

第二册目录

第四篇 电学

§4-0-1 电学在现代科学上和技术上的重要性.....	1
§4-0-2 电学发展简史.....	1
第一章 静电学.....	5
§4-1-1 电荷 电场.....	5
§4-1-2 导体和电介质.....	6
§4-1-3 库仑定律 电介质的影响.....	8
§4-1-4 电场强度 电力线.....	13
§4-1-5 电感强度 电感线 电感通量.....	21
§4-1-6 高斯定理.....	25
§4-1-7 电场力的功 电位.....	31
§4-1-8 电位与电场强度的关系.....	39
§4-1-9 电场中的导体.....	42
§4-1-10 电场中的电介质 电介质的极化.....	45
§4-1-11 电介质的损耗和击穿.....	49
§4-1-12 变电体 压电现象.....	51
§4-1-13 电容 电容器.....	52
§4-1-14 电容器的接法.....	55
§4-1-15 电场的能量.....	59
第二章 电流.....	63
§4-2-1 电流强度和电流密度.....	63
§4-2-2 一段电路的欧姆定律及其微分形式 电阻.....	67
§4-2-3 电流的功和功率 焦耳-楞次定律.....	71
§4-2-4 电动势 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律.....	72
§4-2-5 基尔霍夫定律及其应用.....	78
§4-2-6 金属导电的古典电子理论.....	81
§4-2-7 电子的逸出功.....	85
§4-2-8 接触电位差.....	86
§4-2-9 温差电现象及其应用.....	90

§ 4-2-10 热电子发射	93
§ 4-2-11 气体中的电流 被激放电和自激放电	95
第三章 电流的磁場	99
§ 4-3-1 磁現象的一般認識	99
§ 4-3-2 磁場 磁感强度 磁力綫 磁通量	102
§ 4-3-3 毕奥-沙伐-拉普拉斯定律	107
§ 4-3-4 磁場强度 安培环路定律	114
§ 4-3-5 运动电荷的磁場	122
第四章 磁場对电流的作用	126
§ 4-4-1 磁場对載流导綫的作用力 安培定律	126
§ 4-4-2 磁場对載流綫圈的作用	127
§ 4-4-3 載流导綫或載流綫圈在磁場內改变位置时磁力所作的功	130
§ 4-4-4 平行电流間的相互作用力 电流单位“安培”的定义	134
§ 4-4-5 运动电荷在磁場中所受的力——洛侖茲力	137
§ 4-4-6 带电粒子在电場或磁場中的运动 电子射綫管 迴旋加速器	139
§ 4-4-7 电子的电量和质量的測定	147
§ 4-4-8 离子荷质比的測定 质譜仪	151
第五章 电磁感应	153
§ 4-5-1 电磁感应的基本定律	153
§ 4-5-2 在磁場中运动的导綫內的感应电动势	156
§ 4-5-3 在磁場中轉动的綫圈內的感应电动势和感应电流	160
§ 4-5-4 自感应	162
§ 4-5-5 互感应	167
§ 4-5-6 磁場的能量	170
§ 4-5-7 涡电流	175
§ 4-5-8 磁場中的磁介质 磁化强度	177
§ 4-5-9 铁磁质	183
第六章 电磁場理論 电磁振荡 电磁波	188
§ 4-6-1 麦克斯韦电磁場理論的基本概念	188
§ 4-6-2 电磁波的辐射和傳播	193
§ 4-6-3 振荡电路 赫茲实验	198
§ 4-6-4 电磁波譜	207
附 录 电磁量的单位制	210

第四篇 电学

§ 4-0-1 电学在现代科学上和技术上的重要性

电学的知識范围很广，与生产技术的关系也很密切。原因有以下几点：第一，电能便于轉換为其他形式的能量，如机械能、热能、光能、化学能等；第二，电能便于远距离輸送；第三，电机和电气器械的效率一般都很高；第四，电气测量仪表和調节、控制仪表具有极高的灵敏度。晚近所发展的电工学、电化学、无綫电工学、遙控和自动控制学、电视学等，都以电学的研究为基础。

