普通高中课程标准实验教科书(人教版)

高中新课程同步导学

物理(选修 3—1)

济宁市教学研究室　编

*

山东人民出版社出版发行

(社址:济南市经九路胜利大街 39 号　邮政编码:250001)

http://www.sd—book.com.cn

新华书店经销　济宁市火炬书刊印务中心印刷

*

880×1230 毫米　16 开本　9.75 印张　270 千字

2006 年 6 月第 2 版　2006 年 6 月第 2 次印刷

ISBN 7—209—02961—3　定价:9.30 元

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一章 静 电 场

1 电荷及其守恒定律

学习目标

1. 知道摩擦起电和感应起电的实质及其认识过程，领悟科学的价值观.
2. 知道什么是元电荷.
3. 掌握电荷守恒定律.
4. 掌握摩擦起电和感应起电的分析方法.

知识要点

1. 静电感应和感应起电

当一个带电体靠近导体时，由于电荷间相互吸引或排斥，导体中的自由电荷便会趋向或远离带电体，使导体靠近带电体的一端带异号电荷，远离的一端带同号电荷，这种现象叫做静电感应. 利用静电感应使金属导体带电的过程叫做感应起电.

2. 电荷守恒定律

电荷既不能创造，也不能消灭，只能从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，在转移的过程中，电荷的总量不变. 这个结论叫做电荷守恒定律.

3. 电荷量

电荷的多少叫电荷量，在国际单位制中，它的单位是库仑，用 C 表示.

4. 元电荷 e

与质子（或电子）电荷量绝对值相等的电荷量，$1\ e = 1.60 \times 10^{-19}$ C. 所有带电粒子的电荷量都是元电荷的整数倍. 电荷量是不能连续变化的物理量.

电子的电荷量 e 与电子的质量 m 之比，叫做电子的比荷.

$$\frac{e}{m_e} = 1.76 \times 10^{11}\ \text{C/kg}$$

释疑解惑

1. 使物体带电的方法有哪些？

使物体带电的方法有三种：摩擦起电、感应起电和接触带电.

⑴ 摩擦起电：当两个物体互相摩擦时，一些束缚得不紧的电子往往从一个物体转移到另一个物体，于是原来电中性的物体由于得到电子而带负电，失去电子的物体则带等量正电. 如硬橡胶棒与毛皮摩擦时，由于硬橡胶棒容易得到电子而带负电；玻璃棒与丝绸摩擦时，由于玻璃棒容易失去电子而带正电.

⑵ 感应起电：是指利用静电感应使物体带电的方法. 当一个带电体靠近导体时，由于电荷间相互吸引或排斥，导体中的自由电荷便会趋向或远离带电体，使导体靠近带电体的一端带异号电荷，远离的一端带同号电荷. 感应起电的方法一般有两种，感应接地起电和感应分离起电. 感应接地起电以后再介绍，下面介绍感应分离起电.

如图 1-1-1 所示，将导体 A、B 接触后去靠近带电体 C，由于静电感应，导体 A、B 上分别带上等量异种电荷，这时先把 A、B 分开，然后移去 C，则 A 和 B 两导体上分别带上了等量异种电荷. 如图 1-1-2 所示.

⑶ 接触带电：一个金属导体带电时，电荷之间会相互排斥，如果接触另一个不带电导体，电荷

会转移到这个导体上，使物体带电，这种方式称为接触起电. 例如，将一个带电的金属小球跟另一个完全相同的不带电的金属小球接触后分开，则它们平分了原来的电荷量而分别带上等量同种电荷.

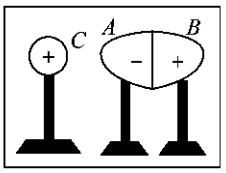


图 1-1-1

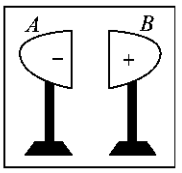


图 1-1-2

验电器和带电体接触时，正是因为接触起电，带电体的一部分电荷转移到验电器上，使验电器的指针张开.

2. 物体带电的实质是什么？

在多种起电方式中，都会使原来中性的物体带电，但无论带正电或负电，电荷只不过发生了转移，并没有凭空产生，在任何情况下，电荷都是守恒的.

物质由分子、原子组成，原子由原子核和绕核旋转的电子组成，原子核内部的质子带正电荷，核外电子带负电荷. 当原子所含的电子数与质子数相等时，物体不显电性，当物体受外界的影响，电子发生转移时，原子内电子数与质子数不再相等，这时物体就带电了.

可见，使物体带电的过程只不过是电荷发生转移的过程，物体失去电子则带正电，物体得到电子则带负电，物体带电的实质就是电子的得失. 电荷并没有产生或消失.

随着物理学的发展，近代物理实验发现，在一定的条件下电荷是可以产生和湮没的，但产生与湮没总是成对发生的，电荷的代数和仍然不变，故电荷守恒定律的表述经修正后为：一个与外界没有电荷交换的系统，电荷的代数和总是保持不变的.

注意：近代物理实验所发现的电荷的产生与湮没并没有否定电荷守恒定律，只是对定律的内容作了修正.

应用指导

【例 1】 如图 1-1-3 所示，有一带正电的验电器，当一金属球 A 靠近验电器的小球 B (不接触) 时，验电器的金箔张角减小，则 (　　)

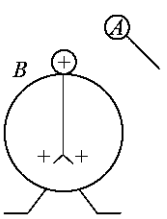


图 1-1-3

A. 金属球可能不带电

B. 金属球可能带负电

C. 金属球可能带正电

D. 金属球一定带负电

解析：验电器的金箔之所以张开，是因为它们都带有正电荷，而同种电荷相排斥. 张开角度的大小决定于两金箔带电荷的多少. 如果 A 球带负电，靠近验电器的 B 球时，异种电荷相互吸引，使金属箔上的正电荷逐渐“上移”，从而使两金箔夹角减少，选项 B 正确，同时否定选项 C. 如果 A 球不带电，在靠近 B 球时，发生静电感应现象使 A 球电荷重新分布，靠近 B 球的端面出现负的感应电荷，而背向 B 球的端面出现正的感应电荷，A 球上的感应电荷与验电器上的正电荷发生相互作用，因距离的不同而表现为吸引作用，从而使金箔张角减小，选项 A 也正确. 同时否定选项 D. 故应选 A、B.

答案：A、B

说明：本题主要考查了电荷间相互作用的规律和静电感应现象，在解决这类问题时，先根据电荷间相互作用规律和静电感应现象，判断电荷的重新分布情况，进而判断验电器金箔张角大小. 在静电感应中，由于电荷间的相互作用，使得导体上靠近带电体的一端感应出和带电体异种的电荷，远离带电体一端感应出和带电体同种的电荷. 这一点我们务必要记住.

思考：1. 当某带电导体靠近不带电的验电器的金属小球时，两金箔张角将如何变化？

2. 若发现验电器的金箔张角先变小后变大，则 A 球和验电器的带电情况如何？

【例 2】 将一根用丝绸摩擦过的玻璃棒靠近一个小通草球时 (　　)

A. 如果小球被吸引，小球必带负电

B. 如果小球被吸引，小球必带正电

C. 如果小球被排斥，小球必带负电

D. 如果小球被排斥，小球必带正电

解析：丝绸摩擦过的玻璃棒带正电，可以吸引带负电或不带电的小球，但必定排斥带正电的小球. 所以，应选答案 D.

答案：D

说明：本题主要考查以下几点：(1) 丝绸摩擦玻璃棒的带电情况；(2) 带电体既可吸引异种电荷，也能吸引轻小物体.

