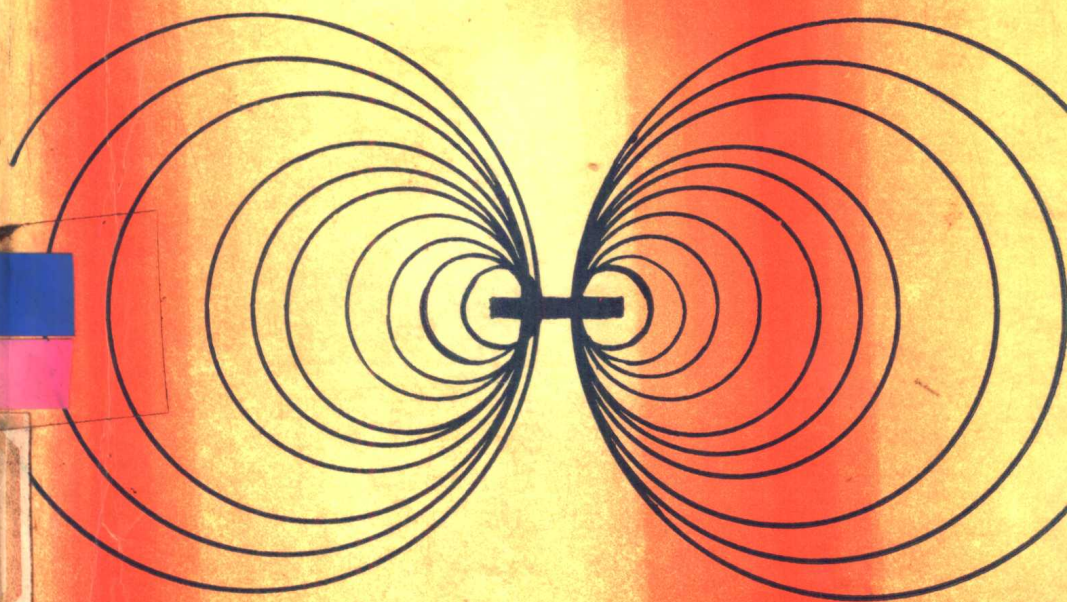


电磁学学习指导

● 周 肇 西

● 高等教育出版社



电磁学学习指导

周 肇 西

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书为电磁学学习指导书,系作者根据长期教学经验编写而成。

本书在内容和结构安排上都尽量考虑到方便读者阅读,有利于加深对电磁学问题的理解,主要有以下几个特点:① 每章都有主要内容线索和基本要求;② 每章分节撰写主要内容和学习中应注意的问题;③ 每节有典型问题解析和解题指导;④ 章末附有一定的复习题。

本书可作为高等院校物理专业电磁学课程和理工科各专业普通物理课程的参考书,也可供函授、自学考试的有关人员参考。

电磁学学习指导

周肇西

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行
四川省金堂新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 18.625 字数 450 000

1993年10月第1版 1993年10月第1次印刷

印数 0001—2 454

ISBN 7-04-004356-4/O·1241

定价 8.40 元

目 录

第一章 静电场	1
§ 1-1 静电的基本规律.....	2
§ 1-2 电场强度矢量.....	11
§ 1-3 高斯定理.....	36
§ 1-4 电势及其梯度.....	50
§ 1-5 带电体系的静电能.....	69
复 习 题	73
第二章 静电场中的导体和电介质	76
§ 2-1 静电场中的导体.....	77
§ 2-2 电容器和电容.....	101
§ 2-3 电介质.....	126
§ 2-4 电场的能量和能量密度.....	154
复 习 题	165
第三章 稳恒电流	168
§ 3-1 电流的稳恒条件和导电规律.....	169
§ 3-2 电源及其电动势.....	188
§ 3-3 复杂电路.....	196
§ 3-4 温差电现象 气体导电.....	223
复 习 题	233
第四章 稳恒磁场	237
§ 4-1 稳恒磁场的基本规律.....	237
§ 4-2 磁场的高斯定理和安培环路定理.....	259
§ 4-3 磁场对载流线圈的作用.....	276
§ 4-4 带电粒子在磁场中的运动.....	293
复 习 题	310
第五章 电磁感应和暂态过程	314