电学的研究，不仅在生产技术方面意义重大，在理論方面也很为重要。人們对于物质各种性能的認識，就以物质的电結構为基础。在分子和原子等微观領域中，电磁力起着主要作用。許多現象，包括一些粗看起来与电学并无关系的現象，例如固体和液体的彈性、金屬的导热性、光学中的折射率等等，都可从物质的电結構得到解釋。可見，电磁学理論在现代物理学中占有重要地位。

电学的发展日益表明：将电磁現象归之于机械現象是不可能。两者有各自的特殊規律，不容混淆。同时，也应该注意到电磁現象和其他一些物理过程之間，又有相互联系，不容孤立。

§ 4-0-2 电学发展簡史

現代，人們掌握了大量的电学知識，而且这些知識还在不断地发展着。下面把电学发展的过程分作三个时期，并将每一时期的特征，作一簡單的介紹。

第一个时期 从远古开始直到十九世紀中叶为电学发展的第

一个时期。这一时期的特征是积累事实并初步地确立一些电磁现象的基本规律，但是还没有把这些事实和规律归纳为完整的知识系统。

紀元前六世紀，希腊哲学家就曾描写过用布摩擦过的琥珀能够吸引毛发的现象。我国古籍中也有“琥珀拾芥”的记载。到十八世紀，人們才发现电有两种，称为“正电”和“负电”，并且确立了两个带有同号电的物体互相排斥、带有异号电的物体互相吸引的规律。

1785年，庫倫(Coulomb)用实验方法在量值上确定了电荷间相互作用的定律，同时确定了电荷的定量的意义。庫倫定律成为静电学的基础。

1789年，伽伐尼(Galvani)曾进行过青蛙肌肉收缩的实验。不久，伏打(Volta)对这一实验作出了解释，认为这是由于一种“电的激发力”引起伽伐尼电流的原故。以后，发明了伽伐尼电池。

磁现象也是早在远古时就被发现的。中国最早发现了天然磁铁，并制成了指南针。直到1785年，庫倫测量了磁力的作用，确立了磁的庫倫定律。1819年，奧斯忒(Oersted)发现电流的磁效应，电流有使磁针偏转的作用，从此人們才认识到磁现象与电现象之间有内在的联系。

1820年到1830年期间，电学的研究工作发展很快。欧姆(Ohm)、安培(Ampere)、毕奥(Biot)、沙伐(Savart)等人都有不少的发现，其中除有关电流强度的欧姆定律以外，主要的有电流与电流所产生的磁场之间在量值上的关系(毕奥-沙伐定律)以及磁场对通有电流的导线和线圈的作用(安培定律)。安培还初步地阐明了磁性的微观本质。

另一个重大的发现是1831年法拉第(Faraday)所发现的电磁感应现象。电磁感应定律是电工学的基础，也是整个电学理论重要

的一环。法拉第在1834年又发现了电解定律，这一定律对物质的电结构理论提供了基础，也是应用电化学的基础。最后还须指出：电场和磁场的概念，也是法拉第首先提出的。他认为电荷间和电流间的相互作用是通过电场和磁场而作用的，并不是“超距”作用。这种思想对以后电学理论的发展，具有重大的指导意义。

楞次(Lenz)和雅科毕(Б. О. Якоби)的研究工作也是在这一时期内进行的。除了有关电磁感应的楞次定律以外，楞次与焦耳独立地同时确定了电流热效应的定律。雅科毕首先创制了第一部电动机，用来开动船只和车辆。

第二个时期 十九世纪的后半个世纪是电学发展的第二个时期。1865年麦克斯韦在前人和自己的工作基础上，建立了系统严密的电磁场理论，现称为古典电磁理论。他发展了法拉第的有关电磁场的思想，揭露了电场和磁场之间的联系，并用数学形式即麦克斯韦方程组表示出电磁场所遵从的规律。