【例 3】 下列说法正确的是 (　　)

A. 物体所带的电荷量可以为任意实数

B. 不带电的物体上，既没有正电荷也没有负电荷

C. 摩擦起电的过程，是靠摩擦产生了电荷

D. 利用静电感应使金属导体带电，实质上是导体中的自由电子趋向或远离带电体

解析：自然界中的电荷量不是任意无限可分的，其最小单位为元电荷，所带电荷量 1.6×10^{-19} C，故 A 选项错；物体不带电，是由于其内部正、负电荷的量值相等，对外不显电性，故 B 选项错；电荷既不能创造，也不能消灭，摩擦起电同样不能创造电荷，是一个物体失去电子、另一个物体得到电子的过程，故 C 选项错；自由电子是金属导体中的自由电荷，在带电体的作用下，导体中的自由电子会趋向或远离带电体，使导体两端带等量异种电荷，选项 D 正确.

答案：D

说明：本题主要考查物体带电的实质——得到电子带负电，失去电子带正电. 这也是电荷守恒定律的基本思想.

【例 4】 有两个完全相同的带电绝缘金属小球 A、B，分别带有电荷量 $Q_A=6.4\times10^{-9}$ C，$Q_B=-3.2\times10^{-9}$ C，让两绝缘金属小球接触，在接触过程中，电子如何转移并转移了多少？

解析：当两小球接触时，带电荷量少的负电荷先被中和，剩余的正电荷再重新分配. 由于两小球相同，剩余正电荷必平均分配，即接触后两小球带电荷量

$$Q_A'=Q_B'=\frac{Q_A+Q_B}{2}=1.6\times10^{-9}\ \text{C}$$

在接触过程中，电子由 B 球转移到 A 球，不仅将自身电荷中和，且继续转移，使 B 球带 Q_B' 的正电，这样，共转移的电子电荷量为

$$\Delta Q=-Q_B+Q_B'=4.8\times10^{-9}\ \text{C}$$

转移的电子数 $n=\frac{\Delta Q}{e}=3.0\times10^{10}$ 个

说明：解答本题要明确两点：一是电荷守恒，将一个带电的金属小球跟另一个完全相同的带电的金属小球接触后分开，则它们先中和再平分剩余电荷量而分别带上等量同种电荷；二是金属导体中可以自由移动的只能是自由电子.

同步练习

巩固型

1. 甲物体与乙物体相互摩擦，没有其他物体参与电荷的交换，发现甲物体带了 9.6×10^{-16} C 的正电荷，以下结论正确的是（　　）

A. 甲物体失去了 6×10^{3} 个电子

B. 乙物体失去了 6×10^{3} 个电子

C. 乙物体带 9.6×10^{-16} C 的负电荷

D. 乙物体带 9.6×10^{-16} C 的正电荷

2. 把两个完全相同的小球接触后分开，两球相互排斥，则两球原来带电情况不可能是（　　）

A. 原来的其中一个带电

B. 两个小球原来分别带等量异种电荷

C. 两个小球原来分别带同种电荷

D. 两个小球原来分别带不等量异种电荷

3. 电子的比荷为 $\frac{e}{m_e}=1.76\times10^{11}$ C/kg，质子的质量为电子质量的 1 840 倍，则质子的比荷为 _____ C/kg.

4. 一个带电体带的电荷量可能的是（　　）

A. 4.0×10^{-19} C　　B. 6.4×10^{-19} C

C. 1.6×10^{-10} C　　D. 2.0×10^{-16} C

5. 下面关于电现象的叙述中，正确的是（　　）

A. 玻璃棒无论与什么物体摩擦都带正电，橡胶棒无论与什么物体摩擦都带负电

B. 摩擦可以起电，是普遍存在的现象，相互摩擦的两个物体总是同时带等量的异种电荷

C. 带电现象的本质是电子的转移，物体得到电子就一定显负电性，失去电子就一定显正电性

D. 当一种电荷出现时，必然有等量的异种电荷出现；当一种电荷消失时，必然有等量的异种电荷消失

6. 如图 1-1-4 所示，原来不带电的绝缘金属导体 MN，在其两端下面都悬挂着金属验电箔；若使带负电的绝缘金属球 A 靠近导体的 M 端；可能看到的现象是（　　）

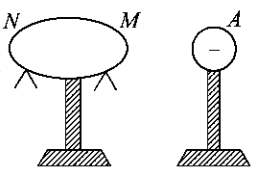


图 1-1-4

A. 只有 M 端验电箔张开

B. 只有 N 端验电箔张开

C. 两端的验电箔都张开

D. 两端的验电箔都不张开

7. 如图 1-1-5 所示，将带电棒移近两个不带电的导体球，两个导体球开始时互相接触且对地绝缘，下述几种方法中能使两球都带电的是（　　）

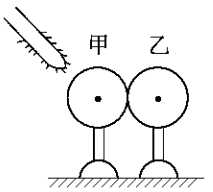


图 1-1-5

A. 先把两球分开，再移走棒

B. 先移走棒，再把两球分开

C. 先将棒接触一下其中的一球，再把两球分开

D. 因为棒带的电荷量不变，所以无论如何操作两导体球均不能带电

提高型

8. 绝缘细线上端固定，下端悬挂一轻质小球 a，a 的表面镀有铝膜，在 a 的近旁有一绝缘金属球 b，开始时 a、b 都不带电，如图 1-1-6 所示. 现使 b 带电，则（　　）

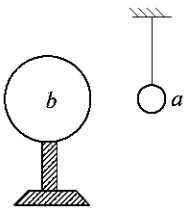


图 1-1-6

A. ab 之间不发生相互作用

B. b 将吸引 a，吸在一起不分开

C. b 立即把 a 排斥开

D. b 先吸引 a，接触后又把 a 排斥开

9. 挂在绝缘细线下的两轻质通草球，由于电荷的相互作用，或靠近，如图 1-1-7 甲所示；或远离，如图 1-1-7 乙所示，则（　　）

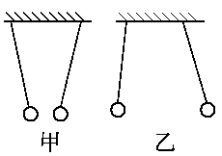


图 1-1-7

A. 甲图中两球一定带异种电荷

B. 乙图中两球一定带同种电荷

C. 甲图中至少有一个带电

D. 乙图中两球至少有一个带电

10. 把一个带电棒，移近一个带正电的验电器，金属箔先闭合而后又张开，这说明棒上带的是（　　）

A. 正电荷

B. 负电荷

C. 带正、负电荷都有可能

D. 无法判定

11. 有一个质量很小的小球 A，用绝缘细线悬挂着，当用毛皮摩擦过的硬橡胶棒 B 靠近它时，看到它们互相吸引，接触后又互相排斥，则下列说法正确的是（　　）

A. 接触前，A、B 一定带异种电荷

B. 接触前，A、B 可能带异种电荷

C. 接触前，A 球一定不带任何净电荷

D. 接触后，A 球一定带电荷

开阔视野

做好静电实验的关键

一般来说，提高静电实验的成功率，要把握以下几点：

1. 绝缘材料的选择和检验：通常，有机玻璃、泡沫塑料、保鲜薄膜、石蜡块、尼龙丝等都是适宜做静电实验的绝缘材料. 材料表面清洁和干燥的状况对绝缘性能有很大的影响. 实验前应当对绝缘材料的性能进行检验. 比较简单的检验方法是：取一只验电器（或验电羽），使其带电. 手持待测绝缘体的一端，让另一端接触验电器（验电羽）的导杆，如果验电器的指针（或张开的验电羽）不闭合，说明待测物的绝缘性能良好，否则，在实验前应对绝缘物表面进行清洁和除湿处理.

2. 选择有效的起电工具和起电方法：可用高压静电起电机起电，还可用简易的起电方法——摩擦起电和感应起电.

如果对带电荷量的要求不高，可以摩擦绝缘棒（如有机玻璃棒）使其带电，再将电荷传递给需带电的物体. 在传递电荷时，考虑到绝缘棒的电荷不是自由电荷，应当使带电棒在物体表面上移动，尽可能使带电棒的各部分表面与需带电的物体接触，以传递较多的电荷.

