

普通高等教育“十五”国家级规划教材

大学物理学

中册

吴百诗 主编
罗春荣 马永庚 张孝林 副主编

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,是吴百诗教授及参编学校数十年来大学物理课程教学经验的总结。全书以大众化教育形势下对人才培养的要求为出发点,针对当前学生的特点编写而成。本书在教学内容上进行了改革,虽然在体系上变化不大,但在内容选取、教学安排、讲法上等有一定的创新。考虑到对工科学生培养的特点,本书十分注意物理学与实际的联系,特别是与工程实际、科技实际的联系,在例题和习题的选取上更是尽可能反映工程实际和科技新成就。

全书分3册出版,上册包括力学和热学,中册包括电磁学,下册包括波动、光学和近代物理。与本书配套有习题解答、电子教案等辅助用书。这套书可供高等学校工科各专业作为大学物理课程的教材或参考书使用,也可供其他专业的社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.中册/吴百诗主编.—北京:高等教育出版社,2004.11
ISBN 7-04-015571-0

大... 吴... 物理学-高等学校-教材 .04

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第099873号

策划编辑 庞永江 责任编辑 刘伟 封面设计 张申申 责任绘图 宗小梅
版式设计 王莹 责任校对 金辉 责任印制

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本	787×960 1/16	版 次	年 月第 1版
印 张	16.5	印 次	年 月第 次印刷
字 数	300 000	定 价	17.90元
插 页	2		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号:15571-00

序

人类的科学发展史表明,物理学是一切自然科学的基础,它的基本概念和基本规律被广泛应用到所有的自然科学领域。当代高新技术的发展也都起源于对物理规律的探索。我们人类都生活在由物理学基本规律所约束的时空中,物理学的发展对人类的物质观、时空观、世界观,以及对整个人类的文化都产生了极其深刻的影响,因此,物理学是人类现代文明之源。

物理学的每一个新思想、新发现,甚至那些原本看来是“纯”基础的研究成就,都会发展成为高新技术和产业。例如,20世纪30年代末,固体的能带理论的出现使得巴丁、布拉顿和肖克莱在1947年发明了晶体管,1958年基尔比和诺伊斯又发明了锗、硅集成电路。从此,半导体集成电路迅猛发展,出现了一系列新技术、高新技术和新产品。以计算机为代表的信息电子产业已成为世界上最大的产业。又例如,在爱因斯坦受激辐射理论的基础上,60年代初诞生了激光器,这又是一个划时代的物理技术应用成果,激光物理的进展为激光在制造工业、通讯工业、国防工业以及医学等领域的发展提供了重要的技术基础。今天,物理学的研究仍在不断更新着人们对客观世界的认识。

“大学物理”课程是一门以研究和阐明物质的基本结构形态、基本运动规律和相互作用,为大学生提供全面系统的物理学基础为目标的基础课程。在大学物理课程学习中,不仅要掌握自然界的事实、定律、方程和解题技巧,更重要的是要从整体上认识和掌握物理学。也就是说,通过物理学课程的学习,要认识物理学各个分支之间的关系,认识基本物理规律的普适性和适用范围,认识理论和应用之间的关系,认识物理思想和数学工具,从整体上准确地掌握物理学的基本内容,建立科学的物质观,时空观和世界观。

另外,在物理学课程的学习中,要关注物理学的基本概念、基本规律的产生和发现的历史过程,关注在物理学历史上曾经有过的实验和争论,学会举一反三、触类旁通的方法。如利用已掌握的物理学基本概念去理解和解释新的物理规律,增强学习的创新意识和创新能力的培养。在探讨科学的奥秘过程中,谁最有创新精神,敢于突破旧观念、旧理论的束缚,谁就能率先做出重要贡献。同时,创新也是深化学习的动力。因此,在学习中要勤于思考、善于提问、敢于尝试,多问几个为什么,使自己对物理学的内涵有深刻的理解,为将来做出创新性的工作打下良好的基础。

总之,要学好物理学重要的是以学习物理基础知识为载体,系统掌握物理学

的思维方式和研究方法,而不是死记硬背一些物理公式。因为这些基本知识、物理思想、思维方式和研究方法将会使学生在今后长期的学习工作中,在观察、分析和解决问题时得到重要的借鉴和应用。

