

第 5 篇

电 磁 学

电磁学是研究电磁现象规律的学科。人类很早就接触和认识到电磁现象。最初人们认为电现象和磁现象是互不相关的,直到 1820 年奥斯特发现了电流对磁针的作用,安培发现了磁铁对电流的作用,人们才开始认识到电现象和磁现象的联系。1831 年法拉第发现了电磁感应定律,使人们对电现象和磁现象的关系有了更深刻的认识。法拉第还提出电场和磁场的观点,并认为电场力和磁场力都是通过场传递的。麦克斯韦在前人成就的基础上,于 1865 年建立了系统的电磁理论。他指出交变的电磁场在空间传播时会形成电磁波,并指出光是一种电磁波,使光学成为经典电磁场理论的组成部分。



怒发冲冠实验演示

经典电磁理论的建立是物理学史上划时代的里程碑之一,完成了物理学的第三次大综合。电磁理论的发展,拓展了科学研究的领域,以它为基础,诞生了无线电学、计算机学、微电子学、射电天文学、X 射线学等一大批新兴学科,并为 19 世纪 70 年代开始的、以电力的应用为中心的第二次技术革命奠定了基础。

本篇主要介绍电场和磁场的一些基本特性,以及电场和磁场对宏观物体(实物)的作用和相互影响,以便对电磁场的物质性和规律有比较深刻的认识。

名人名言

无论鸟的翅膀是多么完美,如果不凭借着空气,它是永远不会飞翔高空的。事实就是科学家的空气。

——巴甫洛夫(俄罗斯)

科学不是为了个人荣誉,不是为了私利,而是为人类谋幸福。

——钱三强(中国)

一旦科学插上幻想的翅膀,它就能赢得胜利。

——法拉第(英国)

电和磁的实验中最明显的现象是,处于彼此距离相当远的物体之间的相互作用。因此,把这些现象化为科学的第一步就是,确定物体之间作用力的大小和方向。

——麦克斯韦(英国)

真空中的静电场

相 对于观察者(惯性系)静止的电荷所激发的电场称为**静电场**(electrostatics)。通过本章的学习,要求理解和掌握静电场的基本性质和基本规律,并能计算一些带电体的电场强度和电势。



10.1 电荷 库仑定律

10.1.1 电荷

1. 电荷是物质的一种基本属性

电荷是物质的一种属性,自然界中不存在不依附于物质的“单独电荷”。我们知道,用丝绸或毛皮摩擦过的玻璃棒、硬橡胶棒、石英等都能吸引轻小物体,这表明它们在摩擦后进入了一种特别的状态。我们把处于这种状态的物体叫作**带电体**,并说它们带有电荷。

大量实验表明,自然界中的电荷只有两种。美国科学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)是第一个把用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷命名为**正电荷**(positive charge)、用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷命名为**负电荷**(negative charge)的人,这一命名方法一直沿用至今。

物体经过摩擦为什么会带电呢? 这可根据物质的电结构理论进行解释。我们知道,物质由原子、分子组成;原子由带正电的原子核和绕核运动的带负电的电子组成;原子核又由带正电的质子和不带电的中子组成。任一原子的质子数和核外电子数相等,正因如此,在通常情况下,整个原子呈电中性。一切物体带电的根本原因,就是组成物体的原子、分子中,存在着带负电的电子和带正电的质子。当其在某种外因的作用下,比如摩擦,使得物体或物体的一部分上的电子数多于质子数,这时物体带负电,反之,物体带正电。

物质的电结构不同将呈现不同的导电性能,根据物质的导电性能的不同,可把物体分成导体、半导体和绝缘体三种。第 11 章将对导体和绝缘体(电介质)与静电场之间的相互作用进行较深入的讨论。

