

物 理

中 册

浙江大学普通物理组

1975年7月

目 录

第四篇 电和磁

第一章 静电学

§1. 电的基本知识 库仑定律	(2)
§2. 电场	(7)
§3. 电位	(15)
§4. 静电场中的导体	(23)
§5. 电容	(26)

第二章 直流电

§1. 直流电路的三个基本物理量	(36)
§2. 一段电路的欧姆定律	(40)
§3. 电阻的串联与并联	(43)
§4. 电功 电功率 电流的热效应	(46)
§5. 电源的电动势 闭合电路欧姆定律	(51)
§6. 电桥与电位计	(56)

第三章 磁 场

§1. 电流的磁场	(59)
§2. 磁场对电流的作用	(67)
§3. 磁性物质及其磁化	(77)

第四章 电磁感应

§1. 电磁感应现象和它的规律	(83)
§2. 电磁感应现象应用举例	(87)

第四篇 电 和 磁

在日常生活和生产中我们天天碰到“电”，例如我们每晚用电灯来照明，电能是生产上一种最普遍的能源，电磁仪表更是生产上不可少的测量工具。电能为什么应用如此广泛，这由于：

(1) 电能容易与其它形式能量转换。如电能可以很方便地由机械能、热能、原子能等转换而得。同时，电能又可以很容易转换成其它形式的能量，例如转换成机械能、热能、光能等。

(2) 电能便于远距离输送，传输设备简单，而且效率高。

(3) 电能便于使用高灵敏度的仪表来测量，调节，和进行自动控制。

(4) 电能可以克服空间阻隔上的困难，以电磁波形式在空间传播，能在极短时间内将各种讯号传递到遥远的地方，以便通讯联系和遥控。

我们伟大的祖国有极丰富的水力资源，煤矿蕴藏量也极丰富，这些能源将会不断地开发转换为电能，为工农业生产服务。同时我国农业发展纲要中也规定电气化是农业四化之一。因此掌握“电”的一些基本规律也是我们为社会主义建设服务必不可少的。

在本篇内我们将学习一些电和磁的基本规律，同时也要简单的介绍一些物质电结构的基本概念，为今后学习有关“电”方面的后继课程打下一些必要的基础。

第一章 静 电 学

§1 电的基本知识 库仑定律

我们大家拿出自己的钢笔，将钢笔杆在头发上摩擦几下，钢笔杆就能吸起小纸屑，我们就说钢笔杆带了“电”，或者说它带了“电荷”。这种现象就是摩擦起电，而带了电的物体称作带电体。

自然界中一切物体是由原子组成，而原子又是由带正电的原子核及带负电的电子组成。那末为什么在正常情况下，物体不带电呢？这是因为物体原子核所带的正电荷的总和与核外电子所带的负电荷的总和刚好相等，因此物体不表现出有电。我们用一块丝绸摩擦一根玻璃棒，如图 1—1 所示，发现玻璃棒带正电，而丝绸带相等数量的负电。现在来分析为什么有这样的实验结果呢？让我们从物体的导电性能谈起。玻璃、丝绸、塑料等这些

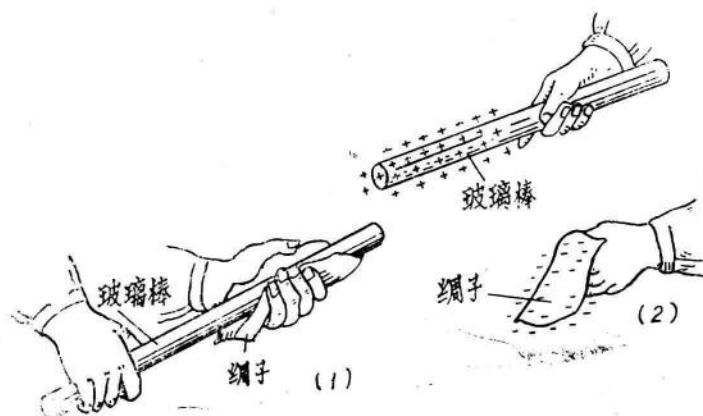


图 1—1

物体中有电子，它带负电，被原子束缚着，不能自由运动，这类物体导电性能差，称作绝缘体，或称电介质。而象铁、铜和铝等这些物体中的价电子，容易离开原子，在物体内部运动，这种电子叫自由电子。这类物体导电性能好，称导体。因此，导体与绝缘体的区别在于导体内有自由电子，而绝缘体内没有自由电子。所谓物体带电，实际上是由于某种原因，物体失去电子，或者得到电子。失去电子的物体带正电，得到电子的物体带负电。例如丝绸和玻璃棒摩擦，玻璃棒表面的电子转移到丝绸上，使玻璃棒带正电，因为玻璃棒是绝缘体，其它地方的电子不能通过棒与正电荷中和，所以，那些摩擦过的地方便失去电子而带有正电。再看那一块丝绸，它也是绝缘体，其中的电子不能自由运动，摩擦后从玻璃棒得到了等量的电子，这些电子不会跑掉，所以，丝绸带上了负电。这就告诉我们：摩擦並不产生电荷，只不过把原有的电子从一种物体搬到另一种物体，从而破坏了原来正负电

荷在两物体中各自平衡的局面。两物体摩擦之后，从单方面看，有的得到电子，显出负电荷，有的失去电子，显出正电荷。但如把双方合起来看，正负电荷都没有产生或减少。在一组隔离的物体内，不论进行什么运动变化，这些相互作用的物体的正负电荷的总数在变化前后是不会改变的。这是从实践总结出来的电荷守恒定律。

