



普通高中教科书

物理

必修

第三册

人民教育出版社

3

电场 电场强度

问题



通过起电机使人体带电，人的头发会竖起散开。

为什么会出现这样的现象？你能解释产生这一现象的原因吗？



电场

19 世纪 30 年代，英国科学家法拉第提出一种观点，认为在电荷的周围存在着由它产生的**电场**^①（electric field）。电场是看不见、摸不着的，但人们却可以根据它所表现出的性质来认识它，研究它。

处在电场中的其他电荷受到的作用力就是这个电场给予的。例如，电荷 A 对电荷 B 的作用力，就是电荷 A 的电场对电荷 B 的作用；电荷 B 对电荷 A 的作用力，就是电荷 B 的电场对电荷 A 的作用（图 9.3-1）。



图 9.3-1 电荷之间通过电场相互作用



法拉第（Michael Faraday，1791—1867）

物理学的理论和实验证实并发展了法拉第的观点。电场以及磁场已被证明是一种客观存在。场像分子、原子等实物粒子一样具有能量，因而场也是物质存在的一种形式。

应该指出，只有在研究运动的电荷，特别是运动状态迅速变化的电荷时，上述场的物质性才突显出来。本章只讨论静止电荷产生的电场，这种场叫作**静电场**（electrostatic field）。

① 法拉第提出的是“力线”的概念，“场”是由麦克斯韦等人完善后形成的概念。

电场强度

电场是在与电荷的相互作用中表现出自己的特性的。因此，在研究电场的性质时，应该将电荷放入电场中，从电荷所受的静电力入手。

► 试探电荷是为了研究源电荷电场的性质而引入的，它的引入不改变源电荷的电场。

这个电荷应该是电荷量和体积都很小的点电荷。电荷量很小，是为了使它放入后不影响原来要研究的电场。体积很小，是为了便于用它来研究电场各点的性质。这样的电荷常常叫作**试探电荷**。激发电场的带电体所带的电荷叫作**场源电荷**，或**源电荷**。

思考与讨论

我们不能直接用试探电荷所受的静电力来表示电场的强弱，因为对于电荷量不同的试探电荷，即使在电场的同一点，所受的静电力也不相同。那么，用什么物理量能够描述电场的强弱呢？

如果把一个很小的电荷 q_1 选为试探电荷，它在电场中某个位置受到的静电力是 F_1 ，另一个同样的电荷在同一位置受到的静电力一定也是 F_1 ；我们可以推测，假如有一个电荷量为 $2q_1$ 的电荷放在这里，它受到的静电力就是 $2F_1$ 。依此类推，电荷量为 $3q_1$ 的电荷放在这里，受到的静电力是 $3F_1$ ……也就是说，我们推测试探电荷在电场中某点受到的静电力 F 与试探电荷的电荷量 q 成正比。或者说，试探电荷在电场中某点受到的静电力 F 与试探电荷的电荷量 q 之比是一个常量。

你认为这样的推测是否正确？这里的分析是一种猜想和假设，它的正确性有待进一步的检验。我们可以用点电荷的电场来进行分析。

如图9.3-2，在点电荷 Q 的电场中的 P 点，放一个试探电荷 q_1 ，它在电场中受到的静电力是 F_1 ，根据库仑定律，有

$$F_1 = k \frac{Qq_1}{r^2} \quad (1)$$

同理，如果把试探电荷换成 q_2 ，它在电场中受到的静

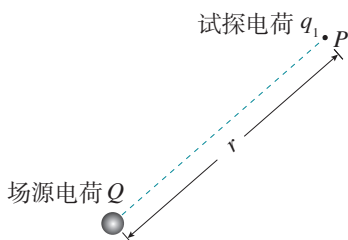


图9.3-2 场源电荷和试探电荷

电力是 F_2 ，有

$$F_2 = k \frac{Qq_2}{r^2} \quad (2)$$

由 (1)(2) 两式可以看出

$$\frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = k \frac{Q}{r^2}$$

放在 P 点的试探电荷受到的静电力与它的电荷量之比，跟该点的试探电荷的电荷量无关，而与产生电场的场源电荷的电荷量 Q 及 P 点与场源电荷之间的距离 r 有关。

实验表明，无论是点电荷的电场还是其他电场，在电场的不同位置，试探电荷所受的静电力与它的电荷量之比一般说来是不一样的。它反映了电场在各点的性质，叫作**电场强度** (electric field strength)。电场强度常用 E 来表示，根据分析可以知道

$$E = \frac{F}{q}$$

► 电场强度也是通过物理量之比定义的新物理量。

按照上式，电场强度的单位应是**牛每库**，符号为 N/C 。如果 1 C 的电荷在电场中的某点受到的静电力是 1 N ，那么该点的电场强度就是 1 N/C ，即

$$1 \text{ N/C} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ C}}$$

电场强度是矢量。物理学中规定，电场中某点的电场强度的方向与正电荷在该点所受的静电力的方向相同。按照这个规定，负电荷在电场中某点所受静电力的方向与该点电场强度的方向相反。