如果实验中需要较多的电荷量，用感应起电盘起电效果较好. 感应起电盘的制作及起电方法如下：

取一只新的塑料保鲜袋，套在干净的硬泡沫塑料板上. 再备一块带绝缘柄的金属板（可用演示电容器的极板），一块干净的布（或丝绸）. 实验时，用布摩擦塑料袋表面使其带电（通常带负电），把金属

需要全本请访问 www.ertongbook.com

板放在塑料膜上方，此时金属板在静电场的感应下，下表面带正电，上表面带负电. 再用手指接触金属板，板上的负电荷流向大地，手持绝缘柄将金属板移开，金属板上就带上了正电荷. 用此种方法可以反复多次使导体带电，而塑料膜上的电荷几乎不减少.

3. 注意操作要领：做静电实验必须时刻保持“绝缘意识”. 例如，用导线把验电器与一带绝缘座的导体连接起来时，导线夹所夹位置应尽可能远离验电器的外壳，导线（即使是有绝缘外层）一定要架空，并尽可能远离桌面和其他与“地”相通的物体. 又如，手持起电盘的绝缘柄时，应避免用手掌握棒（因为手心的汗水较多），并且应远离金属板.

几个静电实验

1. 静电除尘

这里介绍一种很简单的演示装置. 如图 1 所示，将圆柱形铁罐的底部去掉，变为两端开口的圆筒，再通过一根绝缘柄把铁罐装在铁架台上，铁圆筒的中轴线处吊一根下系一个重物的金属线. 演示时将静电起电机的两个电极分别接于圆筒和金属线上端，在圆筒下方点燃蚊香，烟雾从圆筒上冒出. 起电时，烟雾即刻消失.

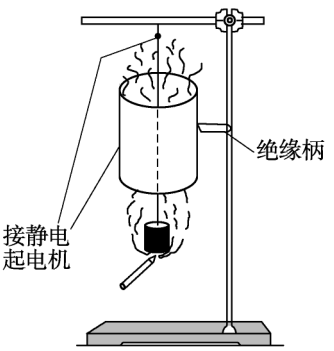


图 1

2. 带电体的相互作用

把一只白炽灯泡放在玻璃杯口上，如图 2 所示，用干净的手帕摩擦有机玻璃（或塑料）直尺 A 使其带电，将直尺 A 平稳地放在玻璃灯泡上，用同样的方法使直尺 B 带电，并接近直尺 A. 如果两根直尺的材料相同，可以看到直尺 A 被排斥而旋转起来；如果它们的材料不同，则它们互相吸引，如果增大两直尺间的距离，可以看到它们的相互作用减弱；如使其中一根直尺上所带的电荷量增大，可以看到它们的相互作用增强.

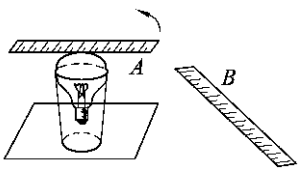
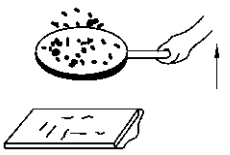


图 2

3. 静电散花小实验

将很薄的纸剪成纸屑，放在带绝缘柄的金属板上，用干净的丝绸或手帕摩擦塑料膜垫使膜上带负电，再用手接触着金属板将其放在塑料膜上，由于静电感应，金属板的下表面带正电，上表面的负电荷从手流入大地，将手从金属板上移开，再手持绝缘柄末端，将金属板与塑料膜垫分开，可以看到金属板上的纸屑向上飞散开来，如图 3 所示. 这是由于金属板下的电荷重新分布，使纸屑带上了同种电荷，并且产生相互作用.


图 3

4. 制作小莱顿瓶，并用氖管做放电实验

莱顿瓶的制作方法如下：如图 4 所示，给干净的胶卷盒外壁贴一层铝箔，在胶卷盒盖的中心固定一根用回形针做的导杆，往胶卷盒内倒入适量的水，盖上盒盖就做成了一只小电容器——小莱顿瓶.

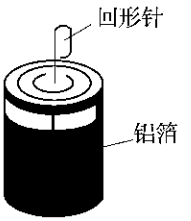


图 4

实验方法：

用感应起电盘使带绝缘柄的金属板带正电.

手持氖管的一端，其另一端与带正电的导电圆盘接触，可见与手持端相连的氖管电极闪光（氖管是相对低电势的一端闪光）.

用感应起电的方法使导电圆盘带上电，再将它与莱顿瓶的导杆接触. 经多次充电后，手持氖管一端，将其另一端与莱顿瓶的导杆接触，可以看到氖管产生闪光现象.

有兴趣的同学可以试一下！

2 库仑定律

学习目标

1. 要求知道点电荷的概念、理解库仑定律的含义及其公式表达，知道静电力常量.

2. 会用库仑定律的公式进行有关的计算.

3. 体验“影响电荷间相互作用力的因素”的探究方法，领略科学探究的意义，发展科学的价值观.

4. 根据实验探究的现象，尝试对电荷之间相互作用力大小的规律做出猜想，体会科学猜想在科学探究中的作用.

5. 了解两个间接测量的方法：用库仑扭秤测量库仑力 F 和距离 r 的关系，物体（小球）相对电荷量的测量.

知识要点

1. 探究影响电荷间相互作用力的因素

先猜想：影响电荷间相互作用力的因素有哪些？电荷量、距离、介质. 再用实验探究电荷量、距离对电荷间相互作用力大小的影响.

根据实验探究的结果，类比万有引力定律，对电荷间相互作用力大小的规律进行猜想.

2. 两个间接测量的方法

用库仑扭秤测量库仑力 F 和距离 r 的关系，带电物体（小球）相对电荷量的测量.

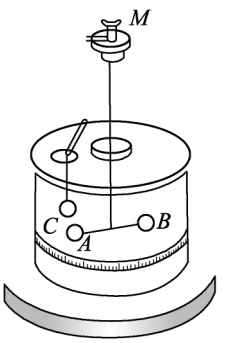


图 1-2-1

库仑扭秤实验装置如图 1-2-1 所示. 细银丝的下端悬挂一根绝缘棒，棒的一端是一个带电的金属小球 A，另一端有一个不带电的球与 A 所受的重力平衡. 当把另一个带电的金属球 C 插入容器并使它靠近 A 时，A 和 C 之间的作用力使悬丝扭转，通过悬丝扭转的角度可以比较力的大小.

⑴ 测量力与距离的关系：改变 A 和 C 之间的距离，记录每次悬丝扭转的角度，结果得到力 F 与距离 r 的二次方成反比，即

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

⑵ 测量力与电荷量之间的关系：采用电荷量等分法把 A（或 C）球的电量 q 依次减为 $\frac{q}{2}$、$\frac{q}{4}$、$\frac{q}{8}$、……再放入库仑扭秤装置实验，结果得到 F 与 A、C 电荷量 q_1、q_2 的乘积成正比，即

$$F \propto q_1 q_2$$

3. 库仑定律

⑴ 内容：真空中两个静止点电荷之间的相互作用力，与它们的电荷量的乘积成正比，与它们的距离的二次方成反比，作用力的方向在它们的连线上.

⑵ 表达式：$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$

式中 k 是静电力常量，若库仑定律表达式中各量都用国际制单位，则 $k = 9.0 \times 10^9\ N \cdot m^2/C^2$（由实验得出）.

⑶ 电荷之间的这种相互作用力叫做静电力或库仑力.

⑷ 静电力的方向：在两点电荷连线上，同种电荷相斥，异种电荷相吸.

⑸ 定律的适用范围：真空中、点电荷.

⑹ 理想化模型——点电荷

当带电体间的距离比它们自身的大小大得多时，以至带电体的形状、大小及电荷分布状况对它们之间相互作用力的影响可以忽略不计时，这样的带电体就可以看作一个带电的点，叫做点电荷.

点电荷是只有电荷量，没有大小、形状的理想化模型，类似于力学中的质点，实际中并不存在.

释疑解惑

1. 静电力具有力的共性

静电力也是一种“性质力”，具有力的共性. 例如，两个静止的点电荷之间的相互作用力遵守牛顿第三定律——大小相等、方向相反，并且在一条直线上（虽然两个电荷的电荷量值可能会有大有小）；又如，若一点电荷同时受到另外两个点电荷的作用力，这两个力遵循力的合成法则，根据平行四边形定则，可求出这个点电荷受到的合力，如图 1-2-2 所示.

