

770086

33

2010

T-2

高等教育机械类自学考试教材

物 理 学

中 册

吴百诗(主编) 李甲科 吴寿隍 梁得山

西安交通大学出版社
光明日报出版社

33

770086

2610

T.2

33
2610
T.2

高等教育机械类自学考试教材

自动

物 理 学

(中 册)

吴百诗(主编) 李甲科 吴寿隍 梁得山

西安交通大学出版社
光明日报出版社

内 容 简 介

本书是根据1980年颁布的高等工业学校200学时普通物理学教学大纲的要求编写的自学考试教材。

全书共分三册。上册内容包括力学、热力学与气体分子运动论；中册为电磁学；下册包括波动、光学与近代物理学基础。编写时力求适合于自学的特点和要求并注意基本知识的系统性，以帮助读者较好地掌握这些内容的基本原理及其相互关系。

本书供在职的中专或高中毕业生有志于自修机械类专业，并希望获取大学本科毕业证书的读者使用，也可以作为一般工科院校、师范院校、电视大学、职工大学、函授大学等的教材或教学参考书。

物 理 学 (中册)

西安交通大学自学教材编写组
吴百诗(主编) 李甲科 吴寿镗 梁得山

责任编辑：李甲科

西安交通大学出版社 联合出版
光明日报出版社

西安交通大学出版社印刷厂印装
陕西省新华书店发行
各地新华书店经售

开本：787×1092 1/16 印张：17 字数：408千字
1985年12月第一版 1985年12月第一次印刷

印数：10000

统一书号：13340·070 定价：3.10元

高等教育机械类自学考试教材

序 言

《中华人民共和国宪法》中明确规定国家鼓励自学成才。为此，教育部制订了一项崭新的高等教育自学考试制度，它为有志学习而没有机会进大学的人开辟了广阔的学习途径，也为造就和选拔社会主义现代化建设的合格人才开辟了广阔的途径。

一九八三年，教育部决定成立全国高等教育自学考试指导委员会机械类专业委员会，机械类专业的自学考试工作即将在全国广泛展开。为此，首先需要有一套适合于自学的教材。这套高等教育机械类自学考试教材，就是适应这个需要而编写的，它适合于机械类专业自学使用。作为第一步，我们先编出《高等数学》《物理学》《普通化学》《理论力学》四门课的教材，其他课程的自学考试教材也将陆续组织编写和出版。

本丛书各本教材的内容都按照高等学校机械类专业的教学大纲编写，同时根据这套教材的性质，努力在便于自学方面下功夫。和目前高等学校使用的教材相比，它除了有必要的指导自学的内容之外，基本概念的描述更为细致、说明更为详尽，例题数量较多，还编入了丰富的复习思考题和作业。

这套教材中各本书的编者，我们都约请有较高学术水平并长期从事该课程教学，有丰富实践经验的同志担任。希望它的出版对广大有志于在机械类专业方面自学和深造的同志能有一定的帮助，祝愿这些同志循序渐进、锲而不舍，早日掌握先进的科学知识，为社会主义现代化建设作出更大的贡献。

全国高等教育机械类自学考试指导委员会主任

史 维 祥

一九八四年六月

编 者 的 话

本书系根据教育部 1980 年颁布的高等工业学校普通物理教学大纲编写的工科大学普通物理自修教材。大学普通物理是一门基础理论课，根据物理课的这个性质，书中着重基本概念、基本知识及基本知识一般应用的阐述。考虑到便于自学，在编写过程中，力求使基本内容叙述详尽些。为提高自修阅读效果，重点内容都辅以一定的例题，这不仅帮助读者学习运用理论分析问题、解决问题的科学方法，而且通过例题的分析使读者加深对理论内容的理解，更具体地掌握定理、定律、原理的适用条件和范围；在自修教材的课文内容中，多穿插一些例题，还有助于克服较长时间阅读理论叙述造成的使人感到枯燥、易疲劳的缺点。

