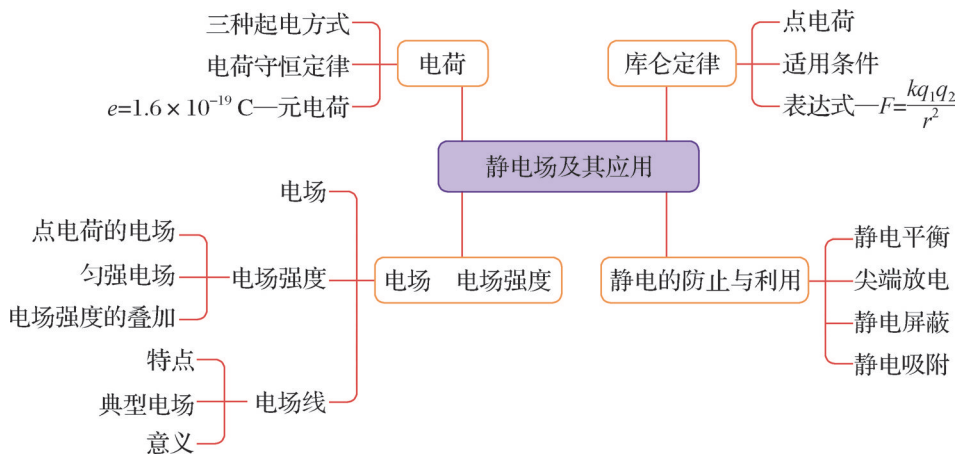


第九章 静电场及其应用

本章思维结构图



1. 电 荷

知识梳理

一、电荷

1. 两种电荷

(1) 分类: 正电荷和负电荷.

富兰克林通过实验发现,雷电的性质与摩擦产生的电的性质相同,并进行命名

(2) 电荷的性质: 同种电荷相互排斥, 异种电荷相互吸引.

2. 电荷量

(1) 定义: 物体所带电荷的多少.

(2) 电荷量是标量, 单位是库仑(C), 其正负仅表示电荷的性质. 比较电荷量的大小时, 应使用电荷量的绝对值进行对比.

3. 元电荷

(1) 最小的电荷量, 通常用 e 表示.

(2) 所有带电体的电荷量都是元电荷的整数倍, 在计算中其大小可取 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

电荷量不能连续变化

4. 比荷: 带电粒子的电荷量 q 与质量 m 之比, 即 $\frac{q}{m}$.

二、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.

答疑解惑

疑问 1 电子或质子是元电荷?

解答: 元电荷是最小的电荷量, 等于质子、电子电荷量的绝对值.



疑问 2 摩擦起电创造了电荷?

解答: 当两种物质组成的物体互相摩擦时, 一些受束缚较弱的电子会转移到另一个物体上. 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. 摩擦起电并不是创造了电荷, 只是将正负电荷分开. 自由电荷从一个物体转移到另一个物体上.

三、三种起电方式

1. **摩擦起电**: 当两种不同物质组成的物体发生摩擦时, 一些受束缚较弱的电子会转移到另一物体上. \rightarrow **电子从一个物体转移到另一个物体**

2. **接触起电**: 一个不带电的导体通过与另一个带电体接触后分开, 从而成为带电体. \rightarrow **电子的重新分布**

3. **感应起电**: 通过 电感应使导体带电的过程. 近带电体的一端为近端, 感应出与带电体电性相反的电荷, 远离带电体的一端为远端, 感应出与带电体电性相同的电荷, 即“近异远同”.

三种起电方式的本质都是 **电子在物体之间或物体内部发生转移**, 转移过程遵循电荷守恒定律. \downarrow **正电荷不发生移动**

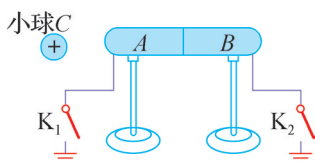
方法突破

两个完全相同的导体球若 **带同种电荷**, 则接触后电荷量平分, $q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$; 若 **带异种电荷**, 则电荷先中和再平分, $|q'_1| = |q'_2| = \frac{|q_1 + q_2|}{2}$, 导体球电性与接触前电荷量大的导体球相同.