点电荷的电场 电场强度的叠加

点电荷是最简单的场源电荷，一个电荷量为 Q 的点电荷，在与之相距 r 处的电场强度

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

根据上式可知，如果以电荷量为 Q 的点电荷为中心作一个球面，则球面上各点的电场强度大小相等。当 Q 为正电荷

时, 电场强度 E 的方向沿半径向外 (图 9.3-3 甲); 当 Q 为负电荷时, 电场强度 E 的方向沿半径向内 (图 9.3-3 乙)。

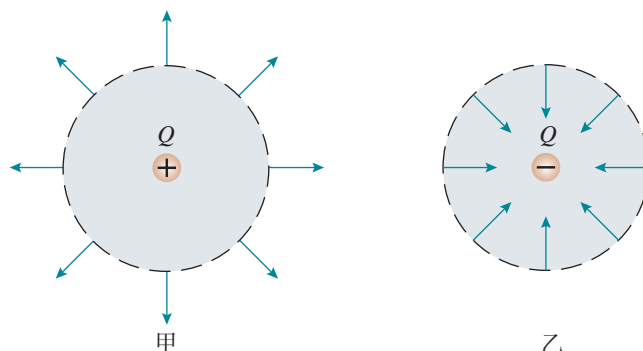


图 9.3-3 与点电荷相距 r 的球面上各点的电场强度

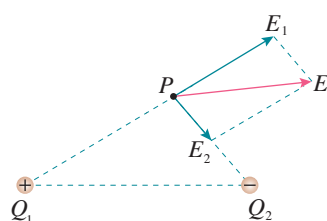


图 9.3-4 电场强度的叠加

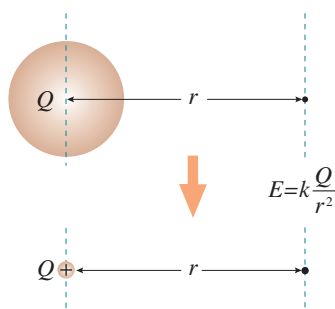


图 9.3-5 球形带电体与点电荷的等效

我们知道, 两个或两个以上的点电荷对某一个点电荷的静电力, 等于各点电荷单独对这个点电荷的静电力的矢量和。由此可以推理, 如果场源是多个点电荷, 则电场中某点的电场强度等于各个点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和。例如, 图 9.3-4 中 P 点的电场强度 E , 等于点电荷 Q_1 在该点产生的电场强度 E_1 与点电荷 Q_2 (为负电荷) 在该点产生的电场强度 E_2 的矢量和。

在一个比较大的带电体不能看作点电荷的情况下, 当计算它的电场时, 可以把它分成若干小块, 只要每个小块足够小, 就可以看成点电荷, 然后用点电荷电场强度叠加的方法计算整个带电体的电场。可以证明, 一个半径为 R 的均匀带电球体 (或球壳) 在球的外部产生的电场, 与一个位于球心、电荷量相等的点电荷在同一点产生的电场相同 (图 9.3-5), 即

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

式中的 r 是球心到该点的距离 ($r > R$), Q 为整个球体所带的电荷量。

电场线

除了用数学公式描述电场外, 形象地了解和描述电场中各点电场强度的大小和方向也很重要。法拉第采用了一个简洁的方法来描述电场, 那就是画**电场线** (electric field line)。

电场线是画在电场中的一条条有方向的曲线，曲线上每点的切线方向表示该点的电场强度方向（图9.3-6）。在同一幅图中，电场强度较大的地方电场线较密，电场强度较小的地方电场线较疏，因此在一幅图中可以用电场线的疏密来比较各点电场强度的大小。从图9.3-7和图9.3-8可以看出，电场线有以下两个特点：

