

第七章 静电场

目录

1 静电场中力的性质	3
1.1 电荷守恒定律 库仑定律	3
1.1.1 电荷守恒定律	3
1.1.2 库仑定律	3
1.2 电场 电场强度	4
1.2.1 电场	4
1.2.2 电场强度	4
1.2.3 电场强度三个公式的比较	4
1.3 电场线的理解及应用	6
1.3.1 电场线及其特点	6
1.3.2 两种等量点电荷电场线的分布	6
1.4 微专题 1 求解电场强度的几种特殊方法	8
1.4.1 矢量叠加法	8
1.4.2 对称法	9
1.4.3 割补法	10
1.4.4 等效法	11
1.4.5 微元法	12
1.4.6 极限法	13
2 静电场中能的性质	14
2.1 描述静电场中能的性质的物理量	14
2.1.1 静电力做功与电势能	14
2.1.2 电势与电势差	15
2.2 电势差与电场强度的关系	17
2.3 等势面 带电粒子在电场中的运动轨迹问题	18
2.3.1 等势面	18
2.3.2 带电粒子在电场中运动轨迹问题的分析方法	19
2.4 静电的防止与利用	20
2.5 微专题 2 静电场中的功能关系及图像问题	21
2.5.1 题型 1 静电场中的功能关系	21
2.5.2 题型 2 静电场中的图像问题	22
2.5.3 $\varphi - x$ 图像	23
2.5.4 $E - x$ 图像	24
2.5.5 $E_p - x$ 图像	25

3	电容器带电粒子在电场中的运动	26
3.1	电容器平行板电容器的动态分析	26
3.1.1	电容器	26
3.1.2	定义式与决定式的比较	26
3.1.3	平行板电容器的动态分析	26
3.2	带电粒子在电场中的直线运动	28
3.2.1	带电粒子做直线运动的条件	28
3.2.2	用动力学观点分析(匀强电场、只受静电力)	28
3.2.3	用功能观点分析(只受静电力)	28
3.3	带电粒子在电场中的曲线运动	29
3.3.1	运动规律	29
3.3.2	功能关系	29
3.4	微专题 3 带电粒子在电场中的力电综合问题	31
3.4.1	题型 1 带电粒子在重力场和电场中的圆周运动	31
3.4.2	题型 2 电场中的力电综合问题	32
3.5	微专题 4 带电粒子在交变电场中的运动	34
3.5.1	带电粒子在交变电场中的运动模型	34
3.5.2	带电粒子在交变电场中运动的分析思路	34
4	实验 观察电容器的充、放电现象	36
4.1	实验原理	36
4.2	操作步骤	36
4.3	数据处理	36
4.4	注意事项	37
4.5	误差分析	37
4.6	改进方案	37

1 静电场中力的性质

1.1 电荷守恒定律 库仑定律

1.1.1 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. 电荷分配原则：两个完全相同的导体球接触后再分开，二者所带净电荷量平均分配。

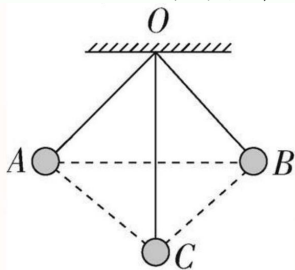
1.1.2 库仑定律

1. 表达式： $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ，静电力常量 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$, r 指两点电荷间的距离。
2. 适用条件：真空、静止点电荷。
3. 静电力的方向：在它们的连线上。

点拨提醒：当两个电荷间的距离 $r \rightarrow 0$ 时，电荷不能视为点电荷，它们之间的静电力不能认为趋于无限大。（思考原因）

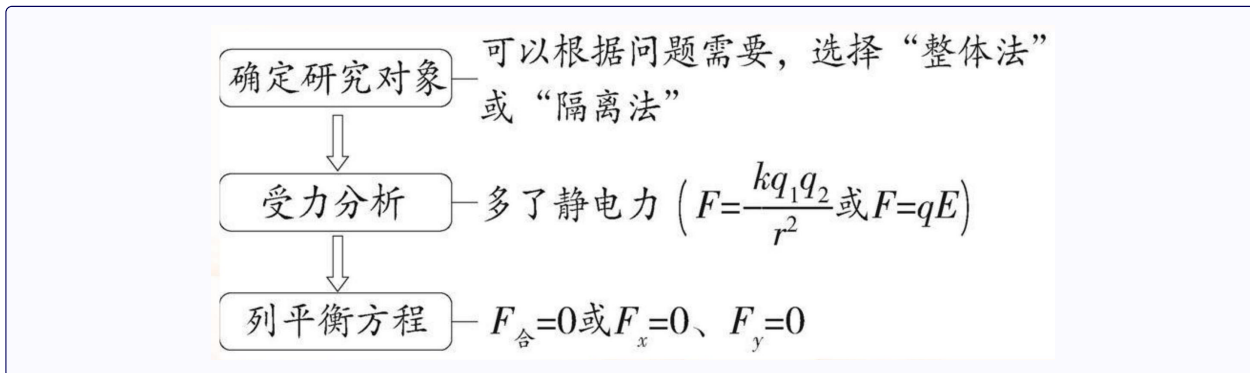
典例 1

（2025 届安徽 A10 联盟开学考）如图所示，在 O 点用三根等长的绝缘细线分别悬挂 $A B C$ 三个带电小球，三个小球的质量均为 m ，稳定后 $O A B C$ 构成正四面体， $A B$ 、 C 处于同一水平面，不计小球的大小，重力加速度为 g 。下列说法正确的是（ ）



- A. 三个小球的带电荷量不一定相同
- B. 三个小球中，可能有某两个小球带异种电荷
- C. 每根细线的拉力大小为任意两个小球间库仑力的 3 倍
- D. 每根细线的拉力大小等于 $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$

