

第九章 静电场及其应用

第1节 电荷

课时学习素养目标： 1.知道自然界中的两种电荷及它们之间的相互作用规律;知道电荷量的概念及单位。（物理观念）

2.理解摩擦起电、感应起电和接触起电。（物理观念）

3.理解电荷守恒定律；知道元电荷、比荷的概念，体会电荷量是不连续的。（物理观念、科学思维）

4.知道验电器的两种应用方式及原理。（科学思维）

任务学习一 电荷



图1 摩擦过的琥珀吸引轻小物体

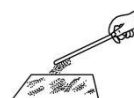


图2 梳子吸引头发 图

3 被丝绸摩擦过的玻璃棒吸引纸屑

上述现象与什么有关？为什么会出现这些现象？

[答案]与电有关；因为摩擦过的物体带了电。

新知梳理

1.两种电荷：自然界只存在两种电荷，正电荷和负电荷。

2.电荷量：电荷的多少，常用 Q 或 q 表示，国际单位制中的单位是库仑，简称库，符号是 C。

3.摩擦起电

当两种物质组成的物体互相摩擦时，电子从一个物体转移到另一个物体，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正电。

4.自由电子和离子

金属中原子的外层电子往往会脱离原子核的束缚而在金属中自由运动，这种电子叫作自由电子，失去自由电子的原子便成为带正电的离子，这就使金属成为导体。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 两个正电荷之间的作用力为斥力，两个负电荷之间的作用力为引力。

(×)

[解析]同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

(2) 摩擦起电的过程就是自由电荷转移的过程。 (√)

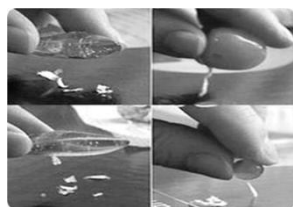
(3) 玻璃棒和其他物体摩擦后不一定带正电。 (√)

2. 原子内既有正电荷又有负电荷，为什么说平常原子不带电？

[答案]因为原子内正、负电荷的数量相同，所以整个原子对外界表现为电中性。

典例精讲

例 1 [2024 安徽合肥一中高二期中]如图所示，摩擦过的琥珀靠近桌面上的碎纸屑时，发现纸屑飞起来，与琥珀接触后又快速地离开，关于这个现象，下列说法正确的是 (D)



A. 摩擦过的琥珀不带电

B. 碎纸屑原来带正电

C. 纸屑飞起来是万有引力的结果

D. 纸屑与琥珀接触后又快速地离开是因为纸屑带上了与琥珀相同的电荷

[解析]摩擦过的琥珀带了电荷，从而吸引轻小物体，当纸屑被吸到琥珀上时，电荷发生转移，从而使原来不带电的纸屑也带上了同种电荷，由于同种电荷互相排斥，纸屑又快速地离开。故选 D。

迁移应用

1. 如图所示，均不带电的橡胶棒与毛皮摩擦后，橡胶棒带负电，毛皮带正电，这是因为 (C)



A. 空气中的正电荷转移到了毛皮上

B. 空气中的负电荷转移到了橡胶棒上

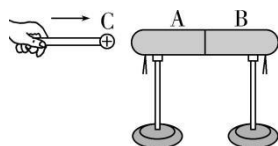
C. 毛皮上的电子转移到了橡胶棒上

D. 橡胶棒上的电子转移到了毛皮上

[解析]均不带电的橡胶棒与毛皮摩擦后，橡胶棒带负电，毛皮带正电，这是因为毛皮上的电子转移到了橡胶棒上而使橡胶棒带负电，毛皮由于失去电子而带正电，故选 C。

任务学习二 静电感应

如图所示，取一对用绝缘柱支撑的导体 A 和 B，使它们彼此接触。起初它们不带电，贴在下部的金属箔片均是闭合的。



(1) 把带正电荷的物体 C 移近导体 A，金属箔片有什么变化？

[答案]C 移近导体 A，A、B 下部的金属箔片都张开；

(2) 这时手持绝缘柱把 A 和 B 分开，然后移去 C，金属箔片如何变化？

[答案]金属箔片仍张开，但张角变小；

(3) 分开后再让 A 和 B 接触，又会看到什么现象？

[答案]A、B 接触后，金属箔片都闭合。

新知梳理

1.静电感应：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种电荷，远离带电体的一端带同种电荷的现象。

2.感应起电：利用静电感应使金属导体带电的过程。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 感应起电是因电荷间的相互作用，使导体内部自由电荷发生移动造成的。

(☒)

(2) 绝缘体也能发生静电感应。

(☐)

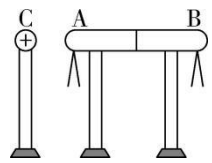
[解析]感应起电不会发生在绝缘体上，因为绝缘体中几乎不存在能自由移动的电荷。

2. 一个导体靠近带电体，导体两端所带电荷有什么特点？

[答案]带等量异种电荷。

典例精讲

例 2 [2024 广东江门高二期中]多选题如图所示，A、B 为两个相互接触的、用绝缘支柱支持的金属导体，起初它们不带电，在它们的下部贴有金属箔片，C 是带正电的小球，把 C 移近导体 A，下列说法中正确的是（ ABD ）



- A. A、B 上的金属箔片都张开
- B. A 的左端带负电，B 的右端带正电
- C. 先把 C 移走，再把 A、B 分开，A、B 上的金属箔片仍然张开
- D. 先把 A、B 分开，然后移去 C，A、B 上的金属箔片仍然张开

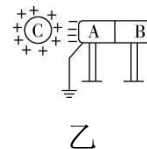
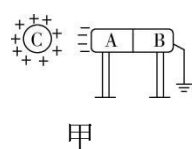
[解析]当 C 移近导体 A 时，根据静电感应特点得出 A 的左端带负电，B 的右端带正电，所以 A、B 上的金属箔片都张开，故 A、B 正确；先把 C 移走，再把 A、B 分开时，A、B 中等量的正负电荷会发生中和，使得 A、B 都不带电，所以金属箔片不会张开，故 C 错误；先把 A、B 分开，再移去 C，A、B 带有等量的异种电荷，A、B 上的金属箔片仍然张开，故 D 正确。

总结归纳

1.三种起电方式对比

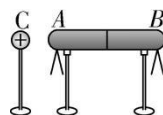
	摩擦起电	接触起电	感应起电
产生条件	两个不同绝缘体摩擦	导体与带电体接触	导体靠近带电体
现象和结果	两物体带上等量异种电荷	导体带上与带电体相同电性的电荷	导体两端出现等量异种电荷，且电性与原带电体“近异远同”
原因	不同物质的原子核对核外电子束缚能力不同而发生电子得失	自由电荷在带电体与导体之间发生转移	导体中的自由电子受带正（负）电物体吸引（排斥）而靠近（远离）
实质	电荷在物体之间或物体内部的转移		

2.静电感应中导体接地问题的处理：凡是遇到接地问题时，该导体与地球可视为一个导体，而且该导体可视为近端，带异种电荷，地球就成为远端，带同种电荷。



迁移应用

2. 多选题如图所示，不带电的枕形导体A、B两端各贴有一对金属箔片。当枕形导体的A端靠近一带正电的导体C时（ BCD ）



- A. A端箔片张开，B端箔片闭合
- B. 用手触摸枕形导体后，A端箔片张开，B端箔片闭合
- C. 用手触摸枕形导体后，将手和C都移走，两对箔片均张开
- D. 选项A中两对箔片分别带异号电荷，选项C中两对箔片带同号电荷

[解析]根据静电感应现象可知，带正电的导体C在枕形导体附近时，A端带负电，B端带正电，两端箔片均张开，选项A错误。用手触摸枕形导体后，B端不再是最远端，人是导体，人脚下的地球是最远端，这样B端不带电，B端箔片闭合，选项B正确。用手触摸枕形导体后，只有A端带负电，将手和C都移走，不再有静电感应，负电荷便会分布在整個枕形导体上，A、B端均带负电，两对箔片均张开，选项C、D正确。

任务学习三 电荷守恒定律 元电荷

新知梳理

1.电荷守恒定律

(1) 内容：电荷既不会创生，也不会消灭，它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；在转移过程中，电荷的总量保持不变。

(2) 另一种表述：一个与外界没有电荷交换的系统，电荷的代数和保持不变。

2.元电荷

(1) 定义：最小的电荷量，用符号 e 表示。

(2) 元电荷的大小: $e = 1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}\text{ C}$, 在计算中通常取 $e = \underline{1.60 \times 10^{-19}}\text{ C}$ 。

(3) 电子的比荷: 电子的电荷量 e 与电子的质量 m_e 之比。其值 $\frac{e}{m_e} = 1.76 \times 10^{11}\text{ C/kg}$ 。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 元电荷是最小的带电体。 ($\times$)

[解析]元电荷是最小的电荷量。

(2) 元电荷也有正负之分, 电子所带电荷就是负的元电荷。 ($\times$)

[解析]元电荷就是最小的电荷量, 没有正负之分。

2. 电荷量能不能连续变化?

[答案]所有带电体的电荷量都是 e 的整数倍, 电荷量不能连续变化。

3. 三种起电方式(摩擦起电、接触起电、感应起电)是否违反电荷守恒定律?

[答案]摩擦起电和接触起电的本质是电子从一个物体转移到另一个物体; 感应起电的本质是电子从物体的一部分转移到另一部分。三种起电过程都没有创造电荷, 其本质都是电子的转移, 都遵循电荷守恒定律。

典例精讲

例 3 有三个相同的金属小球 A、B、C, 其中小球 A 带有 $2.0 \times 10^{-5}\text{ C}$ 的正电荷, 小球 B、C 不带电。现在让小球 C 先与小球 A 接触后分开, 再让小球 B 与小球 A 接触后分开, 最后让小球 B 与小球 C 接触后分开, 最终三个小球带电荷量分别是多少?

[答案]见解析

[解析]A 和 C 接触后分开, 根据平均分配原则, 小球 A、C 带的电荷量均为

$\frac{2.0 \times 10^{-5}}{2}\text{ C} = 1 \times 10^{-5}\text{ C}$, 再让小球 B 与小球 A 接触后分开, 小球 A、B 带的电荷

量均为 $\frac{1.0 \times 10^{-5}}{2}\text{ C} = 5 \times 10^{-6}\text{ C}$, 最后让小球 B 与小球 C 接触后分开, 小球 B、C

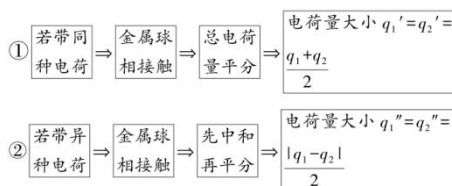
带的电荷量均为 $\frac{1.0 \times 10^{-5} + 5 \times 10^{-6}}{2}\text{ C} = 7.5 \times 10^{-6}\text{ C}$ 。

总结归纳

两金属导体接触后电荷量的分配规律

(1) 当两个导体材料、形状不同时，接触后再分开，只能使两者均带电，但无法确定电荷量的多少。

(2) 两个完全相同的金属球（带电荷量大小分别为 q_1 、 q_2 ）接触后电荷量的分配规律



迁移应用

3. 有三个完全相同的金属球，球 A 带的电荷量为 $2q$ ，球 B 带的电荷量为 $-q$ ，球 C 不带电。现先把球 A 与球 B 接触后分开，再让球 B 与球 C 接触后分开，最后球 B 再次与球 A 接触后分开，则球 B 的电荷量为（ A ）

A. $\frac{3q}{8}$

B. $\frac{q}{4}$

C. $\frac{q}{8}$

D. $\frac{5q}{8}$

[解析] 先把球 A 与球 B 接触后分开，则 A、B 带的电荷量变为 $q_A = q_B = \frac{q}{2}$ ，再让球 B 与球 C 接触后分开，则 B、C 带的电荷量变为 $q_B' = q_C = \frac{q}{4}$ ，最后球 B 再次与球 A 接触后分开，则球 B 带的电荷量为 $q_B'' = \frac{q_A + q_B'}{2} = \frac{\frac{q}{2} + \frac{q}{4}}{2} = \frac{3q}{8}$ ，故选 A。