吴百诗教授主持编写的这本“十五”国家级规划教材,突出了在物理教育中知识传授和能力培养相结合的特色,集成了数名作者多年来丰富的教改研究和教学实践的经验,在打好学生必备的物理基础、激发学习兴趣、增强科学思考、分析和处理问题的能力、将现代科学技术成就融入基础课程教材等方面都下了很大功夫,为理工科学生全面掌握物理学提供了一个很好的范本。祝愿这本教材在教学实践中得到更加普遍的欢迎和推广,也祝愿读者从中深刻领悟到物理学的“伟大”。

西安交通大学校长
郑南宁 院士

目 录

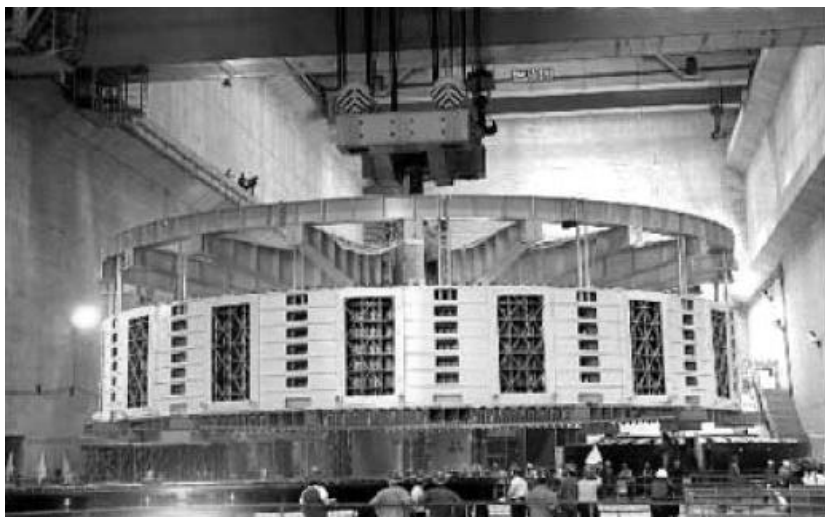
第三篇 电 磁 学

第 7 章 真空中的静电场	3
§ 7.1 电荷 库仑定律	4
§ 7.2 真空中的静电场 电场强度	9
§ 7.3 电场强度通量 高斯定理	21
§ 7.4 静电场的环路定理 电势	34
§ 7.5 等势面 电场强度与电势的微分关系	45
本章小结	52
习题	54
第 8 章 静电场中的导体和电介质	63
§ 8.1 静电场中的导体	64
§ 8.2 静电场中的电介质	72
§ 8.3 电位移矢量 D 有电介质时的高斯定理	76
§ 8.4 电容器的电容	79
§ 8.5 电场能量	86
本章小结	89
习题	90
第 9 章 稳恒电流的磁场	99
§ 9.1 磁场 磁感应强度	100
§ 9.2 毕奥 - 萨伐尔定律	105
§ 9.3 磁通量 磁场的高斯定理	122
§ 9.4 安培环路定理	125
§ 9.5 磁场对电流的作用	136
§ 9.6 磁场对运动电荷的作用	146
本章小结	158
习题	160
第 10 章 磁介质	171
§ 10.1 磁介质的分类	172



§ 10.2 磁介质磁性的微观解释	173
§ 10.3 有磁介质时的磁高斯定理和安培环路定理	175
§ 10.4 铁磁质	179
本章小结	185
习题	185
第 11 章 电磁感应	189
§ 11.1 法拉第电磁感应定律	191
§ 11.2 动生电动势	200
§ 11.3 感生电动势	206
§ 11.4 自感与互感	215
§ 11.5 磁场能量	223
§ 11.6 麦克斯韦电磁场理论简介	227
本章小结	233
习题	234
附录 物理量的量纲和单位	245
习题答案	251