为了照顾读者的不同要求，书中除必读的基本内容外，还适当的加写了一些带星号“*”的内容，这部分内容在大纲中或属选学内容、或未包括在大纲内。但考虑到这部分内容有些与基本内容有密切的联系，另一些是为今后课程中或实际中有较多的应用而编写的，对带星号的内容，一般不做要求，对学好基本内容尚有余力的读者可酌情选读。

本书选配的习题数量一般较多。我们认为对通过自学途径学习物理的读者多做些习题，有利于加强学习效果，并从中发现问题引导深入钻研。但习题究竟做多少合适，读者可根据自己情况酌定(编者认为相应于两个讲授学时的内容，平均做习题的数量应不少于 8—10 题)。对有双星号的较难习题，一般可不做。

本书中册包括第三篇电磁学，共九章。第十二章由沈汝源、李甲科同志合写，第十三、十四、十五、二十章由李甲科同志编写，第十六章由吴百诗同志编写，第十七、十八、十九章由吴寿镛同志编写，全部思考题、习题由梁得山同志选编，全册由吴百诗同志主编。梁得山、焦兆焕同志分工阅读了第三篇全部书稿，提出了一些好的修改意见。

由于编者缺乏编写自修教材的经验，目前这样的写法是否方便自学，只有通过实践再总结修改。因此热诚欢迎读者将意见告诉我们。由于时间仓促和限于编者的水平，错误和不当之处在所难免，望批评指正。

编 者

本书所用主要物理量的名称、单位和符号

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号
电荷(量)	Q, q	库伦	C
电荷线密度	λ	库伦/米	C/m
电荷面密度	σ	库伦/米 ²	C/m ²
电荷体密度	ρ	库伦/米 ³	C/m ³
电场强度	\vec{E}	牛顿/库伦、伏特/米	N/C, V/m
电势	u, V	伏特	V
电势差、电压	$\Delta u, u, U$	伏特	V
电位移	\vec{D}	库伦/米 ²	C/m ²
电(位移)通量	ϕ_e, Φ_e	库伦	C
电容	C	法拉	F
介电系数(电容率)	ϵ	库伦 ² /牛顿·米 ² 、法拉/米	C ² /N·m ² , F/m
真空的介电系数	ϵ_0	库伦/牛顿·米 ² 、法拉/米	C ² /N·m ² , F/m
相对介电系数	ϵ_r	(无量纲)	
电偶极矩	\vec{p}	库伦·米	C·m
电极化强度	\vec{P}	库伦/米 ²	C/m ²
电动势	ϵ	伏特	V
电流	I, i	*安培	A
电流密度	\vec{j}	安培/米 ²	A/m ²
电阻	R, r	欧姆	Ω
电阻率	ρ	欧姆·米	$\Omega \cdot m$
电导	G	西门子	S
电导率	σ, γ	西门子/米	S/m
磁感应强度	\vec{B}	特斯拉、(高斯)	T, (Gs)
磁场强度	\vec{H}	安培/米	A/m
磁通量	ϕ_m, Φ_m, Φ	韦伯	Wb
磁导率	μ	特斯拉·米/安培、亨利/米	T·m/A, H/m
真空的磁导率	μ_0	特斯拉·米/安培、亨利/米	T·m/A, H/m
相对磁导率	μ_r	(无量纲)	
磁矩	\vec{p}_m	安培·米 ²	A·m ²
磁化强度	\vec{M}	安培/米	A/m
自感	L	亨利	H
互感	M	亨利	H
立体角	Ω	球面度	sr

