强度的公式。

例 1-2 把一个点电荷 ($q = -6.2 \times 10^{-8} \text{ C}$) 放在电场中某点处,该电荷受到的电场力为 $F = 3.2 \times 10^{-6} \text{ i} + 1.3 \times 10^{-6} \text{ j} \text{ N}$ 。求该电荷所处的电场强度。

解 由电场强度的定义式可知,该电荷所处的电场强度为

$$E = F/q = (3.2 \times 10^{-6} \text{ i} + 1.3 \times 10^{-6} \text{ j}) \text{ N} / (-6.2 \times 10^{-8}) \text{ C} = -(51.6 \text{ i} + 21.0 \text{ j}) \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$$

所以 E 的大小为

$$E = \sqrt{(-51.6)^2 + (-21.0)^2} \text{ N} \cdot \text{C}^{-1} = 55.71 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$$

E 的方向与 x 轴的夹角 α 为

$$\alpha = \arctan \frac{E_y}{E_x} = \arctan \frac{-21.0}{-51.6} = 22.1^\circ$$

参考图 1-5 去理解。

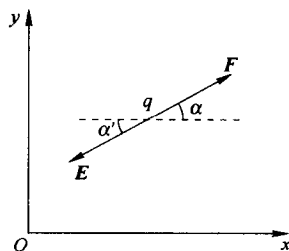


图 1-5 电场强度方向的确定

1.3 环路定理

在静电场中,电场强度 E 沿任意闭合路径 L 的线积分,即 $\oint_L E \cdot dl$ 叫做静电场的环量。

如图 1-6 所示,在静电场中取任意闭合路径 L ,在 L 上任意取两点 P 和 Q 。设想把试验电荷 q_0 从 P 点分别沿图中所示的 L_1 和 L_2 两条路径移至 Q 点。由于静电力做功与路径无关,所以

$$q_0 \int_{L_1} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = q_0 \int_{L_2} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

消去 q_0 ,移项得

$$\int_P^Q \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} + \int_Q^P \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

即

$$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

这说明,在静电场中,场强沿任意闭合路径的线积分,即静电场的环量恒等于零。这个结论叫做静电场的环路定理。

由于定义静电场中任意两点 a, b 间的电势差,等于把单位正电荷从 a 点沿任意路径移到 b 点时电场力所做的功,所以有

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q_0} = \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

通常规定无穷远处的电势为零,并选为计算电势的参考点,这样静电场中任意一点处的电势就定义为

$$U_a = U_{a\infty} = \int_a^{\infty} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

在实际应用中,需要用到的是两点间的电势差,而不是某一点的电势,所以常取地球的电势为量度电势的起点,也就是取地球的电势为零电势。

例 1-3 求点电荷电场的电势分布。

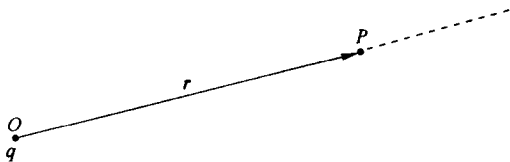


图 1-7 点电荷电势的计算

解 如图 1-7 所示。取点电荷 q 所在处为坐标原点,设 O 点到任意场点 P 的径矢为 $\mathbf{r}$ 。

根据电势的定义式有

$$U_P = \int_P^{\infty} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$$

$q > 0$ 时, $U > 0$, 空间各点的电势都是正的,距 q 越近处 U 越大;反之,当 $q < 0$ 时, $U < 0$, 空间各点的电势都是负的,距 q 越近处 U 越小。

1. 点电荷系的电场中电势的计算

在点电荷系 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 的电场中,任何一段路程电场力所做的功等于各点电荷所做功的代数和,所以可推知电场中任一点 P 的电势为

$$\text{真空中} \quad U_P = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i}$$

$$\text{无限大均匀电介质中} \quad U_P = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon r_i}$$