物体带电的多少叫作电量，常用字母 q 表示。在实用单位制中电量的单位为[库仑]。实验测定，一个电子的电量是 -1.60×10^{-19} 库仑，所以 1 库仑的电量相当于 6.25×10^{18} （即 625 亿亿）个电子的电量。到目前为止，我们所知道的带电粒子中，电子的电量是最小的，其它带电体的电量都是电子电量的整数倍。

我们把两只软木的小球用丝线挂起来，并使它们带电，当它们带有同号的电荷时，两小球间互相有斥力，见图 1—2 (1) 和 (2)。当它们带异号电荷时，两小球间互相有吸力，见图 1—2 (3)。由此可以得出一个结论：同号电荷相斥，异号电荷相吸。

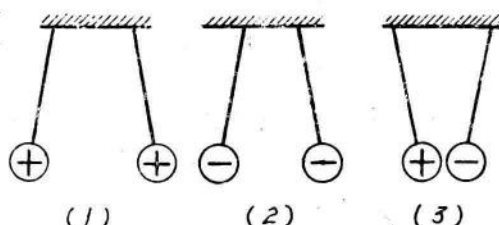


图 1—2

在干燥天气，我们用塑料梳子梳头，如果迅速地梳，有时发现头发会竖起来，这是因为梳头时，头发和梳子相互摩擦，使它们各带有负电荷和正电荷，异号电荷相吸，把头发吸了起来。有时还会听到轻微的“劈拍”声响，这和天空打雷是同样的道理，是正负电荷中和时的放电声音。

静电现象不仅在日常生活中经常遇到，而且在生产上和科学实验上有着广泛的应用，例如静电喷漆、静电除尘、静电屏蔽、静电照相等。静电学不仅在生产斗争和科学实验上有重要的作用，而且它是电学知识的基础，学好有关静电的知识，对于深刻认识有关电现象的其他规律，更好的为社会主义革命和社会主义建设服务也是有着重要意义的。

我们知道电荷间有相互作用力。那末这种作用力跟什么因素有关呢？首先来讨论两个点电荷在真空中的作用力。所谓点电荷也就是带电体，不过这个带电体的大小比起带电体之间的距离来要小得多，以至带电体的形状和大小可以不必考虑。从实验总结出：

在真空中，两个点电荷 q_1 及 q_2 之间的相互作用力的方向沿着它们的连线，作用力 F 的大小和电量 q_1 与 q_2 的乘积成正比，而和它们之间的距离 r 的平方成反比，即

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

将上式写成等式

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.1)$$

其中 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 是比例常数。这个规律叫库仑定律。两点电荷间的作用力如图 1—3 所示。

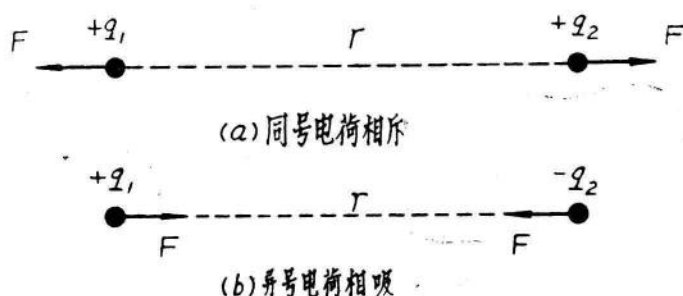


图 1—3

工程上，常采用实用单位制。在这种单位制中，长度、质量、时间三个基本量的单位是[米]、[公斤]、[秒]，电量的单位是[库仑]。电学中一些物理量的单位可以从这四个基本量的单位推导出来。由实验测得，对于真空中带有等量的 1 库仑电量的两个点电荷，相距为 1 米，它们之间的相互作用力 $F = 9 \times 10^9$ 牛顿。将这些数据代入 (1) 式，可以决定比例常数 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 的数值，即

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

所以，

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{[\text{牛顿}] \cdot [\text{米}]^2}{[\text{库仑}]^2},$$

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

ϵ_0 称为真空的介电系数。

在一般情况下，我们不能任意把两个带电体当作点电荷，直接应用库仑定律计算它们的作用力。但是，我们可将带电体看作是许多点电荷的集合，从而求出两个带电体的相互作用力。因此，库仑定律是总结电荷间相互作用的基本定律。

如果电荷不在真空中，而在均匀的无限大电介质，如空气、煤油、纯水、玻璃、橡胶、瓷等电介质里，实验证明，点电荷之间的作用力就会因电介质的不同而有不同程度的减小。这时库仑定律的公式变成

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (1.2)$$

在电介质中作用力比真空中小 ϵ_r 倍， ϵ_r 称为电介质的相对介电系数。通常说一种物体的介电系数是多少，一般指的就是相对介电系数 ϵ_r 。各种电介质的相对介电系数 ϵ_r 是不相同的，除真空的 ϵ_r 规定为 1 外，所有电介质的 ϵ_r 都大于 1，见下表。

电 介 质	相对介电系数 ϵ_r
真空	1
空气	1.0006
氢	1.0003
煤油	2-4
钛酸钡	约3000-5000
有机玻璃	3.6
变压器油	2.2
纯水	81.5
石蜡	2
硬橡胶	4.3
胶木	4.5
陶瓷	40-80
云母	6-8
玻璃	4-7
聚氯乙烯	3.1-3.4