提分关键·方法提升: 静电力与其他力综合的平衡问题解题思路



1.2 电场 电场强度

1.2.1 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. 基本性质: 对放入其中的电荷有力的作用。

1.2.2 电场强度

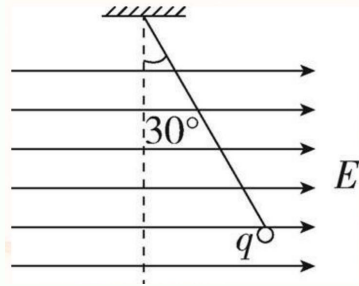
定义	放入电场中某点的试探电荷受到的静电力 F 与它的电荷量 q 的比值
标矢性	矢量, 规定正电荷所受的静电力的方向为该点电场强度的方向
唯一性	电场强度 E 取决于形成电场的电荷 (场源电荷) 及空间位置
叠加性	如果有几个静止点电荷在空间同时产生电场, 那么空间某点的电场强度是各场源电荷单独存在时在该点所产生的电场强度的矢量和, 矢量运算遵循平行四边形定则, 如图所示

1.2.3 电场强度三个公式的比较

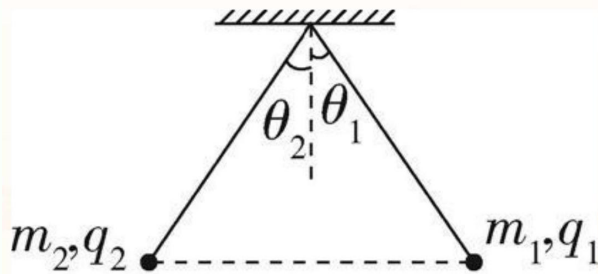
	公式	适用条件	说明
定义式	$E = \frac{F}{q}$	任何电场	某点的电场强度为确定值, 其大小及方向与 F 及 q 无关
决定式	$E = k\frac{Q}{r^2}$	真空中静止点电荷的电场	某点的电场强度由场源电荷 Q 和该点到场源电荷的距离 r 决定
关系式	$E = \frac{U}{d}$	匀强电场	d 是沿电场方向的距离

教考衔接

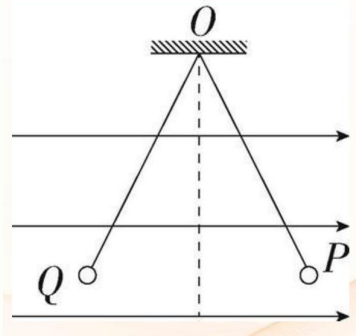
典例 2 (人教版必修三 P₁₇, T₆ 改编) 如图所示, 用一条绝缘轻绳悬挂一个带正电小球, 小球质量为 $1.0 \times 10^{-3} \text{ kg}$, 所带电荷量为 $2.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ 。现加水平方向的匀强电场, 平衡时绝缘绳与竖直方向夹角为 30° 。重力加速度 g 取 10 m/s^2 。



- (1) (回归教材) 求匀强电场的电场强度大小。
- (2) (情境变式) 若改变匀强电场的方向, 在保证小球空间位置不变且平衡的条件下, 求该电场强度的最小值与方向。
- (3) (拓展变式) (多选) 两个大小相同的带有同种电荷的小球, 质量分别为 m_1 和 m_2 , 带电荷量分别为 q_1 和 q_2 , 用绝缘绳悬挂后, 因静电力而使两绳张开, 分别与竖直方向成夹角 θ_1 和 θ_2 , 且两球静止时在同一水平线上, 若 $\theta_1 = \theta_2$, 如图所示。下述结论正确的是 ()



- A. q_1 不一定等于 q_2
 - B. 一定满足 $\frac{q_1}{m_1} = \frac{q_2}{m_2}$
 - C. m_1 一定等于 m_2
 - D. 必然同时满足 $q_1 = q_2, m_1 = m_2$
- (4) (链接高考) (2024 新课标, 18,6 分) 如图, 两根不可伸长的等长绝缘细绳的上端均系在天花板的 O 点上, 下端分别系有均带正电荷的小球 P Q ; 小球处在某一方向水平向右的匀强电场中, 平衡时两细绳与竖直方向的夹角大小相等, 则 ()



- A. 两绳中的张力大小一定相等
- B. P 的质量一定大于 Q 的质量
- C. P 的电荷量一定小于 Q 的电荷量
- D. P 的电荷量一定大于 Q 的电荷量

1.3 电场线的理解及应用

1.3.1 电场线及其特点

电场线及其特点

电场线是假想的，实际电场中不存在

不闭合：电场线从正电荷或无限远处出发，终止于无限远处或负电荷

不相交：在电场中的两条电场线不相交

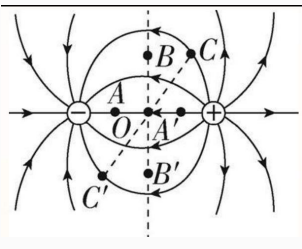
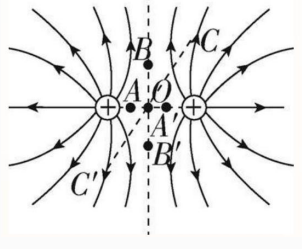
同一电场中，电场线密的地方场强大