任务学习四 验电器的两种应用方式及原理

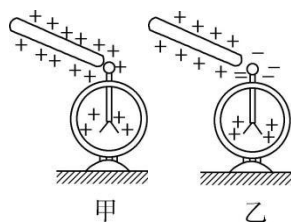
新知梳理

1. 带电体接触验电器

当带电的物体与验电器上面的金属球接触时，有一部分电荷转移到验电器上，与金属杆相连的两个金属箔片带上同种电荷，因相互排斥而张开，如图甲。

2. 带电体靠近验电器

当带电体靠近验电器的金属球时，带电体会使验电器的金属球感应出异种电荷，而金属箔片上会感应出同种电荷（感应起电），两箔片因相互排斥而张开，如图乙。



典例精讲

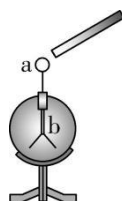
例 4 使带电的金属球靠近不带电的验电器，验电器的箔片张开。下列各图表示验电器上感应电荷的分布情况，正确的是（ B ）



[解析]由静电感应特点可知，近端感应出异种电荷，远端感应出同种电荷，故选 B。

迁移应用

4. 如图，用一根丝绸摩擦过的玻璃棒，靠近不带电验电器的金属小球 a，然后用手指瞬间接触一下验电器小球 a，再拿开玻璃棒，验电器小球 a 和金属箔片 b 的带电情况是（ C ）



- A. 手指接触验电器小球 a 时，a 不带电，b 带正电
- B. 手指接触验电器小球 a 时，a、b 均带正电
- C. 拿开玻璃棒后 a、b 均带负电
- D. 拿开玻璃棒后 a 带负电，b 带正电

[解析]丝绸摩擦过的玻璃棒带正电，手指接触验电器小球 a 时，根据感应起电的特点可知，a 带负电，b 不带电，故 A、B 错误；拿开玻璃棒后，a 上负电荷重新分布，导致 a、b 均带负电，故 C 正确，D 错误。

第 2 节 库仑定律

课时学习素养目标：1.通过库仑定律的探究过程，体会类比在库仑定律的建立过程中发挥的重要作用。（科学探究）

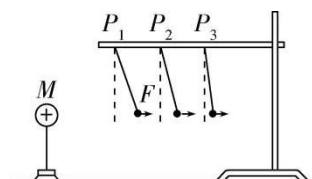
2.知道点电荷的概念和带电体看成点电荷的条件。（物理观念）

3.理解库仑定律的内容、公式及适用条件。（科学思维）

4.理解静电力的概念，会用库仑定律进行有关计算。（科学思维）

任务学习一 电荷之间的作用力

如图所示，一带正电的物体位于 M 处，用绝缘丝线系上带正电的相同的小球，分别挂在 P_1 、 P_2 、 P_3 的位置，可观察到小球在不同位置时丝线偏离竖直方向的角度不同。此实验得出的结论是什么？



[答案]电荷之间作用力的大小与两电荷间的距离有关。

新知梳理

1.库仑定律的内容：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。这种电荷之间的相互作用力叫作静电力或库仑力。

2.点电荷

(1) 定义：把带电体看作带电的点。

(2) 条件：带电体的形状、大小及电荷分布状况对它们之间的作用力的影响可以忽略。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 实验表明电荷之间的作用力一定和电荷间的距离成反比。 (☒)

[解析]点电荷之间的作用力一定和电荷间的距离的二次方成反比。

(2) 点电荷是一个带有电荷的点，它是实际带电体的抽象，是一种理想化模型。 (☒)

(3) 球形带电体一定可以看成点电荷。 (☒)

[解析]带电体能否看成点电荷，取决于带电体的形状、大小及电荷分布状况对它们之间的作用力的影响是否可忽略。

2. 距离较近的两个均匀带电球体之间的作用力大小满足库仑定律吗？

[答案]不满足，当两带电体距离较近时，不能再视为点电荷，不满足库仑定律。

典例精讲

例 1 关于点电荷的说法，正确的是 (☒)

A. 只有体积小的带电体，才能看作点电荷

B. 体积很大的带电体一定不能看作点电荷

C. 点电荷不存在，它只是一种理想化的物理模型

D. 点电荷一定是电荷量很小的电荷

[解析]带电体能否看成点电荷，与带电体的形状、体积大小无关，当带电体的形状、大小及电荷分布状况对所研究问题的影响可以忽略不计时，带电体就可以看成点电荷；反之，则不可以看成点电荷，故 A、B 错误。点电荷只是一种理想化的物理模型，它不是真实存在的，故 C 正确。点电荷不一定是电荷量很小的电荷，故 D 错误。

例 2 [2024 北京顺义牛栏山一中高二月考]关于库仑定律，下列说法正确的是 (D)

A. 库仑定律适用于点电荷，点电荷其实就是体积很小的带电体

B. 根据库仑定律知当两个带电体间的距离趋近于零时，库仑力将趋向无穷大

C. 带电荷量分别为 Q 和 $3Q$ 的点电荷 A、B 相互作用时，B 受到的静电力是 A 受到的静电力的 3 倍

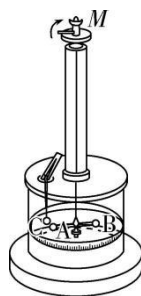
D. 库仑定律适用于在真空中两个静止点电荷之间静电力的计算

[解析]库仑定律的适用条件是真空中静止的点电荷，如果带电体的形状、大小以及电荷分布对研究的问题可以忽略不计时，则可将它看作点电荷，与带电体的体积无关，故 A 错误；当两个带电体间的距离趋近于零时，带电体不能看作点电荷，此时库仑定律不再适用，选项 B 错误；两个电荷间的库仑力是相互作用力，即带电荷量分别为 Q 和 $3Q$ 的点电荷 A、B 相互作用时，B 受到的静电力与 A 受到的静电力等大反向，选项 C 错误；库仑定律适用于在真空中两个静止点电荷之间静电力的计算，选项 D 正确。

任务学习二 库仑的实验

新知梳理

1. 实验装置及原理：



库仑做实验用的装置叫作库仑扭秤。如图所示，细银丝的下端悬挂一根绝缘棒，棒的一端是一个小球 A，另一端通过物体 B 使绝缘棒平衡，悬丝处于自然状态。把另一个带电金属小球 C 插入容器并使它接触 A，从而使 A 与 C 带同种电荷。将 C 和 A 分开，再使 C 靠近 A，A 和 C 之间的作用力使 A 远离。扭转悬丝，使 A 回到初始位置并静止，通过悬丝扭转的角度可以比较力的大小。

2. 实验结论

(1) 改变 A 和 C 之间的距离 r ，得出力 F 与距离 r 的二次方成反比，即 $F \propto \frac{1}{r^2}$ 。

(2) 改变 A 和 C 的带电荷量，得出力 F 与电荷量 q_1 和 q_2 的乘积成正比，即 $F \propto q_1 q_2$ 。

3. 库仑定律表达式： $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ，其中静电力常量 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 。

思考交流

1. 实验中怎么改变小球的电荷量？

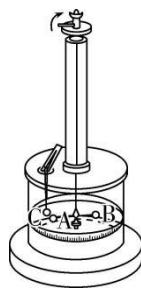
[答案]两个完全相同的金属小球，一个带电，一个不带电，互相接触后，电荷量平分。

2. 实验过程中应用了哪些思想方法？

[答案]控制变量法和放大法。

典例精讲

例 3 如图所示，库仑做实验用的装置叫作库仑扭秤。已知悬丝转动的角度 α 与力 F 的大小成正比。若仅将 A、C 间的距离增为原来的 2 倍，则悬丝转动的角度 α 将减小为原来的 $\frac{1}{4}$ ；若仅将 C 的电荷量增为原来的 2 倍，则悬丝转动的角度 α 将增加为原来的 2 倍。



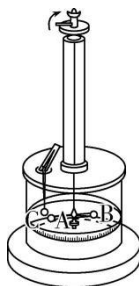
扭秤实验装置

[解析]若仅将 A、C 间的距离增为原来的 2 倍，由于力 F 与 r^2 成反比，故力 F 变为原来的 $\frac{1}{4}$ ，则悬丝转动的角度 α 将减小为原来的 $\frac{1}{4}$ 。若仅将 C 的电荷量增为原来的

2 倍，由于力 F 与 q_1 和 q_2 的乘积成正比，故力 F 变为原来的 2 倍，则悬丝转动的角度 α 将增加为原来的 2 倍。

迁移应用

1. [2024 湖南永州一中高一期末] 如图为库仑扭秤，A、C 为相同的两个小球，当 A 的电荷量为 q ，C 的电荷量为 $-2q$ ，A、C 间的距离为 r 时，A、C 间的库仑力大小为 F ；让 C 与 A 接触后分开，当 C 和 A 的距离为 $2r$ 时，A、C 间库仑力的大小为（ C ）



A. $\frac{F}{8}$

B. $\frac{F}{16}$

C. $\frac{F}{32}$

D. $\frac{F}{64}$

[解析] 当 A、C 间距离为 r 时， $F = k \frac{2q^2}{r^2}$ ，当 A、C 接触分开后各自的电荷量均

为 $-\frac{q}{2}$ ，所以 A、C 间的库仑力大小为 $F' = k \frac{(\frac{q}{2})^2}{(2r)^2} = \frac{1}{32}F$ ，故 C 正确。

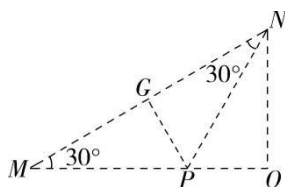
任务学习三 静电力的计算

新知梳理

1. 微观粒子间的万有引力 远小于 库仑力。在研究微观带电粒子的相互作用时，可以把万有引力忽略。
2. 实验表明，两个点电荷之间的作用力 不因 第三个点电荷的存在而改变。
3. 两个或两个以上点电荷对某一个点电荷的作用力，等于各点电荷单独对这个点电荷的作用力的 矢量和。

典例精讲

例 4 如图所示， P 为直角三角形 OMN 的 OM 边上的一点， $\angle NMP = \angle MNP = 30^\circ$ ， PG 垂直于 MN ， M 、 P 两点固定着两个点电荷，固定于 P 点的是电荷量为 Q 的负电荷。已知位于 N 点、带正电的试探电荷受到的库仑力沿 NO 方向，则 M 处点电荷（ B ）

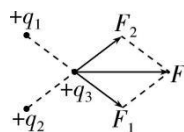


- A. 带正电，电荷量为 $2Q$ B. 带正电，电荷量为 $\sqrt{3}Q$
 C. 带负电，电荷量为 $\sqrt{2}Q$ D. 带负电，电荷量为 $\frac{\sqrt{3}}{3}Q$

[解析]位于 N 点、带正电的试探电荷受到的库仑力沿 NO 方向，则 M 处的点电荷对试探电荷的库仑力是斥力，所以 M 处的点电荷是正电荷，设 O 、 N 间距为 x ，则 P 、 N 间距为 $r_1 = \frac{x}{\cos 30^\circ} = \frac{2}{\sqrt{3}}x$ ， M 、 N 间距为 $r_2 = \frac{x}{\sin 30^\circ} = 2x$ ，且 $\frac{kQq}{r_1^2} \cdot \sin 30^\circ = \frac{kQ_M q}{r_2^2} \cdot \cos 30^\circ$ ，可得 $Q_M = \sqrt{3}Q$ ，故 B 正确，A、C、D 错误。

总结归纳

1. 静电力具有力的一切性质，静电力叠加原理实际就是力叠加原理的一种具体表现。
2. 静电力的合成与分解满足平行四边形定则，如图所示。



迁移应用

2. [2024 广东深圳高二期中] 在边长为 a 的正方形的每个顶点都放置一个电荷量为 $+q$ 的点电荷。如果保持它们的位置不变，每个电荷受到其他三个电荷的库仑力的合力大小为（静电力常量为 k ）（ B ）

- A. $2\sqrt{2}k\frac{q^2}{a^2}$ B. $\frac{(2\sqrt{2}+1)kq^2}{2a^2}$ C. $3k\frac{q^2}{a^2}$ D. $\frac{17kq^2}{2a^2}$

[解析]选定其中一个点电荷为研究对象，其对角线上的点电荷给它的库仑斥力为 $F_1 = k\frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2}$ ，相邻的两个顶点处的电荷给它的库仑斥力大小均为 $F_2 = F_3 = k\frac{q^2}{a^2}$ ，根据平行四边形定则可知，所受的库仑力的合力大小为 $F = k\frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2} + 2k\frac{q^2}{a^2} \cos 45^\circ = \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right)k\frac{q^2}{a^2} = \frac{(2\sqrt{2}+1)kq^2}{2a^2}$ ，故选 B。