电荷间相互作用力在电介质中比真空中为小，例如，真空中点电荷之间的作用力等于在纯水中的81.5倍。这一事实以后可以用电介质的极化来说明，

【例1】：两个点电荷在石蜡中，距离是8厘米，它们的电荷分别是 1.2×10^{-6} 库伦和 -1.5×10^{-6} 库伦，求它们之间的相互作用力。

已知： $q_1 = 1.2 \times 10^{-6}$ 库伦， $q_2 = -1.5 \times 10^{-6}$ 库伦， $r = 8$ 厘米 $= 8 \times 10^{-2}$ 米，石蜡相对介电系数 $\epsilon_r = 2$ ，

求：点电荷间作用力 F

解：

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{9 \times 10^9}{2} \frac{[牛顿][米]^2}{[库伦]^2} \times \frac{1.2 \times 10^{-6}[库伦] \times (1.5 \times 10^{-6})[库伦]}{(8 \times 10^{-2}[米])^2} = 1.3 \text{ 牛顿。}$$

力 F 的方向如图 1—4 所示。

【例2】：图1—5中，空气中有 q_1 、 q_2 和 q_3 三个点电荷在同一直线上， $q_1 = -1.0 \times 10^{-6}$ 库伦， $q_2 = +3.0 \times 10^{-6}$ 库伦， $q_3 = -2.0 \times 10^{-6}$ 库伦， $r_1 = 15$ 厘米， $r_2 = 10$ 厘米。问作用于 q_1 上的力该有多大？

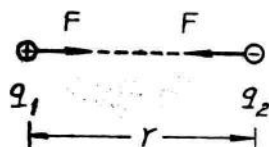


图 1—4

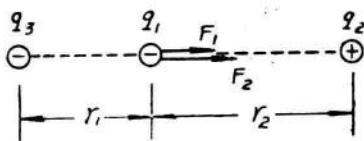


图 1—5

解：作用于 q_1 上的力有两个，一个是 q_3 给 q_1 的，另一个是 q_2 给 q_1 的。电力既有方向又有大小，所以求合力时要用矢量加法。为了便于分析，我们把 q_1 所受的两个力的方向画在图上，这样，我们只要考虑力的大小。实用中常把空气的相对介电系数取作1。由(1.2)式得

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_2^2} = 9.0 \times 10^9 \frac{[\text{牛顿}][\text{米}]^2}{[\text{库仑}]^2} \times \frac{1.0 \times 10^{-9}[\text{库仑}] \times 3.0 \times 10^{-9}[\text{库仑}]}{(1.5 \times 10^{-1}[\text{米}])^2} = 1.2 \text{ 牛顿},$$

$$F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3}{r_1^2} = 9.0 \times 10^9 \frac{[\text{牛顿}][\text{米}]^2}{[\text{库仑}]^2} \times \frac{1.0 \times 10^{-9}[\text{库仑}] \times 2.0 \times 10^{-9}[\text{库仑}]}{(1.0 \times 10^{-1}[\text{米}])^2} = 1.8 \text{ 牛顿},$$

F_1 和 F_2 的方向如图1—5中所示。

作用于 q_1 上的合力 F

$$F = F_1 + F_2 = 1.2 \text{ 牛顿} + 1.8 \text{ 牛顿} = 3.0 \text{ 牛顿},$$

F 的方向沿 q_1 到 q_2 。

思 考 题

1. 某种塑料钢笔杆与头发摩擦，为什么笔杆带正电荷，而头发带等量的负电荷。试解释之。
2. 若1秒钟通过导线截面的电子数是 12.5×10^{18} 个，问1秒钟通过该截面的电量是多少？

习 题 一

1. 空气中有两个点电荷，一个为 $+3.0 \times 10^{-6}$ 库仑，另一个为 $+1.5 \times 10^{-6}$ 库仑，两者相距12厘米，试计算作用在每个电荷上的力的大小和方向。

2. 氢原子中，原子核与电子间的距离为 0.5×10^{-8} 厘米，原子核所带电量是 $+1.6 \times 10^{-19}$ 库仑，电子所带电量是 -1.6×10^{-19} 库仑。求原子核与电子之间的相互作用力。问这力是引力还是斥力。

3. 如图1—6，在变压器油中有三个点电荷， $q_1 = +2.0 \times 10^{-6}$ 库仑， $q_2 = +1.0 \times 10^{-6}$ 库仑， $q_3 = +3.0 \times 10^{-6}$ 库仑， $r_1 = r_2 = 10$ 厘米，求点电荷 q_2 所受的力。

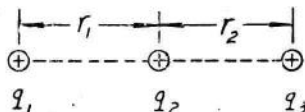


图 1—6

4. 如图1—7所示，三个点电荷浸在石蜡中，

$q_2 = q_3 = 2 \times 10^{-6}$ 库仑, $q_1 = -2 \times 10^{-6}$ 库仑, 等边三角形边长 10 厘米, 求 q_2 所受的电力。

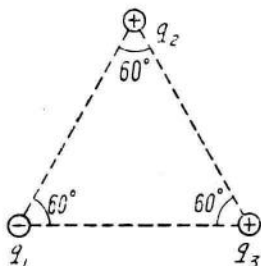


图 1—7

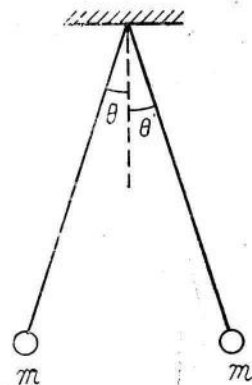


图 1—8

5. 如图 1—8 所示, 在空气中进行一个静电实验, 有两个相同的小球, 测得小球质量都是 m , 带等值同号的电荷, 各用长为 L 的丝线挂在一点上, 丝线间的夹角为 2θ , 问:

(1) 小球受几个力?