按麦克斯韦理论所推出的重要结果之一是：一切电磁场变化的传播过程是以有限速度进行的。麦克斯韦方程组中出现这一速度，并可用电学方法加以测定，所得结果证明电磁场的传播速度与光速相等。从此明确了光波就是一种电磁波，光学的研究也成为电磁场理论的组成部分。

1887年赫兹(Hertz)用电磁振荡器产生了电磁波，并证实了这种电磁波和光波的一致性。这样，麦克斯韦的理论获得了实验的证明。1895年波波夫(А. С. Попов)完成了无线电报的发射和接收实验。本世纪初，列别捷夫(П. Н. Лебедев)测定了光对固体和气体的压强，从而证明了电磁场的物理真实性。

第三个时期 从十九世纪末叶起为电学发展的第三个时期。这一时期的特征在于把电磁现象和物质结构直接地联系起来。1895年汤姆孙(J. J. Thomson)从阴极射线的实验中发现具有最

小的荷有负电的粒子,称为电子。此外,许多实验,如热电子发射、光电效应、伦琴射线、放射性现象等等,都直接证明了物质的电结构和电的原子性。洛伦兹(Lorentz)在物质电结构的基础上,将麦克斯韦电磁场理论加以发展,建立了古典电子理论。这一理论对说明某些电磁现象(如电介质的极化、物质的磁性、光的散射和吸收等现象)的本质起了一定的作用。

从本世纪开始,在新的实践中,人们又不断地发现了古典电子理论的缺陷,从而认识到微观世界中的相对论效应和量子规律,导致量子电动力学的产生。目前,量子电动力学还正在发展中。

总起来看,由于生产技术的发展,促进了电学各方面的研究;电学理论的建立,又在生产技术上开拓了广阔的途径,同时也为探索微观世界奠定了理论的基础。

第一章 靜电学

§ 4-1-1 电荷 电场

电荷 两个不同质料的物体,例如絲絹和玻璃棒,經互相摩擦后,都能吸引羽毛、紙片等輕微物体。这时,我們說这两个物体已处于带电状态之中,分別帶有了电(即电荷)。处于带电状态中的物体称为带电体。实验证明,物体所带的电有两种,而且只有两种,称为正电和負电。带同号电的物体互相排斥,带异号电的物体互相吸引。这种相互作用称为电性力。电性力与万有引力有些相似。但万有引力总是相互吸引的,而电性力却随异号电或同号电而有吸引与排斥之分。根据带电体之間的相互作用力,我們能够确定物体所带电荷的多寡。表示物体所带电荷多寡程度的物理量称为电量。

电场 关于带电体之間的相互作用是怎样进行的問題,原有不同的看法。在很长一个时期內,人們认为带电体之間的作用是“超距”作用,也就是說,一个带电体所受到的电性作用力是由另一带电体直接給予的。这种作用既不需要中間物质进行傳遞,也不需要時間,而是从一个带电体立即到达另一个带电体,可用下式表示:

$$\text{电荷} \longleftrightarrow \text{电荷}.$$

到了上世紀初,法拉第提出新的观点,认为在带电体周围存在着电场,其他带电体所受到的电性力(即电场力)是由电场給予的。这种作用可表示如下:

$$\text{电荷} \longleftrightarrow \text{場} \longleftrightarrow \text{电荷}.$$

近代物理学证明了后一种看法是正确的。

場与分子、原子等实物一样，都具有能量、动量和质量。所以我們說，場也是物质的一种形态。

相对于观察者为靜止的带电体周围所存在的場，称为靜电場。靜电場的重要的对外表现有：

(1) 引入电場中的任何带电体都将受到电場所作用的力；

(2) 电場能使引入电場中的导体或电介质分別产生靜电感应現象或极化現象；

(3) 当带电体在电場中移动时，电場所作用的力将对带电体作功，这表示电場具有能量。

电量守恒定律 实验证明，无论是摩擦起电过程，还是其他的使物体带电的过程，正负电荷总是同时出現的，而且这两种电荷的量值也一定相等。当两种异号电荷相遇时，能互相中和；如果原来两种异号电荷的量值相等，經中和后物体就不带电了。由此可見，当一种电荷出現时，必然有相等量值的异号电荷同时出現；一种电荷消失时，也必然有相等量值的异号电荷同时消失。在一隔离的系統內，无论进行怎样的物理过程，系統內电量的代数和总是保持不变。这个由实验总结出来的定律称为电量守恒定律，是物理学的基本定律之一。

根据电量守恒定律，可以知道，电荷不能被創造或消灭，而只能被轉移（分离或中和）。当分离正负电荷而建立电場时，外界必須作功，付出能量。这部分能量最后轉变为正、负电荷周围电場的能量。当正负电荷中和时，电場以及电場的能量都将随之消失。这时，电場能量轉换为其他形式的能量。

§ 4-1-2 导体和电介质

物体按导电性质可分为导体和电介质（即絕緣体）。导体和电介质的区分也不是絕对的，一般还在导体与电介质之間划出半导

体,半导体的导电性质介于导体与电介质之间。

导体 金属是第一类导体。在这一类导体中,原子外层的价电子与原子核之间的引力很小,可以在各个原子之间自由地移动,这种电子称为自由电子。自由电子是第一类导体的导电机构。由于所有电子都相同,而且电子质量远比原子核为小,所以,电子移动时,并不引起导体化学性质的变化,也没有显著的质量迁移。在第二类导体,如酸、碱和盐的水溶液等电解质中,没有自由电子,但有缺少电子的原子或原子团和电子过多的原子或原子团,称为离子。离子是第二类导体的导电机构。因为各种离子的化学成分和质量都是各不相同的,所以,离子移动时,在电解质中,将引起化学变化和质量迁移。

静电感应 当绝缘导体 B 移入带电体 A 所产生的电场时,在原来不带电的导体 B 上,将同时出现两种电荷:与 A 相近的一端出现与 A 异号的电荷,而较远一端出现与 A 同号的电荷。这种现象称为静电感应(图 4-1-1)。 A 上的电荷称为施感电荷,而 B 上出现

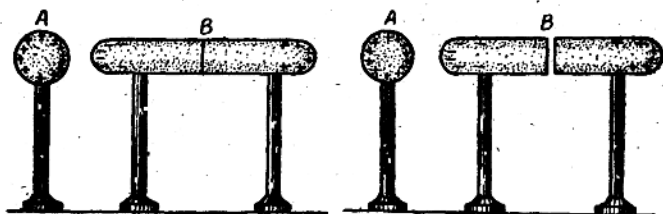


图 4-1-1 静电感应

的电荷称为感生电荷。在 B 内原来有正负电荷存在,由于相互中和,所以 B 原来是不带电的。施感电荷的电场的作用只是使导体 B 内的正负电荷重新分布,各趋一端而已。如果这时把导体 B 分割为两部分,再移出带电体 A 的电场之外,我们就将得到两个带有异号电荷的小导体。因此,利用静电感应,能使导体带电,把这两