§ 5-1 电磁感应的规律	315
§ 5-2 互感和自感	344
§ 5-3 暂态过程	362
复习题	383
第六章 磁介质	388
§ 6-1 有介质存在时静磁场的基本规律	389
§ 6-2 介质的磁化规律 磁场的能量和能量密度	412
§ 6-3 边界条件 磁路定理	431
复习题	444
第七章 交流电	448
§ 7-1 交流电的概念 元件的串联和并联	449
§ 7-2 交流电路的复数解法	468
§ 7-3 交流电的功率	483
§ 7-4 谐振电路与 Q 值的意义	498
§ 7-5 交流电桥 变压器原理	505
§ 7-6 三相交流电	516
复习题	525
第八章 麦克斯韦电磁理论和电磁波	529
§ 8-1 麦克斯韦电磁理论	529
§ 8-2 电磁波 电磁场的能流密度与动量	540
§ 8-3 似稳电路和迅变电磁场	553
复习题	560
复习题答案	562
附录	571
名词索引	577

第一章 静 电 场

静电场是相对于观察者静止的电荷所产生的电场。本章的任务是研究真空中的静电场的性质和分布规律，以及带电粒子在电场力作用下的运动等问题。本章主要内容的线索是：首先从静电场的两条最基本的实验规律——库仑定律和场强叠加原理出发，研究电场对电荷的作用力，引出了电场强度这一概念，证明了描写静电场性质的重要定理之一——高斯定理。其次，从电荷在电场中移动时电场力对电荷作功出发，证明了静电场是有势场，引出了电势的概念，得出了描写静电场性质的另一重要定理——环路定理。这两条重要定理结合起来才能全面地反映静电场是有源无旋(有势)场的性质。

本章是学习电磁学非常重要的一章。电磁学的很重要的内容是对场的认识。场作为区别于实物的另一类具有广延的连续分布的实在而成为物理学的重要研究对象，其描述方法和处理方法都是初学者前所未遇的。在本章中开始建立场的描述和阐明场的性质和规律。初学者应一开始就特别注意这些问题。

本章的基本要求：

一、库仑定律是静电学的基本定律。要明确库仑定律的内容及适用条件，理解带电体的理想模型（如“点”电荷、“无限大”带电平面、“无限长”带电直导线等）的物理意义。

二、理解静电场的客观存在及其物质性，牢固掌握电场强度矢量概念及其基本计算方法。

三、深入理解高斯定理的物理意义，牢固掌握其内容，并会熟练地用它来求特定条件下的场强。

四、深入理解静电场的有势性，静电场环路定理的实质及电势与场强的微分关系，牢固掌握电势和电势差的意义及计算方法。最终能透彻地理解高斯定理和静电场环路定理全面、充分地表述了静电场的特性。

§ 1-1 静电的基本规律

一、主要内容

1. 两种电荷

实验表明，自然界中只存在正、负两种电荷。电荷的最小自然单位就是一个电子所带的电量，它等于 $1.60217733 \times 10^{-19} \text{ C} \approx 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。电荷的正、负本来是相对的，把两种电荷中的哪一种叫做“正”、哪一种叫做“负”，是带有一定任意性的。把电子的电荷符号记作“负”是定义的结果。

2. 电荷守恒定律

实验表明，若把参与相互作用的几个物体或粒子看作一个大系统，且整个系统与外界没有电荷交换，则不管系统内发生何种物理变化，系统内电荷的代数和总是保持不变。这个规律称为电荷守恒定律。

3. 库仑定律

库仑定律是静电的最基本的规律。库仑定律的文字表述是：在真空中，两个静止的点电荷 q_1 及 q_2 之间的相互作用力的大小和 q_1 与 q_2 的乘积成正比，和它们之间距离 r 的平方成反比；作用力的方向沿着它们的连线，同号电荷相斥，异号电荷相吸。

令 F_{12} 代表 q_1 给 q_2 的力， r^0 代表由 q_1 到 q_2 方向的单位矢量，则

$$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} r^0 \quad (1-1)$$

无论 q_1, q_2 的正负如何, 此式都适用. 当 q_1, q_2 同号时, F_{12} 沿 r^0 方向, 即为斥力; 当 q_1, q_2 异号时, q_1 与 q_2 的乘积为负, F_{12} 沿 $-r^0$ 方向, 即为引力. 反过来, q_2 给 q_1 的力为 $F_{21} = -F_{12}$ (图 1-1). 因此, 在静电情形, 电荷之间的相互作用力遵从牛顿第三定律. F_{12} 或 F_{21} 的大小为

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1-2)$$



图 1-1

式中 k 是比例系数, 它的数值取决于式中各量单位的选取.