(2) 在什么条件下, 小球平衡不动?

(3) 电荷电量为多少? 用已知量 m 、 θ 、 L 表示。

6. 一个物体带正电, 电量是 10^{-8} 库仑, 它得到或是失去多少个电子?

§2 电 场

库仑定律总结了两个点电荷相互作用力的数量关系, 还没有从本质上说明电荷间的相互作用是怎样进行的。实践证明, 电荷周围有电场。我们就用图 1—9 的例子来说明, A 和 B 为两个带电小球, 各带电 q_A 和 q_B 。 q_A 作用于 q_B 的力 F 不是直接来自 q_A , 而是通过 q_A 产生的电场作用于 q_B 的。只要有电荷, 它的周围就有电场。相对于观察者为静止的带电体周围的电场, 称为静电场。

革命导师列宁指出: 物在我们的意识之外, 并且不依赖于我们的意识而存在着。

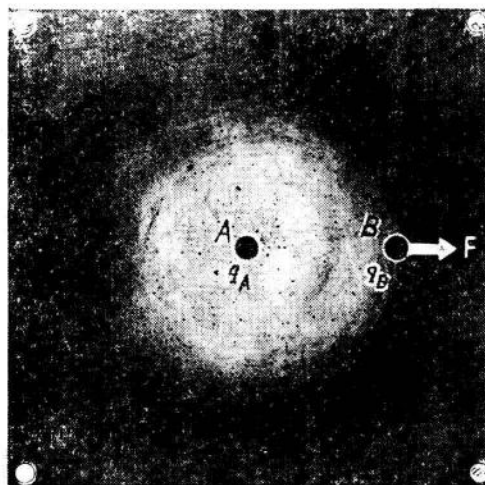


图 1—9

电场不依赖于我们的感觉、意识而存在的，所以，电场是一种物质。既然电场是一种物质，它就有表现，表现电场存在。带电粒子在电场中运动，受到力的作用，这是电场的一种表现。这种力叫电场力，简称电力，如图 1—10 所示。利用电力，可以控制带电粒子的运动，这是电子管、示波器等的基本原理。

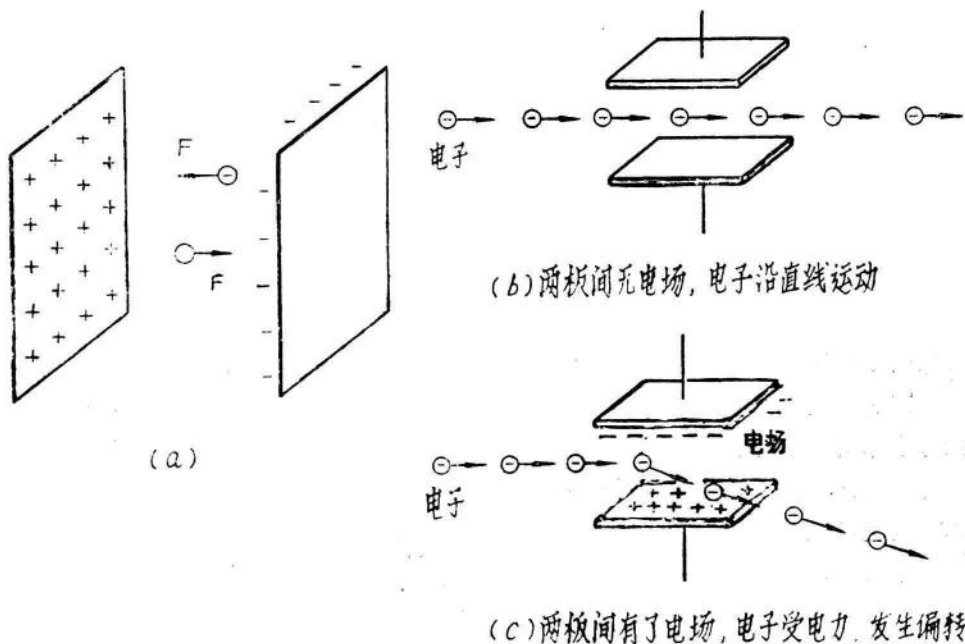


图 1—10

一、电场强度

电场对带电粒子有作用力是电场的一个基本性质，我们自然会想到根据带电粒子受力的大小和方向来衡量电场的强弱和方向。如图 1—11 所示，电场是电荷 Q 产生的，我们放一个试验用的带电量 $+q$ 的粒子来探测各点电场的强弱和方向。 q 很微小，使它不要扰乱那产生电场的原来电荷 Q 。试验带电粒子在靠近电荷 Q 的 a 点，受的力 F_a 较大，同样是在这个带电粒子在离 Q 远一点的 b 点，受的力 F_b 较小。这表明 a 点的电场比 b 点强。而且 F_a