电场线上某点的切线方向表示该点的场强方向

沿电场线方向电势降低

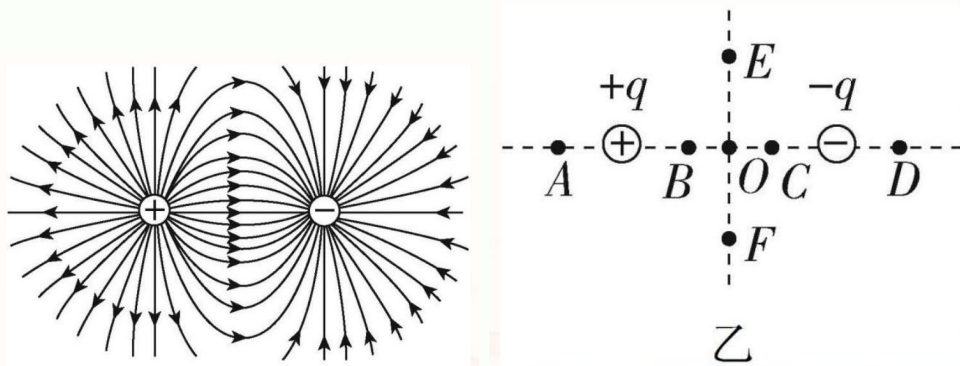
电场线和等势面在相交处垂直

1.3.2 两种等量点电荷电场线的分布

	等量异种点电荷	等量同种正点电荷
电场线分布图		
电荷连线上的电场强度	沿连线先变小后变大	
	O 点最小, 但不为 0	O 点为 0
中垂线上的电场强度	O 点最大, 向外逐渐减小	
关于 O 点对称位置的电场强度	A 与 A'、B 与 B'、C 与 C'	
	等大同向	等大反向

典例 3

(多选) 电场线能直观地反映电场的分布情况。如图甲是等量异种点电荷形成电场的电场线, 图乙中 O 点是两电荷连线的中点, $E F$ 是连线中垂线上关于 O 对称的两点, $B C$ 和 $A D$ 是两电荷连线上关于 O 对称的两点。则 ()



- A. E 、 F 两点电场强度相同
- B. $A D$ 两点电场强度不同
- C. $B O C$ 三点中, O 点的电场强度最小
- D. 从 C 点向 O 点运动的电子加速度逐渐增大

1.4 微专题 1 求解电场强度的几种特殊方法

1.4.1 矢量叠加法

1. 叠加原则：矢量叠加遵循平行四边形定则。

2. 叠加法分析电场强度的一般步骤

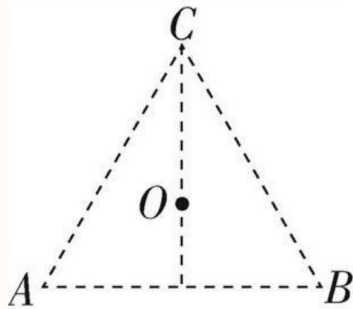
确定要分析计算哪一点的场强

分析有哪几个电场在该点叠加，确定各个电场在该点的电场强度的大小和方向

利用平行四边形定则求出各个电场在该点的电场强度的矢量和

典例 1

如图所示， O 点为等边三角形 ABC 的中心。当在 $A B$ 两点放置电荷量均为 q_1 的同种点电荷时， C 点处的电场强度大小为 E_1 。当在 $A B$ 两点放置电荷量均为 q_2 的同种点电荷时， O 点处的电场强度大小为 E_2 。若 E_1 与 E_2 相等，则 q_2 与 q_1 的比值为 ()



A. 3

B. $2\sqrt{3}$

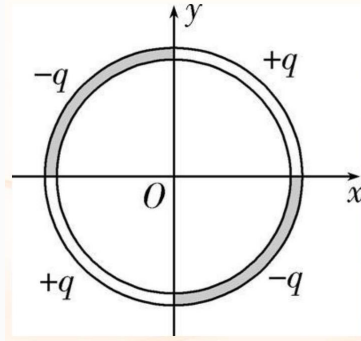
C. $\frac{\sqrt{3}}{3}$

D. $\sqrt{3}$

1.4.2 对称法

利用空间上对称分布的电荷形成的电场具有对称性的特点，使复杂电场的叠加计算问题简化。

例如，图中均匀带电圆环中心处的场强为 0。



典例 2

(2024 届湖南长沙二模) 半径为 R 、均匀带电的半圆弧金属丝所带电荷量为 $+Q$ ，其在圆心处产生的电场强度大小为 $\frac{2kQ}{\pi R^2}$ ，其中 k 为静电力常量。现有一半径为 R 、均匀带电的 $\frac{1}{4}$ 圆弧金属丝所带电荷量也为 $+Q$ ，则其在圆心处产生的电场强度大小为 ()

A. $\frac{kQ}{\pi R^2}$

B. $\frac{\sqrt{2}kQ}{\pi R^2}$

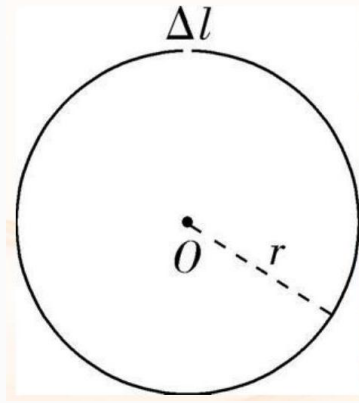
C. $\frac{2\sqrt{2}kQ}{\pi R^2}$

D. $\frac{4kQ}{\pi R^2}$

1.4.3 割补法

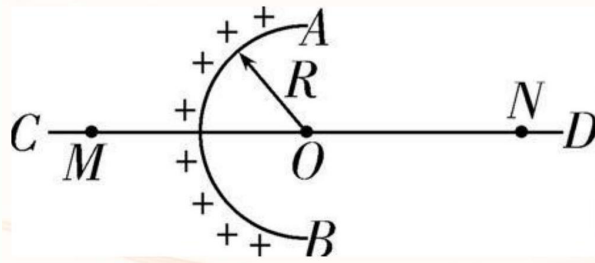
当直接求带电体 A 产生的电场强度时，我们可以设法补上一个带电体 B ，使 $A+B$ 整体为一个完整且方便计算的模型，而且带电体 B 产生的电场强度也方便计算，这样就可以求出带电体 A 产生的电场强度。