专题课 静电力作用下的力学问题

题型一 三个自由点电荷的平衡问题

1. 平衡条件：每个点电荷受到的两个库仑力必须大小相等，方向相反。

2.平衡规律

“三点共线”——三个点电荷分布在同一直线上；

“两同夹异”——正负电荷相互间隔；

“两大夹小”——中间电荷的电荷量最小；

“近小远大”——中间电荷靠近电荷量较小的电荷。

3.只要其中两个点电荷平衡，第三个点电荷一定平衡，只需根据平衡条件对其中的任意两个点电荷列式即可。

例 1 [2024 广东华南师大附中高二期中]多选题如图所示，在一条直线上有两个间隔一定距离的自由点电荷 A 、 B 。 A 带电荷量为 $+9Q$ ， B 带电荷量为 $-Q$ 。引入第三个点电荷 C ，恰好使三个点电荷都处于平衡状态，下列说法正确的是

(BC)



- A. 点电荷 C 应放置在点电荷 A 的左侧 B. 点电荷 C 应放置在点电荷 B 的右侧
C. 点电荷 C 应带正电 D. 点电荷 C 应带负电

[解析] A 所带电荷量比 B 多，若 C 在 A 的左侧， A 、 C 间的作用力总大于 B 、 C 间的作用力，所以点电荷 C 不可能在 A 的左侧，故 A 错误。若 C 在 A 、 B 中间， A 、 B 对 C 的作用力方向相同，点电荷 C 不可能平衡，当 C 位于 B 的右侧时，若 C 带正电，可知 A 、 C 间为斥力， B 、 C 间为引力， C 距 B 更近，三者有可能达到平衡状态；若 C 带负电，则 A 、 C 间为引力， A 、 B 间也为引力，显然三者不可能达到平衡状态，故 B 、 C 正确， D 错误。

迁移应用

1. 如图所示，光滑水平面上有三个带电小球 a 、 b 、 c （均可视为点电荷），它们所带电荷量的绝对值分别为 q_1 、 q_2 、 q_3 ，且 a 带正电，它们在相互之间的静电力作用下均处于平衡状态，则 (C)



- A. b 带正电 B. a 对 b 的静电力方向水平向右
C. 一定存在 $\sqrt{q_1 q_2} + \sqrt{q_2 q_3} = \sqrt{q_1 q_3}$ D. $q_1 > q_3$

[解析] 三个小球受力平衡，则 b 一定带负电， c 一定带正电， A 项错误； a 对 b 的静电力方向水平向左， B 项错误；设 a 、 b 之间的距离为 r_1 ， b 、 c 之间的距

离为 r_2 ，对 a 球有 $k\frac{q_1q_2}{r_1^2} = k\frac{q_1q_3}{(r_1+r_2)^2}$ ，对 c 球有 $k\frac{q_2q_3}{r_2^2} = k\frac{q_1q_3}{(r_1+r_2)^2}$ ，解得 $\sqrt{\frac{q_2}{q_3}} = \frac{r_1}{r_1+r_2}$ ， $\sqrt{\frac{q_2}{q_1}} = \frac{r_2}{r_1+r_2}$ ，两式相加可得 $\sqrt{\frac{q_2}{q_3}} + \sqrt{\frac{q_2}{q_1}} = \frac{r_1}{r_1+r_2} + \frac{r_2}{r_1+r_2} = 1$ ，即 $\sqrt{q_1q_2} + \sqrt{q_2q_3} = \sqrt{q_1q_3}$ ，C 正确；对 b 球，由平衡条件得 $\frac{kq_1q_2}{r_1^2} = \frac{kq_2q_3}{r_2^2}$ ，由题图可知， $r_1 < r_2$ ，故 $q_1 < q_3$ ，D 错误。

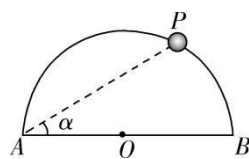
题型二 静电力作用下带电体的平衡

分析静电力作用下带电体的平衡问题时，方法与处理力学中物体平衡的方法一样，具体步骤如下：

- (1) 确定研究对象。如果有几个带电体相互作用时，要依据题意，适当选取“整体法”或“隔离法”。
- (2) 对研究对象进行受力分析，此时多了静电力($F = k\frac{q_1q_2}{r^2}$)。
- (3) 如果带电体受二力或三力平衡，根据平衡条件求解；如果带电体受多力(三个以上的力)平衡，根据正交分解法求解，先建立坐标系，将各力正交分解后，由 $F_{x\text{合}} = 0$ 、 $F_{y\text{合}} = 0$ 列式求解。

注意：对于动态平衡问题也可能用到图解法、相似三角形法、解析法等。

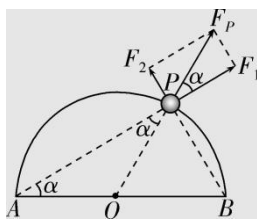
例 2 [2023 山东师大附中期中]如图所示，半径为 R 的光滑绝缘半圆环竖直放置， AB 为半圆的直径。在 A 、 B 两点，分别固定电荷量为 Q_1 、 Q_2 的两个负点电荷。在半圆环的 P 点，一个电荷量为 $-q$ 的小球(可视为点电荷)穿在半圆环上，恰好处于静止状态。已知 PA 与 AB 的夹角为 α ，不计小球重力， Q_1 、 Q_2 的关系应满足 (D)



- A. $\tan^2 \alpha = \frac{Q_1}{Q_2}$ B. $\tan^2 \alpha = \frac{Q_2}{Q_1}$ C. $\tan^3 \alpha = \frac{Q_1}{Q_2}$ D. $\tan^3 \alpha = \frac{Q_2}{Q_1}$

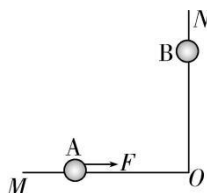
[解析]带电小球所受静电力情况如图所示：

由力的相似三角形法可知 $\frac{F_2}{F_1} = \frac{PB}{AP}$ ，根据库仑定律得， $F_1 = \frac{kQ_1q}{(AP)^2}$ ， $F_2 = \frac{kQ_2q}{(BP)^2}$ ，由数学知识得 $\tan \alpha = \frac{PB}{AP}$ ，联立解得 $\tan^3 \alpha = \frac{Q_2}{Q_1}$ ，故选 D。



迁移应用

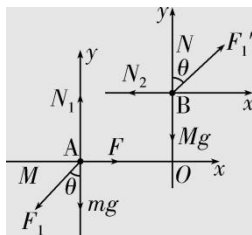
2. 多选题如图所示， MON 是固定的光滑绝缘直角细杆， MO 沿水平方向， NO 沿竖直方向， A 、 B 为两个套在此杆上的带有同种电荷的小球（均可视为点电荷），对 A 施加一指向竖直杆方向的水平推力 F ，使两球平衡后第一次处于静止状态。现用水平推力 F 向竖直杆方向缓慢推动 A 球一小段距离， A 、 B 两小球重新平衡后第二次处于静止状态。则 A 、 B 两小球第二次平衡状态与第一次平衡状态相比较（ **AB** ）



- A. A 球对 MO 杆的压力大小不变 B. A、B 两小球间的距离变大
C. A、B 两小球间的距离变小 D. 水平推力 F 变大

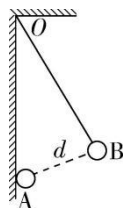
[解析]对 A 球受力分析, 受重力 mg 、推力、支持力 N_1 、静电力 F_1 , 如图, 根据平衡条件, x 方向有 $F = F_1 \sin \theta$, y 方向有 $N_1 = mg + F_1 \cos \theta$, 再对 B 球受力分析, 受重力 Mg 、静电力 F_1' 、支持力 N_2 , 如图, 根据平衡条件, x 方向有 $F_1' \sin \theta = N_2$, y 方向有 $F_1' \cos \theta = Mg$,

得到 $F_1 = F_1' = \frac{Mg}{\cos \theta}$, $N_1 = mg + Mg$, $N_2 = Mg \tan \theta$,

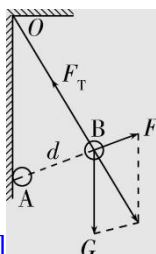


由于第二次平衡时两球连线与竖直方向夹角 θ 变小， $\sin \theta$ 变小， $\cos \theta$ 变大，可知，静电力 F_1 变小， N_2 变小， F 变小，根据库仑定律可知， F_1 变小，两球间距离变大， MO 杆对A球的支持力等于两个球的重力之和， N_1 不变，根据牛顿第三定律知，A球对 MO 杆的压力不变，故A、B正确，C、D错误。

3. 多选题如图所示，已知带电小球 A、B 的电荷量分别为 Q_A 、 Q_B ，A 球固定，B 球用长为 L 的绝缘丝线悬挂在 O 点，静止时 A、B 相距为 d 。若 A 球所带电荷量保持不变，B 球缓慢漏电，不计两小球半径，则下列说法正确的是（ **BD** ）



- A. 丝线对 B 球的拉力逐渐变大
- B. A 球对 B 球的库仑力逐渐变小
- C. 当 A、B 间距离减为 $\frac{d}{3}$ 时，B 球的电荷量减小为原来的 $\frac{1}{9}$
- D. 当 A、B 间距离减为 $\frac{d}{3}$ 时，B 球的电荷量减小为原来的 $\frac{1}{27}$



[解析]

对 B 球受力分析，如图所示。B 受重力、丝线的拉力及库仑力，将重力与库仑力合成，其合力应与拉力大小相等、方向相反，由相似三角形可知， $\frac{G}{OA} = \frac{F_T}{OB} = \frac{F}{d}$ 。B 球缓慢漏电，可知 F 减小，则 d 逐渐减小， F_T 不变，故 A 错误，B 正确；当 A、B 间距离减为 $\frac{d}{3}$ 时，库仑力减小到原来的 $\frac{1}{3}$ ，根据库仑力 $F = k \frac{Q_A Q_B}{r^2}$ 可知，B 球的电荷量减小为原来的 $\frac{1}{27}$ ，故 C 错误，D 正确。

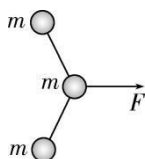
题型三 静电力作用下的非平衡问题

解题思路：

- (1) 明确研究对象，适当选取“整体法”或“隔离法”；
- (2) 受力分析；
- (3) 根据其受力与所处的状态，合理选择牛顿第二定律、运动学公式及圆周运动知识等相应的规律解题。

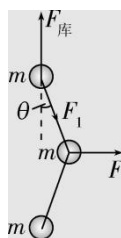
例 3 [2024 山东青岛高二期末] 如图所示，不可伸长的轻绳长为 L ，在绳两端和中间各固定质量均为 m 的相同绝缘小球，其中两外侧小球带有同种性质的电荷。初始时三个小球排成一条直线静置于光滑水平面上，绳子呈伸直状态。现用大

小为 F 、方向与三球连线垂直的水平恒力作用在中间小球上，当两外侧小球间距稳定在 $0.6L$ 时，两小球间的库仑力大小为（ C ）



- A. $\frac{F}{2}$ B. $\frac{3F}{2}$ C. $\frac{F}{4}$ D. $\frac{3F}{4}$

[解析]根据题意，对整体，由牛顿第二定律有 $F = 3ma$ ，对外侧1个小球受力分析，如图所示，由几何关系有 $\cos \theta = \frac{0.3L}{0.5L} = 0.6$ ， $\sin \theta = 0.8$ ，竖直方向上，由平衡条件有 $F_1 \cos \theta = F_{\text{库}}$ ，水平方向上由牛顿第二定律有 $F_1 \sin \theta = ma$ ，联立解得 $F_{\text{库}} = \frac{F}{4}$ ，C项正确。



迁移应用

4. [2024 山东青岛期末]一个质量为 m 、电荷量为 e 的电子在库仑力的作用下，以速率 v 绕位于圆心、电荷量为 Q 的原子核做匀速圆周运动，在一段时间内其速度方向改变了 θ 弧度，已知静电力常量为 k 。

(1) 求电子在这一段时间内走过的弧长 s ；

[答案] $\frac{kQe\theta}{mv^2}$

[解析]电子受到的库仑力提供向心力，

$$k \frac{Qe}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

一段时间内走过的弧长为 $s = \theta r$

$$\text{联立可得 } s = \frac{kQe\theta}{mv^2}$$

(2) 求电子绕原子核运动一周所用时间 T 。

[答案] $\frac{2\pi kQe}{mv^3}$

[解析]电子绕原子核运动一周所用时间为

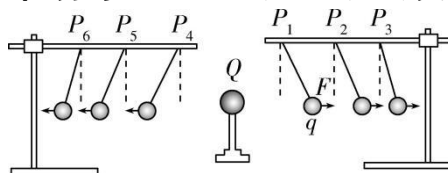
$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi kQe}{mv^3}$$