疑难突破

题型 感应起电的判断

例题 如图所示, 在绝缘支架上的导体 A 和导体 B 按图中方式接触放置, 原先 A、B 都不带电, 先让开关 K_1 、 K_2 均断开, 再将一个带正电小球 C 放置在 A 左侧, 以下判断正确的是 ()



- A. 只闭合 K_1 , 则 A 左端不带电, B 右端带负电
- B. 只闭合 K_2 , 接着移走带电小球, 最后将 A、B 分开, A 带负电
- C. K_1 、 K_2 均闭合时, A、B 两端均不带电
- D. K_1 、 K_2 均闭合时, A 左端带负电, B 右端不带电

答案 D

探索过程

当闭合开关 K_1 时, 由于 电感应的作用, B 右端带的正电荷会被从大地上来的负电荷中和, B 右端不再带有电荷, A 左端带负电, A 错误; 当闭合开关 K_2 时, 由于 电感应, B 右端带的正电荷会被从大地上来的负电荷中和, 所以导体 B 右端不再带有电荷, A 左端带负电, 接着移走带电小球, 导体 A 与大地电荷中和, 不再带电, 最后将 A、B 分开, 不带电, B 错误; 同理, K_1 、 K_2 均闭合时, 由于 电感应的作用, A 左端带负电, B 右端不带电, C 错误, D 正确.

思路点拨

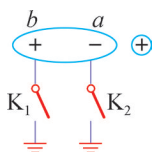
当导体接地时, 导体与地 可视为一个新的导体, 自由电子重新分配, **靠近带电体的一端为近端**, **地为远端**.

规律总结

接地的位置不影响近端和远端, 即接地位置不影响电荷分布.

随手练

1. 如图所示, 把一个不带电的枕形金属导体 近带正电的小球, 由于 电感应, 在 a、b 端分别感应出负、正电荷, 则以下说法正确的是 ()



- A. 闭合 K_1 , 有电子从大地流向枕形导体
- B. 闭合 K_1 , 有电子从枕形导体流向大地
- C. 闭合 K_1 , 再断开 K_1 后, 导体不带电
- D. 闭合 K_2 , 再断开 K_2 后, 导体带正电

2. 库仑定律

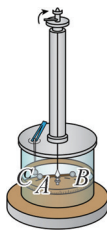
知识梳理

一、点电荷

当带电体之间的距离比它们自身的大小大得多,以致带电体的形状、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时,这样的带电体可以看作带电的点,叫作点电荷. 理想化模型,可类比质点

二、库仑扭秤实验

1. 实 过程:带电的金属小球C插入容器并使它接触小球A,从而使A与C带同种电荷.将C和A分开,再使C近A,A和C之间的作用力使A远离.扭转悬丝,使A回到初始位置并止,通过悬丝扭转的角度可以比较力的大小.改变A和C之间的距离 r ,记录每次悬丝扭转的角度,就可以找到力 F 与距离 r 的关系.



2. 实 原理:控制变量法,微小形变放大法.

三、库仑定律

1. 内容:真空中两个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.

2. 表达式: $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$, 其中 k 是 电力常量, 大小为 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$. 与万有引力公式形式相似

3. 适用条件:(1)真空;(2) 止点电荷.

① 点电荷在空气中发生相互作用,库仑定律可适用;

② 均匀带电的绝缘球体,可视为电荷 中在球心.

四、静电力计算

1. 微观粒子间的万有引力远小于库仑力,因此在研究微观带电粒子间相互作用时,万有引力可忽略.

2. 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.

答疑解惑

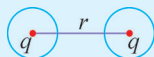
疑问1 元电荷是点电荷?

解答:点电荷是只有电荷量,没有大小和形状的理想化模型.而元电荷是最小的电荷量,两者不同.