本书采用的单位制是国际单位制 (简称 SI). 在这个单位制中, 米(m)、千克(kg)、秒(s)、安培(A)、开尔文(K)、摩尔(mol)、坎德拉(cd)为基本单位. 在电磁学中, 我们经常用到的是米(m)、千克(kg)、秒(s)和安培(A), 其它电磁量的单位为导出单位, 它们可根据一定的物理公式或定义导出.

采用 SI 时, 电量的单位为库仑(C), 力的单位为牛顿(N), 长度的单位为米(m), 库仑定律(1-1) 式中的比例系数不能任意, 由实验确定. 在 SI 中, 常将比例系数 k 写成 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 的形式. 式中 ϵ_0 称为真空介电常数(或真空电容率). 实验测得

$$\epsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2 \simeq 8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

相应的 k 值是

$$k \simeq \frac{1}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12}} = 8.99 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

用这种单位制, 库仑定律式(1-1)可写成如下形式

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} r^0 \quad (1-3)$$

应用库仑定律时应注意以下几点:

(1) 库仑定律只适用于点电荷. 点电荷是一个相对的概念, 它与几何学中点的含义不完全相同. 究竟怎样的带电体才能被看

成点电荷,并没有绝对的标准,它取决于对研究的问题所要求的精确程度.

(2) 库仑定律对两个点电荷的状态是有限制的,要求两点电荷均处于静止状态.由库仑扭秤实验可知,若两个点电荷相对于观察者均为静止状态,库仑定律是适用的.但对于运动着的点电荷,库仑定律就不一定适用了.这是因为,静止电荷在空间仅激发静电场,而运动着的点电荷在空间不仅要激发变化的电场,还要激发变化的磁场,且它们各自所处的地位互不对称,相互作用力不可能相等.

(3) 式(1-3)中的 q_1 和 q_2 是代数量,即是说,对于正电荷应代入“+”号,对于负电荷应代入“-”号.

(4) 单位矢量 $\mathbf{r}^0$ 的指向是:如果计算 q_1 对 q_2 的作用力,则 $\mathbf{r}^0$ 的指向是从 $q_1 \rightarrow q_2$;如果计算 q_2 对 q_1 的作用力,则 $\mathbf{r}^0$ 的指向是从 $q_2 \rightarrow q_1$.

4. 力的叠加原理

当几个点电荷同时存在时,施于某一点电荷的力,等于各点电荷单独存在时施于该点电荷静电力的矢量和,即

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \Sigma \mathbf{F}_i \quad (1-4)$$

如果要计算两个不能被视为点电荷的带电体之间的相互作用力,在这种情况下不能直接运用库仑定律,应将两个带电体分割成无限多点电荷 dq_1 和 dq_2 ,这时可用库仑定律

$$d\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq_1 \cdot dq_2}{r^2} \mathbf{r}^0$$

再利用叠加原理

$$\mathbf{F} = \int d\mathbf{F}$$

求解.

二、问题解析

问题 1 库仑为什么能总结出库仑力与两点电荷间的距离成平方反比关系呢?

答 这是因为 18 世纪后期已有较好实验设备的条件,加之万有引力定律的提出已有一百多年的历史了. 库仑总结前人的研究成果,并认为两个点电荷之间的静电力随距离而变化的规律与两个质点之间的引力有相似的规律,两个点电荷之间的作用力与它们之间距离的平方成正比, q 扮演了万有引力定律中 m 这个角色,而在引力场中,力总是引力,这与电荷有两种而质量(表观上)却只有一种这个事实是相对应的. 库仑于 1785 年通过精巧的扭秤实验,直接测定了两个静止点电荷的相互作用力与它们之间的距离平方成反比,与它们的电量乘积成正比,成功地总结出了完整的库仑定律. 后来,麦克斯韦、普里姆顿和洛顿等科学家通过更精确的实验、用间接的方法证明了库仑定律对点电荷是严格成立的.

问题 2 点电荷与试探电荷有何不同?

答 点电荷是实际带电体在一定条件下的抽象模型. 当带电体的线度 d 比起所考察的距离 r 足够小, $d \ll r$, 以致于带电体的进一步减小,对我们所讨论的问题,在实验要求的精度范围内不带来影响时,相对说来可以把它视为一个点. 但它本身不一定很小,其电量 q 也可以很大.

试探电荷是我们用来测定电场的辅助工具. 为了能够借助它研究电场中各点的性质,要求它的几何线度必须足够小,以致于可用来确定空间各点的电场性质;此外,把它引入以后,为了不改变原来电场的大小和分布,还要求它的电量 q_0 也必须足够小.