例如，求有很小缺口的均匀带电圆环中心处的场强 ($\Delta l \ll r$)。



典例 3

均匀带电的球壳在球外空间产生的电场等效于电荷集中于球心处产生的电场。如图所示，在半球面 AB 上均匀分布正电荷，总电荷量为 q ，球面半径为 R ， CD 为通过半球顶点与球心 O 的轴线，在轴线上有 $M N$ 两点， $\overline{OM} = \overline{ON} = 2R$ ，已知 M 点的电场强度大小为 E ， k 为静电力常量，则 N 点的电场强度大小为 ()



A. $\frac{kq}{2R^2} - E$

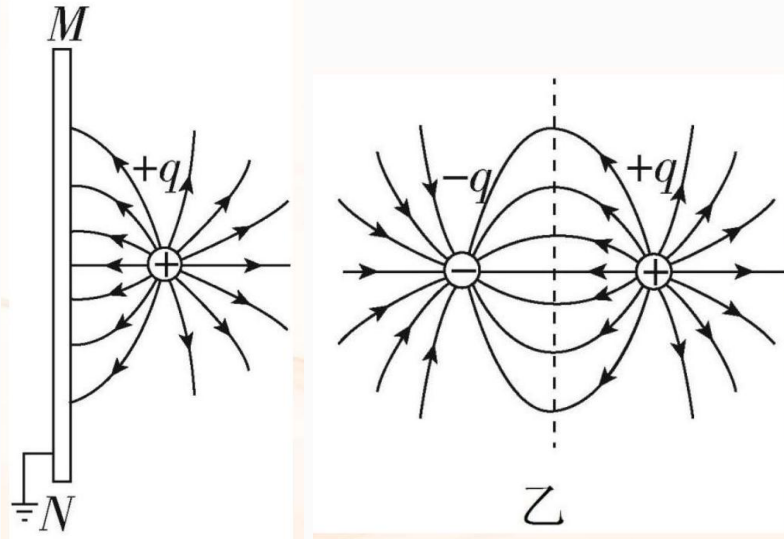
B. $\frac{kq}{4R^2}$

C. $\frac{kq}{4R^2} - E$

D. $\frac{kq}{4R^2} + E$

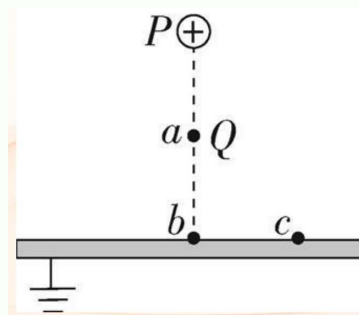
1.4.4 等效法

在保证效果相同的前提下，将复杂的电场情境变换为简单的或熟悉的电场情境。例如可将一个点电荷 $+q$ 与一个无限大薄金属板形成的电场，等效为两个等量异种点电荷形成的电场的一部分，如图甲、乙所示。



典例 4

(2023 届广东茂名一模) (多选) 如图所示，无限大平行金属板水平放置且接地，金属板上表面涂上绝缘层，一个带正电的点电荷 P 固定在金属板正上方，该电荷与金属板间形成的电场与等量异种点电荷连线的中垂线一侧的电场分布相同。将一个带正电的带电粒子 Q (其带电荷量足够小，不影响点电荷 P 与金属板形成的电场) 从 P 与金属板垂直连线中点 a 沿直线移到板上 b 点，再沿直线移到板上 c 点，则在此过程中 ()



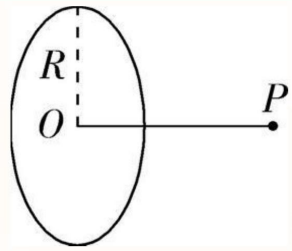
- A. 从 a 到 c , Q 的电势能一直减少
- B. 从 a 到 c , Q 的电势能先减少后不变
- C. 从 a 到 c , Q 受到的静电力先减小后不变
- D. Q 在 a 点受到的静电力大于 P 对 Q 的静电力

1.4.5 微元法

场源电荷形状特殊不方便计算时，可将其等分成许多微元电荷，每个微元电荷可看成点电荷，利用公式 $E = k\frac{Q}{r^2}$ 来计算极小段的电场强度，然后根据电场强度叠加原理求这些极小段的电场强度的矢量和。

典例 5

如图所示，均匀带电圆环所带电荷量为 Q ，半径为 R ，圆心为 O ， P 为垂直于圆环平面中心轴上的一点， $OP = L (L > R)$ ，静电力常量为 k ，则 P 点的电场强度大小为 ()



A. $\frac{kQL}{\sqrt{(L^2+R^2)^3}}$

B. $\frac{kQR}{\sqrt{(L^2+R^2)^3}}$

C. $\frac{kQ}{R^2}$

D. $\frac{kQ}{L^2}$

提分关键·规律总结: 电场强度计算方法选用技巧

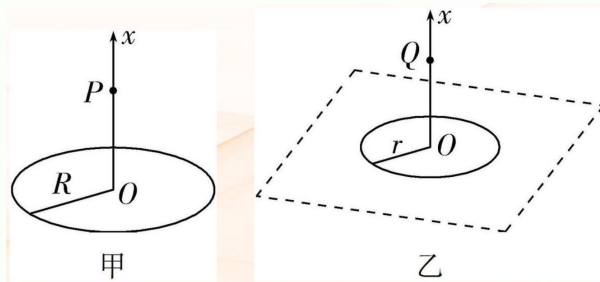
1. 点电荷电场、匀强电场的场强一般应用矢量叠加法。
2. 均匀带电体与点电荷的场强叠加一般应用对称法。
3. 计算均匀带电体某点产生的场强一般应用割补法或微元法。