第3节 电场 电场强度

第1课时 电场 电场强度及其叠加

- 课时学习素养目标：1.知道电场的概念及电场的基本性质。（物理观念）
- 2.理解电场强度及其定义式，并能用该公式进行有关计算。（物理观念、科学思维）
- 3.掌握点电荷的电场和电场强度的叠加。（物理观念、科学思维）

任务学习一 电场 电场强度



如图所示，把同一点电荷 q 放在电场中的不同位置，细绳的偏移方向不同，细绳与竖直方向的夹角也不同。

（1） Q 与 q 没有直接接触，是怎么发生相互作用的？

[答案]通过一种看不见、摸不着的特殊物质——“场”发生相互作用。

（2）同一个电荷放在电场中的不同位置所受静电力不同，说明了什么？

[答案]说明不同位置场的强弱、方向不同。

新知梳理

1. 电场

- （1）电荷在其周围产生电场，电场是物质存在的一种形式。
- （2）基本性质：电场对放入其中的电荷有力的作用。
- （3）电荷间的相互作用：



电荷之间是通过电场发生相互作用的。

（4）静电场：静止电荷产生的电场。

2. 电场强度

（1）两种电荷

- ①试探电荷：研究电场性质时，放在电场中电荷量和体积都很小的点电荷。
- ②场源电荷：激发电场的带电体所带的电荷。

（2）电场强度

①定义：试探电荷所受到的静电力与它的电荷量之比。

②定义式： $E = \frac{F}{q}$ 。（适用于一切电场）

③单位：牛每库，符号为 **N/C**。

④方向：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。与负电荷在该点所受静电力的方向相反。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

（1）电场看不见，摸不着，因此电场实际不存在。 （ × ）

[解析]电场是客观存在的一种特殊物质。

（2）用正、负两种试探电荷，检验电场中某点场强方向时，由于受力方向相反，则得到同一点场强有两个方向。 （ × ）

[解析]电场中某点的场强方向是唯一的，与正电荷受力方向相同，与负电荷受力方向相反。

（3）根据电场强度的定义式 $E = \frac{F}{q}$ 可知， E 与 F 成正比，与 q 成反比。 （ × ）

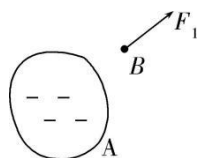
[解析]公式 $E = \frac{F}{q}$ 是电场强度的定义式，电场强度由电场本身决定，与 F 、 q 无关。

2. 在电场中某位置放置不同的试探电荷，该处的电场强度变化吗？

[答案]不变，电场中某点的电场强度的大小和方向都是一定的，由电场本身所决定，与试探电荷无关。

典例精讲

例 1 如图所示，在一带负电的导体 A 附近有一点 B，如在 B 处放置一个 $q_1 = -2.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ 的电荷，测出其受到的静电力 F_1 大小为 $4.0 \times 10^{-6} \text{ N}$ ，方向如图，则：



（1）B 处场强多大？方向如何？

[答案]200 N/C 方向与 F_1 方向相反

[解析]由场强公式可得 $E_B = \frac{F_1}{|q_1|} = \frac{4.0 \times 10^{-6}}{2.0 \times 10^{-8}} \text{ N/C} = 200 \text{ N/C}$ ，因为是负电荷，所以场强方向与 F_1 方向相反。

(2) 如果换成一个 $q_2 = +4.0 \times 10^{-7} \text{ C}$ 的电荷放在 B 点, 其受力多大? 此时 B 处场强多大?

[答案] $8.0 \times 10^{-5} \text{ N}$ 200 N/C

[解析]电荷量为 q_2 的电荷在 B 点所受静电力 $F_2 = q_2 E_B = 4.0 \times 10^{-7} \times 200 \text{ N} = 8.0 \times 10^{-5} \text{ N}$, 方向与场强方向相同, 也就是与 F_1 方向相反。

此时 B 处场强仍为 200 N/C , 方向与 F_1 方向相反。

(3) 如果将 B 处电荷拿走, B 处的场强是多大?

[答案] 200 N/C

[解析]某点的场强大小与有无试探电荷无关, 故将 B 处电荷拿走, B 点场强大小仍为 200 N/C 。

迁移应用

1. [2024 江苏扬州中学高一月考]下列说法中正确的是 (**D**)

A. 由公式 $E = \frac{F}{q}$ 可知, E 与 F 成正比

B. E 的方向跟试探电荷的正负有关

C. 电场中某点若未引入试探电荷, 则该点 $E = 0$

D. 电荷在电场中某处所受的静电力为零, 则该处 $E = 0$

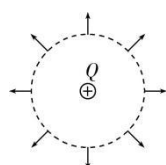
[解析]电场强度是电场本身的性质, 与是否放入试探电荷无关, 其大小可以用试探电荷所受的静电力与试探电荷电荷量的比值计算, 故 **D** 正确。

任务学习二 点电荷的电场

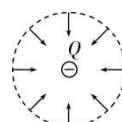
新知梳理

1. 电场强度公式: $E = k \frac{Q}{r^2}$ 。

2. 方向: 当 Q 为正电荷时, 电场强度的方向沿半径向外 (如图甲); 当 Q 为负电荷时, 电场强度的方向沿半径向内 (如图乙)。



甲



乙

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 由 $E = \frac{kQ}{r^2}$ 知, 在以 Q 为球心、 r 为半径的球面上, 各处场强相同。 (×)

[解析]球面上各点的电场强度大小相等, 但方向不同, 因此各点场强不相同。

(2) 公式 $E = \frac{F}{q}$ 与 $E = k\frac{Q}{r^2}$ 中 q 与 Q 的含义不同。 (√)

2. 在 $E = \frac{F}{q}$ 中场强大小 E 与 q 无关, 那么在 $E = k\frac{Q}{r^2}$ 中场强大小与 Q 是否有关呢?

[答案]有关。 $E = k\frac{Q}{r^2}$ 是点电荷电场强度的决定式, 点电荷周围空间的电场强度 E 与 Q 成正比, 与 r^2 成反比。

典例精讲

例 2 在一个正点电荷 Q 的电场中, 让 x 轴与它的一条电场线重合, 坐标轴上 A 、 B 两点的坐标分别为 0.6 m 和 1.0 m (图甲)。在 A 、 B 两点分别放置试探电荷, 其受到的静电力跟试探电荷的电荷量的关系如图乙中直线 a 、 b 所示。求:



(1) A 点和 B 点的电场强度的大小和方向;

[答案] $E_A = 10 \text{ N/C}$, $E_B = 2.5 \text{ N/C}$, 方向均沿 x 轴正方向

[解析]根据场强的定义式 $E = \frac{F}{q}$

由图像可知, $E_A = 10 \text{ N/C}$, $E_B = 2.5 \text{ N/C}$

由点电荷的电场特点可知, A 、 B 两点电场强度方向均沿 x 轴正方向。

(2) 点电荷 Q 所在位置的坐标。

[答案]0.2 m

[解析]设电荷 Q 在 A 点左侧距 A 点 x_0 处, 则

$$A \text{ 处电场强度为 } E_A = \frac{kQ}{x_0^2}$$

$$B \text{ 处电场强度为 } E_B = \frac{kQ}{(x_0 + 0.4)^2}$$

联立解得 $x_0 = 0.4 \text{ m}$

则 Q 所在位置的坐标为 0.2 m。

总结归纳

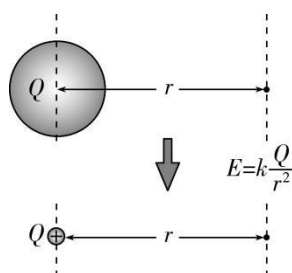
$$E = \frac{F}{q} \text{ 与 } E = k \frac{Q}{r^2} \text{ 的比较}$$

	$E = \frac{F}{q}$	$E = k \frac{Q}{r^2}$
本质区别	定义式	决定式
适用范围	一切电场	真空中点电荷的电场
Q 或 q 的意义	q 表示引入电场的试探电荷的电荷量	Q 表示产生电场的点电荷（场源电荷）的电荷量
关系	E 用 F 与 q 的比值来表示，但 E 的大小与 F 、 q 的大小无关	E 不仅用 Q 、 r 来表示，且 $E \propto Q$ ， $E \propto \frac{1}{r^2}$

任务学习三 电场强度的叠加

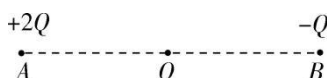
新知梳理

1. 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。
2. 如图所示，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。



典例精讲

例 3 如图所示， A 、 B 和 O 为真空中同一直线上的三点， O 点为 AB 的中点， A 、 B 之间的距离为 $2d$ ，若在 A 、 B 点分别放电荷量为 $+2Q$ 、 $-Q$ ($Q > 0$)的点电荷，已知静电力常量为 k ，则 O 点处的电场强度大小为（ **B** ）



- A. $\frac{kQ}{d^2}$ B. $\frac{3kQ}{d^2}$ C. $\frac{3kQ}{2d^2}$ D. $\frac{5kQ}{4d^2}$

[解析] A 、 B 两处电荷在 O 点产生场强方向均向右，根据场强叠加原理，依题意有 $E = k \frac{2Q}{d^2} + k \frac{Q}{d^2} = k \frac{3Q}{d^2}$ ，方向向右，故 A 、 C 、 D 错误， B 正确。

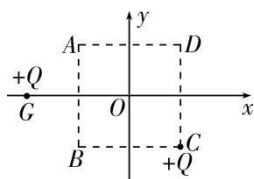
总结归纳

合电场强度的求解法则

电场强度是矢量，对于同一直线上电场强度的合成，可先规定正方向，进而把矢量运算转化成代数运算，对于互成角度的电场强度的叠加，合成时遵循平行四边形定则。

迁移应用

2. [2024 辽宁辽阳高二期末] 如图所示，边长为 $2a$ 的正方形 $ABCD$ 的中心在直角坐标系 xOy 的原点 O ， AD 平行于 x 轴，两电荷量均为 $+Q$ 的点电荷分别固定在 G 点 $(-2a, 0)$ 和 C 点 $(a, -a)$ 。已知静电力常量为 k ， A 点的电场强度大小为 (D)



A. $\frac{5kQ}{8a^2}$

B. $\frac{5kQ}{4a^2}$

C. $\frac{\sqrt{5}kQ}{4a^2}$

D. $\frac{\sqrt{17}kQ}{8a^2}$

[解析] 由几何关系得， G 点和 A 点之间的距离 $r_1 = \sqrt{a^2 + a^2} = \sqrt{2}a$ ， C 点和 A 点之间的距离 $r_2 = \sqrt{(2a)^2 + (2a)^2} = 2\sqrt{2}a$ ， G 点处点电荷在 A 点产生的电场强度大小 $E_1 = k\frac{Q}{r_1^2} = k\frac{Q}{(\sqrt{2}a)^2} = \frac{kQ}{2a^2}$ ， C 点处点电荷在 A 点产生的电场强度大小 $E_2 = k\frac{Q}{r_2^2} = k\frac{Q}{(2\sqrt{2}a)^2} = \frac{kQ}{8a^2}$ ，又 E_1 和 E_2 方向垂直， A 点的电场强度大小为 $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{\sqrt{17}kQ}{8a^2}$ ，故选 D。

第 2 课时 电场线 匀强电场

- 课时学习素养目标：
1. 知道什么是电场线并掌握电场线的特点。（物理观念）
 2. 知道孤立点电荷、等量同种（异种）点电荷电场线的分布特点。（物理观念）
 3. 掌握两个等量同种（异种）点电荷连线及中垂线上的电场变化规律。（科学思维）
 4. 知道什么是匀强电场及匀强电场的特点。（物理观念）

任务学习一 电场线

新知梳理

1. 英国物理学家法拉第首先用电场线描述电场。
2. 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。
3. 电场线的特点

- (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。
- (3) 在同一幅图中，可以用电场线的疏密比较各点的电场强度的大小。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。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

- (1) 电场和电场线都看不见、摸不着，所以它们在实际中都不存在。

(×)