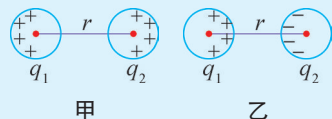
疑问2 根据 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$, 当 $r \rightarrow 0$ 时,两带电体间的库仑力 $F \rightarrow \infty$?

解答:当两个带电体间的距离 $r \rightarrow 0$ 时,两个带电体不能视为点电荷,库仑定律不再适用,因此它们之间的库仑力不能认为趋于无限大.

疑问3 在如图所示情景中,带电导体小球间库仑力 $F = k \frac{q^2}{r^2}$?



解答:对于半径较大的带电小球,由于“同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引”,则两球电荷中心的距离不等于两球球心间的距离.如图甲、乙所示.甲图中 $F < k \frac{q^2}{r^2}$, 乙图中 $F > k \frac{q^2}{r^2}$.



疑难突破

题型 共线的三个自由点电荷的平衡问题

例题 (2024 无锡期中)相距为 L 的点电荷A、B带电荷量分别为 $+4q$ 和 $-q$,如图所示,现引入第三个点电荷C,使三个点电荷都处于平衡状态,则C的电荷量和放置的位置分别为 ()

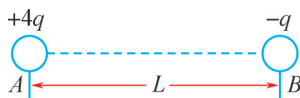
A. $-q$,在A左侧距A为 L 处

B. $-2q$,在A左侧距A为 $\frac{L}{2}$ 处

C. $+2q$,在B右侧距B为 $\frac{3L}{2}$ 处

D. $+4q$,在B右侧距B为 L 处

答案 D



思路点拨

任一点电荷仅在另外两个点电荷作用下处于平衡状态,根据牛顿第三定律可知,每个点电荷受到另外两个点电荷的库仑力一定大小相等、方向相反,可以考虑其中某两个点电荷的平衡联立方程组求解.

探索过程

因为点电荷 A、B 带异种电荷,若第三个点电荷放在中间位置,则其受到点电荷 A、B 的电场力同向,不可能处于平衡状态,不符合题意.又因为点电荷 A 所带电荷量大,根据库仑定律,有 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$,可知第三个点电荷应放在靠近带电荷量小的一侧,设在 B 右侧距 B 为 x 处,对第三个点电荷进行受力分析,则有 $k\frac{4q \cdot q_x}{(L+x)^2}=k\frac{q \cdot q_x}{x^2}$,解得 $x=L$,再对点电荷 B 进行受力分析,则有 $k\frac{4q \cdot q}{L^2}=k\frac{q \cdot q_x}{L^2}$,解得 $q_x=4q$,点电荷 B 受到 A 的库仑力向左,则第三个点电荷对点电荷 B 的库仑力向右,故第三个点电荷带正电,D 正确.

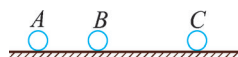
规律总结

- (1) **两同夹异**:两端的点电荷带同种电荷,中间为异种电荷.
 (2) **两大夹小,近小远大**:处于中间的点电荷所带电荷量最小,且离电荷量较小的外侧点电荷更近.

随手练

2. (2024 宿迁月考)如图所示,三个带电小球 A、B、C 静止在光滑绝缘水平地面上,A 带正电,电荷量为 q ($q>0$),A、B 之间的距离为 L ,B、C 之间的距离为 $2L$,则 ()

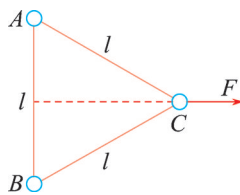
- A. B 球带正电
 B. C 球带负电
 C. B 球的电荷量为 $-q$
 D. C 球的电荷量为 $4q$



题型 库仑力作用下的动力学问题

例题 (2024 徐州月考)质量均为 m 的三个带电小球 A、B、C 用三根长度均为 l 的绝缘丝线相互连接,放置在光滑绝缘的水平面上,A 球的电荷量为 $+q$.在 C 球上施加一个水平向右的恒力 F 之后,三个小球一起向右运动,三根丝线刚好都伸直且没有弹力, F 的作用线的反向延长线与 A、B 间的丝线相交于丝线的中点,如图所示,已知电力常量为 k .下列说法正确的是 ()