1.4.6 极限法

把某个物理量推向极端，从而作出科学的推理和分析，给出判断或导出一般结论。

典例 6

如图甲所示，半径为 R 的均匀带电圆形平板，单位面积电荷量为 σ ($\sigma > 0$)，其轴线上任意一点 P (坐标为 x) 的电场强度可以由电场强度的叠加原理求出： $E = 2\pi k\sigma$ ($1 - \frac{x}{\sqrt{x^2+R^2}}$)，方向沿 x 轴。现考虑单位面积电荷量为 σ_0 的无限大均匀带电平板，从其中间挖去一半径为 r 的圆板后 (如图乙所示)，在其轴线上任意一点 Q (坐标为 x) 处放置一个点电荷 q_0 ，则 q_0 所受电场力的大小为 ()



A. $2\pi k\sigma_0 q_0 \frac{x}{\sqrt{x^2+r^2}}$

B. $2\pi k\sigma_0 q_0 \frac{r}{\sqrt{x^2+r^2}}$

C. $2\pi k\sigma_0 q_0 \frac{x}{r}$

D. $2\pi k\sigma_0 q_0 \frac{r}{x}$

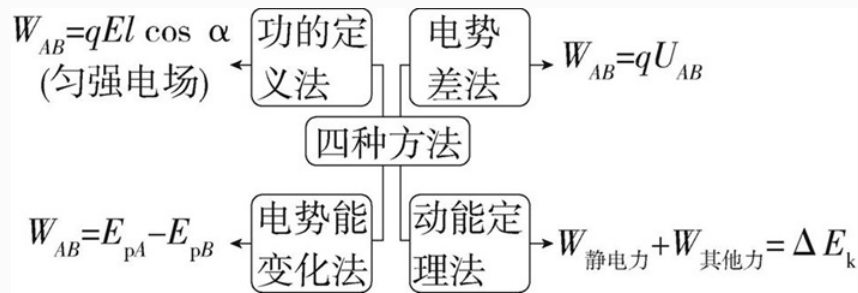
2 静电场中能的性质

2.1 描述静电场中能的性质的物理量

2.1.1 静电力做功与电势能

1. 静电力做功

(1) 计算方法



(2) 特点：静电力做的功与电荷的起始位置和终止位置有关，与电荷运动的路径无关。

2. 电势能

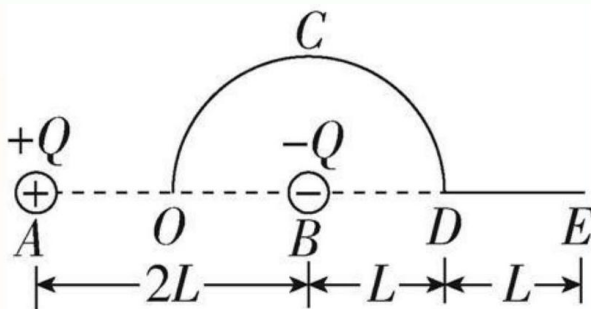
- 定义：电荷在电场中具有势能称为电势能。
- 决定式： $E_p = q\varphi$ 。
- 说明：电势能是标量，正负号表示大小；其具有相对性，通常把电荷在无限远处或大地表面的电势能规定为 0。
- 静电力做功与电势能变化的关系
 - 定性关系：静电力做正功，电势能减少；静电力做负功，电势能增加。
 - 定量关系： $W_{AB} = -\Delta E_p = E_{pA} - E_{pB}$ 。

知识拓展

- 某电荷在电场中某点具有的电势能大小
- 某电荷在某点电势能的大小在数值上等于将该电荷从该点移到零势能（无穷远处）位置过程中静电力所做的功，即 A 点的电势能 $E_{pA} = W_{AB}$ （设 B 点电势能为 0）。

典例 1

如图所示，距离为 $2L$ 的 AB 两点分别固定有等量异种点电荷 $+Q -Q$ 。 O 点是 AB 的中点， OCD 是以 B 点为圆心、 L 为半径的半圆。 E 是 AB 延长线上的一点， DE 间的距离为 L 。将一正点电荷 q 从 E 点沿 $EDCO$ 移动到 O 点，则下列说法正确的是 ()



- A. 从 E 到 D 的过程，点电荷 q 的电势能一直增加
- B. 从 E 到 D 的过程，点电荷 q 受到的静电力先减小后增大
- C. 从 D 到 O 的过程，点电荷 q 的电势能一直增加
- D. 从 D 到 O 的过程，点电荷 q 受到的静电力先增大后减小

提分关键·规律总结：判断电势能变化的三种方法

做功法	根据静电力做功：静电力做正功，电势能减少； 静电力做负功，电势能增加
公式法	根据 $E_p = q\varphi$ ： 正电荷在电势越高处电势能越大；负电荷在电势越高处电势能越小
能量守恒法	其他能与电势能相互转化，若其他能增加则电势能减少， 若其他能减少则电势能增加

2.1.2 电势与电势差

1. 电势

- (1) 定义式： $\varphi = \frac{E_p}{q}$ 。
- (2) 标量，有正负之分，其正（或负）表示该点电势比零电势高（或低）。
- (3) 具有相对性，同一点的电势因选取零电势点的不同而不同。

2. 电势差

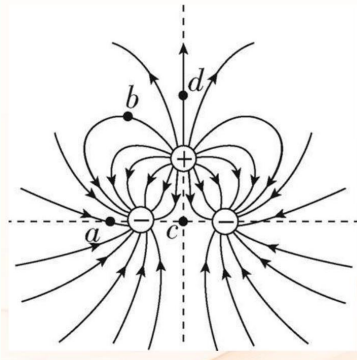
- (1) 定义式： $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ 。
- (2) 电势差与电势的关系： $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B, U_{AB} = -U_{BA}$ 。
- (3) 影响因素：电势差 U_{AB} 由电场本身的性质决定。

知识拓展 多个点电荷电势的叠加

1. 点电荷电势决定式： $\varphi = k\frac{Q}{r}$ （代数相加， Q 的正负要考虑）。
2. 适用场景：两个及两个以上点电荷在同一点电势的大小判断。
3. 某点的电势大小由电场自身以及空间位置决定，与试探电荷 q 及其电势能大小无关。