注：(1) 带*者为 SI 基本单位，带**者为 SI 辅助单位。(2) 本书所用力学、热学量的符号和单位同上册。

目 录

第三篇 电 磁 学

引 言	(1)
第十二章 真空中的静电场——电场力 电场强度	(2)
§ 12.1 电荷 电荷守恒定律	(2)
§ 12.2 库伦定律	(4)
§ 12.3 电场 电场强度	(6)
一、电场强度	(7)
二、电场强度的计算	(8)
§ 12.4 电通量 高斯定理	(15)
一、电力线	(15)
二、电通量	(16)
三、高斯定理	(18)
四、静电场中电力线的性质	(24)
小 结	(25)
习 题	(28)
第十三章 真空中的静电场——电势能 电势	(31)
§ 13.1 静电场力作功的特性 电势能	(31)
一、静电场力作功的特性	(31)
二、静电场环流定理	(33)
三、电势能	(35)
§ 13.2 电势 电势差	(37)
一、电势	(37)
二、电势差	(39)
三、电势的迭加原理	(40)
四、电势和电势差的计算	(41)
§ 13.3 电场强度和电势的关系	(46)
一、等势面	(46)
二、电场强度和电势的关系 电势梯度	(48)
三、由电势求场强的方法	(50)
§ 13.4 带电粒子在静电场中的运动	(52)
小 结	(54)
习 题	(56)

第十四章 静电场中的导体	(59)
§ 14.1 金属导体的静电平衡.....	(59)
一、导体的静电平衡条件.....	(59)
二、导体上的电荷分布.....	(60)
三、导体上电荷面密度和表面附近的场强.....	(61)
四、孤立导体表面电荷面密度与表面曲率的关系.....	(61)
§ 14.2 静电场中的导体.....	(63)
一、静电感应.....	(63)
二、静电场中的导体空腔 静电屏蔽.....	(65)
§ 14.3 电容 电容器.....	(68)
一、孤立导体的电容.....	(68)
二、电容器.....	(68)
§ 14.4 电场能量.....	(76)
小 结.....	(79)
习 题.....	(82)
第十五章 电介质中的静电场	(85)
§ 15.1 电介质在静电场中的极化.....	(85)
一、电介质的极化现象.....	(85)
二、位移极化与转向极化.....	(85)
三、电极化强度与极化电荷.....	(87)
§ 15.2 电介质中的静电场 电介质的极化率.....	(89)
一、电介质的极化对电场的影响.....	(89)
二、极化强度与场强的关系 电介质的极化率.....	(90)
§ 15.3 电位移矢量 有电介质时的高斯定理.....	(92)
一、电位移矢量.....	(92)
二、有电介质时的高斯定理.....	(93)
小 结.....	(101)
习 题.....	(102)
第十六章 稳恒电流	(106)
§ 16.1 稳恒电流 电流和电流密度.....	(106)
一、稳恒电流产生的条件.....	(106)
二、电流.....	(107)
三、电流密度.....	(108)
§ 16.2 金属导电的经典电子理论简介.....	(109)
§ 16.3 一段均匀电路的欧姆定律 电阻和电阻率.....	(110)
一、一段均匀电路的欧姆定律.....	(110)

	二、导体的电阻和电阻率	(111)
	三、欧姆定律的微分形式	(114)
§ 16.4	电流的功和电流的功率 焦耳-楞次定律	(115)
	一、电流的功和电流的功率	(115)
	二、焦耳-楞次定律	(116)
§ 16.5	电源的电动势	(118)
	一、电源和电源工作的基本原理	(118)
	二、电源的电动势	(118)
§ 16.6	简单闭合电路的欧姆定律 电源的路端电压	(120)
	一、简单闭合电路的欧姆定律	(120)
	二、电源的端电压	(122)
§ 16.7	一段含源电路的欧姆定律	(123)
§ 16.8	简单直流电路应用举例	(126)
	一、电阻的串、并联	(126)
	二、惠斯通电桥和电位差计	(128)
§ 16.9	电子逸出功 接触电位差和温差电现象	(130)
	一、电子逸出功	(130)
	二、接触电位差	(131)
	三、温差电动势	(131)
	小 结	(133)
	习 题	(136)
	静电学及直流电测验题	(140)
第十七章	真空中的稳恒磁场	(144)
§ 17.1	磁现象	(144)
§ 17.2	磁场 磁感应强度	(147)
§ 17.3	运动电荷在磁场中的运动	(150)
	一、运动电荷在磁场力作用下的各种运动	(150)
	二、霍耳效应	(153)
§ 17.4	毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律	(155)
	一、毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律	(155)
	二、载流直导线产生的磁场	(156)
	三、载流圆线圈轴线上的磁场	(158)
	四、载流直螺线管内部轴线上的磁场	(159)
	五、运动电荷产生的磁场	(164)
§ 17.5	磁通量 磁场中的高斯定理	(165)
	一、磁力线 磁通量	(165)
	二、磁场中的高斯定理	(167)
§ 17.6	安培环路定律	(168)