个小导体再合并, B 仍将回到原来不带电的状态。这也是电量守恒定律的一个例证。

电介质 空气、玻璃、云母等都是电介质。当电介质移入电场中时, 在电介质的两端也要出现等量异号的电荷, 这种现象称为极化。极化过程中出现的电荷称为极化电荷。电介质的极化与导体的静电感应并不相同。如果把极化了的电介质分割为两部分, 然后移出使电介质极化的电场之外, 我们将发现这两块电介质都是不带电的。所以, 要想利用电介质的极化作用使物体带电是不可能的。从本质上来看, 导体中有自由电荷, 自由电荷在外电场作用下, 可在导体内作宏观位移, 而使正、负电荷分离。但在电介质中, 电子由于受到原子核的强力束缚, 即使在外电场作用下, 也只能在微观范围内移动, 不可能远离分子而作宏观位移。电介质的极化就是这些电子作微观移动的结果。由于在极化后的电介质中, 电子并未离开本身的原子核, 所以把电介质分割为两部分, 并移出电场以后, 这两部分电介质都将呈中性状态。因为极化电荷不能从电介质的一部分移到另一部分, 而是处于束缚状态之中, 所以我们常把电介质的极化电荷称为束缚电荷。

应该指出, 当电介质或导体引入电场中以后, 一方面, 电场将使电介质极化或使导体静电感应, 但另一方面, 极化电荷或感生电荷所建立的电场, 对原有的电场也是有影响的。

§ 4-1-3 库仑定律 电介质的影响

在静电现象的研究中, 我们经常用到点电荷的概念。点电荷是带电体的理想模型。只有在具体问题中, 当带电体的形状和大小可以忽略不计时, 才可把带电体看作点电荷。换句话说, 带电体本身的大小, 相对于带电体之间的距离为很小时, 带电体就可以看作点电荷。

庫倫定律 1785年,庫倫从实验結果總結出点电荷之間相互作用的基本規律,称为庫倫定律。庫倫定律可陈述如下:

在真空中, q_1 和 q_2 两个点电荷之間的相互作用力的方向沿着这两个点电荷的連綫, 作用力的大小与电量 q_1 和 q_2 的乘积成正比, 而与这两个点电荷之間的距离 r 的平方成反比, 即

$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

式中 k 是比例系数, k 的量綱和大小取决于式中各量的量綱和单位。

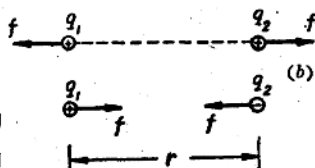


图 4-1-2 两个点电荷之間的作用力

我們必須注意,在一般情形下,不能任意地把带电体当作点电荷,直接应用庫倫定律計算带电体之間的作用力。但是,事实证明,如果把大小不容忽略的带电体看作許多点电荷的集合,求出一个带电体上每一点电荷与另一个带电体上每一点电荷之間的相互作用力,再求每一个带电体上所受力的矢量和,就可以求得这两个带电体之間的相互作用力。因此,我們有理由說,庫倫定律是總結电荷間相互作用的基本定律。

静电单位制和有理化米公斤秒安培制 物理学中研究电学問題时,常使用“绝对静电单位制”,或简称“静电单位制”(CGSE制)。在这种单位制中,长度、质量、时间是三个基本量,单位分别为[厘米]、[克]、[秒]。电量的单位按庫倫定律規定如下:如果两个带有相等电量的正点电荷,在真空中相距为1[厘米]而斥力为1[达因]时,那末每一正点电荷所带的电量称为1[静电制电量单位]。按照这样的規定,在静电单位制中,适用于真空中点电荷的庫倫定律写作

$$f = \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (4-1-1)$$

比例系数 $k=1$. 静电单位制中电量的量纲是

$$[q] = [f]^{\frac{1}{2}} [r] = L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}.$$

电学的国际实用单位制是“有理化米公斤秒安培制”，简称“实用单位制”或“米公斤秒单位制”(MKS制). 有理化米公斤秒安培制在工程上已广泛应用，物理学中也已逐渐采用. 本书电学部分主要采用这种单位制，对其他单位制，也作适当的介绍.