典例 2

（多选）两个相同的负点电荷和一个正点电荷附近的电场线分布如图所示，已知三个点电荷所带电荷量相同， c 点是两负点电荷连线的中点， d 点在正点电荷的正上方， cd 到正点电荷的距离相等，则（ ）



- A. a 点的电场强度比 b 点的大
- B. a 点的电势比 b 点的高
- C. c 点的电场强度比 d 点的大
- D. c 点的电势比 d 点的低

提分关键·方法提升: 电势高低的五种判断方法

判断依据	判断方法
电场线方向	沿电场线方向电势逐渐降低
场源电荷的正负	取无穷远处电势为 0，正电荷周围电势为正值，负电荷周围电势为负值；靠近正电荷处电势高，靠近负电荷处电势低
电势能的大小	正电荷在电势较高处电势能大，负电荷在电势较低处电势能大
静电力做功	根据 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ ，将 W_{AB} 、 q 的正负号代入，由 U_{AB} 的正负判断 φ_A 、 φ_B 的高低
点电荷电势的代数和法	根据公式 $\varphi = k\frac{Q}{r}$ 计算多个点电荷共同产生的电场中某点的电势，比较电势的高低

2.2 电势差与电场强度的关系

1. 关系式： $U = Ed$ ，其中 d 为匀强电场中两点沿电场方向的距离。

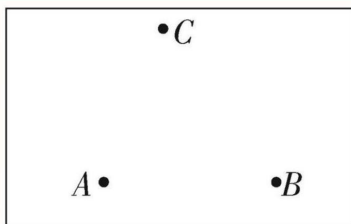
2. 说明：

(1) 沿电场线方向电势降低得最快。

(2) 匀强电场中沿任意一条直线方向电势均匀变化。

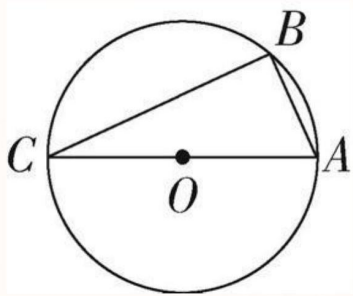
教考衔接

典例 3 (人教版必修三 P₃₄, T 改编) 如图 1, 在与纸面平行的匀强电场中有 $A B C$ 三个点, 其电势分别为 6 V 2 V 和 2 V 。

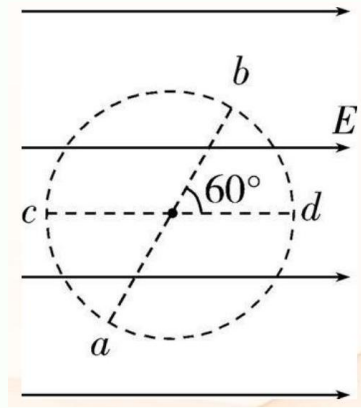


(1) (回归教材) 试画出经过 A 点的一条电场线。

(2) (情境变式) 如图 2, 在与纸面平行的匀强电场中有 $A B C$ 三个点, 三点分别位于等边三角形的顶点处, 等边三角形的边长为 5 cm , 将电荷量为 $+e$ 的粒子从 C 点移动到 A 点, 静电力做功为 5 eV , 将该电荷从 C 点移动到 B 点, 静电力做功为 -5 eV 。试画出经过 A 点的一条电场线并求出该匀强电场的电场强度大小。

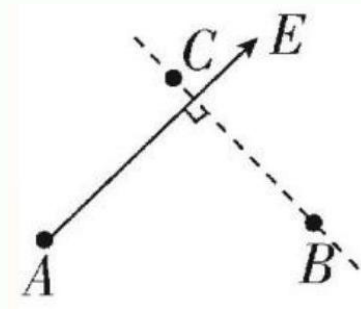


(3) (拓展变式) (多选) 如图 3, 真空中有一半径为 5 cm 的圆, 其圆心为 O 点, 三角形 ABC 是圆的内接直角三角形, $\angle BAC = 63.5^\circ$, 空间存在着平行于圆面的匀强电场 (取 O 点的电势为 0)。将一电子放在 C 点时具有的电势能为 8 eV , 将该电子从 A 点移动到 B 点, 克服静电力做功为 8 eV 。放置在 A 点的质子源, 向各个方向发射动能均为 5 eV 的质子。已知电子的电荷量为 e , 不考虑质子源产生的电场, 不计各种粒子的重力和粒子间的相互作用 ($\sin 53^\circ = 0.8, \cos 53^\circ = 0.6$)。下列说法正确的是 ()



- A. 圆周上 BC 两点间的电势差 $U_{BC} = 8 \text{ V}$
 B. 匀强电场的电场强度大小为 200 V/m
 C. 若某一质子到达圆周边界时的电势能为 4 eV ，则其动能为 1 eV
 D. 当某个质子经过圆周上某一位置时，动能可能为 22 eV

(4) (链接高考) (2021 海南, 11,4 分) (多选) 如图, 在匀强电场中有一虚线圆, ab 和 cd 是圆的两条直径, 其中 ab 与电场方向的夹角为 60° , $ab = 0.2 \text{ m}$, cd 与电场方向平行, a b 两点的电势差 $U_{ab} = 20 \text{ V}$ 。则 ()



- A. 电场强度的大小 $E = 200 \text{ V/m}$
 B. b 点的电势比 d 点的低 5 V
 C. 将电子从 c 点移到 d 点, 电场力做正功
 D. 电子在 a 点的电势能大于在 c 点的电势能