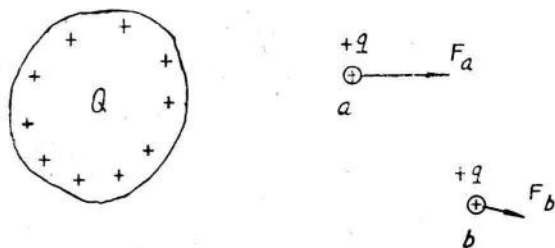


图 1—11 同一带电粒子在电场中不同位置所受的电力不同

和 F_b 的方向也不同。可见带电粒子所受的电力跟带电粒子所在位置电场的强弱和方向有关。既然试验带电粒子受的电场力跟电场的性质有关，那末，我们就用带电 q 的粒子所受的电力反映电场中各点的强弱和方向好了。不能这样做。因为在同一地点，譬如说图 1—11 中的 a 点，试验带电粒子所带的电量 $+q$ 越多，受的电力也越大。因此要表明电场对试验带电粒子的作用力的大小，必须用一个标准试验电荷来测试，习惯上以单位正电荷为标准，单位正电荷在电场中某点所受的力，称为电场中某点的电场强度 E 。因此电场强度也是一个矢量，它非但有大小，还有方向。电场强度有时也简称场强。如果试验带电粒子所带电量为 q ，在电场某点受的力为 F ，根据定义，该点的电场强度 E 为

$$E = \frac{F}{q} \quad (1.3)$$

在电学的实用单位制中， F 的单位用[牛顿]， q 的单位用[库仑]，场强 E 的单位就是[牛顿]/[库仑]。

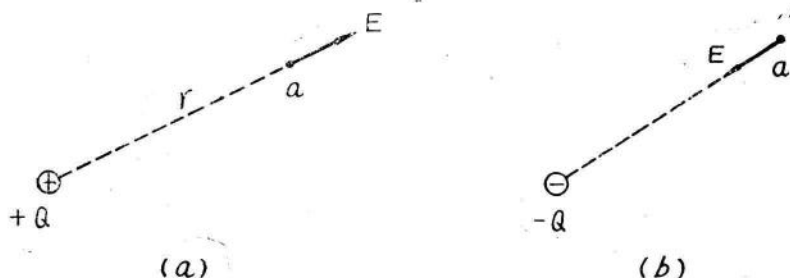


图 1—12

设在无限大均匀电介质中有一点电荷 Q ，它在距离为 r 的 a 点（见图 1—12）上所产生的电场强度 E 的大小，根据库仑定律（1.2）式可以算出：

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \times \frac{Q}{r^2} \quad (1.4)$$

如果 Q 为正电荷，则 E 的方向如图 1—12(a) 所示，背离 Q 。如果 Q 为负电荷， E 的方向如图 1—12(b) 所示，指向 Q 。

[例]：在空气中点电荷 $Q = 10^{-7}$ 库仑的电场里，有一点 P 与 Q 的距离 $r = 0.1$ 米，求 P 点的电场强度。若在 P 点放一电荷 $q = -7 \times 10^{-9}$ 库仑，求 q 所受力的大小和方向。

已知： $Q = 10^{-7}$ 库仑，空气的相对介电系数 $\epsilon_r = 1$ ， $r = 0.1$ 米， $q = -7 \times 10^{-9}$ 库仑。

求：（1） P 点的电场强度

（2）放在 P 点的电荷 q 受的力

解：

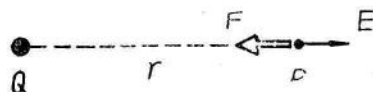


图 1—13

(1) P点的电场强度

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{\text{牛顿} \cdot \text{米}^2}{\text{库仑}^2} \times \frac{10^{-7} \text{库仑}}{(0.1)^2 \text{米}^2}$$

$$= 9 \times 10^4 \frac{\text{牛顿}}{\text{库仑}}。$$

(2) q受的力, 根据(1.3)式为

$$F = qE = (-7 \times 10^{-9}) \text{库仑} \times 9 \times 10^4 \frac{\text{牛顿}}{\text{库仑}} = -6.3 \times 10^{-4} \text{牛顿}。$$

F的方向指向Q, 如图1—13所示。

以上所求的是一个点电荷在电介质中某点的场强, 有些情况下, 电场是由几个点电荷产生, 如图1—14所示, P点的总电场强度应该是点电荷 q_1 和 q_2 各自在P点的电场强度 E_1 和 E_2 的矢量和, 求和的方法与力学中求几个力的合力的方法相似。电场强度是可以叠加的。

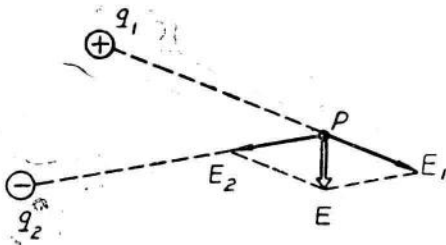


图1—14

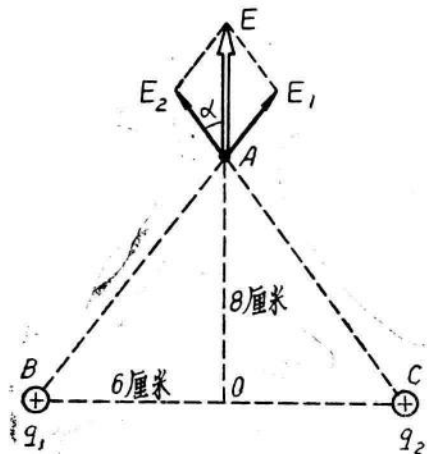


图1—15

[例]: 空气中, 有两个相距12厘米的点电荷, q_1 和 q_2 的电量都是 $+3.0 \times 10^{-9}$ 库仑, 求在它们联线的中垂线上A点的电场强度, $OA = 8$ 厘米, 如图1—15所示。