- A. B 球的电荷量可能为 $+2q$
 B. C 球的电荷量为 $-\sqrt{2}q$
 C. 三个小球一起运动的加速度为 $\frac{\sqrt{3}kq^2}{ml^2}$
 D. 恒力 F 的大小为 $\frac{2\sqrt{3}kq^2}{l^2}$



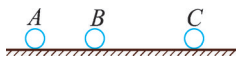
答案 C

探索过程

根据对称性可知,A 球的电荷量和 B 球的电荷量相同,C 球带负电,A 错误;设 C 球的电荷量为 q_C ,以 A 球为研究对象,B 球对 A 球的库仑斥力为 $F_{BA}=\frac{kq^2}{l^2}$,C 球对 A 球的库仑引力为 $F_{CA}=\frac{kqq_C}{l^2}$,由题意可得三个小球一起运动的加速度方向与 F 的作用线平行,则有 $F_{CA}\sin 30^\circ=F_{BA}$, $F_{CA}\cos 30^\circ=ma$,解得 $q_C=2q$,C 球的电荷量为 $-2q$,则 $a=\frac{\sqrt{3}kq^2}{ml^2}$, $F=3ma=\frac{3\sqrt{3}kq^2}{l^2}$,C 正确,B、D 错误.

随手练

3. (2024 泰州月考)如图所示,在光滑绝缘水平面上沿一直线有三个带电小球 A、B、C(可视为质点),质量均为 m .A、B 两球均带正电,电荷量分别为 $3q$ 和 q ,A、B 之间距离为 L ,B、C 之间距离为 $2L$,为保证三球间距不发生变化,将一水平向右的恒力 F 作用于 C 球,使三球一起向右做匀加速直线运动,已知电力常量为 k ,则 ()



- A. C 球带正电
 B. 三球向右匀加速的加速度大小为 $\frac{12kq^2}{mL^2}$
 C. 恒力 F 的大小为 $60k\frac{q^2}{L^2}$
 D. C 球电荷量的大小为 $72q$

思路点拨

三根丝线刚好都伸直且没有弹力,说明 C、B 对 A 的库仑力的合力提供加速度,再结合整体法与隔离法求解.

规律总结

求解库仑力作用下的动力学问题的一般思路

- 明确研究对象,根据运动过程,分析物体的受力(除重力、弹力、摩擦力外,要重点关注库仑力).
- 利用整体法与隔离法,根据牛顿第二定律或动能定理求解.

3. 电场 电场强度

知识梳理

一、电场

- 1. 定义:存在于电荷周围,能传递电荷间相互作用的一种特殊物质.
- 2. 性质:对放入其中的电荷有力的作用. 电荷间通过电场相互作用



二、电场强度

- 1. 定义:放入电场中某点的试探电荷所受的电场力与它的电荷量之比.
- 2. 表达式: $E=\frac{F}{q}$,单位 N/C,矢量式.
- 3. 物理意义:是描述电场强弱和方向的物理量,由产生电场的场源电荷和位置决定,与试探电荷无关. 电场中某一点的电场强度是唯一的

三、点电荷的电场 电场强度的叠加

- 1. 点电荷的电场
 - (1) 表达式: $E=k\frac{Q}{r^2}$. 当 $r \rightarrow 0$ 时,场源电荷不能视为点电荷,电场强度不能视为无穷大(与库仑力类似)
 - (2) 方向:当 Q 为正电荷时,电场强度 E 的方向沿半径向外;当 Q 为负电荷时,电场强度 E 的方向沿半径向内.

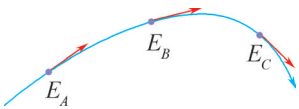
2. 电场强度的叠加

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,遵循平行四边形定则.

拓展:根据微元法,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,然后用电场强度叠加的方法计算整个带电体产生的电场.

四、电场线 匀强电场

- 1. 电场线:电场线是画在电场中的一条条有方向的曲线. 电场线上的各点的切线方向与该点的电场强度方向一致.