§ 17.7	磁场对载流导线的作用	(174)
	一、安培定律	(174)
	二、磁场对载流直导线的作用力	(175)
	三、磁场对载流线圈的作用	(177)
§ 17.8	电流间的相互作用力 磁力的功	(179)
	一、电流间的相互作用力	(179)
	二、无限长平行载流直导线之间的相互作用力 安培的定义	(180)
	三、磁力的功	(181)
	小 结	(182)
	习 题	(184)
第十八章	磁介质中的磁场	(194)
§ 18.1	磁介质 磁导率	(194)
§ 18.2	物质的磁化现象	(196)
§ 18.3	磁场强度 \vec{H} \vec{B} 、 \vec{H} 、 \vec{M} 三个矢量的关系	(198)
§ 18.4	抗磁质与顺磁质的微观解释	(202)
§ 18.5	铁磁质	(205)
	一、铁磁质的基本性质	(205)
	二、磁畴	(208)
	小 结	(210)
	习 题	(211)
第十九章	电磁感应	(213)
§ 19.1	电磁感应的基本规律	(213)
	一、电磁感应现象	(213)
	二、楞次定律	(214)
	三、法拉第电磁感应定律	(215)
§ 19.2	动生电动势和感生电动势	(221)
	一、动生电动势	(221)
	二、感生电动势	(224)
	三、涡电流	(226)
§ 19.3	自感和互感	(228)
	一、自感现象	(228)
	二、互感现象	(231)
§ 19.4	磁场能量	(234)
	小 结	(238)
	习 题	(239)
第二十章	电磁场	(244)

§ 20.1 静电场和稳恒磁场的基本性质	(244)
§ 20.2 位移电流 变化电场产生磁场	(245)
§ 20.3 麦克斯韦方程组的积分形式	(248)
§ 20.4 麦克斯韦方程组的微分形式	(248)
小 结	(251)
习 题	(252)
磁学部分测验题	(253)
测验题参考解答	(256)

第三篇 电 磁 学

引 言

电磁运动是物质的基本运动形式之一，它不能归结为前面讲过的机械运动和热运动，以及其它基本运动形式，而有它自己的特点和规律。电磁学就是研究物质电磁运动规律及其应用的学科。

在很长的历史时期内，人类是孤立地认识电现象和磁现象的。直到1819年奥斯特发现电流的磁效应，才开始把电现象与磁现象联系起来。1831年法拉第又发现电磁感应现象，使人们对电与磁现象的联系有了更进一步的认识。后来，法拉第还指出，在电荷周围空间存在着电场，电流周围空间还存在着磁场，电荷与电荷、电流与电流等之间的相互作用，就是通过电场和磁场而作用的。1873年麦克斯韦在前人研究的基础上，建立了统一的电磁场理论，并用数学形式概括了电场、磁场的特点以及它们的联系和遵守的规律，即麦克斯韦方程组，使其成为一门完整的、严密的科学。十九世纪末，一些物理学家又进一步把电磁现象和物质结构联系起来，建立了物质的电结构理论，这种理论可以解释很多电磁现象的物理本质。

电磁学在生产、科研和日常生活中，有着广泛的应用，电磁学理论又是许多工程技术学科的基础，如电工学、电子学、应用光学、自动控制等，都是在电磁学理论的基础上建立和发展起来的。

在普通物理范围内，我们只讨论电荷与其产生的静电场；静电场中的导体和电介质；稳恒电流（直流电）与稳恒电场；电流与其产生的磁场以及电磁感应和电磁场等方面的一般规律。

第十二章 真空中的静电场—— 电场力 电场强度

本章首先从摩擦起电现象入手，说明电荷的种类、电荷守恒定律，接着介绍真空中的库仑定律。在此基础上引入描述电场的重要物理量——电场强度（简称场强），并从库仑定律出发，根据场强的定义及迭加原理推出点电荷、点电荷系及带电体的场强计算式。