[解析]电场是客观存在的，电场线是人为画的，实际上不存在。

- (2) 电场线既可以描述电场的强弱，也可以描述电场的方向。(√)

2. 电场线是为了形象研究电场，人为画出的一些线，在两条电场线之间的空白区域有电场吗？

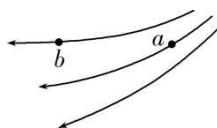
[答案]有电场。

3. 电场线为什么不相交？

[答案]这是因为电场中任意一点的电场强度方向是唯一的，不可能有两个方向。

典例精讲

例 1 如图所示是电场中某区域的电场线分布， a 、 b 是电场中的两点，则 (A)



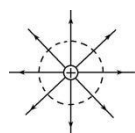
- A. a 点的电场强度较大
- B. 同一点电荷放在 a 点受到的静电力比放在 b 点时受到的静电力小
- C. 负电荷在 b 点所受静电力向左
- D. 电荷在 a 点受到的静电力方向必定与该点场强方向一致

[解析] a 点处的电场线比 b 点处的密，因此 a 点的电场强度比 b 点的大，同一点电荷在 a 点受到的静电力也大，故 A 正确，B 错误；负电荷在 b 点所受静电力向右，故 C 错误；若是负电荷，则在 a 点所受静电力方向和电场强度方向相反，因此电荷在 a 点受到的静电力方向不一定和电场强度方向相同，故 D 错误。

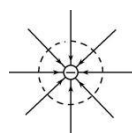
任务学习二 点电荷及两个等量点电荷的电场线

新知梳理

1. 点电荷的电场线



甲



乙

(1) 点电荷的电场线呈辐射状，以点电荷为球心的球面上，电场强度大小相等，但方向不同。

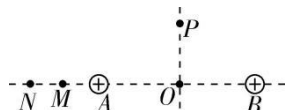
(2) 同一条电场线上，电场强度方向相同，但大小不等。

2.两个等量点电荷的电场特征

比较项目	等量异种点电荷	等量同种点电荷
电场线分布图		
连线上中点 O 处的场强	最小但不为零，指向负电荷一侧	为零
连线上的场强大小（从左到右）	先变小，再变大	先变小，再变大
沿中垂线由 O 点向外的场强大小	O 点最大，向外逐渐减小	O 点最小，向外先变大后变小

典例精讲

例 2 [2024 北京通州高二期末] 如图所示，在 A 、 B 两点分别放置两个电荷量相等的正点电荷， M 、 N 点位于 A 、 B 连线的延长线上， O 点为 A 、 B 连线的中点， P 点位于 A 、 B 连线的中垂线上。关于 O 、 P 、 M 、 N 四点电场强度 E 的判断，正确的是（ C ）



A. $E_N < E_O$

B. $E_M < E_O$

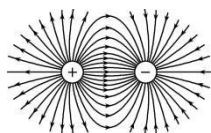
C. $E_O < E_P$

D. $E_M < E_N$

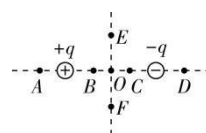
[解析] 等量同种点电荷连线中点的电场强度为 0， M 、 N 、 P 三点的电场强度大于 O 点的电场强度，故 A、B 错误，C 正确；两电荷在 M 、 N 两点的场强方向均向左，且 $E_M > E_N$ ，故 D 错误。

迁移应用

1. 多选题用电场线能很直观、很方便地比较电场中各点场强的强弱，图甲是等量异种点电荷形成电场的电场线，图乙是场中的一些点： O 是电荷连线的中点， E 、 F 是连线中垂线上关于 O 点对称的两点， B 、 C 和 A 、 D 也关于 O 点对称，则
(AC)



甲



乙

- A. B 、 C 两点场强大小相等，方向相同 B. A 、 D 两点场强大小相等，方向相反
C. E 、 O 、 F 三点比较， O 点场强最大 D. B 、 O 、 C 三点比较， O 点场强最大

[解析]根据等量异种点电荷电场的分布情况可知， B 、 C 两点对称，场强大小相等，方向相同，选项 A 正确；根据对称性可知， A 、 D 两点场强大小相同，方向相同，选项 B 错误； E 、 O 、 F 三点中 O 点场强最大，选项 C 正确； B 、 O 、 C 三点比较， O 点场强最小，选项 D 错误。

任务学习三 匀强电场

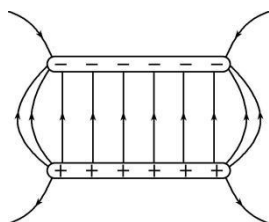
新知梳理

1.概念：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。

2.特点

(1) 电场方向处处相同，电场线是间隔相等的平行直线。(2) 场强大小处处相等，电场线的疏密程度相同。

3.实例：相距很近的一对带等量异种电荷的平行金属板，它们之间的电场除边缘外，可以看作匀强电场。



思考交流

判断下列说法正误。

- (1) 匀强电场的电场线可以是间距相等的曲线。 (×)

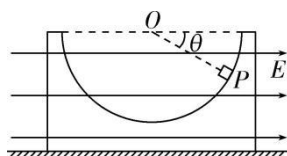
[解析]匀强电场中各点的场强不仅仅大小相等，而且方向相同，不是曲线。

(2) 同一个电荷在匀强电场中的不同位置受力不同。 (×)

[解析]匀强电场中各点的电场强度大小相等、方向相同，同一个电荷在匀强电场中的不同位置受力相同。

典例精讲

例 3 如图所示，内壁光滑绝缘的半球形容器固定在水平面上， O 为球心，一质量为 m 、带电荷量为 q 的小滑块，静止于 P 点，整个装置处于水平向右的匀强电场 E 中。设滑块所受支持力为 F_N ， OP 与水平方向的夹角为 θ ，重力加速度为 g 。下列关系正确的是 (A)



- A. $qE = \frac{mg}{\tan \theta}$ B. $qE = mg \tan \theta$ C. $F_N = \frac{mg}{\tan \theta}$ D. $F_N = mg \tan \theta$

[解析]小滑块受重力、静电力和支持力作用，小滑块处于平衡状态，根据力的合成与分解，有 $qE = \frac{mg}{\tan \theta}$ ， $F_N = \frac{mg}{\sin \theta}$ ，故选 A。

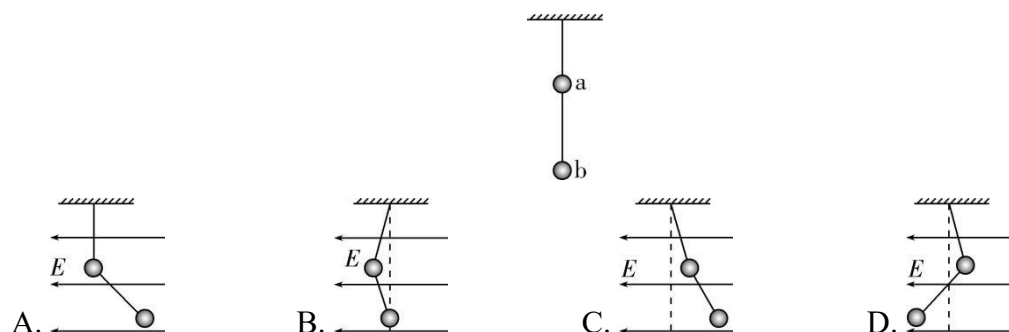
总结归纳

电场中的平衡问题的处理

带电体在多个力作用下处于平衡状态，物体所受合外力为零，因此可用共点力平衡的知识分析，常用的方法有正交分解法、合成法、整体法与隔离法等。

迁移应用

2. [2024 广东江门一中高二月考] 如图所示，有两个电荷量分别为 $+q$ 和 $-q$ 、质量均为 m 的带电小球 a 和 b，用两根绝缘细线悬挂起来，现加一个水平向左的匀强电场 E ，当小球处于平衡状态时的大致位置是 (A)



[解析]以 a、b 整体为研究对象，整体电荷量相当于 0，水平方向不受静电力作用，根据平衡条件可得上面的细线竖直。以小球 b 为研究对象，b 带负电，受水平向右的静电力，根据平衡条件可知下面的细线向右倾斜，故选 A。

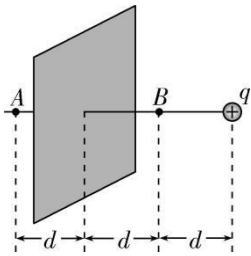
专题课 静电力的性质

题型一 非点电荷电场强度的求解

非点电荷电场强度的三种计算方法

对称法	根据某些物理现象、物理规律、物理过程或几何图形的对称性进行解题。在电场中，当电荷的分布具有对称性时，应用对称性解题可将复杂问题大大简化
微元法	当一个带电体的体积较大，不能视为点电荷时，求这个带电体产生的电场在某处的电场强度，可用微元法的思想把带电体分成很多小块，每块都可以看成点电荷，用点电荷场强叠加的方法计算
补偿法	将有缺口的带电圆环、球面补全为完整的圆环或球面，根据作差法求解，从而将问题化难为易

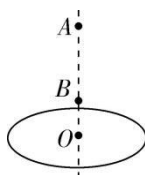
例 1 [2024 安徽宣城高二期末]如图，电荷量为 $+q$ 的点电荷与均匀带电薄板相距 $2d$ ，点电荷到带电薄板的垂线通过板的几何中心，A、B为垂线的两点，到薄板的距离均为 d 。已知图中A点的电场强度为 $\frac{5kq}{9d^2}$ （ k 为静电力常量），方向沿AB向右，则图中B点的电场强度（ A ）



- A. 大小为 $\frac{5kq}{3d^2}$ ，方向沿BA向左 B. 大小为 $\frac{5kq}{9d^2}$ ，方向沿AB向右
C. 大小为 $\frac{4kq}{9d^2}$ ，方向沿BA向左 D. 大小为 $\frac{kq}{3d^2}$ ，方向沿AB向右

[解析]点电荷在 A 点的电场强度大小为 $E_1 = \frac{kq}{(3d)^2}$ ，方向沿BA向左，设带电薄板在 A 点的场强大小为 E_2 ，方向沿AB向右，可得，解得 $E_2 = \frac{2kq}{3d^2}$ ，由对称性可知，薄板在 B 点的电场强度大小为 E_2 ，方向沿BA向左，则 B 点的电场强度大小为 $E_B = \frac{kq}{d^2} + \frac{2kq}{3d^2} = \frac{5kq}{3d^2}$ ，方向沿BA向左，故选 A。

例 2 [2024 山东烟台高二期末]如图所示，一电荷均匀分布的带正电的圆环，其半径为 R ，在垂直于圆环且过圆心 O 的轴线上有 A 、 B 两个点， $AO = 3BO = \sqrt{3}R$ 。 A 、 B 两点的电场强度大小之比为（ B ）



- A. $1:\sqrt{2}$ B. $1:\sqrt{3}$ C. $1:2$ D. $\sqrt{2}:1$

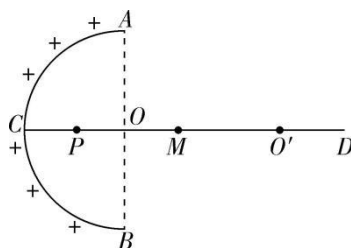
[解析]设圆环的电荷量为 Q ，将圆环分成 n 等份，则每等份的电荷量为 $q = \frac{Q}{n}$ ，每等份可看成点电荷，每个点电荷在 A 点处产生的电场强度大小为 $E_1 =$

$\frac{kq}{R^2 + (\sqrt{3}R)^2} = \frac{kq}{4R^2}$ ，该场强方向与 AO 的夹角为 30° ，根据场强的叠加原理知， A 点

处的电场强度大小为 $E_A = nE_1 \cos 30^\circ = n \frac{kq}{4R^2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}kQ}{8R^2}$ ，同理可得， B 点处的

电场强度大小为 $E_B = \frac{3kQ}{8R^2}$ ， $\frac{E_A}{E_B} = \frac{1}{\sqrt{3}}$ ，故选 B。

例 3 [2024 吉林长春高二期末]如图所示，正电荷 q 均匀分布在半球面 ACB 上，球面半径为 R ， CD 为通过半球顶点 C 和球心 O 的轴线。 P 、 M 为 CD 轴线上的两点，距球心 O 的距离均为 $\frac{R}{2}$ ，在 M 右侧轴线上 O' 点固定正点电荷 Q ，点 O' 、 M 间距离为 R ，已知 P 点的场强为零，静电力常量为 k ，若带电均匀的封闭球壳内部电场强度处处为零，则 M 点的场强大小为（ C ）