已知: $q_1 = q_2 = +3.0 \times 10^{-9}$ 库仑, $BC = 12$ 厘米, $OA = 8$ 厘米, 空气的相对介电系数 $\epsilon_r = 1$ 。

求: A点的电场强度。

解: 点电荷 q_1 和 q_2 在A点的电场强度各为

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(AB)^2},$$

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(AC)^2}。$$

由图上看 $AB = AC = \sqrt{(OA)^2 + (OB)^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10$ 厘米 $= 0.1$ 米。所以， E_1 和 E_2 的大小相等。

合成的电场强度 E 为 E_1 和 E_2 所组成的平行四边形的对角线，它的方向见图，大小为

$$E = 2E_1 \cos \alpha = 2 \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(AB)^2} \times \cos \alpha$$

$$= 2 \times 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-9}}{(0.1)^2} \times \frac{4}{5} = 4.3 \times 10^3 \text{ 牛顿/库仑。}$$

思考题及习题二

1. 试验带电粒子在电场中某点所受的力和该点的电场强度有什么区别和联系？
2. 一个电子在电场中受力的大小和方向与该点的电场强度的大小和方向是否相同？
3. 我们常用一个试验带电粒子去探测空间某点的电场强度，当我们试完了以后，拿走试验带电粒子，试问该点的电场强度还有没有？
4. 在电场中某一点放一个 $q = 5 \times 10^{-9}$ 库仑的电荷，它所受的电场力等于 3×10^{-4} 牛顿，求这一点的场强。
5. 在真空中有一个点电荷 $Q = 2 \times 10^{-4}$ 库仑，求离它 0.1 米的 A 点的电场强度。
6. 在真空中有一个点电荷 Q ，离它 0.05 米远的 A 点的电场强度是 6×10^5 牛顿/库仑，问 Q 应是多少？

7. 空气中有两个点电荷 $q_1 = +1.0 \times 10^{-9}$ 库仑， $q_2 = -3.0 \times 10^{-9}$ 库仑， $r = 20$ 厘米，如图 1—16，求 (1) 点电荷 q_2 所在处 A 点的电场强度的大小和方向，(2) 点电荷 q_2 所受的电力的大小和方向。电场强度 E 和 F 的方向在图上画出。

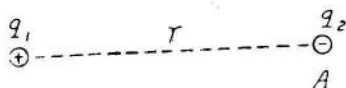
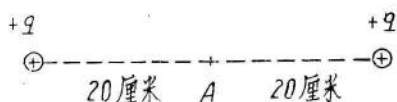
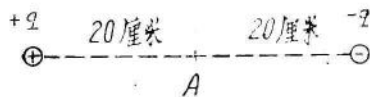


图 1—16

8. 煤油中有两个相同电量的点电荷 $q = 10^{-8}$ 库仑，相距 40 厘米，如图 1—17，求图 1—17(a) 和 (b) 中，两个点电荷连线中央 A 点的电场强度。



(a)



(b)

图 1—17

9. 空气中有两个点电荷， $q_1 = 10^{-8}$ 库仑， $q_2 = -10^{-8}$ 库仑， $l = 40$ 厘米， $r = 100$ 厘米，求图 1—18 中 A 点的电场强度的大小和方向。

10. 在正方形的四个角顶上各放一个正电荷 Q ，求对角线交点处的电场强度。

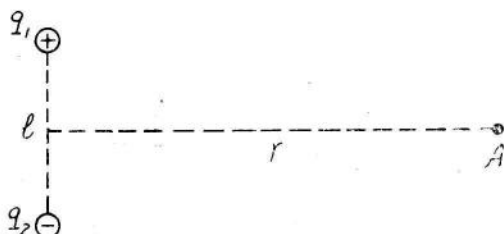


图 1—17

二、电力线

要了解电场，就要知道电场中各点的电场强度的大小和方向。如果我们能够用图示法把场强的大小和方向基本上反映出来，使我们对于电场的情况一目了然，那就把看不见的电场形象化了。

在电场中人为地画一系列直线或曲线，使线上每一点的切线方向和该点的电场强度方向一致，这些线叫做电力线。在图 1—19 中分别画出了正电荷、负电荷、两个异号等量的电荷和两个同号等量的电荷所产生的电场的电力线。从图 1—19 可以看出，电力线有如下