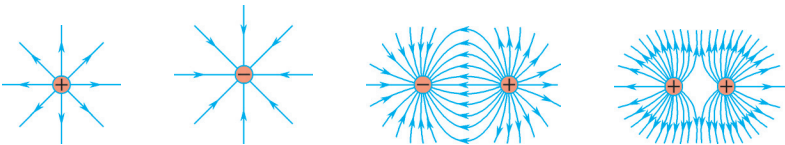
- (1) 电场线从正电荷或无 远出发,终止于无 远或负电荷,电场线不闭合.

- (2) 电场线的疏密表示电场的强弱,电场线分布密的地方电场强度大,电场线分布疏的地方电场强度小. “疏弱密强”

- (3) 电场线永不相交.
- (4) 电场线是为了形象描述电场而假想的,不是真实存在的.

- 2. 匀强电场特点:电场线平行,且疏密程度相同.

- 3. 常见电场图像: 指向同一方向



答疑解惑

疑问 1 根据 $E=\frac{F}{q}$, 可知 $E \propto F, E \propto \frac{1}{q}$?

解答: $E=\frac{F}{q}$ 是电场强度的定义式, E 反映电场本身的性质, 电场中某点的电场强度是唯一的, 与试探电荷的电荷量或所受电场力无关.

疑问 2 带正电粒子只受静电力作用时, 一定沿电场线运动?

解答: 带正电粒子在电场中所受电场力与电场线在该点的切线方向相同. 若电场线为直线, 且粒子初速度为零或速度方向与电场线平行时, 带正电粒子在电场中的运动轨迹才和电场线重合.

对比辨析

表达式	$E=\frac{F}{q}$	$E=k\frac{Q}{r^2}$
区别	定义式	决定式
适用范围	一切电场	真空中的点电荷
决定因素	由电场本身决定, 与 q 无关	由点电荷 Q 和点电荷到该点的距离 r 决定
电荷的意义	q 为试探电荷(检场强)	Q 为场源电荷(产生场强)

电荷是试探电荷还是场源电荷, 取决于在电场中的作用, 与字母的大小写(Q 或 q) 无关.

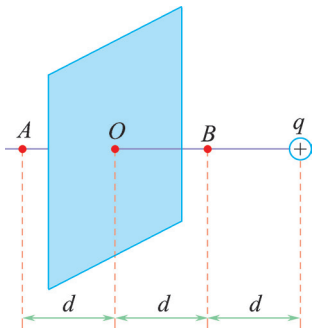
对比辨析

对比	等量同种点电荷	等量异种点电荷
点电荷连线中点的场强	为零	连线中点的场强最小, 且指向负电荷
点电荷连线上的场强大小	沿连线先变小, 再变大	沿连线先变小, 再变大
关于连线中点对称的两点场强	等大反向	等大同向
共同点	对称性	

疑难突破

题型 利用对称法求解电场强度问题

例题 (2024 淮安期中)如图所示,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 O ,图中 $AO=OB=d$, A 点的电场强度为 0 .求:



- (1) 电荷量为 $+q$ 的点电荷产生的电场在 A 点的电场强度大小.
(2) B 点的电场强度大小.