这里要注意几个概念的区别和联系。

带电体是指处于带电状态的物体。电荷是指带电体的一种属性(和质量是一个相当的物理量);电荷量是指电荷的多少,简称电量。电量的国际单位为库仑,简称库,符号为 C。正电荷的电量以正值表示,负电荷的电量以负值表示。

2. 电荷的基本性质

下面介绍电荷的几个基本性质。



密立根

(1) **对偶性**。自然界中只有两种电荷(正电荷和负电荷),它是物质对称性的一种表现形式。

(2) **量子性**。1907—1913年,物理学家密立根(R. A. Millikan, 1868—1953, 美国)利用油滴实验(实验仪器如图 10-1 所示)测出了电子的电荷量,首次证实了电荷的量子化,对物理学的发展起着重要的作用。由于在电子论方面的贡献,密立根获得了 1923 年度诺贝尔物理学奖。

密立根油滴实验装置的示意图如图 10-2 所示,它主要由电源、观察显微镜、电离辐射源、油滴室、照明系统等组成。密立根油滴实验(静态法)测量电子电量的方法如下:用雾化器将油滴喷入电容器两块水平的平行电极板之间时,喷入的油滴因雾化而带负电。当加电场时,油滴在电场中受到向上的电场力和向下的重力作用,调节两极板之间的电压,使油滴静止,静止时电场力等于重力;然后撤去外加电场,油滴受到向下的重力和向上的空气黏性力(忽略浮力)作用,开始时,油滴加速下落,当重力与空气的黏性力相等时,油滴匀速下降,通过测量油滴下降的距离和时间,即可测量油滴的速度,利用这些关系可得到测量油滴所带总电荷量的计算公式,测出所需的一些物理量,就可计算出油滴所带的总电荷量。

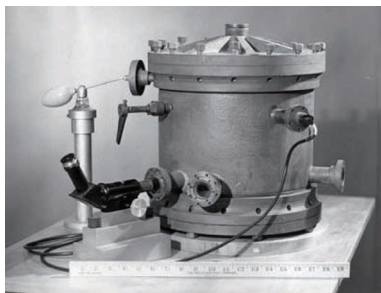


图 10-1 密立根油滴实验仪器

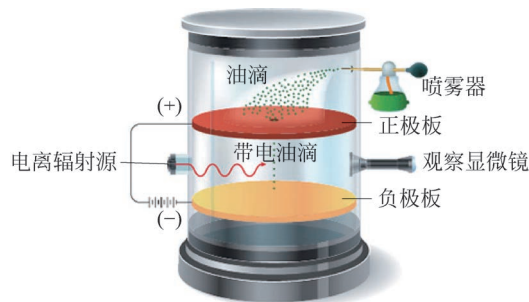


图 10-2 油滴实验装置示意图

分析测得的油滴总电荷量,发现所有油滴所带的电量均是某一最小电荷的整数倍,该最小电荷值就是电子电荷。这表明,一切物体所带的电荷都是分立的,是以一个个不连续的量值出现的,这种现象叫作电荷的量子化。无论是微观带电粒子,还是宏观带电物体,所带的电荷都是基元电荷的整数倍。基元电荷也叫作电荷量子,它就是一个电子所带的电荷,用 e 表示,2010 年国际上推荐的值为 $-1.602\,176\,565(35) \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

应注意的是,由于基元电荷太小,宏观带电物体所带基元电荷的数目非常巨大,因此,电荷的量子化表现不出来。所以,在经典电磁学范围内,不考虑电荷的量子化,而把宏观带电物体所带电荷视为连续分布。

关于基元电荷,也有人认为基元电荷比电子电荷还小,即存在分数电荷,比如:1964 年,美国物理学家马雷·盖尔曼(M. Gell-Mann, 1929—)提出了夸克模型,认为其带电量为 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$; 1977 年,美国物理学家费尔班克(W. M. Fairbank, 1917—1989)等提出测到了 $\pm \frac{1}{3}e$ 电荷,但实验不具重复性;1966 年,我国理论物理工作者提出“层子”模型,认为基本粒子由“层子”构成,带电荷为 $\pm \frac{1}{3}e$, $\pm \frac{2}{3}e$ 。但至今单独存在的夸克或“层子”尚未在实验中发现。即使这些粒子被发现了,也不过是把基元电荷的大小缩小到目前的 $1/3$,而电荷的量子性依然成立。