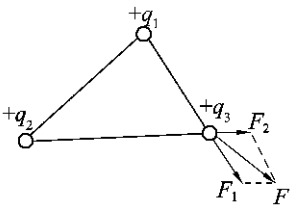


图 1-2-2

2. 应用库仑定律时应注意哪些问题？

应用库仑定律解题时，首先应注意库仑定律的适用条件. 公式 $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$ 仅适用于真空中（空气中近似成立）的两个静止点电荷间的相互作用. 其次应注意将计算静电力的大小与判断静电力的方向二者分别进行，即应用公式计算静电力大小时，不必将表示电荷 q_1、q_2 的带电性质的正负号代入公式中，只需将电荷量的绝对值代入公式中，先计算出力的大小，静电力的方向再依据同性电荷相互排斥、异性电荷相互吸引加以判断. 这样分别加以处理的方法，可以避免将表示带电性质的符号代入公式中一起运算，再根据运算结果的正、负号来判定

方向而带来的麻烦和可能出现的错误. 第三应注意统一单位,因为静电力常量 $k = 9.0 \times 10^9\ N \cdot m^2/C^2$ 是在 SI 制中的数值. 第四,运算中常将有效数字与数量级分别加以运算,以避免顾此失彼的失误.

在理解库仑定律时,常有人根据公式 $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$ 设想当 $r \to 0$ 时,得出库仑力 $F \to \infty$ 的结论. 从数学的角度分析这是必然的结论,但从物理学的角度分析,这一结论是错误的. 错误的原因是:当 $r \to 0$ 时,两电荷已失去了点电荷的成立条件,何况实际电荷都有一定大小,根本不会出现 $r = 0$ 的情况,也就是说,在 $r \to 0$ 时,电荷已不能再看成是点电荷,不再符合库仑定律的适用条件,所以不能再运用库仑定律计算两电荷间的相互作用力.

思考:两个质量分布均匀的球体间的万有引力可用公式 $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ (r 表示球心间距离) 直接计算. 两个带电球体在什么情况下才能用公式 $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$ 来计算库仑力?

3. 带电粒子间的库仑力与万有引力相比较有何不同?

在解决一些综合性问题时,带电体不仅受到库仑力,还可能受到重力、弹力、摩擦力的作用. 在研究微观带电粒子 (如质子、电子) 的相互作用时,库仑力比万有引力大得多,因而万有引力可以忽略 (见课本例题 1). 但在研究其他带电体的平衡或运动的问题中,是否可以忽略万有引力 (重力),应视具体情况而定.

应用指导

【例 1】 甲球带有 4.8×10^{-16} C 的正电荷,乙球带有 3.2×10^{-16} C 的负电荷,放在真空中相距为 10 cm 的地方,甲、乙两球的半径远小于 10 cm.

(1) 试求两球之间的静电力,并说明是引力还是斥力? (2) 将两个导体球相互接触一会儿,再放回原处,其作用力多大?是斥力还是引力?

解析:(1) 因为两球的半径都远小于 10 cm,因此可以作为两个点电荷考虑. 根据库仑定律得

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

代入数据得

$$F = 9.0 \times 10^9 \times \frac{4.8 \times 10^{-16} \times 3.2 \times 10^{-16}}{0.1^2}\ N$$

$$= 1.38 \times 10^{-19}\ N$$

两球带异种电荷,它们之间的作用力是引力.

(2) 两个导体相互接触,首先正负电荷相互中和一部分,还剩余 $(4.8 - 3.2) \times 10^{-16}$ C 的正电荷,这些正电荷将重新在两导体球间分配,由于题中并没有说明两个导体球是否完全一样,因此我们无法求出力的大小. 但可以肯定两球放回原处后,由于带同种电荷它们之间的作用力变为斥力.

说明:如果两个导体球完全相同,接触后电荷量重新分配,两球所分电荷量相同,每个球带电荷量 $q = \frac{1}{2} \times (4.8 - 3.2) \times 10^{-16}\ C = 0.8 \times 10^{-16}\ C$,根据库仑定律得

$$F' = k\frac{q^2}{r^2}$$

$$= 9.0 \times 10^9 \times \frac{(0.8 \times 10^{-16})^2}{0.1^2}\ N$$

$$= 5.76 \times 10^{-21}\ N$$

【例 2】 两个半径为 R 的金属球,所带电荷量分别为 q_1 和 q_2,当两球心相距 $3R$ 时,相互作用的静电力大小为 (　　)

A. $F = k\frac{q_1 q_2}{(3R)^2}$

B. $F > k\frac{q_1 q_2}{(3R)^2}$

C. $F < k\frac{q_1 q_2}{(3R)^2}$

D. 无法确定

解析:因为两球心间的距离不满足比球的半径大很多很多,所以两球不能看做点电荷,必须考虑电荷在球上的实际分布. 在电场力作用下,金属球上的电荷分布不均匀,电荷中心不位于球心. 当 q_1 和 q_2 是同种电荷时,相互排斥,电荷分布于最远的两侧,距离大于 $3R$;当 q_1 和 q_2 是异种电荷时,相互吸引,电荷分布于最近的两侧,距离小于 $3R$,如图 1-2-3 所示. 虽然两球的形状和大小对相互作用力的影响不可忽略,不能把两金属球视为点电荷而套用库仑定律求出静电力的具体数值,但我们仍然可以运用库仑定律进行比较,得出静电力可能小于 $k\frac{q_1 q_2}{(3R)^2}$,也可能大于 $k\frac{q_1 q_2}{(3R)^2}$,故 D 正确.

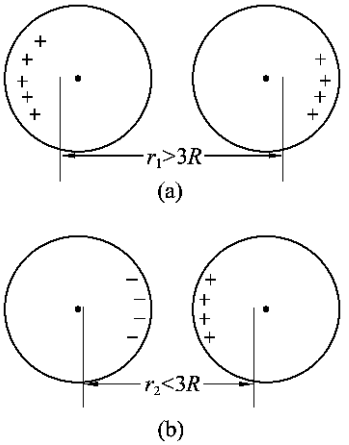


图 1-2-3

说明：本题主要考查库仑定律的适用条件，带电体能否视为点电荷，要根据带电体的大小、形状对静电力影响的情况而具体分析. 在本题的条件下，金属球的大小、形状对静电力的影响显然不能忽略. 切忌乱套公式.

【例 3】 如图 1-2-4 所示，带电荷量分别为 $+q$ 和 $+4q$ 的两个点电荷 A、B，相距 L，求在何处放置一个什么性质的电荷 C，才可以使三个电荷都处于平衡状态？

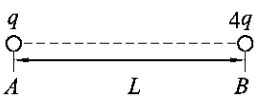


图 1-2-4

解析：求解本题的关键是先确定电荷 C 放置的大致位置及电性. 由于每个点电荷都受到其他两个点电荷的库仑力作用，要处于平衡，库仑力必沿同一条直线，因此 A、B、C 三个点电荷必共线. 因为 A、B 为同种电荷，相互作用的静电力均沿 AB 连线向外，若能平衡，第三个点电荷 C 对 A、B 的作用力方向必沿 AB 连线向里，故 C 必带负电，应放置在 A、B 之间，由于 A 的电荷量小于 B，C 应距 A 较近、距 B 较远.

设电荷 C 带电荷量为 $-Q$，距 A 为 x，则距 B 为 $L-x$，对电荷 A、C 分别运用库仑定律列平衡方程得

$$A:\ k\frac{4q^2}{L^2}=k\frac{qQ}{x^2}$$

$$C:\ k\frac{4qQ}{(L-x)^2}=k\frac{qQ}{x^2}$$

解得：$x=\frac{L}{3}$

$$Q=-\frac{4}{9}q$$

即电荷 C 带电荷量为 $-\frac{4}{9}q$，置于 A、B 间，距 A 点 $\frac{L}{3}$ 处，系统可平衡.