答案 (1) $\frac{kq}{9d^2}$ (2) $\frac{10kq}{9d^2}$

探索过程

- (1) 电荷量为 $+q$ 的点电荷产生的电场在 A 点的电场强度大小

$$E_A = k \frac{q}{(3d)^2} = \frac{kq}{9d^2}.$$

- (2) 电荷量为 $+q$ 的点电荷产生的电场在 B 点的电场强度大小

$$E_1 = k \frac{q}{d^2} = \frac{kq}{d^2}, \text{方向水平向左,}$$

A 点的电场强度为 0 ,则带电薄板在 A 点的电场强度与电荷量为 $+q$ 的点电荷产生的电场在 A 点的电场强度等大反向,则有

$$E_2 = E_A = \frac{kq}{9d^2}, \text{方向水平向右,}$$

A 、 B 两点关于带电薄板对称,则带电薄板在 B 点的电场强度大小

$$E'_2 = E_2 = \frac{kq}{9d^2}, \text{方向水平向左,}$$

$$\text{则 } B \text{ 点的电场强度大小 } E_B = E_1 + E'_2 = \frac{10kq}{9d^2}.$$

思路点拨

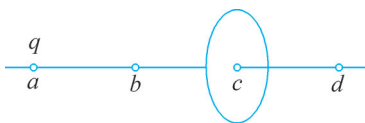
均匀带电薄板两侧的场强分布具有对称性,结合电场强度叠加原理可求出图中 B 点的电场强度.

规律总结

在静电场中,常直接利用空间上的对称性,使复杂的问 简单化,如处理均匀带电体与点电荷场强的叠加问 等.

随手练

4. (2024 苏州月考)如图所示,一圆盘上均匀分布着电荷,在垂直于圆盘且过圆心 c 的轴线上有 a 、 b 、 d 三个点, a 和 b 、 b 和 c 、 c 和 d 间的距离均为 R ,在 a 点处有一电荷量为 q ($q > 0$)的固定点电荷,已知 b 点处的场强为 0 , 电力常量为 k ,则 d 点处的场强为 ()



- A. $k \frac{2q}{9R^2}$, 水平向左
B. $k \frac{2q}{9R^2}$, 水平向右
C. $k \frac{10q}{9R^2}$, 水平向左
D. $k \frac{10q}{9R^2}$, 水平向右

随手练参考答案

第九章 静电场及其应用

1. 电 荷

1. A 解析:枕形导体在带正电的小球且近时,枕形导体上的自由电子会向导体的右端运动,金属导体的右端因有了多余的电子而带负电,左端因缺少电子而带正电,而当闭合任何开关时,导体就会与大地连接,会使大地的电子流入枕形导体,B错误,A正确;闭合开关 K_1 ,大地的电子流入枕形导体,再断开 K_1 后,导体仍带负电,C错误;闭合开关 K_2 ,导体就会与大地连接,会使大地的电子流入枕形导体,再断开 K_2 后,导体带负电,D错误.

2. 库仑定律

2. D 解析:三个带电小球 止在光滑绝缘水平地 上,满足“两大夹小,两同夹异”,又 A 带正电,则 B 带负电, C 带正电,故 A、B 错误;对 C 球,由平衡条件和库仑定律,有 $k \frac{qq_C}{(3L)^2} = k \frac{q_Bq_C}{(2L)^2}$,解得 $q_B = \frac{4}{9}q$,则 B 球的电荷量为 $-\frac{4}{9}q$,故 C 错误;对 B 球,由平衡条件和库仑定律,有 $k \frac{qq_B}{L^2} = k \frac{q_Bq_C}{(2L)^2}$,解得 $q_C = 4q$,则 C 球的电荷量为 $4q$,故 D 正确.

3. D 解析:由 意可知,三球一起向右做匀加速直线运动,可知 A、B 球受到的库仑力水平向右,则 C 球带负电, A 错误;对 A 球,根据牛 第二定律,有 $k \cdot \frac{3q \cdot q_C}{(3L)^2} - k \frac{3q \cdot q}{L^2} = ma$,对 B 球,根据牛 第二定律,有 $k \frac{q \cdot q_C}{(2L)^2} + k \frac{3q \cdot q}{L^2} = ma$,联立解得 $q_C = 72q$, $a = \frac{21kq^2}{mL^2}$,B 错误,D 正确;以三个小球为整体,根据牛 第二定律,有 $F = 3ma = 63k \frac{q^2}{L^2}$,C 错误.