- A. 0 B. $\frac{3kq}{4R^2}$ C. $\frac{3kQ}{4R^2}$ D. $\frac{kQ}{R^2} - \frac{3kq}{4R^2}$

[解析]设另一半球面带电荷量也为 q ，由对称性可知，半球面 ACB 上的电荷 q 在 P 点的场强与另一半球面上的电荷在 M 点形成的场强大小相等、方向相反，由带电均匀的封闭球壳内部电场强度处处为零可知，半球面 ACB 上的电荷 q 在 M 点的场强与在 P 点的场强相同。由于 P 点场强为零，故半球面 ACB 上的电荷 q 在 P 点的场强与正点电荷 Q 在 P 点的场强大小相等、方向相反，所以半球面 ACB 上的电荷 q 在 M 点的场强为 $E_1 = \frac{kQ}{(2R)^2}$ （方向向右），正点电荷 Q 在 M 点的场强为 $E_2 = \frac{kQ}{R^2}$

(方向向左)，则M点场强为 $E = E_2 - E_1 = \frac{3kQ}{4R^2}$ (方向向左)，C正确，A、B、

D错误。

题型二 电场线与带电粒子运动轨迹的综合问题

1.带电粒子只在静电力作用下，做曲线运动时，静电力指向轨迹的凹侧，速度沿轨迹的切线方向。

2.分析方法

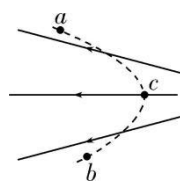
(1) 由轨迹的弯曲情况结合电场线确定静电力的方向。

(2) 由静电力和电场线的方向确定粒子的所带电荷的正负。

(3) 由电场线的疏密判断静电力的大小，再根据牛顿第二定律，判断带电粒子加速度的大小。

(4) 根据加速度与速度的夹角，判断带电粒子速度的变化情况。

例4 [2024 山东师大附中高二期末]多选题如图所示，实线为某一点电荷的电场线，虚线为某带电粒子只在电场力作用下的运动轨迹， a 、 b 、 c 是轨迹上的三个点，则 (AC)

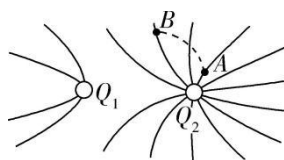


- A. 粒子一定带正电
- B. 粒子一定是从 a 点运动到 b 点
- C. 粒子在 c 点的加速度一定大于在 b 点的加速度
- D. 该电场可能是由负点电荷产生的

[解析]由合力的方向指向运动轨迹的凹侧，可知粒子受力方向与电场方向一致，所以带正电，故A正确；只知道曲线运动轨迹不能判断运动方向，所以粒子运动方向无法确定，故B错误；由于 c 点电场线比 b 点电场线密，根据 $a = \frac{F}{m} = \frac{Eq}{m}$ ，可知 c 点场强大，粒子在 c 点所受静电力大，加速度大，故C正确；由电场方向可知，该电场是由正点电荷产生的，故D错误。

迁移应用

[2024 辽宁营口高二期末]如图所示，实线为两个点电荷 Q_1 、 Q_2 产生的电场的电场线，虚线为带正电的粒子仅在静电力作用下从A点运动到B点的运动轨迹，则下列判断正确的是 (C)

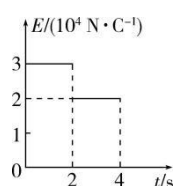


- A. 点电荷 Q_1 、 Q_2 均为正电荷
- B. Q_1 的电荷量大于 Q_2 的电荷量
- C. 该粒子在A点的加速度大于在B点的加速度
- D. 该粒子在A点的速度小于在B点的速度

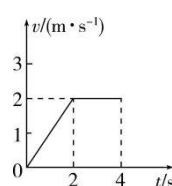
[解析]带正电的粒子仅在静电力作用下由A运动到B，所受静电力沿电场线切线方向向下，所以点电荷 Q_1 、 Q_2 均为负电荷，A错误； Q_2 产生的电场线比 Q_1 密集，所以 Q_2 的电荷量大于 Q_1 的电荷量，B错误；电场线越密，粒子所受电场力越大，加速度越大，A处电场线比B处密集，所以该粒子在A点的加速度大于在B点的加速度，C正确；该粒子的轨迹向下弯曲，静电力方向向下，与速度方向成钝角，速度减小，所以在A点的速度大于在B点的速度，D错误。

题型三 电场中的动力学问题带电体在电场中加速问题的处理方法：与力学中的分析方法完全相同，带电体的运动仍然满足牛顿运动定律，在进行受力分析时不要漏掉静电力。

例5 电荷量为 $q = 1 \times 10^{-4} \text{ C}$ 的带正电小物块置于绝缘水平面上，所在空间存在沿水平方向且方向始终不变的电场，电场强度 E 的大小与时间 t 的关系和物块速度 v 与时间 t 的关系分别如图甲、乙所示。若重力加速度 g 取 10 m/s^2 ，求：



甲



乙

- (1) 物块的质量 m ；

[答案]1 kg

[解析]由题图乙可知，前2 s物块做匀加速直线运动，由牛顿第二定律有 $qE_1 - \mu mg = ma$

2 s后物块做匀速直线运动，由力的平衡条件有

$$qE_2 = \mu mg$$

$$\text{联立解得 } q(E_1 - E_2) = ma$$

由题图可得 $E_1 = 3 \times 10^4 \text{ N/C}$, $E_2 = 2 \times 10^4 \text{ N/C}$, $a = 1 \text{ m/s}^2$

代入数据可得 $m = 1 \text{ kg}$ 。

(2) 物块与水平面之间的动摩擦因数 μ 。

[答案]0.2

[解析] $\mu = \frac{qE_2}{mg} = 0.2$ 。

第4节 静电的防止与利用

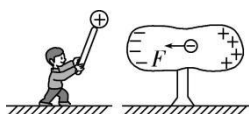
课时学习素养目标：1.知道什么是静电平衡状态及静电平衡状态下的导体特点、电荷的分布特征。（物理观念）

2.了解尖端放电、静电屏蔽现象及其成因。（科学思维）

3.了解静电除尘、静电喷漆、静电复印的工作原理。（科学思维）

任务学习一 静电平衡

如图所示，当一个带电体靠近不带电导体时，由于导体内的自由电子受到静电力的作用，将向着与电场相反的方向定向移动，从而使导体两端出现等量异种电荷，这就是前面学习的静电感应现象。



(1) 这种定向移动是无休止的吗？

[答案]不是。

(2) 电荷的移动对导体内部的电场有影响吗？

[答案]有，电荷移动后形成感应电场抵消导体内部电场。

新知梳理

1.静电平衡状态：导体内部自由电子不再发生定向移动的状态。

2.处于静电平衡状态的导体的特征：内部的电场强度处处为0。

3.静电平衡时，导体内部没有净剩电荷，电荷只分布在导体的外表面。

思考交流

1.判断下列说法正误。

(1) 处于静电平衡状态的导体，其内部的自由电荷所受静电力为零。（✓）

(2) 导体处于静电平衡状态时，其外表面与内部的电场强度均为零。（✗）

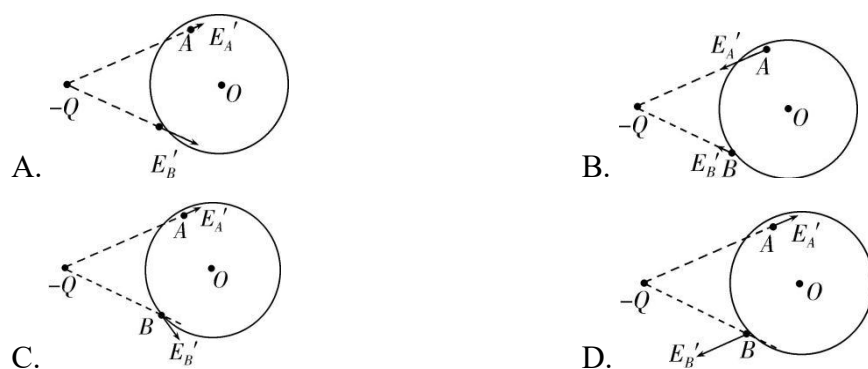
[解析]导体外表面的电场强度不为零，外表面任意一点的场强方向跟该点的表面垂直。

2. 处于静电平衡状态的导体，导体内部电场有什么特点？

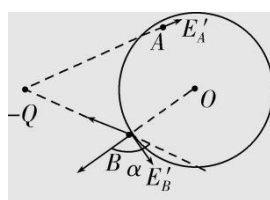
[答案]导体内部某处感应电荷产生的场强 E' 与周围原电场场强 E 大小相等，方向相反，两者相互抵消，导体内部合场强 $E_{\text{合}}$ 处处为零。

典例精讲

例 1 在一点电荷 $-Q$ 的电场中，一金属球处于静电平衡状态， A 为球内一点， B 为球外表面附近一点，对球上感应电荷在 A 点和 B 点所激发的附加场强 E_A' 和 E_B' 的方向，在下列几个选项对应的图中，最有可能的是（ C ）



[解析]金属球处于静电平衡状态，则金属球内部电场强度处处为零，点电荷 $-Q$ 在 A 点产生的电场强度和感应电荷在 A 点激发的电场强度等大反向，因此，感应电荷在 A 点激发的电场强度 E_A' 沿两点连线指向背离 $-Q$ 的方向；金属球处于静电平衡状态，在金属球外表面附近 B 点，合场强近似与导体表面垂直，如图所示，感应电荷在 B 点所激发的附加场强 E_B' 的方向在 α 角度范围内都是有可能的，结合以上分析可知 C 正确。



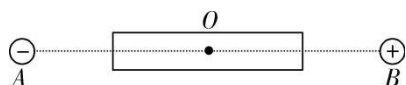
总结归纳

求处于静电平衡状态的导体的感应电荷产生的场强的方法是：

- (1) 先求出外电场场强 $E_{\text{外}}$ 的大小和方向。
- (2) 由于导体处于静电平衡状态，则满足静电平衡条件 $E_{\text{合}} = 0$ 。
- (3) 由 $E_{\text{外}} + E_{\text{感}} = 0$ ，求出感应电场 $E_{\text{感}}$ 的大小和方向。

迁移应用

1. 如图所示，真空中两个点电荷A、B电荷量分别为 $-Q$ 和 $+2Q$ ，相距为 L ，若在其连线上放一导体棒，导体棒的中心位于两电荷连线的中点O，当达到静电平衡时，棒上感应电荷在O点处产生的场强为（静电力常量为 k ）（ B ）



- A. 零
B. $\frac{12kQ}{L^2}$ ，方向向右
C. $\frac{4kQ}{L^2}$ ，方向向右
D. $\frac{3kQ}{L^2}$ ，方向向右

[解析]根据静电平衡的特点可知，O点场强为零。棒上的感应电荷在O点处产生的场强与点电荷A、B在O点处产生的合场强大小相等，方向相反， $E_{AB} = k\frac{Q}{(\frac{L}{2})^2} + k\frac{2Q}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{12kQ}{L^2}$ ，方向向左，则棒上感应电荷在O点处产生的场强大小为 $\frac{12kQ}{L^2}$ ，方向向右。故选B。

任务学习二 尖端放电

新知梳理

1. **电离**：导体尖端的电荷密度很大，附近的电场强度很大，在一定条件下，导体尖端周围的强电场使空气中的带电粒子剧烈运动，并与空气分子碰撞从而使空气分子中的正负电荷分离。

2. **尖端放电**：导体尖端的强电场使附近的空气电离，电离后与导体尖端电荷符号相反的粒子由于被吸引而奔向尖端，与尖端的电荷中和，相当于导体从尖端失去电荷的现象。

3. 尖端放电的应用与防止

- (1) 应用：避雷针是利用尖端放电避免雷击的一种设施。
(2) 防止：高压设备中导体的表面尽量光滑，减少电能的损失。

思考交流

判断下列说法正误。

- (1) 静电平衡时，导体越尖锐的位置电荷密度越大。（ √ ）
(2) 避雷针能避免建筑物被雷击是因为云层中带的电荷被避雷针通过导线导入大地。（ × ）

[解析]当带电云层靠近建筑物时，避雷针上产生的感应电荷，通过尖端放电，逐渐中和空气中的电荷，使建筑物免遭雷击。

- (3) 高压输电线表面很光滑，是为了减少因尖端放电而损失的电能。（ √ ）

典例精讲

例 2 [2024 山西太原高二期中]多选题山西被称为“中国古代建筑艺术博物馆”，这些建筑大部分都加装了避雷针。雷雨天气时，云层底端带负电，下列说法正确的是（ AD ）