在有理化米公斤秒安培制中，长度、质量、时间三个基本量的单位是〔米〕、〔公斤〕、〔秒〕，第四个基本量是电流强度，单位是〔安培〕(参见 § 4-4-4). 电量的单位是〔库仑〕或〔安培〕〔秒〕. 1〔库仑〕的电量就是当电流等于 1〔安培〕时，在 1〔秒〕内流过导体横截面的电量. 〔库仑〕与〔静电制电量单位〕的换算关系是

$$1 \text{〔库仑〕} = 2.998 \times 10^9 \approx 3 \times 10^9 \text{〔静电制电量单位〕}.$$

在有理化米公斤秒安培制中库仑定律中的比例系数 $k \neq 1$. 按上述真空中两个点电荷 $q_1 = q_2 = 1 \text{〔静电制电量单位〕} = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{〔库仑〕}$ ，相距 $r = 1 \text{〔厘米〕} = 10^{-2} \text{〔米〕}$ 时，相互作用力为 $f = 1 \text{〔达因〕} = 10^{-5} \text{〔牛顿〕}$ ，可算出

$$\begin{aligned} k &= \frac{fr^2}{q_1 q_2} \\ &= 10^{-5} \text{〔牛顿〕} \times 10^{-4} \text{〔米〕}^2 \times \left(\frac{1}{3 \times 10^9} \right)^{-2} \text{〔库仑〕}^{-2} \\ &= 9 \times 10^9 \text{〔牛顿〕〔米〕}^2 \text{〔库仑〕}^{-2}. \end{aligned}$$

在有理化米公斤秒安培制中，通常引入新的恒量 ϵ_0 来代替 k ，令

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

于是，真空中库仑定律就写作

$$f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (4-1-2)$$

应该指出,单位制之称为“有理化”,就在于因子 4π 的引入。这样,虽然使得库仑定律的形式变得复杂一些,但是,以后可以看见,由此而推导出来的一些常用的公式中,却不出现因子 4π ,所以这种规定还是有利的。有理化米公斤秒安培制的优越性以后可在学习中逐步体会到。式(4-1-2)就是真空中库仑定律在有理化米公斤秒安培制中的表式,式中的恒量 ϵ_0 称为真空的介电系数,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} = 8.85 \times 10^{-12} [\text{库仑}]^2 [\text{牛顿}]^{-1} [\text{米}]^{-2}.$$

在有理化米公斤秒安培制中,电量的量纲是

$$[q] = IT,$$

式中 I 表示基本量电流强度的量纲。恒量 ϵ_0 的量纲为

$$[\epsilon_0] = [q]^2 [f]^{-1} [r]^{-2} = (IT)^2 (MLT^{-2})^{-1} (L)^{-2} \\ = I^2 L^{-3} M^{-1} T^4.$$

可以注意到,在静电单位制中,只承认长度、质量、时间三个基本量,比例系数 k 为纯数,没有单位,也没有量纲,电量 q 的量纲用 LMT 三个基本量的量纲写出。在有理化米公斤秒安培制中,引用电流强度作为第四个基本量,这就意味着电荷运动、电磁过程有其特殊性,电磁量是标志力学量的长度、质量、时间三个基本量所不能包罗的。表征真空特性的恒量 ϵ_0 也不是纯数,而有单位又有量纲。

电介质的影响 在一般电介质中,带电体之间相互作用的情况是相当复杂的。现在,我们只介绍一种最简单的情况,这就是在“无限大”^①的均匀电介质中两个相距为 r 的点电荷 q_1 与 q_2 之间的相互作用力。实验证明,这时,这两个点电荷之间的相互作用力要比在真空中时小 ϵ 倍。所以,在无限大的均匀电介质中的库仑定律,采用有理化实用单位制时的表式为

① 电介质的边缘离开点电荷很远。

$$f = \frac{1}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1q_2}{r^2}, \quad (4-1-3)$$

采用静电单位制时,其表式为

$$f = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{q_1q_2}{r^2}, \quad (4-1-4)$$

式中 ϵ_r 称为电介质的相对介电系数(或相对电容率), $\epsilon_r\epsilon_0 = \epsilon$ 称为电介质的介电系数(或电容率). 静电单位制中所说的某物质的介电系数就是相对介电系数. 各种电介质的相对介电系数 ϵ_r 各不相同, 除真空的 ϵ_r 规定为 1 外, 各种电介质的 ϵ_r 都大于 1 (见表 4-1-1). 在电介质中电荷之间的相互作用力较在真空中为小