第三篇 电 磁 学



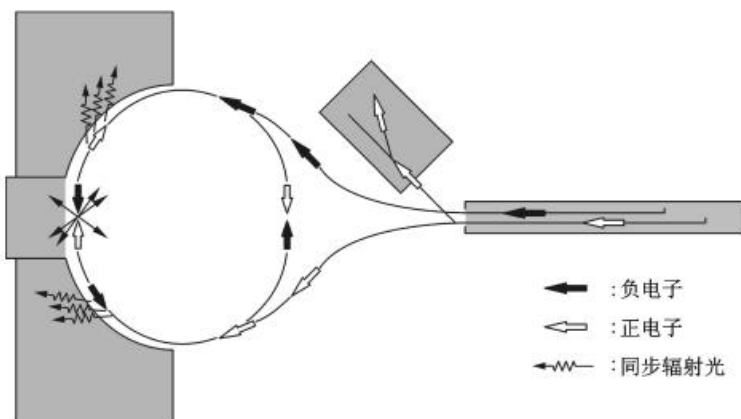
2003年 4月 22日 ,三峡工程左岸电厂 2号机组定子顺利完成整体吊装 ,并于当年 9月发电 .该机组发电机定子的外径为 21.45米 ,质量为 655.9吨 .三峡水电站共有 70万千瓦机组 26台 ,总装机容量 1 820万千瓦 ,是当今世界最大的电站 .

电磁学是研究物质间电磁相互作用,以及电磁场的产生、变化和运动规律的学科.电磁相互作用广泛地存在于自然界.电磁相互作用使电子和原子核结合在一起形成原子,原子结合在一起形成分子,分子再结合在一起成为宏观物质.从根本上讲,我们周围发生的许多现象,都是电磁相互作用的结果.

历史上,人们曾经认为电与磁是彼此无关的,直到1820年丹麦物理学家奥斯特(H. C. Orested, 1777—1851)的通电导线使磁针发生偏转的实验,才证明了电和磁的统一性,19世纪是电磁学理论发展的黄金时代,经过德国科学家高斯(C. F. Gauss, 1777—1855)、法国物理学家安培(A. M. Ampere, 1777—1855)、英国物理学家法拉第(M. Faraday, 1791—1867)等人的努力,逐步确立了电和磁的有关规律,并由法拉第首先提出了电场和磁场的概念.到19世纪中叶,英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)天才地提出变化的电场产生磁场和变化的磁场产生电场的科学假设,并以他高超的数学技巧,建立了一组电磁场方程,从而奠定了整个电磁学的理论基础.这个理论的重要意义在于它不仅支配着一切宏观电磁现象(包括静电场、稳恒磁场、电磁感应、电路、电磁波等),促进了工程技术与现代文明的飞速发展;而且在于它将光现象统一在这个理论框架之内,深刻地影响着人们认识物质世界的思想.当今,电磁理论不仅普遍地应用在日常生活、科技和生产各个部门,而且也是新科学、新技术发展的重要理论基础.

本书电磁学部分包括静电场、稳恒磁场、变化的磁场和变化的电场等.

第 7 章 真空中的静电场



北京正负电子对撞机 (BEPC) 建成于 1988 年, 主要从事粲物理和 τ 子等研究, 建成以来在 τ 子质量测定等方面取得了许多被国内外粒子物理界公认的重要成就. 上图是北京正负电子对撞机运输线正负电子分岔区照片, 下图是正负电子在加速器中运动轨迹的示意图.

本章讨论真空中相对于观察者静止的电荷所产生的静电场的基本性质和规律.从静电场对电荷有力的作用和静电场力对在电场中运动的电荷作功这两方面,引入电场强度 E 和电势 V 这两个物理量,并给出静电场的高斯定理和环路定理,进而讨论电场强度 E 和电势 V 的关系.

§ 7.1 电荷 库仑定律

7.1.1 电荷

实验证明,自然界只存在两类电荷:正电荷和负电荷.

1750年,美国物理学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)命名被丝绸摩擦过的玻璃棒带“正电”,被毛皮摩擦过的橡胶棒带“负电”.电荷的多少用电荷量来度量.1897年,英国物理学家汤姆孙(J. J. Thomson, 1856—1940)发现电子.电子是迄今实验观测到的带有最小负电荷的粒子,其电荷量的近代测量值为

$$e = (1.602\ 176\ 462 \pm 0.000\ 000\ 063) \times 10^{-19} \text{ C}$$

C是电荷量的SI单位,称为库仑.

按照物质的电结构理论,物质由分子组成,分子由原子组成,任何元素的原子都有一个原子核和围绕着核的电子云,在原子核中包含若干带正电的质子和不带电的中子,电子云则由带负电的电子形成.每个质子所带正电荷的数量与每个电子所带负电荷的数量相等,都等于 e ,即质子所带的电荷为 e ,电子所带的电荷为 $-e$, e 称为元电荷.不同元素,原子核中所包含的质子数目不相同,但不论哪种元素,在正常情况下,每个原子中所包含的电子和质子数目相同,因此原子呈电中性.由大量原子、分子所构成的宏观物体也呈电中性.但当物体经受摩擦等作用时,一个物体失去若干个电子而带正电,另一个物体得到若干个电子而带负电.任何物体所带的电荷量,不论其来源如何,都是元电荷 e 的整数倍:

$$q = \pm Ne$$

式中 N 为正整数.我们称这种现象为电荷的量子化.