(3) **电荷之间有相互作用**。同号电荷相互排斥,异号电荷相互吸引。当将异号电荷放在一起时,它们所产生的力的作用相互抵消。这种正负电荷完全抵消的现象称为中和。

(4) **满足电荷守恒定律**。电荷既不能产生,也不能消失,只是由一个物体转移到另一个物体,或者从物体的一部分转移到另一部分。或表述为:在一个与外界没有电荷交换的系统内,正负电荷的代数和在任何物理过程中始终保持不变,这就是电荷守恒定律。如摩擦起电是电荷从一个物体转移到另一个物体;感应起电(静电感应)是将中性物体上的正、负电荷分开。

(5) **电荷的运动不变性**。大量实验表明,电荷的电量与其运动状态无关,具有相对论不变性。例如加速器对电子或质子加速时,随着粒子速度的变化,它们的质量会有明显变化,但其电量没有任何变化的痕迹。

10.1.2 库仑定律

前面提到,电荷之间有相互作用,那么这种相互作用服从什么样的规律呢?我们说这种相互作用可用库仑定律来描述。在讨论库仑定律的具体内容之前,引入一个物理模型——点电荷模型。

物理学家简介

库 仑

查利·奥古斯丁·库仑(Charles-Augustin de Coulomb, 1736—1806)(图 10-3),法国工程师、物理学家。1736 年 6 月 14 日生于法国昂古莱姆。1806 年 8 月 23 日在巴黎逝世。1774 年当选为法国科学院院士。1784 年任供水委员会监督官,后任地图委员会监督官。1802 年,拿破仑任命他为教育委员会委员,1805 年升任教育监督主任。



库 仑



图 10-3 库 仑

1785—1789 年,库仑通过精密的实验对电荷间的作用力作了一系列的研究,连续在皇家科学院备忘录中发表了很多相关的文章。

1785 年,库仑用自己发明的扭秤建立了静电学中著名的库仑定律。同年,他在给法国科学院的《电力定律》的论文中详细地介绍了他的实验装置、测试经过和实验结果。

1. 点电荷模型

在研究力学问题时,我们引入了质点模型。有了质点模型后,许多力学问题就变得容易解决了。在研究电学问题时,我们引入点电荷(point charge)模型。点电荷实际上是一个带电体,当带电体的线度比带电体之间的距离小得多时,它们之间的静电力基本上只取决于它们的带电量 and 距离,而与其他因素无关,满足这个条件的带电体称为点电荷。带电体能否被看作点电荷,不仅取决于带电体本身的大小,还取决于带电体之间的距离。究竟带电体的线度比距离小多少才能被看作点电荷,没有一个绝对的标准,取决于讨论问题时所要求的精确程度。带电体一旦被看作点电荷,就可用一个几何点标志它的位置,两个点电荷的距离就是标志它们位置的两个几何点之间的距离。

2. 库仑定律

真空中两个静止的点电荷间的静电力服从库仑定律,它是 1785 年库仑在前人实验及理论研究的指导下,通过精确的扭秤实验,测定电荷之间的作用力而总结出来的。它是历史上第一个定量描述电荷之间相互作用力的定律,是静电学的基础,也是整个经典电磁理论的基础。