表 4-1-1 电介质的相对介电系数

电 介 质	相 对 介 电 系 数
真空	1
空气(1 大气压)	1.000585
氢(1 大气压)	1.000264
玻璃	5—10
云母	6—8
硬橡胶	4.3
硫	4.2
乙醇(液体 C_2H_5OH)	25.7
纯水	81.5

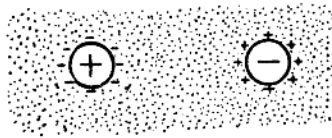


图 4-1-3 电介质对电荷间相互作用的影响

的事实,可用束缚电荷来解释.

因为电介质极化后,在点电荷周围所出现的束缚电荷总是与点电荷异号的(图 4-1-3),束缚电荷的作用就相当于减少点

电荷的电量,因而在电介质中点电荷之间的相互作用力就显得小一些.

〔例题〕 计算氢原子内电子和原子核之间的静电作用力与万有引力的

比值.

〔解〕 已知在氫原子內, 電子和原子核之間的距離為

$$r = 0.529 \times 10^{-8} [\text{厘米}] = 0.529 \times 10^{-10} [\text{米}].$$

電子的質量為

$$m = 9.11 \times 10^{-28} [\text{克}] = 9.11 \times 10^{-31} [\text{公斤}].$$

氫原子核的質量為

$$M = 1.67 \times 10^{-24} [\text{克}] = 1.67 \times 10^{-27} [\text{公斤}].$$

電子和原子核所帶的電量相等, 為

$$\begin{aligned} q_1 = q_2 &= 4.80 \times 10^{-10} [\text{靜電制電量單位}] \\ &= 1.60 \times 10^{-19} [\text{庫倫}]. \end{aligned}$$

萬有引力恆量為

$$G = 6.67 \times 10^{-11} [\text{牛頓}] [\text{米}]^2 [\text{公斤}]^{-2}.$$

根據米公斤秒安培制, 計算電子和原子核之間的靜電力為

$$\begin{aligned} f_e &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12}} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2}{(0.529 \times 10^{-10})^2} \\ &= 8.23 \times 10^{-8} [\text{牛頓}]. \end{aligned}$$

電子和原子核之間的萬有引力為

$$\begin{aligned} f_m &= G \frac{mM}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{(0.529 \times 10^{-10})^2} \\ &= 3.64 \times 10^{-47} [\text{牛頓}]. \end{aligned}$$

由此得靜電力與萬有引力的比值為

$$\frac{f_e}{f_m} = 2.27 \times 10^{39}.$$

可見在原子內, 電子和原子核之間的靜電力遠比萬有引力為大, 因此, 在處理電子和原子核之間相互作用時, 只需考慮靜電力, 萬有引力可以忽略不計。

§ 4-1-4 電場強度 電力綫

電場強度 電場中任一點處電場的性質, 可利用試驗正電荷 q_0 來進行研究。試驗電荷是一個足夠微小的點電荷。首先, 試驗電荷所帶的電量必須很小, 即當引入電場後, 在實驗精確度的範圍內, 不會對原有電場有任何顯著的影響。其次, 試驗電荷所佔據的