思考：若 A 点放置的电荷为 $-q$，则在何处放置何种电荷 C，才能使三个电荷都处于平衡状态？

说明：三个电荷的平衡问题比较复杂，涉及静电力和静力学的问题，近年高考时有考查，这可从一个侧面反映出近年高考对该部分内容要求的提高. 另外学过下一节后，也可以用场强的叠加来解本题，即要使三个电荷都平衡，实质是每一个电荷都要处于另两个电荷电场的合场强为零的位置，以后可用这种方法再做一遍. 通过本题分析可知，若要三个电荷都处于平衡，放置三电荷的特点是："中间小、两头大"，"中间异号、两端同号".

【例 4】 如图 1-2-5，带同种电荷的小球（可视为点电荷）电荷量分别为 q_1 和 q_2，质量分别为 m_1、m_2，当两球用等长的细丝线悬于同一点时，两细线与竖直方向的夹角 $\alpha>\beta$ 的原因是（　　）

A. $m_1>m_2$　　B. $m_1<m_2$

C. $q_1>q_2$　　D. $q_1<q_2$

解析：由于两线等长，且 $\alpha>\beta$，所以 m_1、m_2 连线并不是水平线，画出受力图后，不能用直角三角形求解，应使用正弦定理解答.

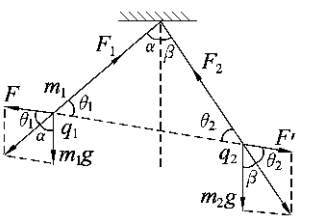


图 1-2-5

对 m_1：$\frac{F}{\sin\alpha}=\frac{m_1g}{\sin\theta_1}$

对 m_2：$\frac{F'}{\sin\beta}=\frac{m_2g}{\sin\theta_2}$

由数学关系知：$\theta_1=\theta_2$

由牛顿第三定律知：$F=F'$

由以上方程联立解得：$m_1\sin\alpha=m_2\sin\beta$

因为 $\alpha>\beta$，所以 $m_1<m_2$，答案为 B.

说明：本题是一道综合题，考察了共点力平衡、静电力大小的关系两个知识点. 题目中虽然没有给出 q_1 和 q_2 的大小关系，无论如何，电荷之间的相互作用力 F、F' 总是大小相等方向相反的. 值得注意的是，尽管两丝线等长，由于 $\alpha>\beta$，两电荷不在同一水平线上，不能应用直角三角形求解.

因为$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{m_2}{m_1}$，可见角 α、β 的正弦比值只与小球的质量有关，与小球电荷量的数值无关. ① 若 $m_1>m_2$，则 $\alpha<\beta$；② 若 $m_1=m_2$，则 $\alpha=\beta$；③ 若 $m_1<m_2$，则 $\alpha>\beta$.

同步练习

巩固型

1. 真空中有两个电荷 Q 和 q，它们之间的静电力为 F，下面哪些做法可以使它们之间的静电力变为 1.5F（　　）

A. 使 Q 的电荷量变为 2Q，q 的电荷量变为 3q，同时使它们的距离变为原来的 2 倍

B. 使每个电荷的电荷量都变为原来的 1.5 倍，距离也变为原来的 1.5 倍

C. 使其中一个电荷的电荷量变为原来的 1.5 倍，距离变为原来的 1.5 倍

D. 保持电荷量不变，使距离变为原来的 2/3

2. 下列说法中不正确的是（　　）

A. 点电荷是指体积很小的电荷

B. 根据 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 知，当两电荷间的距离趋近于零时，静电力将趋于无穷大

C. 若两点电荷的电量 $q_1>q_2$，则 q_1 对 q_2 的静电力大于 q_2 对 q_1 的静电力

D. 用库仑定律计算出的两电荷间的作用力是两者受力的总和

3. 三个相同的金属球，原来有两个小球带电荷量相等，相互间的引力为 F，用第三个不带电的小球，依次接触两个带电球后再移走，则原来两个带电小球之间的相互吸引力变为（　　）

A. F/2　　B. F/4

C. F/8　　D. 3F/8

4. 两个半径为 r 的金属球，球心间相距 2r. 若两球带有等量异种电荷 Q 时，两球间相互作用的静电力大小为 F，则（　　）

A. $F=k\frac{Q^2}{16r^2}$　　B. $F>k\frac{Q^2}{16r^2}$

C. $F<k\frac{Q^2}{16r^2}$　　D. 无法判断

5. 一根放在水平面内的光滑玻璃管，绝缘性能很好，内部有两个完全一样的弹性金属小球 A 和 B，如图 1-2-6 所示，A 和 B 所带电荷量分别为 9Q 和 -Q，两球从图中位置由静止释放，当两球两次经过图中位置时，A 球的瞬时加速度为释放时的_____倍.

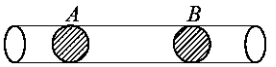


图 1-2-6

6. 两只相同的带电金属小球，它们的大小跟它们间的距离相比可以忽略不计. 已知它们间的静电力大小为 F，若将这两只小球接触一下后再放回原处，这时测得它们间的静电力变大. 可以判定（　　）

A. 这两只金属小球原来带的一定是同种电荷

B. 这两只金属小球原来带的一定是异种电荷

C. 这两只金属小球原来带的可能是异种电荷

D. 这两只金属小球原来带电的电荷量一定相等

7. 在真空中有三个点电荷 A、B、C，位于一条直线上，如图 1-2-7，已知 AC = 20 cm，B 在 AC 的中点. 若它们的带电荷量 $q_A=1.2\times10^{-9}$ C，$q_B=-3\times10^{-9}$ C，$q_C=-1.2\times10^{-9}$ C，则点电荷 B 所受的静电力大小是_____ N，方向_____.

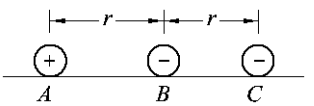


图 1-2-7

提高型

8. 如图 1-2-8 所示，两个可视为质点的金属球 A、B 质量都是 m，带电荷量分别为 +2q 和 -q，用长为 L 的绝缘细线相连，另用绝缘细线系住 A 悬挂于 O 点而保持平衡. 重力加速度为 g，则连接细线 OA 的细线张力是_____，连接 AB 的细线张力是_____.

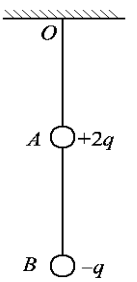


图 1-2-8

9. 如图 1-2-9 所示，q_1、q_2、q_3 分别表示在一条直线上的三个点电荷，已知 q_1 与 q_2 之间的距离为 l_1，q_2 与 q_3 之间的距离为 l_2，且每个电荷都处于平衡状态.

(1) 如果 q_2 为正电荷，则 q_1 为_____电荷，q_2 为_____电荷.

(2) q_1、q_2、q_3 三者电荷量大小之比是_____：_____：_____.

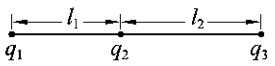


图 1-2-9

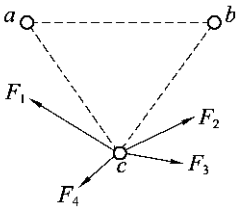


图 1-2-10

10. 如图 1-2-10 所示，三个完全相同的金属小球 a、b、c 位于等边三角形的 3 个顶点上. a 和 c 带正电，b 带负电，a 所带电荷量的大小比 b 的小. 已知 c 受到 a 和 b 的静电力的合力可用图中四条有向线段中的一条来表示，它应是（　　）

A. F_1　　B. F_2

C. F_3　　D. F_4

11. 如图 1-2-11 所示，半径为 R 的绝缘球壳上均匀地带有电荷量为 +Q 的电荷，另一电荷量为 +q 的点电荷放在球心 O 上，由于对称性，点电荷受力为零，现在球壳上 A 处挖去半径为 r（r < R）的一个小圆孔，则此时置于球心的点电荷所受力的大小为_____，方向_____（已知静电力常量为 k）.