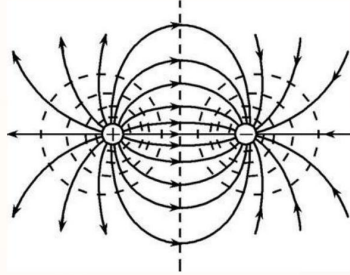
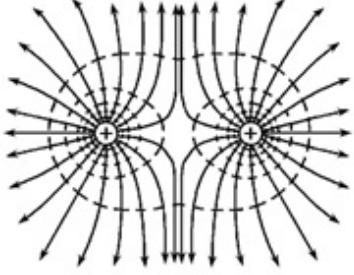
2.3 等势面 带电粒子在电场中的运动轨迹问题

2.3.1 等势面

1. 等势面的特点

- 等差等势面越密的地方电场强度越大, 电场线越密集, 反之越小
- 在同一等势面上移动电荷时静电力不做功, 电场线一定与等势面垂直, 并且从电势高的等势面指向电势低的等势面
- 任意两个等势面都不相交、不相切

2. 等量点电荷的等势面分布

	等量异种点电荷	等量同种点电荷
等势面与电场线分布图		 以正电荷为例
点电荷连线电势	从正电荷到负电荷，对应电势由高变低	若为正电荷，中点处最低； 若为负电荷，中点处最高
中垂线电势	电势为 0 的等势面	若为正电荷，中点处最高； 若为负电荷，中点处最低

2.3.2 带电粒子在电场中运动轨迹问题的分析方法

1. 判断速度方向

带电粒子运动轨迹上某点的切线方向为粒子在该点处的速度方向。选用轨迹和电场线（或等势面）的交点分析更方便。

2. 判断静电力的方向

仅受静电力作用时，静电力提供合力，带电粒子的运动轨迹始终夹在速度方向和所受静电力方向之间，而且静电力指向轨迹凹侧。

(1) 若已知电场线和轨迹，所受静电力的方向与电场线（或切线）共线。

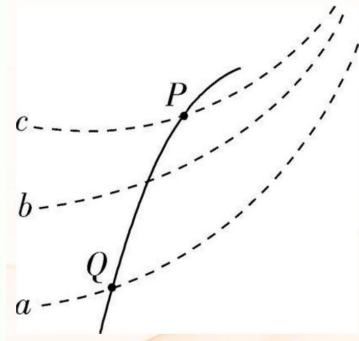
(2) 若已知等势面和轨迹，所受静电力的方向与等势面垂直。

3. 判断静电力做功的正负及电势能的增减

若静电力方向与速度方向成锐角，则静电力做正功，电势能减少；若静电力方向与速度方向成钝角，则静电力做负功，电势能增加。

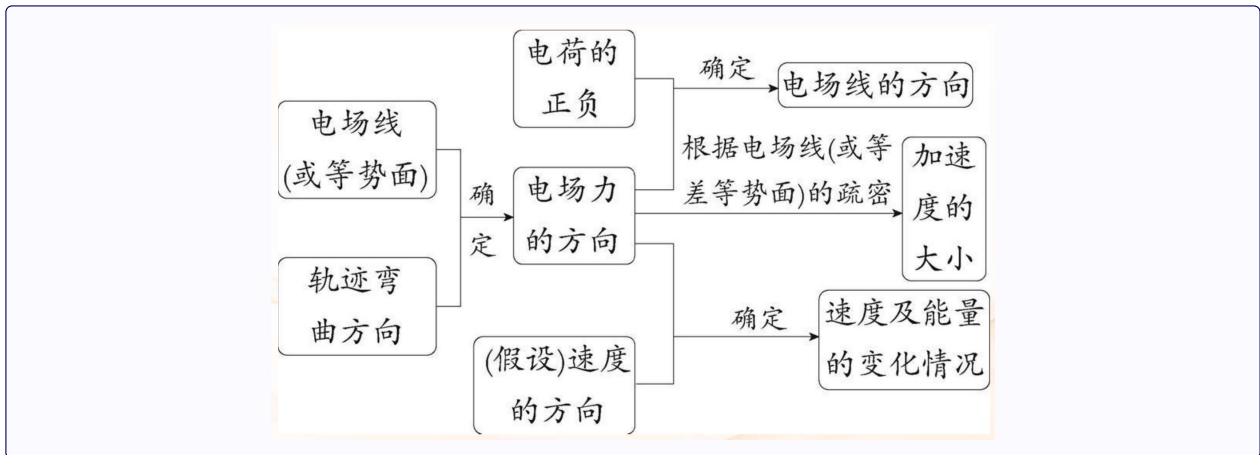
典例 4

如图所示，虚线 abc 代表电场中的三个等势面，相邻等势面之间的电势差相等，即 $U_{ab} = U_{bc}$ ，实线为一带负电的质点仅在电场力的作用下通过该区域时的运动轨迹， PQ 是这条轨迹上的两点，据此可知（ ）



- A. 三个等势面中， c 的电势最高
- B. 带电质点通过 P 点的电势能比通过 Q 点的大
- C. 带电质点通过 P 点的动能比通过 Q 点的大
- D. 带电质点通过 P 点的加速度比通过 Q 点的小

提分关键·方法提升: 带电粒子仅受静电力的轨迹类问题的解题思维流程



2.4 静电的防止与利用

1. 静电平衡: 导体放入电场中时，感应电荷的电场与原电场的电场强度在导体内部大小相等且方向相反，使得导体内部电场强度为 0 时，自由电荷不再发生定向移动，导体达到静电平衡状态。(此处可拓展法拉第笼)

2. 处于静电平衡状态的导体的特点

- (1) 导体内部电场强度 $E = 0$ ，实质是感应电荷的电场的电场强度大小 $E_{\text{感}}$ 等于外电场在导体内的电场强度大小 $E_{\text{外}}$ 。
- (2) 表面和内部各点电势相等，导体是一个等势体，导体表面是等势面。
- (3) 导体表面处的电场强度方向与导体表面垂直。
- (4) 导体内部没有净剩电荷，电荷只分布在导体的外表面上。
- (5) 在导体外表面越尖锐的位置，电荷的密度（单位面积上的电荷量）越大，凹陷的位置几乎没有电荷。