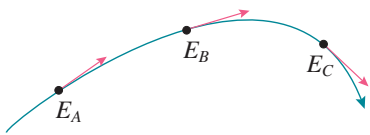


图9.3-6 电场线上各点的切线方向与该点的电场强度方向一致

- (1) 电场线从正电荷或无限远出发，终止于无限远或负电荷；
- (2) 电场线在电场中不相交，这是因为在电场中任意一点的电场强度不可能有两个方向。



图9.3-7 点电荷的电场线呈辐射状

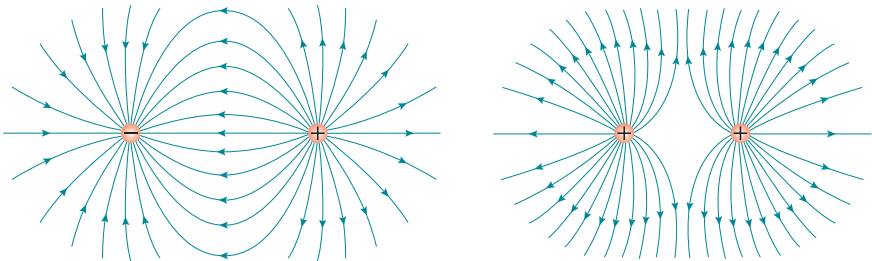


图9.3-8 等量异种点电荷的电场线和等量同种点电荷的电场线

演 示

模拟电场线

电场线的形状可以用实验来模拟。把头发碎屑悬浮在蓖麻油里，加上电场，碎屑就按电场强度的方向排列起来，显示出电场线的分布情况。图9.3-9是模拟正电荷电场线的照片。

电场线不是实际存在的线，而是为了形象地描述电场而假想的线。这个实验只是用来模拟电场线的分布。



图9.3-9 模拟电场线

匀强电场

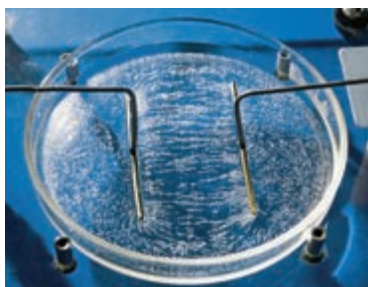


图9.3-10 模拟平行金属板间电场线的分布

如果电场中各点的电场强度的大小相等、方向相同，这个电场就叫作**匀强电场**。由于方向相同，匀强电场中的电场线应该是平行的；又由于电场强度大小相等，电场线的疏密程度应该是相同的。所以，匀强电场的电场线可以用间隔相等的平行线来表示。例如，相距很近的一对带等量异种电荷的平行金属板（图9.3-10），它们之间的电场除边缘外，可以看作匀强电场。



科学方法

用物理量之比定义新物理量

在物理学中，常常用物理量之比表示研究对象的某种性质。例如，用质量 m 与体积 V 之比定义密度 ρ ，用位移 l 与时间 t 之比定义速度 v ，用静电力 F 与电荷量 q 之比定义电场强度 E ，等等。这样定义一个新的物理量的同时，也就确定了这个新的物理量与原有物理量之间的关系。

比值定义包含“比较”的思想。例如，在电场强度概念建立的过程中，比较的是相同电荷量的试探电荷受静电力的大小。



练习与应用

1. 关于电场强度，小明有以下认识：

A. 若在电场中的 P 点不放试探电荷，则 P 点的电场强度为 0。

B. 点电荷的电场强度公式 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 表明，点电荷周围某点电场强度的大小，与该点到场源电荷距离 r 的二次方成反比，在 r 减半的位置上，电场强度变为原来的 4 倍。

C. 电场强度公式 $E = \frac{F}{q}$ 表明，电场强度的大小与试探电荷的电荷量 q 成反比，若 q 减半，则该处的电场强度变为原来的 2 倍。

D. 匀强电场中电场强度处处相同，所以任何电荷在其中受力都相同。

你认为他的看法正确吗？请简述你的理由。

2. 把试探电荷 q 放到电场中的 A 点，测得它受的静电力为 F ；再把它放到 B 点，测得它受的静电力为 nF 。 A 点和 B 点的电场强度之比 $\frac{E_A}{E_B}$ 是多少？再把另一个电荷量为 nq 的试探电荷放到另一点 C ，测得它受的静电力也是 F 。 A 点和 C 点的电场强度之比 $\frac{E_A}{E_C}$ 是多少？

3. 场是物理学中的重要概念，除了电场和磁场，还有重力场。地球附近的物体就处在地球产生的重力场中。仿照电场强度的定义，你认为应该怎样定义重力场强度的大小和方向？

4. 有同学说，电场线一定是带电粒子在电场中运动的轨迹。这种说法对吗？试举例说明。

5. 某一区域的电场线分布如图9.3-11所示。A、B、C是电场中的三个点。

(1) 哪一点的电场强度最强？哪一点的电场强度最弱？

(2) 画出各点电场强度的方向。

(3) 把负的点电荷分别放在这三个点，画出它所受静电力的方向。

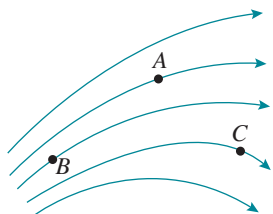


图9.3-11

6. 用一条绝缘轻绳悬挂一个带正电小

球，小球质量为 $1.0 \times 10^{-3} \text{ kg}$ ，所带电荷量为 $2.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ 。现加水平方向的匀强电场，平衡时绝缘绳与竖直方向夹角为 30° (图9.3-12)。求匀强电场的电场强度。

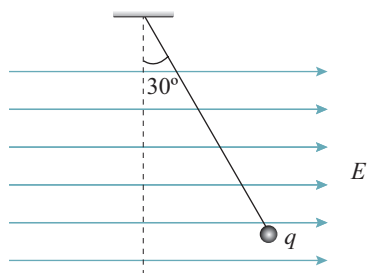


图9.3-12

7. 如图9.3-13，真空中有两个点电荷， Q_1 为 $4.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ 、 Q_2 为 $-1.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ ，分别固定在x轴的坐标为0和6 cm的位置上。

(1) x轴上哪个位置的电场强度为0？

(2) x轴上哪些位置的电场强度的方向是沿x轴的正方向的？

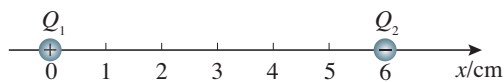


图9.3-13