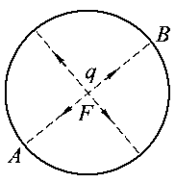


图 1-2-11

12. 带电荷量分别为 q_1、q_2，质量分别为 m_1 和 m_2 的两个带异种电荷的粒子，其中 $q_1 = 2q_2$，$m_1 = 4m_2$，均在真空中，两粒子除相互之间的静电力外，不受其他力作用. 已知两粒子到某固定点的距离皆保持不变，由此可知两粒子一定做_____；该固定点距离带电粒子的距离之比 $L_1 : L_2$ = _____.

13. 如图 1-2-12 所示，真空中两个相同的小球带有等量同种电荷，质量均为 0.1 g，分别用 10 cm 长的绝缘细线悬挂于绝缘天花板的一点，当平衡时 B 球偏离竖直方向 60°，A 竖直悬挂且与墙壁接触. 求：

⑴ 每个小球的带电量.

⑵ 墙壁受到的压力.

⑶ 每条细线的拉力.

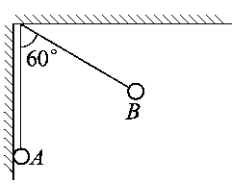


图 1-2-12

14. 根据实验中探究到的结论，受万有引力公式的形式的启发，我们对电荷之间的相互作用力公式的形式进行猜想，获得了成功. 受已有规律的启示，根据实验探究的结论，对新的物理规律进行猜想并获得成功，这样的例子在物理学中并不少见，请你再举出两例.

需要全本请访问 www.ertongbook.com

开阔视野

库仑发现平方反比定律

在库仑定律发现之前，曾有科学家猜想电荷间相互作用力类似于万有引力，甚至用各种实验相当准确地得出了电荷间相互作用力与电荷之间距离的平方成反比的关系.

1769 年，英国医生约翰·鲁滨孙 (J. Robinson) 首次用实验确定两种电荷间的斥力与它们之间距离的 2.06 次方成反比，但这一结果很晚才发表出来.

1772 年，英国物理学家卡文迪许 (H. Cavendish) 通过巧妙的实验，结合理论分析，给出了电力反比于距离的 $\left(2\pm\frac{1}{50}\right)$ 次方的报告 (未公布于世).

后来，英国物理学家麦克斯韦 (J. C. Maxwell) 也用与卡文迪许类似的方法，得出了电力反比于距离的 $\left(2\pm\frac{1}{21\ 600}\right)$ 次方的结果.

库仑 (1736—1806) 是法国工程师和科学家，在土木工程、机械力学和摩擦方面做过许多研究并发表论文. 1785 年开始研究电学，用他发明的扭秤研究带电体之间的相互作用，建立了库仑定律. 库仑制作的扭秤十分精细灵敏，使得他有可能直接测量不同距离下电荷之间微弱的静电力，并且确立了平方反比定律. 库仑定律的发现，使电学进入了定量科学阶段，为静电学奠定了基础. 1881 年第一届国际电学大会决定用库仑作为电荷量单位.

库仑定律是电学的基本规律，其中的二次方反比关系是否精确地成立至关重要. 库仑定律发表以后，科学家们用越来越精确的实验来验证这个二次方反比关系. 1971 年进行的一次实验，所得结果与二次方反比关系的偏差小于 2.7×10^{-16}. 可见，当年库仑设计的扭秤，其测量的精确度是很高的.

3 电场强度

学习目标

1. 知道电荷间的相互作用是通过电场发生的，知道电场是客观存在的一种物质形态.

2. 理解电场强度的概念，掌握电场强度的定义式，会根据电场强度的定义式进行有关的计算. 知道电场强度是矢量及电场强度的方向是怎样规定的.

3. 知道什么是电场线及电场线可以形象地表示电场的方向和强弱.

4. 知道一个点电荷、两个等量点电荷的电场及匀强电场的分布特点.

5. 能根据库仑定律和电场强度的定义式推导点电荷场强的表达式，并能用此公式进行有关的计算.

6. 知道电场的叠加原理，并会应用这个原理进行简单计算.

知识要点

1. 电场

电荷周围存在着电场，电荷之间的相互作用力是通过电场发生的，电场是客观存在的物质.

静止电荷产生的电场叫静电场.

电场的基本性质是对放入其中的电荷有力的作用.

2. 电场强度

⑴ 定义：放入电场中某点的电荷受到的静电力 F 跟它的电荷量 q 的比值，叫做该点的电场强度，简称场强.

⑵ 定义式：$E = F/q$.

⑶ 国际单位：V/m，1 N/C = 1 V/m.

⑷ 物理意义：电场强度是描述电场的力的性质的物理量，与试探电荷受到的静电力的大小无关.

⑸ 电场强度是矢量. 电场中某点的电场强度的方向规定为正电荷在该点所受的静电力的方向. 负电荷在电场中某点所受的静电力的方向跟该点的电场强度的方向相反.

真空中的点电荷的电场强度 $E = k\frac{Q}{r^2}$（推导略）.

半径为 R 的均匀带电球体（或球壳）在外部产生的电场，与一个位于球心的、电荷量相等的点电荷产生的电场相同. 即

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

r 是球心到该点的距离（$r > R$），Q 为整个球体所带电荷量.

3. 电场强度的叠加：如果有几个点电荷同时存在，它们的电场就互相叠加，形成合电场；电场中某点的电场强度为各个点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和.

⑴ 电场强度是矢量，场强的叠加遵循平行四边形定则.

⑵ 电场的可叠加性是电场与其他普通物质的重要区别.

⑶ 放入电场中的导体，达到静电平衡状态后，导体内部的场强处处为零.

4. 静电力：放入电场中的电荷一定受到静电力作用，其大小为 $F = qE$. 正电荷所受静电力的方向与场强方向相同；负电荷所受静电力的方向与场强方向相反.

5. 电场线

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. 电场线有以下特点：

⑴ 在静电场中，电场线起始于正电荷或无限远，终止于无限远或负电荷，不形成闭合曲线.

⑵ 电场线每一点的切线方向都跟该点的场强方向一致.

⑶ 电场线在电场中不相交.

⑷ 电场线密处场强大，电场线疏处场强小.

说明：⑴ 电场线是人们画出来的用来形象地描述电场分布的一簇曲线，实验虽然可以模拟电场线的形状，但电场线不是真实存在的，是一种假想线.

⑵ 电场线不是带电粒子的运动轨迹.

⑶ 熟悉几种电场的电场线，如图 1-3-1 所示.

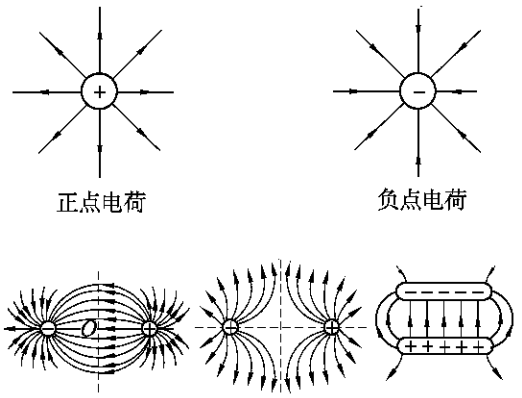


图 1-3-1

6. 匀强电场

电场中各点电场强度的大小相等，方向相同，这个电场就叫做匀强电场. 匀强电场是最简单的同时也是很重要的电场.

相距很近的带有等量异种电荷的一对平行金属板之间的电场，可以看作是匀强电场.

匀强电场的电场线是间隔相等的平行直线.

释疑解惑

1. 怎样理解电场强度？

⑴ 电场强度是描述电场的力的性质的物理量，是由电场本身的性质决定的，与检验电荷的电荷量 q 及其所受静电力 F 无关，所以不能说 $E \propto F$，$E \propto \frac{1}{q}$. 对一个确定的电场，不论电场中是否存在检验电荷，则场中各点的电场强度都是一定的. 引入检验电荷是为了检验电场强度，$E = F/q$ 是从检验电场的角度上定义的场强. 这种用比值定义物理量的方法，在物理学中经常用到（如速度、加速度、电阻、密度等量的定义）.