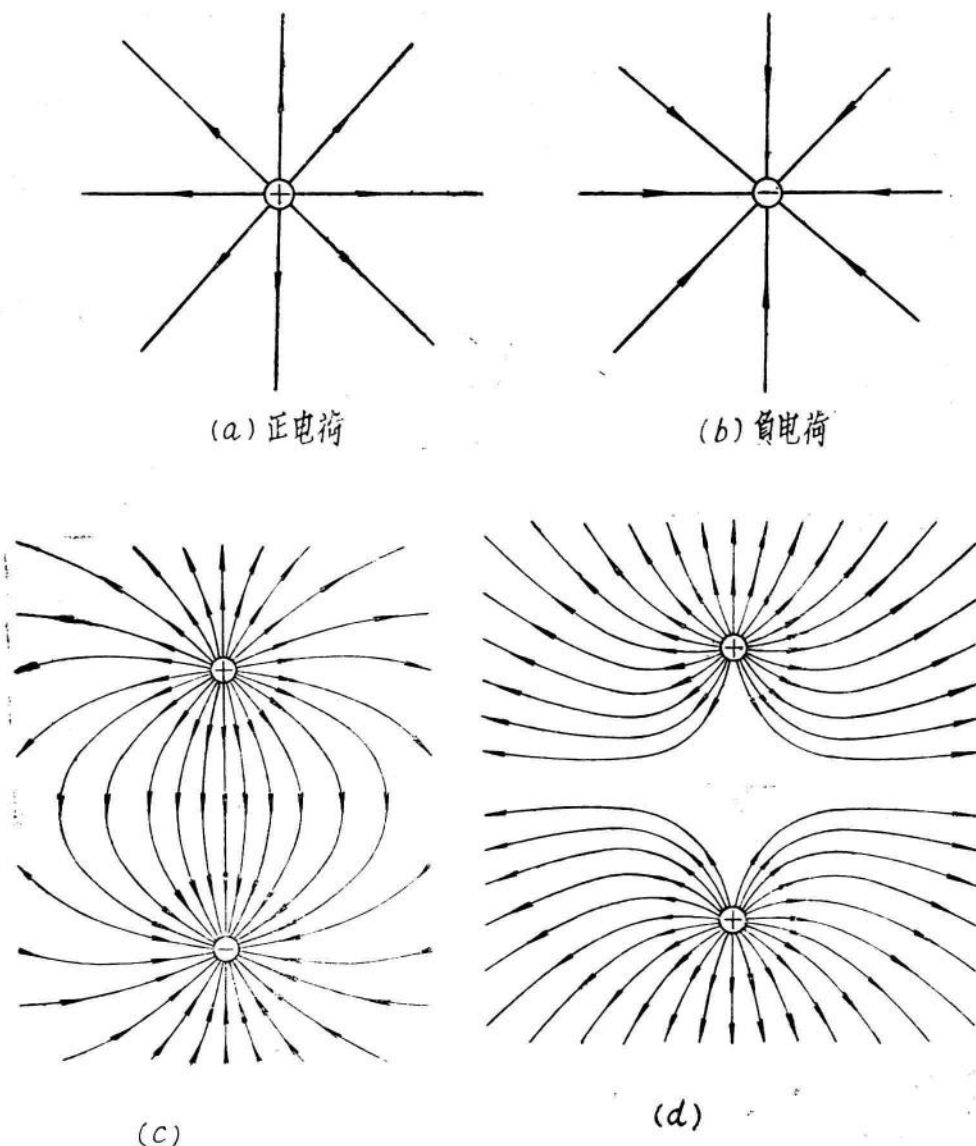


图 1—19

特点:

(1) 电力线总是从正电荷出发, 终止于负电荷上。

(2) 因为在电场中某一点, 电场强度只有一个方向, 所以除了电荷所在的地点之外, 在空间两条电力线不能相交。

为了用电力线表示场强的大小, 在场强大的地方画得密些, 场强小的地方画得疏些。通常我们规定通过垂直于某点电场方向上单位面积的电力线条数等于该点的电场强度。电力线不仅可以表示场强的大小, 还可以表示电场的方向。从电力线的定义中就可以知道, 电场中某点电场的方向也即通过该点的电力线的切线方向。所以画出电力线, 可以形象化地把电场的强弱和方向表示出来, 对我们分析问题有帮助。例如电子管内部的电场中场强的大小、方向各处都不相同, 不能用简单的公式表出, 这时就采用电力线来形象地描绘电场。但要注意, 电力线仅是人们描述电场的一种方法, 电场中并不是真有这样的力线存在。

实际上碰到较多的一种电场是均匀电场, 即各点电场强度的方向都一致、大小相等的电场。如用电力线表示均匀电场, 这些线一定是互相平行、稀密均等的线, 如图 1—20 所示。

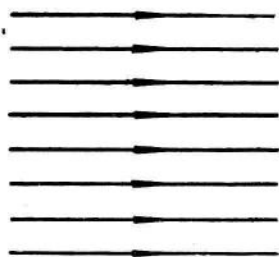


图 1—20

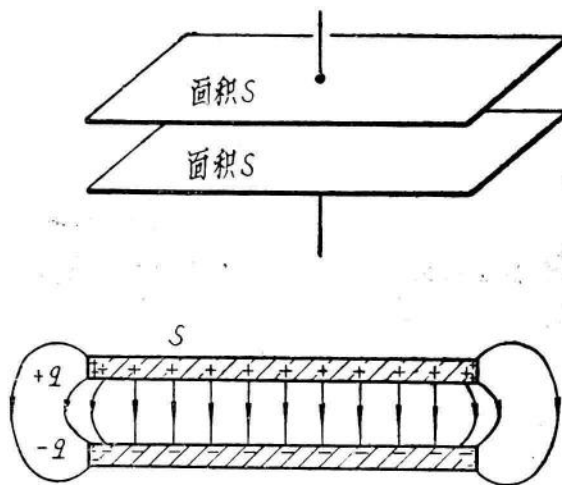


图 1—21

取两块大小相等、互相平行而且靠得很近的金属板。把这两块金属板分别和电池的正负极相连, 使一块带正电, 另一块带等量的负电, 如图 1—21 所示。在我们进行计算时, 可以把板上的电荷, 看作是许多点电荷的总和。这样平板间某点的场强就是两块金属平板上许多点电荷在该点产生的电场强度的叠加。计算表明这两块板的中央部分的电场是均匀电场。边缘部分不是均匀电场, 电力线有弯曲。如果这两块板的尺寸和它们之间的距离比较起来, 大得多时, 边缘部分的不均匀性可以忽略, 这样我们就可以基本上把两块平行、靠近、分别带等量异号电荷的金属板之间的电场当作均匀电场。下面将要讨论到电容器, 它就是这样的两块金属平行板组成的。我们说明平行板间的电场强度是有实际意义