1964年美国科学家盖尔曼(M. GellMann, 1929—)提出“基本粒子”的夸克模型,并预言夸克的电荷应为 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$,即夸克可带有分数电荷,尽管这一模型对粒子物理中许多现象的解释获得了很大的成功,但至今在实验上还未发现自由夸克的存在.由于电荷的量子 e 非常小,通常问题中涉及到的带电粒子的数目又非常巨大,以致在宏观现象中,电荷的量子化就表现不出来,所以在我们的

所讨论的带电体上,可以认为电荷是连续分布的.

实验表明,在一个孤立系统中,系统所具有的正负电荷的代数和保持不变,这一规律称为电荷守恒定律.这个定律是从大量实验中总结出来的,直到现在为止,不论是在宏观过程中,还是在微观过程中,都已证明是正确的.例如,用 α 粒子(即 ${}^4_2\text{He}$ 核)去轰击 ${}^{14}_7\text{N}$ 核,使 ${}^{14}_7\text{N}$ 核转变成 ${}^{17}_8\text{O}$ 核,并放出质子的过程是:



显然,反应前后的电荷总数(+9e)相等.又如,任何一个化学反应,反应前后的总电荷量也保持不变等等.

实验还证明,电荷的电荷量与它的运动速度和加速度无关.例如加速器将电子或质子等粒子加速时,随着粒子速度的变化,它们的质量明显地变化,但电荷量却没有任何变化.在不同的参考系内观察,同一带电粒子的电荷量不变,说明电荷具有相对论不变性.

7.1.2 库仑定律

直到18世纪,人们才确知只有正、负两种电荷,并知道同号电荷相斥,异号电荷相吸.1785年,法国物理学家库仑(C. A. Coulomb, 1736—1806)通过扭秤实验,总结出点电荷间相互作用的规律,称之为库仑定律.所谓点电荷,是指这样的带电体,它本身的几何线度比起它到其它带电体的距离小得多.这种带电体的形状和电荷在其中的分布已无关紧要,因此我们可以把它抽象成一个带电的几何点.库仑定律表述如下:

在真空中,两个静止的点电荷 q_1 和 q_2 之间的静电相互作用力(亦称静电力、库仑力)与这两个点电荷所带电荷量的乘积成正比,与它们之间距离的平方成反比,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.库仑定律可用矢量公式表示为

$$\mathbf{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r$$

式中 \mathbf{F}_{21} 为 q_1 对 q_2 的作用力, r 为 q_1 、 q_2 间的距离, \mathbf{e}_r 为 q_1 指向 q_2 的单位矢量, k 是比例系数,如图7.1所示.

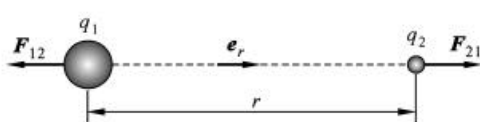


图 7.1

当 q_1 与 q_2 同号时, \mathbf{F}_{21} 与 \mathbf{e}_r 同向,这时 q_1 与 q_2 相斥;当 q_1 与 q_2 异号时, \mathbf{F}_{21} 与 \mathbf{e}_r 反向,这时 q_1 与 q_2 相吸.电荷 q_1 对 q_2 的作用力为 $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$,即静电相互作用力满足牛顿第三定律.

在 SI 中,距离用 m,力用 N,电荷量用 C 作单位,由实验测得比例系数

$$k = 8.987\ 55 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

通常在计算中取近似值, $k \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$.

为了使后面将要导出的更为常用的公式中不含无理数“4”因子,令 $k =$

$\frac{1}{4\epsilon_0}$, 而得到

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

式中 ϵ_0 称为真空电容率(又称真空介电常量). 这样的处理方法称为单位制的有理化. 因此,库仑定律可表示为

$$F_{21} = \frac{1}{4\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} e_{12} \quad (7.1)$$

库仑定律是物理学中著名的平方反比定律之一. 库仑定律只适用于点电荷间的相互作用力. 对于一般的带电体,可以把它划分为许许多多的电荷元,每个电荷元可视为点电荷,实验证明,整个带电体受到的力是所有电荷元所受力的矢量和.