问题 3 有两个电量不相等的点电荷,它们相互作用时,是否

电量大的电荷受力大?电量小的电荷受力小?

答 不是,两个电荷所受作用力的大小相同.因为按照库仑定律,每个电荷所受的力 F 与 q_1, q_2 的乘积成正比,而不与某一电荷的电量成正比,故两个电荷所受作用力的大小相同.

问题4.“真空中有二平行带电板A和B,相距为 d (很小),面积为 S ,带电为 $+q$ 和 $-q$. 两板间的相互作用力的大小为 $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{d^2}$,

是否正确?

答 不正确.因为 d 很小,带电板A、B不能视为点电荷,因而不能用点电荷间相互作用力公式计算.

问题5. 在真空中两个点电荷间的相互作用力,是否会因其他一些电荷被移近而改变?

答 由库仑定律知,当两点电荷电量不变时,其相互作用力仅与它们间的距离有关.因此,若此二点电荷是固定的,它们间的距离就不会因其他电荷的移近而变化,其相互作用力也不会改变.反之,若此二点电荷是可动的,则当其他电荷移近时,此二点电荷因受其他电荷作用而发生移动,其间距离变化,它们间的相互作用力也就随之而改变.

三、解题指导

在应用库仑定律解题时,应先对题中所给的具体问题进行分析,符合条件,方可根据库仑定律列方程,再进行解题.

1. 求点电荷系之间的相互作用力

这时要注意如下两点:

(1) 静电力是矢量,在求合静电力时必须运用矢量合成法则,或者用正交分量解析法求解.

(2) 先根据电荷的正负而判断出各力方向.用正交分解法进行演算时,电量 q 应取绝对值;而当用矢量公式以矢量合成法直接演算时,电量 q 应取代数值.

例 1-1 在一条直线上有三个带电粒子, 如图 1-2(a) 所示, $q_1 = +1.6 \times 10^{-18} \text{C}$, $q_2 = -3.2 \times 10^{-18} \text{C}$, $q_3 = +1.6 \times 10^{-18} \text{C}$, 其间距为 $r_{12} = r_{23} = 0.529 \times 10^{-10} \text{m}$, 问 q_1 和 q_3 间静电力为多少? q_2 对它们间的静电力有何影响?

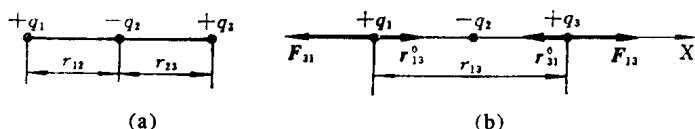


图 1-2

解 根据题意, 由库仑定律可以得到 q_1 和 q_3 之间的静电力为

$$F_{13} = -F_{31} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{13}^2} r_{13}^0$$

将已知物理量代入上式可得 $F_{13} = 2.1 \times 10^{-8} \text{N}$, 其静电力的方向如图 1-2(b) 所示. q_2 对 q_1 、 q_3 之间的静电力没有影响.

例 1-2 两个电量都是 $+q$ 的点电荷, 相距 $2a$, 连线的中点为 O , 今在它们连线的垂直平分线上放另一电荷 q' , q' 与 O 点相距 r , 求

- (1) q' 所受的力;
- (2) q' 放在哪一点时, 所受的力最大?

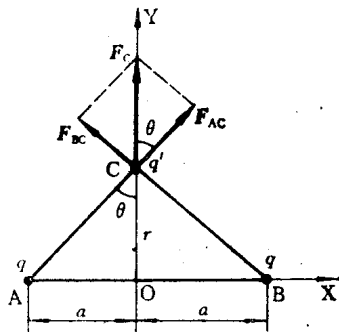


图 1-3

解 本题是求点电荷系之间的作用力问题. 先用库仑定律分别求出两点电荷 q 对 q' 的作用力, 然后求两个力的矢量和. 下面我们分别用正交分解法和矢量合成法来求解.

解法一 (1) 画出作用在电荷 $q_c = q'$ 上的受力图, 选择便于计算的坐标系如图 1-3 所示.