- A. 云层靠近避雷针时，避雷针感应出正电荷
- B. 避雷针也可以不连接埋在地底的金属板
- C. 必须有闪电击中避雷针，避雷针才发挥作用
- D. 避雷针是利用尖端放电的一种设施

[解析]因为云层底端带负电，所以云层靠近避雷针时，避雷针感应出正电荷，故 A 正确；避雷针的尖端安装在建筑物的顶端，并通过金属线与埋在地下的金属板相连，才能起到保护作用，故 B 错误；即使没有闪电击中避雷针，只要带电云层靠近避雷针，避雷针就因静电感应发挥作用，故 C 错误；避雷针是利用尖端放电来保护建筑物的一种设施，故 D 正确。

任务学习三 静电屏蔽



日常生活中，常常会出现这样的情况：一进入电梯中手机就会没有信号、打不通。这是为什么？

[答案]电梯可以看成金属容器，由于静电感应，电梯内电场强度保持为 0，外电场对电梯内的手机不会产生影响。

新知梳理

1.静电屏蔽：放入电场中的金属壳，由于静电感应，壳内电场强度保持为 0，外电场对壳内的仪器不会产生影响，金属壳的这种作用叫作静电屏蔽。

2.应用：把电学仪器放在封闭的金属壳或金属网里；野外三条高压输电线上方架设两条导线，与大地相连，把高压输电线屏蔽起来。

思考交流

1. 判断下列说法正误。

（1）用金属网把验电器罩起来，再使带电金属球靠近验电器，则验电器箔片能张开。 （ × ）

[解析]由于静电屏蔽，验电器箔片不能张开。

(2) 许多电子仪器外面都套着金属罩，主要是为了防止外界电场干扰。

(√)

2. 静电屏蔽的本质是？

[答案]静电屏蔽的实质是利用了静电感应现象。金属壳内两种电场并存，感应电荷的电场和外加电场叠加，场强矢量和为零，好像是金属壳将外电场“挡”在外面，即所谓的屏蔽作用。

典例精讲

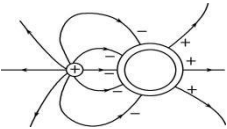
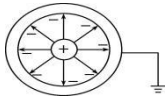
例 3 [2024 浙江台州高一期中]以下说法中错误的是 (D)

- A. 工人在高压线上带电作业时，穿含有金属丝织物的衣服，起到了静电屏蔽作用
- B. 野外高压输电线的上方还有两条导线，它们与大地相连，把高压线屏蔽起来
- C. 优质的话筒线在信号传输线外又多包了一层金属网，是为了防止干扰信号
- D. 大货车或者油罐车后常有一导电橡胶拖地，橡胶作为最外层材料，内部是两组粗铜丝连接罐体，起到了静电屏蔽作用

[解析]大货车或者油罐车后常有一导电橡胶拖地，橡胶作为最外层材料，内部是两组粗铜丝连接罐体。它的作用是及时把油罐车上产生的静电传入大地，从而避免静电造成危害，故 D 错误。

总结归纳

静电屏蔽的两种情况

类别	屏蔽外电场（外屏蔽）	屏蔽内电场（内屏蔽）
图示		
实现过程	因场源电荷产生的电场与导体球壳表面的感应电荷产生的电场在空腔内的合场强为零，达到静电平衡状态，起到屏蔽外电场的作用	当空腔外部接地时，外表面的感应电荷传给地球，外部电场消失，起到屏蔽内电场的作用
最终结论	导体内空腔不受外界电荷影响	接地导体空腔外部不受内部电

		荷影响
本质	静电感应与静电平衡	

迁移应用

2. 多选题下列图中 P 是一个带电体，N 是一个不带电的金属空腔，在下列情况下放在绝缘板上的小纸屑（图中 S）不会被吸引的是（ AD ）



[解析]金属空腔不接地可屏蔽外界电场，接地可屏蔽内部电场，A、D 正确。

任务学习四 静电吸附

新知梳理

- 1.静电吸附：**在电场中，带电粒子受到静电力的作用，向着电极运动，最后会被吸附在电极上。
- 2.静电除尘：**设法使空气中的尘埃带电，在静电力作用下，尘埃到达电极而被收集起来。
- 3.静电喷漆：**接负高压的涂料雾化器喷出的油漆微粒带负电，在静电力作用下，这些微粒向着作为正极的工件运动，并沉积在工件的表面，完成喷漆工作。
- 4.静电复印：**复印机的核心部件是有机光导体鼓，它是一个金属圆柱，表面涂覆有机光导体。在没有光照时是绝缘体，有光照时是导体。复印机复印的工作流程：充电、曝光、显影、转印、放电。

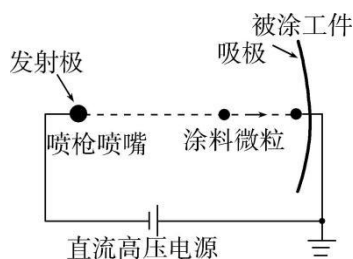
思考交流

静电除尘、静电喷漆和静电复印有什么共同特点？

[答案]原理相同，都是让带电的微粒在静电力的作用下，奔向并吸附在电极上。

典例精讲

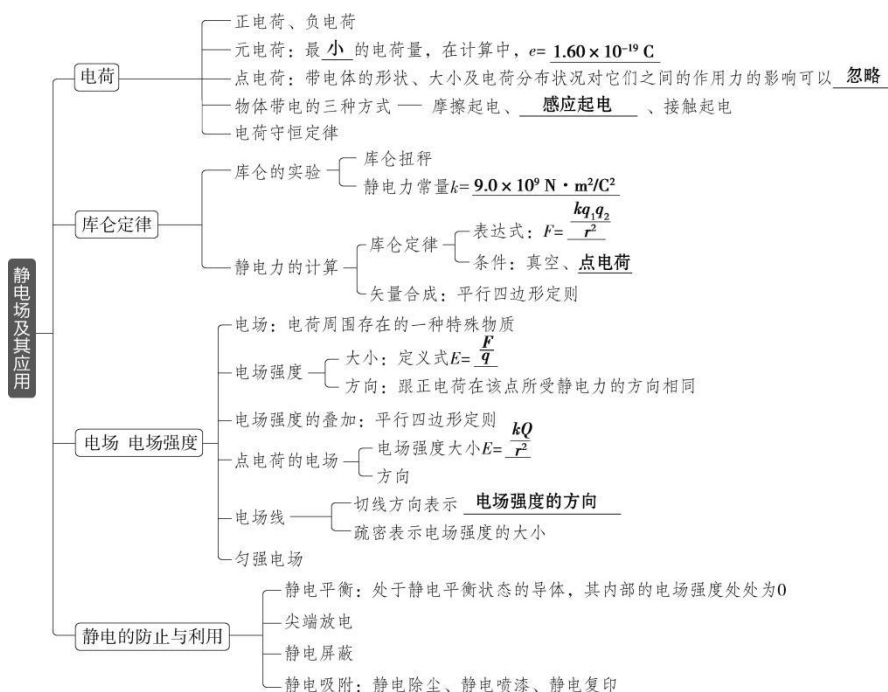
例 4 [2024 河南信阳高二月考]如图是静电喷涂原理的示意图。发射极喷枪喷嘴与吸极被涂工件之间有强电场。在强电场作用下，一带电的涂料微粒（不计重力）从发射极由静止释放，加速飞向吸极，以达到喷涂目的。下列表述正确的是（ C ）



- A. 加速飞向吸极的带电的涂料微粒带正电荷
- B. 带电的涂料微粒加速飞向吸极，电场强度方向由发射极指向吸极
- C. 在强电场中同一位置，带电荷量越多的涂料微粒所受静电力越大
- D. 带电的涂料微粒受静电力的方向与电场强度方向相同

[解析]由于发射极与电源负极相连，吸极与电源正极相连，电场强度方向由吸极指向发射极，则加速飞向吸极的带电的涂料微粒带负电荷，故 A、B 错误；根据 $F = qE$ 可知，在强电场中同一位置，带电荷量越多的涂料微粒所受静电力越大，故 C 正确；由于涂料微粒带负电，则带电的涂料微粒受静电力的方向与电场强度方向相反，故 D 错误。

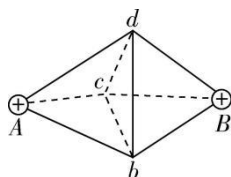
章末总结 体系构建



题型整合

题型一 电场强度的叠加

例 1 多选题 原创题如图所示，两正四面体棱长均为 a ，两正四面体 bcd 面完全重合，电荷量均为 Q 的两正点电荷 A 、 B 分别置于两四面体左、右两顶点，静电力常量为 k ，则下列说法正确的是（ BD ）

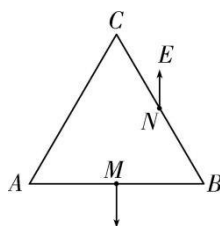


- A. b 、 c 、 d 三点的电场强度方向相同 B. b 、 c 、 d 三点的电场强度大小相等
C. b 点的电场强度大小为 $\frac{kQ}{a^2}$ D. bcd 面中点的场强为 0

[解析]根据电场强度的叠加，可知 b 、 c 、 d 三点的电场强度方向不同，大小相等，A 项错误，B 项正确；两个点电荷分别在 b 点产生的电场强度大小为 $\frac{kQ}{a^2}$ ，根据几何知识可知每个分电场强度与合电场强度夹角的余弦值为 $\frac{\sqrt{3}}{3}$ ，故 b 点的合电场强度大小为 $\frac{2\sqrt{3}kQ}{3a^2}$ ，C 项错误；两个点电荷在 bcd 面中点产生的场强等大反向，故合电场强度为 0，D 项正确。

迁移应用

1. [2024 浙江温州高二期中]如图所示，三个点电荷依次位于等边三角形 ABC 的三个顶点。 M 、 N 分别为 AB 、 BC 的中点，这两处电场方向均垂直 AB 且方向相反。已知 N 点处的场强大小为 E ，则 M 点处的场强大小为（ A ）

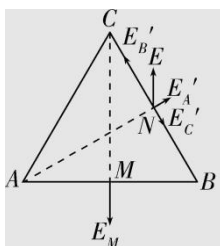


- A. $\frac{3-\sqrt{3}}{6}E$ B. $\frac{3+\sqrt{3}}{6}E$ C. E D. $\frac{6-\sqrt{3}}{2}E$

[解析]因为 M 点电场强度方向竖直向下，则 C 点为正电荷，根据场强的叠加原理，可知 A 、 B 两点的电荷在 M 点的电场强度大小相等，方向相反，设 B 处电荷所带电荷量为 q ，电性与 A 处电荷相同，又 N 点处的电场强度方向竖直向上，可得 A 处电荷在 N 点的场强沿 AN 方向，如图所示，可知 A 处电荷为正电荷，所以 A 、 B 、 C 处均为正电荷；由几何关系可知， $E_A' = (E_B' - E_C') \cdot \tan 30^\circ$ ，

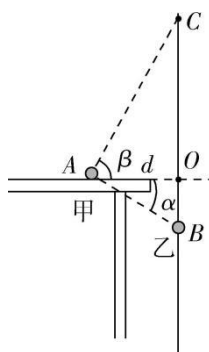
$\frac{kq}{AN^2} = \frac{\sqrt{3}}{3} \left(\frac{kq}{BN^2} - \frac{kq_C}{CN^2} \right)$, 其中 $AN = \sqrt{3}BN = \sqrt{3}CN$, 解得 $q_C = \frac{3-\sqrt{3}}{3}q$, 根据 E .

$\sin 30^\circ = \frac{kq}{AN^2}$, $E_M = \frac{kq_C}{CM^2}$, $AN = CM$, 解得 $E_M = \frac{3-\sqrt{3}}{6}E$, 故选 A.