库仑定律是静电学的理论基础,也是电磁学的基本实验定律之一.

7.1.3 静电力叠加原理

当空间存在多个点电荷时,对于任意两个点电荷间的静电力,库仑定律仍被证明是正确的. 也就是说某个点电荷受到来自其它点电荷的总静电力应等于所有其它点电荷单独作用时的静电力的矢量和,这一结论称为静电力叠加原理.

例如,由 q_1, q_2, \dots, q_n 组成的点电荷系对另一点电荷 q 的静电力分别为 F_1, F_2, \dots, F_n , q 受到的总静电力 F 为

$$\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 + \dots + F_i + \dots + F_n \\ &= \sum_{i=1}^n F_i \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{q q_i}{4\epsilon_0 r_i^2} e_{ri} \end{aligned} \quad (7.2)$$

式中 r_i 是 q_i 与 q 之间的距离, e_{ri} 是 q_i 指向 q 的单位矢量,如图 7.2 所示. 静电力叠加原理是从实验得到的基本原理,由此导致描述电场的一些重要物理量,如电场强度、电势等,也都满足叠加原理.

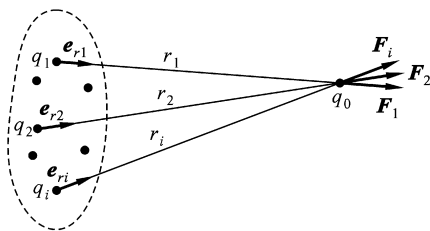


图 7.2

【例 7.1】如图 7.3 所示,三个点电荷带电均为 $+2.9 \mu\text{C}$, $r=0.5 \text{ m}$, 试求电荷 q_3 所受力的方向和大小。

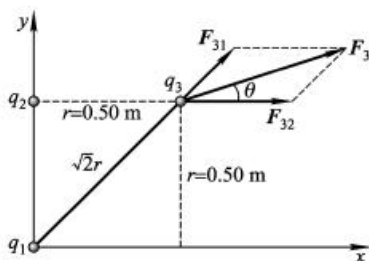


图 7.3

解 电荷 q_3 受到电荷 q_1 的力的大小为

$$F_{31} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3}{(2r)^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{(2.9 \times 10^{-6})^2}{2 \times (0.5)^2} \text{ N} \\ = 0.151 \text{ N}$$

电荷 q_3 受到电荷 q_2 的力的大小为

$$F_{32} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_3}{r^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{(2.9 \times 10^{-6})^2}{(0.5)^2} \text{ N} = 0.302 \text{ N}$$

各力的分量：

$$F_{31,x} = F_{31} \cos 45^\circ = 0.151 \times 0.707 \text{ N} = 0.107 \text{ N}$$

$$F_{31,y} = F_{31} \sin 45^\circ = 0.151 \times 0.707 \text{ N} = 0.107 \text{ N}$$

$$F_{32,x} = F_{32} \cos 0^\circ = 0.302 \times 1 \text{ N} = 0.302 \text{ N}$$

$$F_{32,y} = F_{32} \sin 0^\circ = 0.151 \times 0 \text{ N} = 0 \text{ N}$$

因此，

$$F_{3,x} = F_{31,x} + F_{32,x} = 0.107 \text{ N} + 0.302 \text{ N} = 0.409 \text{ N}$$

$$F_{3,y} = F_{31,y} + F_{32,y} = 0.107 \text{ N} + 0 \text{ N} = 0.107 \text{ N}$$

q_3 所受合力大小为

$$F_3 = F_{3,x}^2 + F_{3,y}^2 = (0.409)^2 + (0.107)^2 \text{ N} = 0.423 \text{ N}$$

q 所受合力的方向

$$= \arctan \frac{F_{3,y}}{F_{3,x}} = \arctan \frac{0.107}{0.409} = 14.7^\circ$$

由以上计算可以看出 对于有若干个电荷的系统,某个点电荷受到的来自其它点电荷的总静电力应等于所有其它点电荷单独作用时的静电力的矢量和.每对电荷的作用力不因第三个电荷的存在而改变,这是叠加原理的基础.