由库仑定律知力 F_{AC} 和 F_{BC} 的大小分别为

$$F_{AC} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A q_C}{(a^2 + r^2)}$$

$$F_{BC} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_B q_C}{(a^2 + r^2)}$$

而力 F_{AC} 在 X 轴和 Y 轴方向的分量为

$$F_{ACx} = F_{AC} \sin \theta = \frac{a}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A q_C}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$F_{ACy} = F_{AC} \cos \theta = \frac{r}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A q_C}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

同理, 力 F_{BC} 在 X 轴和 Y 轴方向的分量为

$$F_{BCx} = -\frac{a}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_B q_C}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$F_{BCy} = \frac{r}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_B q_C}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

因 $q_A = q_B = q$, $q_C = q'$, 所以, 电荷 q_C 所受到的合力 F_C 在 X 轴方向的分量为

$$F_{Cx} = F_{ACx} + F_{BCx} = \frac{a}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_C}{(a^2 + r^2)^{3/2}} (q_A - q_B) = 0$$

在 Y 轴方向的分量为

$$F_{Cy} = F_{ACy} + F_{BCy} = \frac{r}{2\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

计算结果表明, 电荷 q' 所受到的合静电力 F_C 的大小是 $\frac{r}{2\pi\epsilon_0}$

$\frac{qq'}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$, 方向沿 Y 轴.

(2) 求 F_C 对 r 的极值

$$\frac{dF_C}{dr} = \frac{qq'}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{(a^2 + r^2)^{3/2}} - \frac{3r^2}{(a^2 + r^2)^{5/2}} \right] = 0$$

即

$$-3r^2 + (r^2 + a^2) = 0$$

所以

$$r = \pm \frac{a}{\sqrt{2}}$$

此外

$$\left(\frac{d^2 F_C}{dr^2} \right)_{r=\pm \frac{a}{\sqrt{2}}} = \frac{qq'}{2\pi\epsilon_0} \frac{3r(2r^2-3a^2)}{(a^2+r^2)^{7/2}} < 0$$

由此可知, 当 q' 放在 $r = \pm \frac{a}{\sqrt{2}}$ 处时, 所受的力最大。

解法二 (1) 根据库仑定律, q_C 所受的力 F_{AC} 和 F_{BC} 为

$$\begin{aligned} F_{AC} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A q_C}{r_{AC}^2} \mathbf{r}_{AC}^0 \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{(a^2+r^2)} \left[\frac{a}{\sqrt{a^2+r^2}} \mathbf{i} + \frac{r}{\sqrt{a^2+r^2}} \mathbf{j} \right] \\ F_{BC} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_B q_C}{r_{BC}^2} \mathbf{r}_{BC}^0 \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{(a^2+r^2)} \left[\frac{-a}{\sqrt{a^2+r^2}} \mathbf{i} + \frac{r}{\sqrt{a^2+r^2}} \mathbf{j} \right] \end{aligned}$$

由叠加原理, q' 所受的合静电力为

$$\mathbf{F}_C = \mathbf{F}_{AC} + \mathbf{F}_{BC} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{qq'r}{(a^2+r^2)^{3/2}} \mathbf{j}$$

如果 q' 与 $+q$ 同号, $\mathbf{F}_C$ 的方向与 Y 轴同向; 如果 q' 与 $+q$ 异号, $\mathbf{F}_C$ 的方向与 Y 轴反向。

(2) 同解法一。

2. 求电荷连续分布的带电体之间的相互作用力

这时应注意如下几点:

(1) 带电体不能视为点电荷, 处理时必须先将带电体分割成许多电荷元, 再依库仑定律列出电荷元间相互作用力的表达式, 然后依叠加原理进行矢量积分求出带电体之间的总相互作用力。

(2) 在进行矢量积分时, 应先将矢量积分化为坐标轴上的分量式进行标量积分, 不能随便将矢量提出积分号外进行积分。

(3) 在运算中充分利用电荷分布的对称性, 使计算简化。

例 1-3 如图 1-4(a)所示,放置着一无限长均匀带电线,其线电荷密度为 λ_1 ; 另外,还放置着一根长为 L 的均匀带电线 AB, 线电荷密度为 λ_2 , 求它们之间的作用力。