⑵ 电场强度 E 与静电力 F 不同. 电场强度是描述电场的力的性质的物理量，虽然场强 $E = F/q$，但场强 E 绝不是检验电荷 q 所受的静电力，也不是单位正检验电荷所受的静电力，因为电场强度不是静电力，电场中某点的场强既不与检验电荷的电量 q 有关，也不与此检验电荷所受的静电力 F 有关，所以即使无检验电荷存在，该点的电场强度依然是原有的值.

⑶ 理解电场强度要注意其三性：矢量性、惟一性和叠加性.

2. 公式 $E = F/q$ 与 $E = kQ/r^2$ 有何不同？

公式 $E = F/q$ 是电场中电场强度的定义式，适用于一切电场，公式 $E = kQ/r^2$ 仅适用于真空中点电荷的电场；$E = F/q$ 提供了量度电场强度大小的一种方法，$E = kQ/r^2$ 则提供了真空中点电荷电场的场强计算方法. 在 $E = F/q$ 中 q 是引入的检验电荷，故 E 与 q 无关，而在 $E = kQ/r^2$ 中 Q 是源电荷的电荷量，故 E 与 Q 成正比.

3. 电场线在空间无电荷处为什么不会相交？

在空间任何一点，如果存在电场的话，其方向只可能有一个，因为电荷在该点所受静电力的方向只有一个. 如果在该点有两条电场线相交，相交点就出现了两个电场方向，这当然是不可能的. 实际上电场线在空间也不会相切，如果相切，电场线之间的间距为零，此处的电场强度就会是无穷大，这是不可能的.

4. 电场线是电荷的运动轨迹吗？

电场线有的是直线，有的是曲线，下面分两种情况讨论：

⑴ 电场线是直线

在动力学中我们知道，一个物体做直线运动，必须满足物体所受的合外力的方向与初速度方向在一条直线上或者物体初速度为零而合外力的方向始终在一条直线上. 如果电场线是一条直线，而带电粒子只受静电力（或合外力的方向在电场线上），同时满足粒子的初速度为零（或初速度的方向在电场线上），这种情况下电场线才与粒子的运动轨迹重合.

⑵ 电场线是曲线

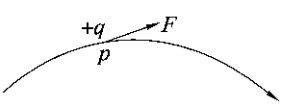


图 1-3-2

如图 1-3-2 所示，将一正点电荷置于 P 点（静止），电荷所受静电力的方向沿该点的切线方向，那么电荷将沿切线方向加速，必然偏离电场线，所以

电场线不能成为粒子的运动轨迹. 如果点电荷有初速度 v_0，不论 v_0 的方向如何，粒子带何种电荷，电场线均不能成为电荷的运动轨迹.

5. 等量同种（或异种）电荷中垂线上的场强分布有什么特点？

⑴ 等量同种电荷

如图 1-3-3 所示，等量同种电荷中垂线上 P 点的场强可由电场的叠加原理求出：

$$E=\frac{2kQ}{a^2}\cos^2\theta\sin\theta$$

由于在 O 点和在无限远处，电场强度最弱（为零），所以，沿着中垂线电场强度 E 由 O 点向两边是先增大而后减小的. 可以证明，当 $\sin\theta=\frac{\sqrt{2}}{3}$ 时，P 点的电场强度达最大值. 电场强度的方向总是沿中垂线而背离 O 点的.

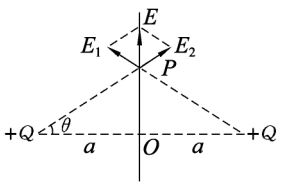


图 1-3-3

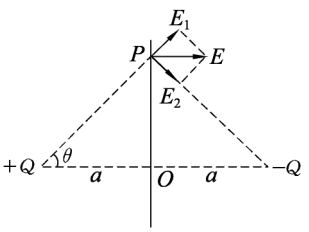


图 1-3-4

⑵ 等量异种电荷

如图 1-3-4 所示，等量异种电荷中垂线上 P 点的场强可由电场的叠加原理求出：

$$E=\frac{2kQ}{a^2}\cos^3\theta$$

可以看出，沿着中垂线电场强度 E 由 O 点向两边是一直减小，在 O 点场强最强，$E_{max}=\frac{2kQ}{a^2}$，电场强度的方向与中垂线垂直（或与两点电荷的连线平行）而指向负电荷的一边.

应用指导

【例 1】 电场中有一点 P，下列说法正确的是（　　）

A. 若放在 P 点电荷的电荷量减半，则 P 点的场强减半

B. 若 P 点没有检验电荷，则 P 点场强为零

C. P 点场强越大，则同一电荷在 P 点所受电场力越大

D. P 点的场强方向为该点的电荷的受力方向

解析：电场中某点的场强是不依赖于检验电荷而客观存在的，但为了知道电场中某点的电场强度，可以把一个检验电荷放入该点，其受到的电场力 F 与自身的电荷量 q 的比值可反映该点场强的大小，但该点的场强是由电场本身决定，与检验电荷的电荷量多少、电性、有无均无关，所以 A、B 错. 由 $E=F/q$ 得 $F=Eq$，当 q 一定时，F 与 E 成正比，所以 C 正确. 电场中某点的场强方向规定为正电荷在该点时受到的电场力方向，与负电荷受力的方向相反，由于 D 选项中未说明该点电荷的正负，故不能确定 P 点的场强方向是否与电荷的受力方向相同. D 错.

答案：C

说明：电场强度是关于电场的重要概念，初学时往往会认为“电荷受力越大场强就越大”. 要明确场强是由电场力 F 与电荷量 q 的比值来定义的，对电场中确定的一点，其场强是一定的，与引入的检验电荷无关.

【例 2】 在图 1-3-5 中实线是匀强电场的电场线，虚线是某一带电粒子通过该电场区域时的运动轨迹，a、b 是轨迹上两点，若带电粒子在运动中只受静电力作用，则（　　）

A. 带电粒子带负电荷

B. 带电粒子带正电荷

C. 带电粒子所受静电力方向与电场线方向相反

D. 带电粒子做匀变速运动

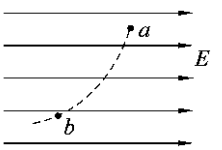


图 1-3-5

解析：由图可以看出，带电粒子通过该电场区域时，不论是由 a 向 b 还是由 b 向 a 运动，其运动轨迹都向左弯曲，表明带电粒子所受静电力方向与电场方向相反，带电粒子应带负电. 因带电粒子在匀强电场中所受的静电力是恒力，所以运动的加速度大小和方向不变，带电粒子做匀变速曲线运动. 正确选项应为 A、C、D.

说明：本题主要是考查静电力和粒子运动的关系，根据运动轨迹的弯曲方向正确确定带电粒子的受力方向是解题的关键.

【例3】 如图1-3-6所示，$Q_1 = 2 \times 10^{-12}$ C，$Q_2 = -4 \times 10^{-12}$ C，Q_1、Q_2相距12 cm，求a、b、c三点的场强大小和方向，其中a为Q_1Q_2连线的中点，b为Q_1左方6 cm处的点，c为Q_2右方6 cm处的点.

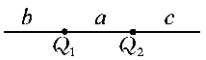


图1-3-6

解析：根据点电荷电场的场强公式可得，点电荷Q_1在a、b、c三点产生的场强分别为

$$E_{a1} = k\frac{Q_1}{r^2} = \frac{9.0 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-12}}{(0.06)^2}\ \text{V/m}$$

$= 5$ V/m，方向向右

同理得 $E_{b1} = 5$ V/m，方向向左

$E_{c1} = 1.25$ V/m，方向向右

点电荷Q_2在a、b、c三点产生的场强分别为

$$E_{a2} = k\frac{Q_2}{r^2} = \frac{9.0 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-12}}{(0.06)^2}\ \text{V/m}$$

$= 10$ V/m，方向向右

同理得 $E_{b2} = 2.5$ V/m，方向向右

$E_{c2} = 10$ V/m，方向向左

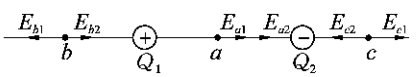


图1-3-7

如图1-3-7所示，a、b、c三点的场强分别为

$E_a = E_{a1} + E_{a2} = 15$ V/m，方向向右

$E_b = E_{b1} - E_{b2} = 2.5$ V/m，方向向左

$E_c = E_{c2} - E_{c1} = 8.75$ V/m，方向向左

说明：电场强度是矢量，电场的叠加应符合平行四边形定则，并不是简单的代数求和，因此在计算过程中要明确其方向. 本题因a、b、c三点都处在两点电荷的连线上，属于同一条直线上的矢量运算，比较简单，但也体现了矢量的求和法则.