思考题

7.1 点电荷是否一定是很小的带电体?比较大的带电体能否视为点电荷?在什么条件下一个带电体才能视为点电荷?

7.2 对任意形状的带电体之间的作用力,从理论上说,能否应用库仑定律进行计算?如果能,试述计算的思路.

7.3 一质量为 m ,带电为 $-q$ 的粒子,沿一圆周轨道绕一固定的带电为 $+q$ 的粒子运动.试说明二者之间的距离(即圆轨道的半径)与运动周期之间的关系.

7.4 假设电子和质子所带电荷的大小并不相同,而是有所差别,比如说相差 0.1%,世界将大不一样吗?试解释之.

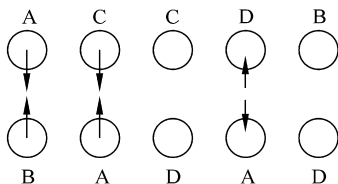
7.5 假设质子和电子所带电荷的符号颠倒,电子带正电,质子带负电,世界将大不一样吗?试解释之.

7.6 试比较牛顿万有引力定律中的质量和库仑定律中的电荷,它们有多少相似之处?又有多少不同之处?

7.7 一电荷均匀分布的球壳,在球壳中心有一点电荷,试估算点电荷所受的静电力.

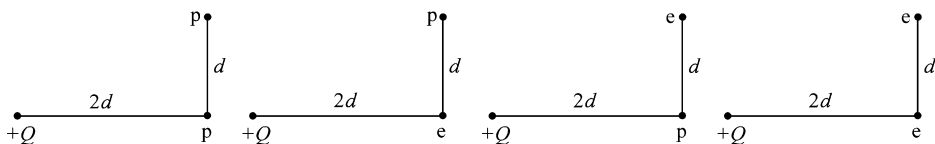
7.8 两大小相同的导体球 A 和 B,分别带电 $-50e$ 和 $+20e$,如果让这两个球相接触,问:球 A 最后所带的电荷是多少?

7.9 如图所示的 5 对球,其中 A、B、D 为带电的塑料球,C 为中性的铜球,三对间的静电力如图所示,试标出其余两对间的受力情况.



思考题 7.9 图

7.10 如图所示为带电粒子的 4 种分布情况.试将电荷 $+Q$ 受力大小按从大到小排列次序.



思考题 7.10 图

§ 7.2 真空中的静电场 电场强度

7.2.1 静电场

两个点电荷之间的静电相互作用力是通过什么方式和途径才得到实现的呢?历史上对此曾有过两种对立的学说,一种认为电荷之间的静电力不需要任何中间介质,也不需要时间,是瞬时作用的,即所谓“超距作用”学说.另一种学说由法拉第提出,一个电荷周围存在着由它产生的电场,另一个电荷所受的作用力就是通过这个电场给予的.这种方式可以表示为:

电荷 Z 电场 Z 电荷

实验表明,凡是有电荷的地方,四周就存在着电场,即任何电荷都在自己周围的空间激发电场,而电场的一个基本性质是,它对于处在其中的其它电荷都有力的作用,称为电场力.

当电荷发生变化时(包括电荷量的变化或电荷的变速运动等),其周围的电场也随之而变化,这个变化的电场又会在其周围产生变化的磁场,形成统一的电磁场,以波的形式向外传播,这就是电磁波.电磁波是以光速在空间中传播的.由于光速极快,因此,在通常情况下,变化电场传播所需的时间极短,是难以察觉的.但是,随着科学技术的发展,人们已有足够的手段来证明电场的传播是需要时间的.

现在,科学实验和生产实践完全肯定了场的观点,并证明电磁场可以脱离电荷和电流而独立存在,它具有自己的运动规律;还具有能量和动量,是一种特殊形态的物质,场和实物一起构成了物质世界非常丰富的图景.本章只讨论相对于观察者静止的电荷在其周围空间产生的电场,即静电场.处于静电场中的电荷要受到电场力的作用,并且当电荷在电场中运动时电场力要对它作功.下面,我们分别从施力和作功这两方面来研究静电场的性质,并引出描述电场性质的两个物理量——电场强度 E 和电势 V .本节重点讨论电场强度的定义,电场强度叠加