解 由题意可知,两细线均匀带电,即电荷是均匀连续分布的,而库仑定律只适用于点电荷,所以必须把两带电线分成许多电荷元,如图 1-4(b)所示,即有 $dq_1 = \lambda_1 dy$, $dq_2 = \lambda_2 dx$, 根据库仑定律可得

$$dF = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq_1 dq_2}{r^2}$$

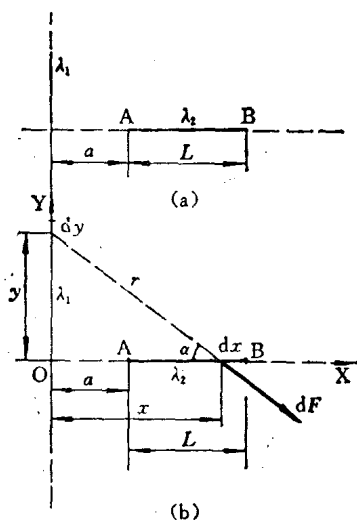


图 1-4

再将 dF 分解为 dF_x 及 dF_y 两个分量. 根据对称性分析可知, dF_y 合成为零, 所以 F 沿 X 轴方向. 即

$$\begin{aligned} F &= \int dF_x = \int dF \cos\alpha = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+L} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x dx dy}{r^3} \\ &= \frac{2\lambda_1 \lambda_2}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+L} x dx \int_0^{\infty} \frac{dy}{(x^2 + y^2)^{3/2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2\lambda_1\lambda_2}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+L} x dx \left[\frac{y}{x^2\sqrt{x^2+y^2}} \right] \Big|_0^\infty \\
&= \frac{2\lambda_1\lambda_2}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+L} \frac{dx}{x} = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{a+L}{a}
\end{aligned}$$

此题的另一种解法是先求出无限长均匀带电线在带电线 AB 各处的电场强度分布, 由此再计算带电线 AB 所受的力, 详见例 1-10.

§ 1-2 电场强度矢量

一、主要内容

1. 电场

带电体周围空间存在的一种特殊物质称为电场。场和实物(如分子, 原子组成的物质等)是物质的两种形态, 电场也同样具有物质的一些属性, 如能量、动量、质量等。实验证明, 在电场内进行的一切过程也和实物内进行的过程一样, 遵守质量守恒、动量守恒和能量守恒等基本定律。但电场却具有其特殊性, 特殊性在于: 其一, 电场没有静止质量, 而一般的实物具有静止质量; 其二, 实物的原子、分子所占有的空间, 不能同时为另一原子或分子所占据, 即是说实物具有不可入性。但是, 若干个电场却可以同时占据同一空间, 即是说电场具有叠加性。

电荷激发电场, 电荷是电场的源, 电荷与电荷之间的相互作用是借助于电场来传递的。电场的一个基本特性是对置于电场中的其他任何电荷都有力的作用。为检验空间某点是否存在电场, 只需将某一电荷放置在该点, 如果它受到电场力的作用, 则可断定该点本来就存在电场; 如果没有受到电场力的作用, 则可断定该点本来就不存在电场。同一电荷放在电场中的不同点, 它所受到的电场力的大小和方向都可以不同, 电场强度矢量 E 就是描述电场这

一性质的物理量。

2. 电场强度矢量

在电场中某点的电场强度矢量定义为单位正电荷在该点所受之力。即

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \quad (1-5)$$

单位为牛顿每库仑 $\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$ 或伏特每米 $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

根据库仑定律,点电荷的场强为

$$\mathbf{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0 \quad (1-6)$$

式中 $\mathbf{r}^0$ 为单位矢量,其方向由源点 (即点电荷) 指向场点, r 为源点到场点之距离。

理解电场强度矢量 $\mathbf{E}$ 时,应注意如下几点:

(1) 电场中某点的电场强度矢量,是场点客观施力本领强弱的量度,它表征了电场的力的客观特征。

(2) 电场强度矢量 $\mathbf{E}(x, y, z)$ 是电场中空间点的坐标的矢量函数,是逐点变化的。如果知道了该矢量函数的形式,就知道了该静电场的力学性质。一旦电荷的分布确定之后,电场强度矢量点函数的形式也就确定了。对于给定的场点 $P(x_0, y_0, z_0)$, 电场强度矢量 $\mathbf{E}(x_0, y_0, z_0)$ 的数值和方向只取决于该点的客观施力本领的强弱,与该点是否存在试探电荷 q_0 无关。

(3) 电场强度矢量 $\mathbf{E}(x, y, z)$ 有大小和方向,不存在正负问题。在图 1-5 中, P 点的场强

$\mathbf{E}_+$ 及其大小分别为

$$\mathbf{E}_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \mathbf{r}^0$$

$$E_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

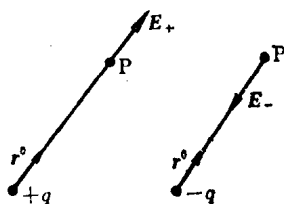


图 1-5