本章还在引进电力线、电通量概念后，从库仑定律导出重要的高斯定理。高斯定理表示了电场的重要性质，在理论上具有重要意义。高斯定理也可用来计算一些具有对称分布的电荷产生的电场强度。

本章讲授时数约为 6 学时。

§ 12.1 电荷 电荷守恒定律

在二千多年前，希腊人就已发现琥珀被毛织物摩擦后，能够吸引轻小物体。在我国汉朝时，也已经有了“琥珀拾芥”的记载。以后，到十六世纪末、十七世纪初，人们进一步发现不同的两种物体相互摩擦后，都能吸引轻小物体，这种现象就称为摩擦带电，也就是物体通过摩擦带上了电荷。

以后又发现物体所带的电荷只有两种，一种称“正电荷”，一种称“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。与外界绝缘的不带电的两个物体通过相互摩擦，一个物体带上正电荷，则另一个物体必定带上负电荷，而且这两个物体所带的正负电荷的数量一定相等。当等量正负电荷相遇后，对外不再呈现电性，这种现象称为电的中和。例如，两个带等量异号电荷的导体相互接触后，发现它们都变为不带电的中性导体，这就是一种电的中和现象；又如，在正负电子对的湮灭现象中，一对正负电子转化为两个不带电的光子（即 $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma_0$ ），从电的角度看这也是一种电的中和现象。

由大量事实可知，当一种电荷“产生”时，必然有等量的异号电荷同时“产生”；当一种电荷“消失”时，也必然有等量的异号电荷同时“消失”。因此，在一个封闭系统内，不论进行怎样的变化过程，系统内正、负电荷量的代数和保持不变。这是根据大量实验事实总结出的规律，称为电荷守恒定律。直到现在还没有发现与此规律不相符合的现象。电荷守恒是物理学中的一条基本规律。

当人们对物质的结构有了进一步的研究后，对物体的带电现象也得到了更深入的认识。如果通过摩擦或其他方法使一物体中的部分原子失去一些外层电子，这物体上失去电子的原子中，原子核带的正电荷多于核外电子的负电荷，就使物体显示出带正电荷。物体失去的电

子越多，它带的正电荷的量就越大。在一个物体上失去的电子转移到另一些不带电的物体上后，就使这些物体带负电荷。物体得到的电子越多，它带的负电荷的量也就越大。由此可见，所谓在物体上“产生”或“消失”电荷，实际上是一物体上的电子转移到另一物体上去。失去电子的物体就带正电荷（或减少负电荷）；得到电子的物体就带负电荷（或减少正电荷）。因此，在封闭系统内，电荷量的代数和保持不变，即电荷守恒。

电荷守恒定律不论是在处理宏观电磁学问题中，还是在处理微观粒子运动和相互作用过程中都是十分有用的。在图 12.1 所示的复杂的稳恒电路中，对于任何一个节点（几条支路的汇合点，如 A 点）单位时间内流入的电荷量（即图中所示的电流 I_1 ），等于单位时间流出的电荷量（即图中的电流 $I_2 + I_3$ ）。换句话说，根据电荷守恒定律，在稳恒电路中，节点处各支路电流的代数和应等于零，这通常称为基尔霍夫第一定律。又如在原子核衰变过程中（例如 ${}_{92}\text{U}^{238} \rightarrow {}_{90}\text{Th}^{234} + {}_2\text{He}^4$ ），衰变前后，电荷量的代数和保持不变，即电荷必须守恒。