原理,以及电场强度的计算方法。

7.2.2 电场强度

设有一带电为 $+Q$ 的物体,在它周围空间产生电场.如何描述这个电场呢?显然,应根据此电场对其它电荷作用的静电力来定量地分析电场.为此引入一试验电荷 q ,为方便讨论,设 q 带正电荷.我们把试验电荷 q 放到电场中不同位置,观察电场对 q 作用力的情况.试验电荷必须满足如下要求:(1)试验电荷的几何线度要充分小,可以把它看成是点电荷,这样才能用以研究电场中各场点的特性;(2)它的电荷量应足够小,以至把它放进电场中对原有的电场几乎没有什么影响。

如图 7.4 所示,在静止电荷 Q 的静电场中,先后将试验电荷 q 放到电场中不同位置 a b c 处, q 受到电场力 F 的大小和方向一般各不相同,这说明各点的电场性质不相同。

对于电场中任一确定的场点 a ,把试验电荷 q 放在 a 点,发现它受到的电场力和它的电荷量 q 成正比.若把试验电荷的电荷量增大 n 倍,电场力也增大 n 倍,而力的方向不变.若把试验电荷换成等量异号的负电荷,力的大小不变,而方向相反.然而,对确定的场点 a ,试验电荷所受的力 F 与 q 的比值是一个确定的矢量.这个矢量与场源电荷和场点的位置有关,而与试验电荷 q 的大小、正负无关.因此这个矢量反映了各确定点电场本身的性质.为描述静电场,特引进电场强度矢量 E ,并定义静电场中给定点的电场强度(简称场强)为

$$\boxed{E = \frac{F}{q}} \quad (7.3)$$

式 (7.3) 表明:电场中任一点电场强度的大小和方向与单位正电荷在该点所受电场力的大小和方向相同。

由于试验电荷在静电场中不同点受到的电场力 F 的大小和方向一般不同,因此电场强度 E 是空间坐标的矢量函数,即

$$E = E(r) \quad \text{或} \quad E = E(x, y, z)$$

实验表明,在静电场中,任一点只有一个电场强度 E 与之对应,也就是说静电场具有单值性。

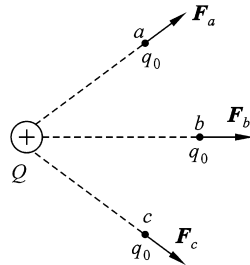


图 7.4

表 7.1 列出了某些带电物体产生电场的场强大小 .

表 7.1 某些典型的场强 $(\text{N} \cdot \text{C}^{-1})$

室内电线附近	3×10^{-2}
地面附近	120
雷雨云附近	10^4
电视显像管内	2×10^5
X射线管内	5×10^6
高压电器击穿空气处	3×10^6
氢原子的电子所在处	6×10^{11}
脉冲星的表面	10^{14}
铀核的表面	2×10^{21}

7.2.3 电场强度的计算

1. 点电荷电场强度

由库仑定律和电场强度定义式 ,可确定真空中点电荷周围的电场强度 .

若电场是由一个点电荷 q 产生的 ,我们来计算与 q 相距为 r 处 P 点的电场强度 .设想把试验电荷 q_0 放在 P 点 , q_0 受力为

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

由 E 的定义式 (7.3) , P 点的电场强度为

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} e \quad (7.4)$$

这就是点电荷的电场强度分布公式 .当场源电荷 q 为正电荷时 , E 与 e 同向 ;当 q 为负电荷时 , E 与 e 反向 .式 (7.4) 表明 ,点电荷产生的电场强度分布具有球对称性 ,如图 7.5 所示 .该式是一个非常重要的关系式 ,在计算复杂带电体的电场强度分布时 ,是以该式为基础 ,运用积分方法进行的 .需要指出的是 ,式 (7.4) 不能描写电荷 q 本身所在点上的场强 ,因为 $r=0$ 处将得出 E 的无意义结果 .实际上严格的点电荷是不存在的 ,在此情况下 ,点电荷的理想模型已不再成立 .

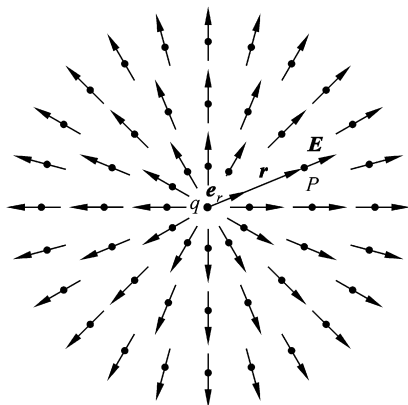


图 7.5