扭秤的结构如图 10-4 所示。在细金属丝下悬挂一根秤杆,它的一端有一小球 A,另一端有平衡体 P,在 A 旁还放置有另一与它一样大小的固定小球 B。为了研究带电体之间的作用力,先使 A、B 各带一定的电荷,这时秤杆会因 A 端受力而偏转。转动悬丝上端的旋钮,使小球回到原来的位置。这时悬丝的扭力矩等于施于小球 A 上电力的力矩。如果悬丝的扭力矩与扭转角度之间的关系已事先校准、标定,则由旋钮上指针转过的角度读数和已知的秤杆长度,可以得知在此距离下 A、B 之间的作用力,并且通过悬丝扭转的角度可以比较力的大小。

库仑定律的具体内容为:真空中两个静止点电荷间的静电力大小相等而方向相反,并且沿着它们的连线;同号电荷相斥,异号电荷相吸;静电力的大小与两个点电荷的电量 q_1 和 q_2 的乘积成正比,与它们之间距离 r 的平方成反比,即

$$\mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_{12} \quad (10-1)$$

其中, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$, 称为真空电容率(permittivity); $\mathbf{F}_{12}$ 表示 q_1 对 q_2 的作用力,作用在 q_2 上; $\mathbf{e}_{12}$ 表示由 q_1 指向 q_2 的单位矢量(图 10-5)。 q_2 对 q_1 的作用力为

$$\mathbf{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_{21} \quad (10-2)$$

其中, $\mathbf{e}_{21}$ 表示由 q_2 指向 q_1 的单位矢量,如图 10-5 所示。显然 $\mathbf{e}_{12} = -\mathbf{e}_{21}$, 由此可得

$$\mathbf{F}_{21} = -\mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_{21}$$

即库仑力满足牛顿第三定律。在应用过程中,通常省略下标而将 q_1 对 q_2 的作用力写为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^3} \mathbf{r} \quad (10-3)$$

式中, $\mathbf{e}_r$ 是 q_1 指向 q_2 的单位矢量。分析表明,无论 q_1 、 q_2 是同号还是异号,上式均成立。当 q_1 、 q_2 同号时,两电荷之间为排斥力;当 q_1 、 q_2 异号时,两电荷之间为吸引力。



图 10-4 扭秤

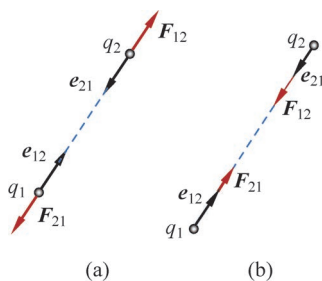


图 10-5 两静止点电荷之间的库仑力
(a) 同号电荷; (b) 异号电荷

感悟·启迪

库仑定律是在实验、类比和猜想的基础上建立的,正如牛顿所说“没有大胆的猜想,便不可能有伟大的发现和发明”。科学猜想是具有一定的科学依据,并且符合逻辑的观点或者想法。如果不是与万有引力定律进行类比,单靠实验具体数据的积累,严格的库仑定律的形式将很难得到。

知识是人创造的。自然科学知识是人在与大自然“对话”过程中的感悟,是人对于客观规律的刻画。



3. 库仑定律成立的条件、适用范围和局限性

(1) 成立条件。库仑定律成立的条件是真空中静止的点电荷。所谓静止,是指在惯性系中相对于观察者的速度为零。库仑定律可以推广到一个静止的源电荷对运动电荷的作用,但不能推广到运动的源电荷对静止电荷或运动电荷之间的作用。

(2) 适用范围。就目前能用的直接实验证明而言,有两个区域库仑定律可能失效:一个是距离小于 10^{-16} m 的极小范围,比如原子核中核子间的相互作用范围;另一个是非常大的距离范围,比如天文学上的距离。大量实验表明,库仑定律在 $10^{-15} \sim 10^7$ m 的巨大范围内是可靠的。

(3) 局限性。库仑定律没有解决电荷间相互作用力如何传递的问题,按照库仑定律,库仑力不需要接触任何介质,也不需要时间,而是直接从一个带电体作用到另一个带电体上的。