3. 电场 电场强度

4. D 解析:电荷量为 q 的点电荷在 b 点处产生的电场强度大小为 $E = k \frac{q}{R^2}$,而 b 点处的场强为 0,则圆盘带正电,且在 b 点处产生的电场强度大小也为 $E = k \frac{q}{R^2}$. 由对称性可知,圆盘在 d 点处产生的电场强度大小仍为 $E =$

$k \frac{q}{R^2}$,而电荷量为 q 的点电荷在 d 点处产生的电场强度大小为 $E' = k \frac{q}{(3R)^2} = k \frac{q}{9R^2}$,由于两者在 d 点处产生的电场强度方向相同,所以 d 点处的合场强大小为 $E + E' = k \frac{10q}{9R^2}$,方向水平向右,故 D 正确.

5. B 解析:若将半径为 R 、带电荷量为 $2q$ 的球体放在 O 处,均匀带电的球体在 A、B 点所产生的场强大小均为 $E_0 = \frac{2kq}{(2R)^2} = \frac{kq}{2R^2}$,由 意可知,上半部分半球体在 A 点产生的场强大小为 E ,则另一半球体(下半部分)在 B 点产生的场强大小也为 E ,则上半部分半球体在 B 点产生的场强大小为 $E' = E_0 - E$,解得 $E' = \frac{kq}{2R^2} - E$,B 正确.

6. C 解析:将圆环分为 n 等份(n 很大,每一份可以认为是一个点电荷),则每份的电荷量为 $q_0 = \frac{Q}{n}$,每份在 P 点产生的电场的电场强度大小为 $E_0 = \frac{kq_0}{r^2} = \frac{k \frac{Q}{n}}{\left(\frac{L}{\cos \theta}\right)^2} = \frac{kQ \cos^2 \theta}{nL^2}$,根据对称性可知,P 点处水平方向的合场强为 0,则 P 点的电场强度方向竖直向上,其大小为 $E = nE_0 \cos \theta = \frac{kQ \cos^3 \theta}{L^2}$,故 A、D 正确,C 错误;因小球在 P 点 止,由平衡条件可得 $mg = qE$,解得 P 点的电场强度大小为 $E = \frac{mg}{q}$,故 B 正确.

4. 静电的防止与利用

7. D 解析:金属板接地,大地为远端,所以金属板下表不带电,A 错误;金属板达到 电平衡状态时,导体内合场强处处为 0,所以感应电荷在 B 点的场强与点电荷在 B 点的场强等大反向,为 $E = \frac{kQ}{d^2}$,B、C 错误;金属板上表的合场强方向垂直于金属板,所以带正电的小球水平方向不受力的作用,可在其上表 匀速运动,D 正确.

第十章 静电场中的能量

3. 电势差与电场强度的关系

1. C 解析:由 可知直线 ab 位于等势 上,所以电场强度的方向垂直于直线 ab 指向左下方,设 c 点到直线 ab 的距离为 d ,则由几何关系可得 $\sin \angle cab = \frac{d}{8} = \frac{6}{10}$,解得 $d = 4.8 \text{ cm}$,所以电场强度为 $E = \frac{U}{d} = \frac{22-10}{4.8} \text{ V/cm} = 2.5 \text{ V/cm}$,A 正确;由几何关系可知,坐标原点 O 到直线 ab 的距离等于 c 点到直线 ab 的距离,所以 O 点与 ab 之间的电势差等于 ab 与 c 点之间的电势差,则坐标原点处的电势为 $\varphi_O = \varphi_a - 12 \text{ V} = -2 \text{ V}$,B 正确;电子在 a 点的电势能为 $E_{pa} = -e\varphi_a = -10 \text{ eV}$,电子在 c 点的电势能为 $E_{pc} = -e\varphi_c = -22 \text{ eV}$,所以电子在 a 点的电势能比在 c 点的 12 eV ,C 错误;电子从 b 点运动到 c 点,电场力做功为 $W = -eU_{bc} = 12 \text{ eV}$,D 正确.