空間必須很小，即当放在电场中时，占有确定的位置。把試驗电荷 q_0 放在电场中不同地点时，我們发现 q_0 所受到的力的大小和方向是逐点不同的。但在电场中一給定点处， q_0 所受的力的大小和方向却是完全一定的。如果在电场中某給定点处我們改变試驗电荷 q_0 的量值，就将发现， q_0 所受的力的方向仍然不变，但力的大小在改变。当 q_0 取各种不同量值时，所受的力 f 的量值与相应的 q_0 的比值 $\frac{f}{q_0}$ 却具有确定的量值。由此可見，比值 $\frac{f}{q_0}$ 以及 f 的方向只与試驗电荷 q_0 所在点的电场性质有关，而与試驗电荷 q_0 的大小无关。因此，我們就把比值 $\frac{f}{q_0}$ 和 f 的方向作为描述静电场中給定点的客观性质的一个物理量，称为电场强度或简称場强。場强是矢量，用符号 E 来表示，即

$$E = \frac{f}{q_0} \quad (4-1-5)$$

在上式中，如果取 $q_0 = +1$ ，即得 $E = f$ ，可見电场中某点的电场强度在量值和方向上等于单位正电荷在该点处所受的力。

在米公斤秒单位制中，力以〔牛頓〕表示，电量以〔庫侖〕表示，所以場强的单位是〔牛頓〕〔庫侖〕 $^{-1}$ 。場强的单位也可写成〔伏特〕〔米〕 $^{-1}$ （見 § 4-1-8 末）。这两种表示法是等同的，后者在电工計算中常被采用。場强的量綱是 $I^{-1} L M T^{-3}$ 。

場强的計算 公式 $E = \frac{f}{q_0}$ 只是作为場强的定义提出来的。至于如何計算場强，要看电荷的分布和場中某一点的位置。現在先計算点电荷的場强。設在介电系数为 ϵ 的无限大均匀电介质中，有点电荷 q ，在距离 q 为 r 的 P 点处的場强可計算如下：設想在 P 点处放一試驗电荷 q_0 ，按庫侖定律， q_0 所受的力将是

$$f = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon r^2} \frac{r}{r} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon r^2} r_0.$$

式中 $\mathbf{r}$ 表示从点电荷 q 到 P 点的矢徑, $\mathbf{r}_0 = \frac{\mathbf{r}}{r}$ 是沿矢徑 $\mathbf{r}$ 方向的单位矢量。根据定义, P 点的場强是

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{f}}{q_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon r^3} \mathbf{r}. \quad (4-1-6)$$

如果 q 为正电荷, 可知 $\mathbf{E}$ 的方向与 $\mathbf{r}$ 的方向一致, 是背向 q 的; 如果 q 为负电荷, 可知 $\mathbf{E}$ 的方向与 $\mathbf{r}$ 的方向相反, 而指向 q 。如图

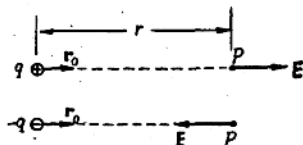


图 4-1-4 場强的方向

設电場是由若干点电荷 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 所共同产生的, 电場中的 P 点离开各点电荷的距离分别为 $r_1, r_2, \dots, r_n$, 按式(4-1-6), 各点电荷在 P 点产生的場强分别为

$$\mathbf{E}_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon r_1^3} \mathbf{r}_1, \quad \mathbf{E}_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon r_2^3} \mathbf{r}_2, \quad \dots, \quad \mathbf{E}_n = \frac{q_n}{4\pi\epsilon r_n^3} \mathbf{r}_n.$$

因为試驗电荷所受的力遵从矢量和法則, 所以这些点电荷各自在 P 点所产生的場强的矢量和就是 P 点的总場强, 用 $\mathbf{E}$ 来表示, 就有

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon r_i^3} \mathbf{r}_i, \quad (4-1-7)$$

上式称为場强的叠加原理。場强的叠加原理是电場的基本性质之一。利用这一原理, 可以計算任意带电体所产生的場强, 因为任何带电体都可以看作許多点电荷的集合。

如果产生电場的电荷是連續分布的, 上式中的累加就应代之以积分。設 dq 为电荷分布中的任一电荷元, $\mathbf{r}$ 为从 dq 到給定点 P 的矢徑, 那末 P 点的場强为

$$\mathbf{E} = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon r^3} \mathbf{r}. \quad (4-1-8)$$