4. 库仑定律和万有引力定律的主要异同

(1) 相同点:都是有心力(指向两者的连线)、长程力(相互作用范围很长,为无限远);在形式上都服从距离平方反比关系和源量乘积的正比关系。

(2) 不同点:静电力既有引力也有斥力,而万有引力定律指出质量为 m_1 和 m_2 的两物体间只有引力,没有斥力;两种力的作用强度不同,电磁作用远远大于万有引力的强度。如果把核子间的相互作用强度设为 1,则电磁力(其中主要是库仑力)的相对强度为 10^{-2} ,万有引力的相对强度为 10^{-39} ,强度相差极大。

例 10-1

计算氢原子内电子和原子核之间的静电作用力和万有引力,并比较两者的大小。已知:两者距离 $r = 0.529 \times 10^{-10}$ m,电子质量 $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg,氢原子核质量 $M = 1.67 \times 10^{-27}$ kg,电子和原子核所带电量 $q_1 = q_2 = 1.6 \times 10^{-19}$ C,万有引力恒量 $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N·m²/kg²。

解 根据库仑定律,电子和原子核间的静电力为

$$F_e = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = 8.23 \times 10^{-8} \text{ N}$$

根据万有引力定律,电子和原子核之间的万有引力为

$$F_m = G \frac{mM}{r^2} = 3.63 \times 10^{-47} \text{ N}$$

因此,可得它们的比值为

$$\frac{F_e}{F_m} = 2.27 \times 10^{39}$$

可见在原子内,电子和原子核之间的静电力远远大于它们之间的万有引力。因此,在处理电子和原子核之间的相互作用时,常常只考虑静电力而忽略万有引力。

感悟·启迪

通过电子和原子核之间的静电力与万有引力的求解可知,在原子内部,电子和原子核之间的静电力远比万有引力大。所以,在处理电子和原子核之间的相互作用时,常常只考虑静电力而忽略万有引力。也就是研究具体问题,要抓住问题的主要矛盾。在力学中引入的质点模型、在电学中引入的点电荷模型等都是抓住主要矛盾的体现。

知识拓展

我国古代对电现象的认识

我国古代对电的认识,是从雷电及摩擦起电现象开始的。早在3 000多年前的殷商时期,甲骨文中就有了“雷”和“电”的形声字。西周初期,在青铜器上就已经出现带雨字偏旁的“電”字。

王充在《论衡·雷虚篇》中写道:“云雨至则雷电击”,明确地提出云与雷电之间的关系。关于雷电的成因,《淮南子·坠形训》认为,“阴阳相薄为雷,激扬为电”,即雷电是阴阳两气对立的产物。

关于尖端放电,《汉书·西域记》中有“元始中(公元3年)……矛端生火”的记述,晋代《搜神记》中也有相同的记述“戟锋皆有火光,遥望如悬烛”。避雷针是尖端放电的具体应用。古塔的尖顶多涂金属膜或鎏金,高大建筑物的瓦饰制成动物形状且冲天装设,都起到了避雷作用。

我国古人还准确地记述了雷电对不同物质的作用。《南齐书》中有对雷击的详细记述:“雷震会稽山阴恒山保林寺,刹上四破,电火烧塔下佛面,而窗户不异也。”即强大的放电电流通过佛面的金属膜,金属被熔化。而窗户为木制,仍保持原样。沈括在《梦溪笔谈》中对类似现象的叙述更为详尽。