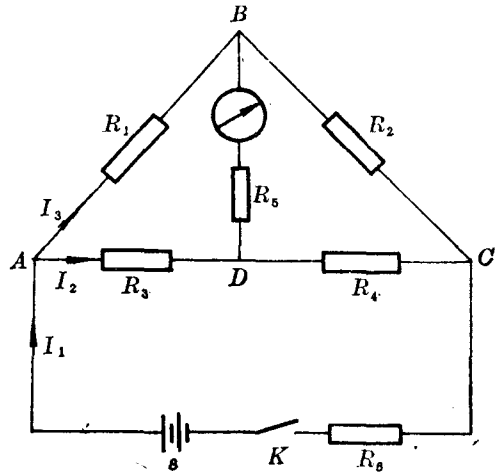


图 12.1

物体带电荷的数量称为电量，常用 q 表示。电量的单位在国际单位制中是库伦，代号是 C。如果导体中通过 1 安培的稳恒电流，则在 1 s 内通过导体横截面的电量等于 1 C。安培是国际单位制中的一个基本单位，代号是 A。所以库伦的单位 C 等于 $\text{A} \cdot \text{s}$ （安培·秒）。

1 C 的电量约等于 6.25×10^{18} 个电子所带的电量。电子带负电，质子带正电，电子和质子所带电量的绝对值相等。电子电量是目前从实验中发现的最小电量，常用 e 表示， $e = 1.6021892(96) \times 10^{-19} \text{C}$ ，任何宏观物体所带的电荷 q 都是 e 的整数倍。到目前为止，虽然有人预言存在小于电子电量的电荷。但在实验中还没有发现带电量比 e 更小或者是 e 的非整数倍电荷存在的确切根据。

例 12.1 已知铜原子中有 29 个质子和 29 个电子，问在 1 g 铜中正、负电荷的电量各等于多少？

解：铜的摩尔质量是 $M = 0.0635 \text{kg/mol}$ ，其中包含有 $N_0 = 6.022 \times 10^{23}$ 个铜原子，那么在质量 $m = 0.001 \text{kg}$ 的铜中有原子数 N 为

$$N = \frac{m}{M} N_0$$

铜原子中的电子数为 $Z = 29$ ，所以在 1 g 铜中负电荷的电量 q 为

$$\begin{aligned} q &= NZe = \frac{m}{M} N_0 Z e \\ &= \frac{0.001}{0.0635} \times 6.022 \times 10^{23} \times 29 \times (-1.60 \times 10^{-19}) \\ &= -4.40 \times 10^4 \text{ C} \end{aligned}$$

因为原子中质子数和电子数相等，所以共有正电荷的电量为

$$q = 4.40 \times 10^4 \text{ C}$$

§ 12.2 库伦定律

前面讲到电荷之间是有相互作用力的。那么电荷间的相互作用力服从怎样的规律呢？法国物理学家库伦首先对带电物体间的相互作用力进行了定量的研究，总结出了点电荷间相互作用力的规律，称为库伦定律。

如果某带电体的几何线度与相互作用着的带电体间的距离相比小得多时，以致在所研究的问题中，可以忽略它的大小和形状，这样的带电体称为点电荷。

库伦总结出两个相对静止的点电荷之间的静电作用力，其大小与它们所带电量的乘积 $q_1 q_2$ 成正比，与它们之间的距离 r 的平方成反比，即相互作用力的大小可表示为

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (12.1a)$$

式中 K 为一正的比例系数。作用力的方向沿两个点电荷的连线方向。

实验表明：同号电荷相排斥，异号电荷相吸引。为了能在式 (12.1a) 中，除了表示作用力的大小外，还能表示出作用力的指向，可以将式 (12.1a) 写成矢量式。用 \vec{r}_{12} 表示由 q_1 到 q_2 的矢径，那么点电荷 q_2 受到 q_1 的作用力 \vec{F}_{12} 的大小和方向为

$$\vec{F}_{12} = K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{r}_{12}^0 \quad (12.1b)$$