题型二 电场中的力学综合问题

例 2 [2023 山东临沂期末] 如图, 绝缘水平桌面上电荷量为 $Q (Q > 0)$ 的小球甲固定于 A 点, 另一个电荷量为 q 的有孔小球乙套在固定的绝缘竖直细杆上, 且恰能静止于 B 点, 杆上 O 点与 A 点等高, $AO = d$, $\angle OAB = \alpha = 30^\circ$, 静电力常量为 k , 重力加速度大小为 g , 不计摩擦力和空气阻力, 两小球均视为质点且电荷量不变。



(1) 指出小球乙带哪种电荷, 求出小球乙的质量 m ;

[答案] 带负电 $\frac{3kQq}{8gd^2}$

[解析] 小球乙在 B 点受重力、弹力和库仑力这三个力作用而平衡, 故甲、乙间的库仑力为引力, 所以乙球带负电。

由平衡条件得 $k \frac{Qq}{\left(\frac{d}{\cos \alpha}\right)^2} \sin \alpha = mg$

解得 $m = \frac{kQq \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{gd^2} = \frac{3kQq}{8gd^2}$

(2) 将小球乙向上拉到 C 点 ($\angle OAC = \beta = 60^\circ$), 再由静止释放, 求小球乙在 C 点释放后瞬间的加速度大小。

[答案] $\frac{3+\sqrt{3}}{3}g$

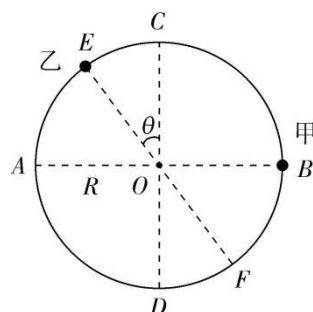
[解析] 在 C 点, 由牛顿第二定律有

$$k \frac{Qq}{\left(\frac{d}{\cos \beta}\right)^2} \sin \beta + mg = ma$$

$$\text{解得 } a = \frac{3+\sqrt{3}}{3} g$$

迁移应用

2. [2024 河南商丘高二期末] 如图所示, 粗细均匀的光滑绝缘圆环, 固定在竖直平面内, 其半径为 R , AB 、 CD 分别为圆环的水平方向和竖直方向的两条直径, EF 也是圆环的一条直径, 且与竖直方向的夹角为 $\theta = 30^\circ$ 。电荷量为 q 的带负电的小球甲固定在环上与圆心 O 等高的 B 点, 另一个质量为 m 的带电小球乙套在环上, 可在环上自由滑动, 当乙球处在 AC 间的 E 点位置时, 处于静止状态, 重力加速度为 g , 静电力常量为 k 。求:



(1) 小球乙的电性及带电荷量;

[答案] 带正电 $\frac{3mgR^2}{kq}$

[解析] 令 $\angle BEO = \alpha$, 根据几何关系有 $2\alpha = 90^\circ - \theta$

$$\text{解得 } \alpha = \theta = 30^\circ$$

设小球乙带电荷量为 Q , 对小球乙受力分析可知, 小球乙带正电荷。根据平衡

$$\text{条件有 } mg \sin \theta = k \frac{Qq}{r^2} \sin \alpha$$

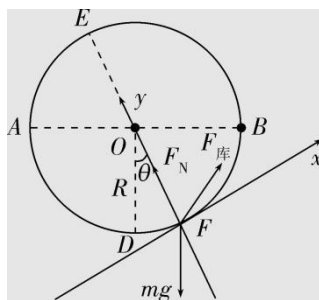
$$\text{由几何关系可知甲、乙间距为 } r = 2R \cos \alpha = \sqrt{3}R$$

$$\text{解得 } Q = \frac{3mgR^2}{kq}$$

(2) 若将小球乙放在环上 BD 段上的 F 点, 由静止从 F 点释放, 求释放瞬间小球乙的加速度;

[答案] $\frac{3\sqrt{3}-1}{2} g$ 方向沿 F 点的切线方向向上

[解析] 若将小球乙放在环上 BD 段上的 F 点, 由静止从 F 点释放, 释放瞬间受力分析如图所示



小球乙的加速度大小为 a ，释放的瞬间由于速度为零，所以沿半径方向的向心加速度 $a_n = 0$

则合加速度为小球乙在切线方向的加速度，根据牛顿第二定律有 $k\frac{Qq}{R^2} \cos 30^\circ - mg \sin 30^\circ = ma$

$$\text{解得 } a = \frac{3\sqrt{3}-1}{2}g$$

方向沿 F 点的切线方向向上。

(3) 保持小球乙的电性和电荷量不变，改变其质量，结果小球乙放在环上 BD 段上的 F 点时也恰好能处于静止状态，则小球乙的质量变成了多少？

[答案] $3\sqrt{3}m$

[解析]保持小球乙的电性和电荷量不变，改变其质量，结果小球乙放在环上 BD 段上的 F 点时也恰好能处于静止状态，由平衡条件可得 $m'g \sin \theta = k\frac{Qq}{R^2} \cos \theta$

$$\text{解得 } m' = 3\sqrt{3}m$$

高考链接

1. [2023 重庆，3，4 分]真空中固定有两个点电荷，负电荷 Q_1 位于坐标原点处，正电荷 Q_2 位于 x 轴上， Q_2 的电荷量大小为 Q_1 的8倍。若这两点电荷在 x 轴正半轴的 $x = x_0$ 处产生的合电场强度为0，则 Q_1 、 Q_2 相距 (B)

- A. $\sqrt{2}x_0$ B. $(2\sqrt{2} - 1)x_0$ C. $2\sqrt{2}x_0$ D. $(2\sqrt{2} + 1)x_0$

[解析]依题意，两点电荷电性相反，且 Q_2 的电荷量较大，所以正电荷 Q_2 应该在 x 轴的负半轴，设两点电荷相距 L ，根据点电荷场强公式可得 $\frac{kQ_1}{x_0^2} = \frac{kQ_2}{(x_0+L)^2}$ ，又

$Q_2 = 8Q_1$ ，解得 $L = (2\sqrt{2} - 1)x_0$ ，故选 B。

2. [2023 海南，8，3 分]如图所示，一光滑绝缘轨道水平放置，直径上有 A 、 B 两点， $AO = 2 \text{ cm}$ ， $OB = 4 \text{ cm}$ ，在 A 、 B 两点固定两个带电荷量分别为 Q_1 、 Q_2 的正电荷，现有一个带正电的小球静置于轨道内侧 P 点（小球可视为点电荷），已知 $AP:BP = n:1$ ，试求 $Q_1:Q_2$ 是 (C)

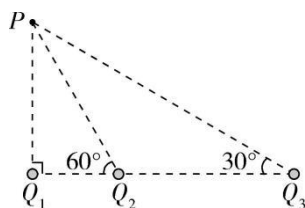


$$\text{又} \angle CPH = \angle OPB, \angle CHP = \angle APO$$

同理在 $\triangle BPO$ 中有 $\frac{BP}{\sin \angle POB} = \frac{BO}{\sin \angle OPB}$

联立有 $Q_1:Q_2 = 2n^3:1$, 故选 C。

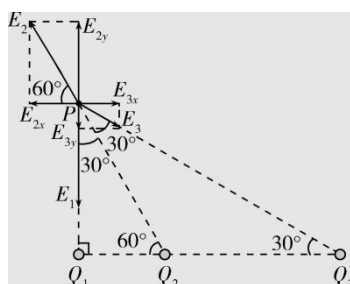
3. [2023 湖南, 5, 4 分]如图, 真空中有三个点电荷固定在同一直线上, 电荷量分别为 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 , P 点和三个点电荷的连线与点电荷所在直线的夹角分别为 90° 、 60° 和 30° 。若 P 点处的电场强度为零, $q > 0$, 则三个点电荷的电荷量可能为 (D)



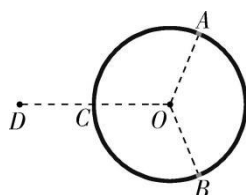
C. $Q_1 = -q$, $Q_2 = \sqrt{2}q$, $Q_3 = -q$ D. $Q_1 = q$, $Q_2 = -\frac{4\sqrt{3}}{3}q$, $Q_3 = 4q$

第 46 页

于 C 选项, 设 P 与电荷量为 Q_1 的点电荷间的距离为 a , 则 P 与电荷量为 Q_2 的点电荷的距离为 $\frac{2\sqrt{3}}{3}a$, P 与电荷量为 Q_3 的点电荷间的距离为 $2a$, 故 $E_1 = \frac{kq}{a^2}$, $E_2 = \frac{k \cdot \sqrt{2}q}{(\frac{2}{3}\sqrt{3}a)^2} = \frac{3\sqrt{2}kq}{4a^2}$, $E_3 = \frac{kq}{4a^2}$, 如图, 则 $E_{Px} = E_{3x} - E_{2x} = \frac{kq}{4a^2} \cos 30^\circ - \frac{3\sqrt{2}kq}{4a^2} \cos 60^\circ = \frac{\sqrt{3}kq}{8a^2} - \frac{3\sqrt{2}kq}{8a^2} \neq 0$, 故 C 错误; 同理可验证 D 选项中 $E_{Px} = 0$, $E_{Py} = 0$, 故 D 正确。



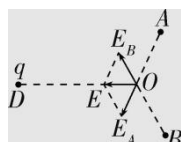
4. [2022 山东, 3, 3 分] 半径为 R 的绝缘细圆环固定在图示位置, 圆心位于 O 点, 环上均匀分布着电荷量为 Q 的正电荷。点 A 、 B 、 C 将圆环三等分, 取走 A 、 B 处两段弧长均为 ΔL 的小圆弧上的电荷。将一点电荷 q 置于 OC 延长线上距 O 点为 $2R$ 的 D 点, O 点的电场强度刚好为零。圆环上剩余电荷分布不变, q 为 (C)



- A. 正电荷, $q = \frac{Q\Delta L}{\pi R}$ B. 正电荷, $q = \frac{\sqrt{3}Q\Delta L}{\pi R}$
C. 负电荷, $q = \frac{2Q\Delta L}{\pi R}$ D. 负电荷, $q = \frac{2\sqrt{3}Q\Delta L}{\pi R}$

[解析] 去掉的弧长为 ΔL 的小圆弧上的电荷等效为点电荷

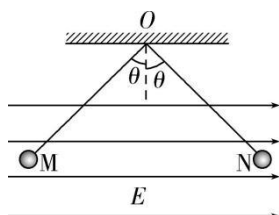
其带电荷量 $\Delta q = \frac{Q}{2\pi R} \Delta L$, $E_A = k \frac{\Delta q}{R^2}$, $E_B = k \frac{\Delta q}{R^2}$, 由矢量合成可得 $E = k \frac{\Delta q}{R^2}$, 方向水平向左



由题意 $E_O = 0$, 故点电荷 q 在 O 点产生的场强与去掉的 A 、 B 两处弧长为 ΔL 的小圆弧上的电荷在 O 点产生的场强大小相等, 方向相同, 则点电荷 q 带负电荷, 且

$E_q = E = k \frac{q}{(2R)^2}$, 解得 $q = \frac{2Q\Delta L}{\pi R}$, C 正确。

5. [2021 湖北, 11, 4 分]多选题如图所示, 一匀强电场 E 大小未知、方向水平向右。两根长度均为 L 的绝缘轻绳分别将小球 M 和 N 悬挂在电场中, 悬点均为 O 。两小球质量均为 m 、带等量异号电荷, 电荷量大小均为 $q(q > 0)$ 。平衡时两轻绳与竖直方向的夹角均为 $\theta = 45^\circ$ 。若仅将两小球的电荷量同时变为原来的 2 倍, 两小球仍在原位置平衡。已知静电力常量为 k , 重力加速度大小为 g , 下列说法正确的是 (BC)



- A. M 带正电荷 B. N 带正电荷 C. $q = L\sqrt{\frac{mg}{k}}$ D. $q = 3L\sqrt{\frac{mg}{k}}$

[解析]对小球 M 受力分析如图 (a) 所示, 对小球 N 受力分析如图 (b) 所示, 由受力分析图可知小球 M 带负电, 小球 N 带正电, 故 B 正确, A 错误; 由几何关系可知, 两小球之间的距离为 $r = \sqrt{2}L$, 当两小球的电荷量为 q 时, 由平衡条件得 $mg \tan 45^\circ = Eq - k\frac{q^2}{r^2}$, 两小球的电荷量同时变为原来的 2 倍后, 由平衡条件得 $mg \tan 45^\circ = E \cdot 2q - k\frac{(2q)^2}{r^2}$, 整理解得 $q = L\sqrt{\frac{mg}{k}}$, 故 C 正确, D 错误。

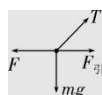


图 (a)

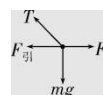


图 (b)