的。

可以证明，符合上述条件的两块板中间放了相对介电系数为 ϵ_r 的电介质时，均匀电场的场强

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r}, \quad (1.5)$$

其中 σ 是一块板单位面积上所带的电荷，叫做电荷面密度，单位是[库仑]/米²。设平板面积为 S ，两块平行板分别带了等量异号的电量 q ，那末电荷面密度

$$\sigma = \frac{q}{S}. \quad (1.6)$$

[例]：两块平行板的面积各为 1 米²，两板各带 30 微库仑而异号等量的电荷，计算每一块板上的电荷面密度 σ 与两板中间的电场强度。

已知： $S = 1 \text{ 米}^2$ ， $q = 30 \times 10^{-6} \text{ 库仑}$ ， $\epsilon_r = 1$ 。

求： (1) 电荷面密度 σ ，

(2) 板间电场强度。

解：

$$(1) \quad \sigma = \frac{q}{S} = \frac{30 \times 10^{-6} \text{ 库仑}}{1 \text{ 米}^2} = 3 \times 10^{-5} \text{ 库仑/米}^2.$$

$$(2) \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{3 \times 10^{-5} \text{ 库仑/米}^2}{8.85 \times 10^{-12} \text{ 库仑}^2/\text{牛顿} \cdot \text{米}^2} = 3.4 \times 10^6 \text{ 牛顿/库仑}.$$

思考题及习题三

1. 试问图 1—22 上 A、B、C 三点中那一点的场强大？为什么？又问 A、B、C 三点场强的方向如何？

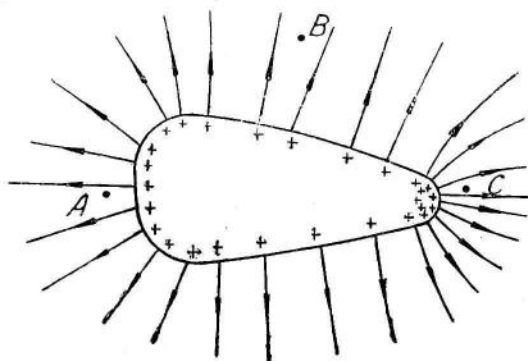


图 1—22

2. 有两块靠得很近的平行金属板，金属板的面积为 10^{-3} 米^2 ，板上所带电量 $q = 8 \times 10^{-8} \text{ 库仑}$ ，中间充以相对介电系数 $\epsilon_r = 6$ 的云母片，求两板间的电场强度。

3. 有一水滴，带电 $q = 10^{-8}$ 库仑，质量 $m = 0.2$ 克，在一电场强度 $E = 3 \times 10^3$ 牛顿/库仑的均匀电场中运动，求水滴的加速度（重力可略去不计）。

§3 电 位

“看问题要从各方面去看，不能只从单方面看。”上面我们是从力的角度来研究电场，引入了电场强度来描述电场，下面我们将从能量的角度来研究电场。

一、电力做功和电势能

“对物质的每一种运动形式，必须注意它和其他各种运动形式的共同点。”电场中电荷受电力的作用跟地球上物体受重力的作用有相似的地方，所以我们可用对比的方法进行讨论。

力学中，我们学过，物体在一定高度，受到重力，有一定的做功本领，也即这物体具有能量。这个能量叫重力势能，如图 1—23。物体下落，重力做功，重力做功所化的能量，靠消耗重力势能而来。我们曾经用重力对物体所作的功来量度物体重力势能的减少。

电学中，我们已经知道，电荷在电场中，受到电力，电荷移动时，电力做功。刚才我们提到，力学中重力做功所化的能量取自重力势能。现在呢？电力做功所化的能量一定也从一种能量取来。为了弄清楚这能量有些什么特点，先来了解一下电力做功的特性。

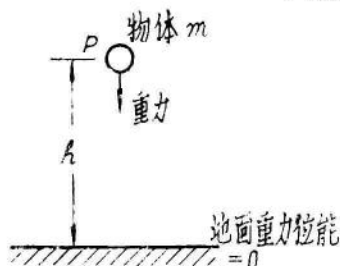


图 1—23

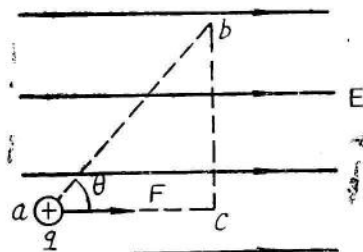


图 1—24

可举一简单例子来看：设有电荷在电场强度为 E 的均匀电场中从 a 点移到 b 点，电荷受力为 F ， $F = qE$ ，如图 1—24 所示。当电荷 q 沿 $a-b$ 直线运动时，电力做功

$$A = F_{ab} \cos \theta = qEac.$$

如果让 q 沿任意的另一个路径，譬如，先从 a 到 c ，再从 c 到 b （ cb 垂直于电场强度 E ），则电力做功

$$A' = F_{ac} + F_{cb} \cos 90^\circ = qEac.$$

可见 $A = A'$ ，即在电场中，电荷从一个位置（起点）移到另一个位置（终点），电力所作的功，不管沿什么路径，总是相等的。也就是电力做功有这样的特性：与路径无关，只与电荷的起点和终点的位置有关。这一结论虽然是从均匀电场的特殊情况下得到的，但实践证明，对于不均匀电场也是适合的。