【例4】 如图1-3-8所示，半径为r的硬橡胶圆环上，带有均匀分布的负电荷，单位长度的电荷量为q，其圆心O处的合场强为零. 若在圆环顶部截去长度为l（$l \ll r$）的一小段AB，则剩余部分在圆心O产生的（　　）

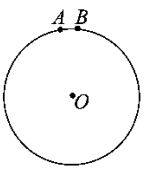


图1-3-8

A. 场强大小为klq/r^2

B. 场强方向为竖直向下

C. 场强方向为竖直向上

D. 场强的大小和方向无法判断

解析：整个橡胶圆环虽然不能视为点电荷，但若将其分割为AA'、A'B'、B'B三部分，如图1-3-9所示，根据对称性可知AA'和B'B'两部分在圆心O处的合场强为零. 因A'B'部分的长度$l \ll r$，故可视为点电荷，A'B'部分产生的电场与整个缺口圆环产生的电场是等效的.

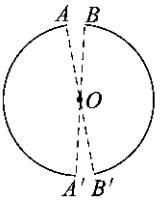


图1-3-9

A'B'部分所带电荷量$Q = lq$，根据点电荷场强计算公式$E = k\frac{Q}{r^2}$，可得A'B'部分在圆心O处产生的场强大小为$E = k\frac{lq}{r^2}$. 又因橡胶环带负电，故圆心O处的场强方向竖直向下. 该题正确选项为A、B.

说明：物理解题方法很重要，本题的解答主要利用了等效的思想. 中学阶段还常用到填补法、对称法……希望同学们不断总结，逐步掌握.

同步练习

巩固型

1. 关于电场强度的定义式$E = F/q$，下列说法中正确的是（　　）

A. 式中F是放入电场中的电荷所受的力，q是放入电场中的电荷的电荷量

B. 电场强度E与静电力F成正比，与放入电荷的电荷量成反比

C. 电场中某一点的电场强度在数值上等于单位电荷在那一点所受的电场力

D. 在库仑定律的表达式$F = kQ_1Q_2/r^2$中，kQ_2/r^2是点电荷Q_2产生的电场在点电荷Q_1所在处的场强大小；而kQ_1/r^2是点电荷Q_1产生的电场在点电荷Q_2所在处的场强大小

2. 关于电场线的说法中，正确的是（　　）

A. 电场线既能描述电场的方向，也能描述电场的强弱

B. 电场线就是带电粒子在电场中运动的轨迹

C. 电场线是人们为了使电场形象化而假设的从正电荷出发到负电荷终止的曲线，它不是实际存在的线

D. 电场线是假想出来的一组曲线（或直线），所以它不能用实验方法来模拟

3. 如图1-3-10所示，AB是电场中的一条电场线，在O点放一可自由移动的负电荷，若该电荷仅

在静电力作用下从静止沿电场线向 B 运动，则下列关于电场的方向及电荷运动情况的说法中正确的为（　　）

A. 电场线方向由 A 指向 B

B. 电场线方向由 B 指向 A

C. 电荷一定做匀加速运动

D. 电荷一定做变加速运动

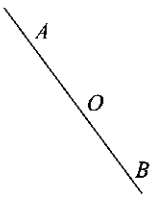


图 1-3-10

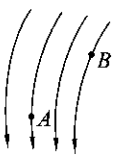


图 1-3-11

4. 图 1-3-11 为静电场的一部分电场线的分布，下列说法中正确的是（　　）

A. 这个电场是负点电荷形成的电场

B. B 点的场强大于 A 点的场强

C. 点电荷 q 在 A 点受到的静电力比在 B 点受到的静电力大

D. 负电荷在 B 点受到的静电力方向沿 B 点电场线的切线方向

5. 真空中有一电场，在电场中的 P 点放一电荷量为 4×10^{-9} C 的电荷，它受到的静电力为 2×10^{-5} N，则 P 点的场强为_____ V/m．把放入电荷的电荷量减少为 2×10^{-9} C，则放入电荷所受的静电力为_____ N．若取走放入的电荷，则 P 点的场强为_____ V/m.

6. 如图 1-3-12 所示，A、B、C 为一直角三角形的三个顶点．∠B = 30°．现在 A、B 两点放置两点电荷 q_A、q_B，测得 C 点场强的方向与 AB 平行，则 q_A 带_____电，q_B 带_____电，q_A：q_B = _____.

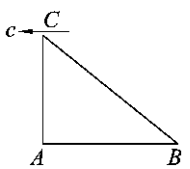


图 1-3-12

7. 如图 1-3-13 所示，一电子沿等量异种电荷的中垂线由 A→O→B 匀速飞过，电子重力不计，则电子所受除电场力外另一个力的大小和方向变化情况是（　　）

A. 先变大后变小，方向水平向左

B. 先变大后变小，方向水平向右

C. 先变小后变大，方向水平向左

D. 先变小后变大，方向水平向右

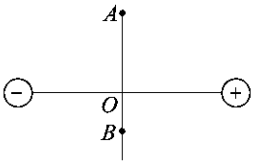


图 1-3-13

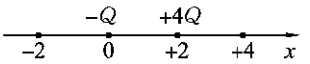


图 1-3-14

8. 如图 1-3-14 所示，在 x 轴坐标原点处放一电荷量为 - Q 的点电荷，在坐标为 2 处放一电荷量为 +4Q 的点电荷，则场强为零处的 x 坐标为（　　）

A. 4　　B. 1

C. - 1　　D. - 2

提高型

9. 如图 1-3-15 所示，一导体球 A 带有正电荷，当只有它存在时，它在空间 P 点产生的电场强度的大小为 E_A．在 A 球球心与 P 点连线上有一带负电的点电荷 B，当只有它存在时，它在空间 P 点产生的电场强度的大小为 E_B．当 A、B 同时存在时，根据场强叠加原理，P 点的场强大小应为（　　）

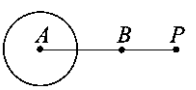


图 1-3-15

A. E_B　　B. $E_A + E_B$

C. $|E_A - E_B|$　　D. 以上说法都不对

10. 如图 1-3-16 所示，竖直绝缘墙壁上的 Q 处有一固定的质点 A，在 Q 的正上方的 P 点用丝线悬挂另一质点 B，A、B 两质点因为带电而相互排斥，致使悬线与竖直方向成 θ 角，由于漏电使 A、B 两质点的带电量逐渐减少，在电荷漏完之前悬线对悬点 P 的拉力大小（　　）

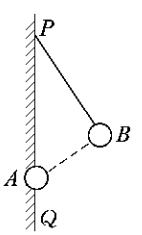


图 1-3-16

A. 变小　　B. 变大

C. 不变　　D. 无法确定

11. 为了确定电场中 P 点处电场强度的大小，用绝缘细线悬挂一个带正电的通草球进行测试，如图 1-3-17 所示，当通草球静止于 P 点时，悬挂通草球的丝线正好水平．若 P 点处的电场方向和竖直方向成 30°角且向右上方，通草球所受重力是 4.0×10^{-3} N，所带电荷量为 1.0×10^{-6} C．测 P 点处的电场强度大小是多少？（取 sin37° = 0.6，cos37° = 0.8）

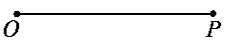


图 1-3-17

需要全本请访问 www.ertongbook.com