2. C 解析: $E-x$ 图像与 x 轴围成的 积代表电势差,可知 x_1, x_2 两点 和 x_2, x_3 两点 的电势差不相等,A 错误.根据电场分布可知, x 轴的正半轴场强为正,电场线指向 x 轴正方向, x 轴的负半轴场强为负,电场线指向 x 轴负方向.沿电场线方向电势 低,故 O 点的电势最 , x_1 点电势 于 x_3 点电势, x_1 点电势 于 x_2 点电势,根据对称性可知 $-x_1$ 和 x_1 两点的电势相等,所以 $-x_1$ 点的电势 于 x_2 点的电势,B 错误,C 正确.从 O 点由 止释放一正电荷,向 x 轴正方向运动,电场力一直做正功,电荷动能一直增大,电荷经过 x_2 点时动能不是最大,D 错误.

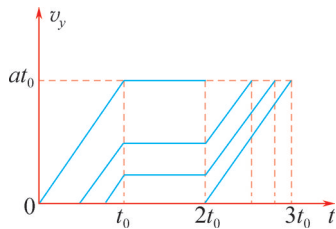
4. 电容器的应用

3. A 解析:开关闭合时一带电的油滴 止于两极板的 P 点,则油滴受力平衡,可知电场力竖直向上,由于上极板带正电,可知油滴带负电,A 正确;断开开关 K ,电容器电荷量不变,由公式 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$, $C = \frac{Q}{U}$, $E = \frac{U}{d}$,得 $E = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$,可知极板 场强不变,油滴所受电场力不变,则油滴处于平衡状态,所以带电油滴不动,B 错误;若断开开关 K ,将平行板电容器的下极板竖直向下平移一小段距离,极板 距变大,根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知,电容器的电容减小,当开关断开后,两极板的电荷量不变,由 $U = \frac{Q}{C}$ 知极板 的电势差增大,则 电计指针的张角变大,C 错误;由于 $U = Ed$,其中场强不变,距离增大, P 点与地 电势差增大,则 P 点电势升 ,根据 $E_p = q\varphi$,由于油滴带

负电,电势升 ,则电势能减小,D 错误.

5. 带电粒子在电场中的运动

4. C 解析:离子在两极板 运动,水平方向做匀速运动,运动时 $t = \frac{L}{v_0} = 2t_0$,所有离子运动时 都等于电场变化的周期,作出各个时刻射入电场的离子在板 沿电场方向上运动的 $v_y - t$ 图像,如图所示,由图像可知,离子离开两极板 时沿电场方向的速度 v_y 均相同, $v_y - t$ 图像与 t 轴围成的 积表示沿电场方向的位移,由图像可知, $t=0$ 时刻进入电场的离子沿电场方向的位移最大, t_0 时刻进入电场的离子沿电场方向的位移最小.离子在电场中运动的加速度 $a = \frac{qU_0}{md} = \frac{kU_0}{d}$,离子离开两极板 时沿电场方向的速度为 $v_y = at_0 = \frac{kU_0 t_0}{d}$,由图像可得,离子沿电场方向运动的最大位移 $y_{\max} = \frac{1}{2}(t_0 + 2t_0) \cdot at_0 = \frac{3kU_0 t_0^2}{2d}$,离子沿电场方向运动的最小位移为 $y_{\min} = \frac{1}{2}t_0 \cdot at_0 = \frac{kU_0 t_0^2}{2d}$,屏上亮线的长度为 $\Delta y = y_{\max} - y_{\min} = \frac{kU_0 t_0^2}{d}$,C 正确.



5. D 解析:小球 止时细线与竖直方向成 θ 角,由平衡条件可得电场力和重力的合力大小为 $F = \frac{mg}{\cos \theta}$,又小球恰能绕 O 点在竖直平 内做圆周运动,则可知初位置为小球做圆周运动的等效“最低点”,绳子的拉力最大,设此时的速度为 v_0 ,拉力为 F_m ,由牛 第二定律,有 $F_m - F = m \frac{v_0^2}{L}$.小球在等效“最 点”,由电场力和重力的合力提供向心力,设此时的速度为 v ,由牛 第二定律,有 $F = \frac{mg}{\cos \theta} = m \frac{v^2}{L}$,由等效“最低点”运动到等效“最 点”,根据动能定理,有 $-F \cdot 2L = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$,联立解得 $F_m = \frac{6mg}{\cos \theta}$,故 D 正确.