在我国,摩擦起电现象的记述颇丰。早在西汉的《春秋纬》中就有玳瑁吸引细小物体的记载。《论衡》中也有“顿牟掇芥”,这里的顿牟也是指玳瑁。

近代电学正是在对雷电及摩擦起电的大量记载和认识的基础上发展起来的,我国古代学者对电的研究,大大地丰富了人们对电的认识。



10.2 电场 电场强度

10.2.1 电场

库仑定律说明电荷之间有相互作用,那么电荷间的相互作用是通过什么物质来传递的呢?近代物理学表明,任何电荷都在其周围空间激发电场,电荷间的相互作用是通过电场对电荷的作用来实现的。场是物质存在的一种形态,具有由原子或分子组成的实物的共性,即具有能量、质量和动量等物质的基本属性。但电磁场也有它的特殊性:具有作为场的特点的波动性和叠加性;它可以脱离场源电荷或电流而单独存在。比如不同频率的电磁波、几个电荷产生的静电场同时占据同一几何空间,这就是场的叠加性的体现,而由原子或分子组成的实物,则不具有这种叠加性。

电场是一种物质,但它看不见、摸不着,只有在电场中引入电荷,通过对电荷的作用才能表现出电场的性质。电场对电荷的作用具体表现为:置于电场中的电荷要受到电场力的作用;当电荷在电场中移动时,电场力对它要做功;置于电场中的导体和电介质会分别产生静电感应现象和极化现象。根据前两方面的性质,可分别引入描述电场性质的两个物理量——电场强度和电势(在静电场中才能引入电势),在后续章节中将对相关内容进行介绍。

10.2.2 电场强度

如何来确定电场中某点电场的强弱和方向呢?现设空间某点放置一点电荷 q , q 在周围空间激发电场,在此电场中引入一个检验电荷(test charge) q_0 ,又称为试探电荷,如图10-6所示。检验电荷应该满足两个条件:一是其线度必须小到可被看成点电荷;二

是其所带的电荷量应足够小,以致把它放进电场中对原有电场的影响小到可以忽略。根据库仑定律, q_0 在 q 激发的电场中 A、B 和 C 点所受的静电力分别为

$$\mathbf{F}_1 = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_1^3} \mathbf{r}_1, \quad \mathbf{F}_2 = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_2^3} \mathbf{r}_2, \quad \mathbf{F}_3 = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_3^3} \mathbf{r}_3$$

从上面的三个等式可以看出,静电力的大小不但与检验电荷的位置(即场点位置)有关,而且与检验电荷的电荷量 q_0 有关,但检验电荷所受的静电力与其电荷量的比值却是一个只与场点有关而与 q_0 无关的量,这一结论可以推广到任意电荷激发的电场。对于任意电荷,可将其分成许多点电荷,根据叠加原理仍可得到上述结论,由此定义 **电场强度**(electric field intensity)(简称场强)的大小为该点检验电荷所受的电场力与检验电荷所带电荷量的比值,由于电场强度具有方向,因此将其表示为

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \quad (10-4)$$

式(10-4)表明,电场强度是表征该点电场特性的矢量,场中某点的电场强度的大小等于位于该点的单位电荷所受的电场力,其方向为位于该点的正电荷所受电场力的方向。上述定义无论对静电场、运动电荷的电场、还是变化磁场所产生的电场都适用,即使场中存在磁场,式(10-4)的定义仍然有效。在国际单位制中, **电场强度的单位为牛顿/库仑**(N/C)或伏特/米(V/m)。

电场中任一点,都有一个大小和方向确定的电场强度(场强)矢量 $\mathbf{E}$,场点和场强有一一对应的关系,即 $\mathbf{E}$ 是空间坐标(位置)的矢量点函数。如果电场空间中各点的场强的大小和方向都相同,则称该电场为均匀电场或匀强电场。

10.2.3 电场强度叠加原理

如果电场由 n 个点电荷共同激发,则由力的叠加原理及电场强度定义可得空间任一点的总场强为

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} = \frac{1}{q_0} (\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n) = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \cdots + \mathbf{E}_n \quad (10-5)$$

上式说明,点电荷系在空间任一点所激发的总电场强度,等于各个点电荷单独存在时在该点所激发的电场强度的矢量和。这就是电场强度叠加原理,简称场强叠加原理。有了电场强度的定义式以及场强叠加原理,就可针对具体问题进行场强的计算。