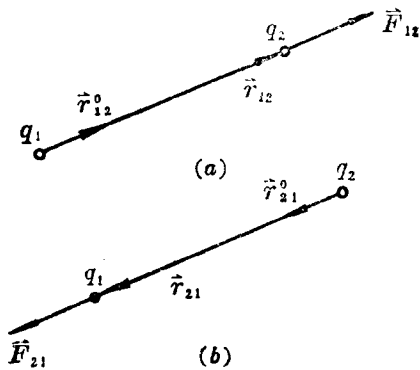


图 12.2

式中 \vec{r}_{12}^0 表示沿矢径 \vec{r}_{12} 方向的单位矢量，方向从 q_1 指向 q_2 。 q_1 和 q_2 是代数量，正电荷取正值，负电荷取负值。当 q_1 和 q_2 同号时， $q_1 q_2 > 0$ ，则 $K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} > 0$ ，表示 q_2 受到 q_1 的作用力 \vec{F}_{12} 的方向和 \vec{r}_{12}^0 的方向相同，即 q_2 受到 q_1 的作用力是斥力，如图 12.2(a) 所示；当 q_1 和 q_2 异号时， $q_1 q_2 < 0$ ，则 $K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} < 0$ ，表示 \vec{F}_{12} 的方向和 \vec{r}_{12}^0 的方向相反，即 q_2 受到 q_1 的作用力是

引力。

如果要求点电荷 q_1 受到 q_2 的作用力 \vec{F}_{21} ，那么式中的矢径即为 \vec{r}_{21} ，方向由 q_2 指向 q_1 ，如图 12.2(b) 所示。则式 (12.1b) 可写为

$$\vec{F}_{21} = K \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \vec{r}_{21}^0 \quad (12.1c)$$

式中 \vec{r}_{21}^0 表示沿矢径 \vec{r}_{21} 方向的单位矢量。

综上所述，只要我们规定矢径 \vec{r} 的方向是由施力的电荷指向受力的电荷，那么受力电荷所受到的作用力 \vec{F} 可写为

$$\vec{F} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad (12.1d)$$

式中 \vec{r}_0 表示沿矢径 \vec{r} 方向的单位矢量。

当两点电荷处于真空中，电量以 C 作单位，距离以 m 为单位，作用力以 N 为单位时，也就是在国际单位制中， K 的数值和单位为

$$K = 8.98742 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \\ \approx 9 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

为了使以后将要导出的更常用而且重要的公式中不出现无理数 4π 等因子，还引进了另一个常量 ϵ_0 ，使 ϵ_0 和 K 之间有如下关系

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

ϵ_0 称为真空中的介电常数，或称为真空中的电容率。 ϵ_0 的数值和单位是

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi K} = 8.85418782(7) \times 10^{-12} \text{C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2 \\ \approx 8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$$

这样，真空中的库仑定律就可写成

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad (12.1e)$$

例 12.2 假设两个 α 粒子相距 10^{-13}m ，试计算它们之间的静电斥力，并和它们之间的万有引力相比较。已知 α 粒子带电量是 $2e$ ，质量是 $6.68 \times 10^{-27} \text{kg}$ ，万有引力恒量 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ 。

解：先计算两个 α 粒子间的静电斥力。 α 粒子所带电量 $q = 2 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ ，根据库仑定律， \vec{F} 的大小为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \\ = 9 \times 10^9 \times \frac{(2 \times 1.60 \times 10^{-19})^2}{(10^{-13})^2} = 9.22 \times 10^{-2} \text{N}$$

这是相当大的作用力，接近于 10g 物体所受到的重力。

再计算两个 α 粒子间的万有引力 f

$$f = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \\ = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{(6.68 \times 10^{-27})^2}{(10^{-13})^2} \\ = 2.98 \times 10^{-27} \text{N}$$

可以看到万有引力比起静电作用力来说是很小很小的。所以在研究微观粒子的相互作用时，它们之间的万有引力常可忽略不计。

例 12.3 有三个点电荷， $q_1 = 7 \times 10^{-8} \text{C}$ ， $q_2 = -4 \times 10^{-8} \text{C}$ ， $q_3 = -5 \times 10^{-8} \text{C}$ ，分别处于直角三角形的三个顶点上，这直角三角形三条边的长度是 3cm、4cm 和 5cm。见图 12.3。试计算点电荷 q_3 所受到的静电作用力的大小和方

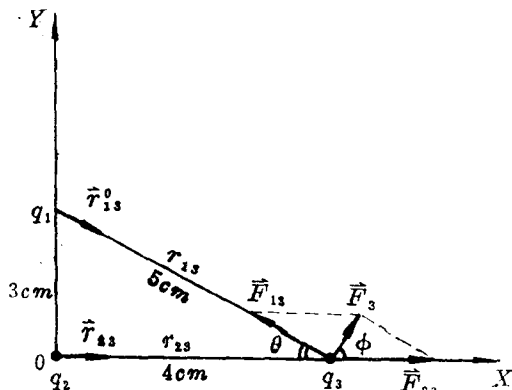


图 12.3

向。

向。

解：通过三个点电荷作坐标系如图 12.3 所示。 q_3 受到 q_1 的作用力 \vec{F}_{13} 为

$$\begin{aligned}\vec{F}_{13} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3 \vec{r}_{13}^0}{r_{13}^2} \\ &= 9 \times 10^9 \times \frac{7 \times 10^{-8} \times (-5 \times 10^{-8})}{(5 \times 10^{-2})^2} \vec{r}_{13}^0 \\ &= -1.26 \times 10^{-2} \vec{r}_{13}^0\end{aligned}$$

即 q_3 受到 q_1 的作用力的大小为 $1.26 \times 10^{-2} \text{ N}$ ，方向和 \vec{r}_{13}^0 相反。 q_3 受到 q_2 的作用力 \vec{F}_{23} 为

$$\begin{aligned}\vec{F}_{23} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_3 \vec{r}_{23}^0}{r_{23}^2} \\ &= 9 \times 10^9 \times \frac{(-4 \times 10^{-8}) \times (-5 \times 10^{-8})}{(4 \times 10^{-2})^2} \vec{r}_{23}^0 \\ &= 1.125 \times 10^{-2} \vec{r}_{23}^0\end{aligned}$$

即 q_3 受到 q_2 的作用力的大小为 $1.125 \times 10^{-2} \text{ N}$ ，方向和 \vec{r}_{23}^0 相同，也就是沿 X 轴的正方向，如图 12.3 所示。 q_3 所受的合力 \vec{F} 是 \vec{F}_{13} 与 \vec{F}_{23} 的矢量和

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = (-F_{13} \cos \theta \vec{i} + F_{13} \sin \theta \vec{j}) + \vec{F}_{23} \vec{i} \\ &= (F_{23} - F_{13} \cos \theta) \vec{i} + \vec{F}_{13} \sin \theta \vec{j} \\ &= \left(1.125 \times 10^{-2} - 1.26 \times 10^{-2} \times \frac{4}{5}\right) \vec{i} + 1.125 \times 10^{-2} \times \frac{3}{5} \vec{j} \\ &= 1.17 \times 10^{-3} \vec{i} + 6.75 \times 10^{-3} \vec{j}\end{aligned}$$

因此，合力 \vec{F} 的大小为

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(1.17 \times 10^{-3})^2 + (6.75 \times 10^{-3})^2} = 6.85 \times 10^{-3} \text{ N}$$

合力 \vec{F} 和 X 轴的夹角为

$$\phi = \arctg \frac{F_y}{F_x} = \arctg 5.77 = 80.17^\circ = 80^\circ 10'$$

复 习 题

12-1 用物质的原子结构理论解释封闭的物体系统中电荷守恒定律。

12-2 什么是点电荷，点电荷是不是一个带电的几何点，什么情况下带电体可以看作点电荷？库仑定律适用的条件是什么？

12-3 库仑定律表达式 (12.1e) 中， \vec{r}^0 表示什么？它的方向如何确定？如何从 \vec{r}^0 的方向来确定 \vec{F} 的方向？ \vec{F} 表示哪一个电荷对哪一个电荷的作用力？

12-4 在国际单位制中，库仑定律表达式 (12.1e) 中，各个物理量应该用什么单位？此时比例系数 K 等于多少？为什么引进另一常数 ϵ_0 ？ ϵ_0 和 K 的关系如何？ ϵ_0 等于多少？引进 ϵ_0 后，库仑定律的形式如何？

§ 12.3 电场 电场强度

从上节的讨论可以看到，两个带电体在真空中相距一段距离，会有相互作用力。那么两