10.2.4 场强的计算

1. 点电荷电场中的场强

真空中有一点电荷 q ,距 q 为 r 处的 P 点引入一检验电荷 q_0 ,则 q_0 受到 q 的作用力为

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

由电场强度定义式可得场点 P 处的电场强度为

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \mathbf{e}_r \quad (10-6)$$

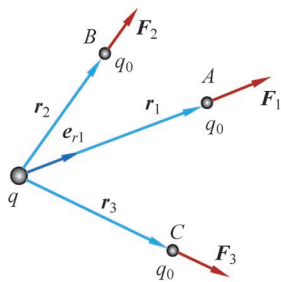


图 10-6 电场中的检验电荷



上式表明, E 的大小与 q 成正比, 与 r^2 成反比。 q 为正, E 的方向与 e_r 的方向相同, 即背离 q ; q 为负, E 的方向与 e_r 的方向相反, 即指向 q , 如图 10-7 所示。

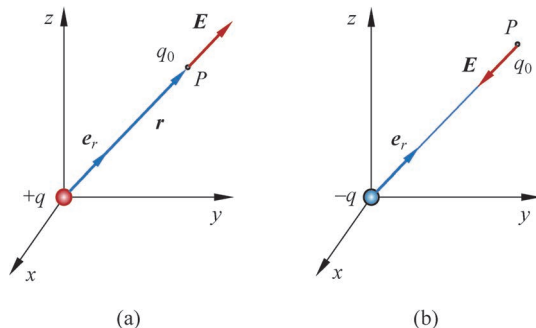
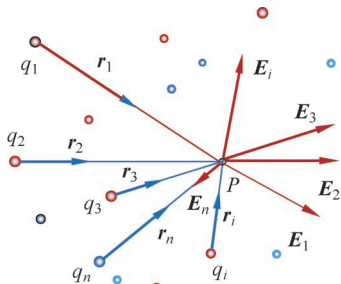


图 10-7 点电荷的电场强度

(a) E 与 e_r 同向; (b) E 与 e_r 反向

2. 点电荷系电场中的场强

如图 10-8 所示, 若电场由 n 个点电荷 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 共同产生, 则每个点电荷在 P 点处产生的场强分别为



$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} e_{r_1}$$

$$E_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} e_{r_2}$$

$\vdots$

$$E_n = \frac{q_n}{4\pi\epsilon_0 r_n^2} e_{r_n}$$

图 10-8 点电荷系的电场强度

根据场强叠加原理, 所有电荷在 P 点产生的总场强为

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^2} e_{r_i} \quad (10-7)$$

3. 任意带电体电场中的场强

任意带电体可以分成许多极小的电荷元 dq 的集合, 每个电荷元 dq (看成点电荷) 在 P 点产生的场强, 按点电荷的场强公式得

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} e_r \quad (10-8)$$

式中, e_r 为从 dq 所在点指向 P 点的单位矢量, 如图 10-9 所示。由场强叠加原理得整个带电体产生的总场强为

$$E = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} e_r \quad (10-9)$$

这是矢量形式的积分, 在具体运算时, 必须将 dE 在适当的坐标系下进行分解, 然后再进行分量积分。

在经典电磁学范围内, 通常认为任意带电体所带的电荷连续分布在带电体所占的体积 V 中, 这时引入电荷密度这个概念来描述电荷的分布。在带电体的体积中某点周围取一个小体积元 ΔV (图 10-9), 设 ΔV 内的电荷为 Δq , 则该点的电荷体密度 ρ 为

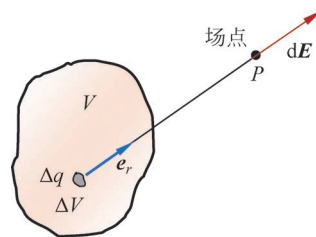


图 10-9 任意带电体的电场强度