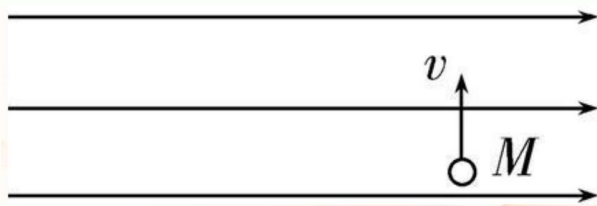
2.5 微专题 2 静电场中的功能关系及图像问题

2.5.1 题型 1 静电场中的功能关系

1. 若只有静电力做功，电势能与动能之和保持不变。
2. 若只有静电力和重力做功，电势能、重力势能、动能之和保持不变。
3. 静电力做功等于电势能的减少量，即 $W_{\text{电}} = E_{\text{p电}1} - E_{\text{p电}2} = -\Delta E_{\text{p电}}$ 。
4. 除重力和系统内弹簧弹力之外，其他力做的总功等于系统内物体机械能的变化量，即 $W_{\text{其他力}} = E_{\text{机}2} - E_{\text{机}1} = \Delta E_{\text{机}}$ 。
5. 所有外力对物体所做的总功等于物体动能的变化量，即 $W_{\text{合}} = E_{\text{k}2} - E_{\text{k}1} = \Delta E_{\text{k}}$ (动能定理)。

典例 1

如图所示，在水平向右的匀强电场中，质量为 m 的带电小球，以初速度 v 从 M 点竖直向上运动，通过 N 点时，速度大小为 $2v$ ，方向与电场方向相反，则小球从 M 运动到 N 的过程 ()



- A. 动能增加 $\frac{1}{2}mv^2$
- B. 机械能增加 $2mv^2$
- C. 重力势能增加 $\frac{3}{2}mv^2$
- D. 电势能增加 $2mv^2$

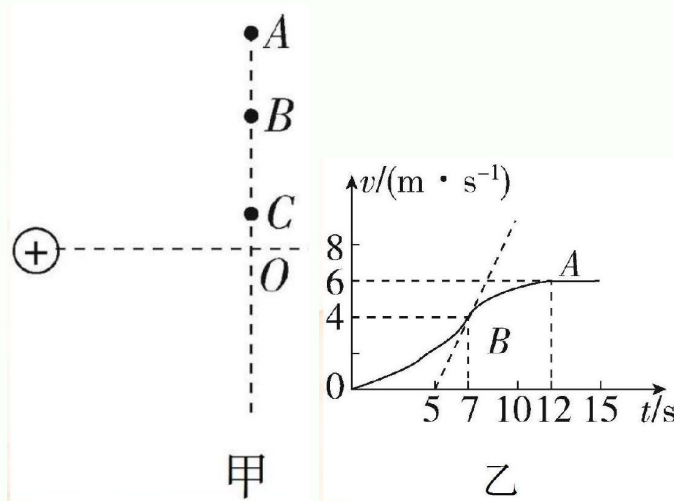
2.5.2 题型 2 静电场中的图像问题

电场中的 $v-t$ 图像

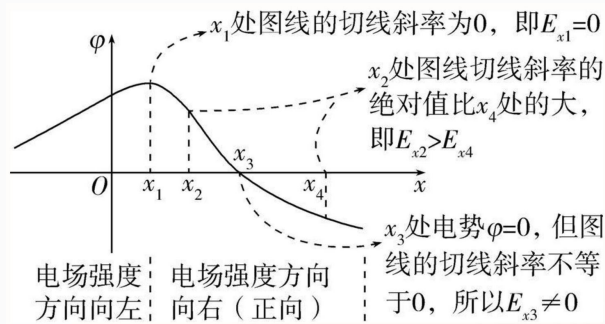
1. 根据 $v-t$ 图像中速度变化、图线上某点的切线斜率确定电荷所受静电力的方向与大小变化情况。
2. 由静电力方向及电荷的电性确定电场的方向、电势高低及电势能变化情况。

典例 2

(2024 届重庆八中检测) 两个等量同种点电荷固定于光滑水平面上, 其连线的中垂线 (在水平面内) 上有 $A B C$ 三点, 如图甲所示, 一个电荷量为 $2 \times 10^{-5} \text{C}$ 、质量为 1g 的小物块从 C 点由静止释放, 其运动的 $v-t$ 图像如图乙所示, 其中 B 点为整条图线的切线斜率最大的位置 (图中标出了该切线), 忽略物块所受重力。下列说法正确的是 ()



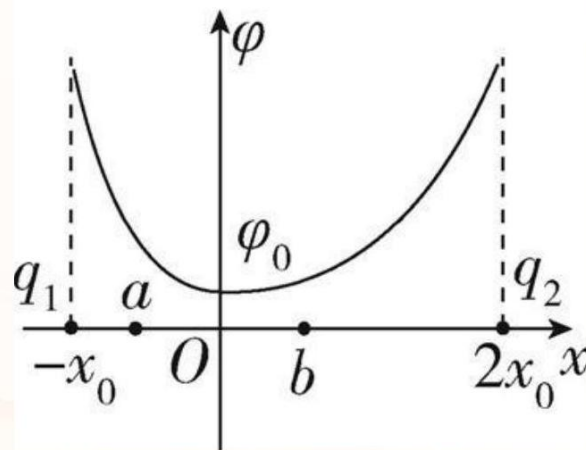
- A. 小物块带负电
- B. $A B$ 两点间的电势差 $U_{AB} = 500 \text{V}$
- C. 小物块从 C 点到 A 点电势能先减少再增加
- D. B 点为该中垂线上电场强度最大的点, 电场强度的大小 $E = 100 \text{N/C}$

2.5.3 $\varphi - x$ 图像

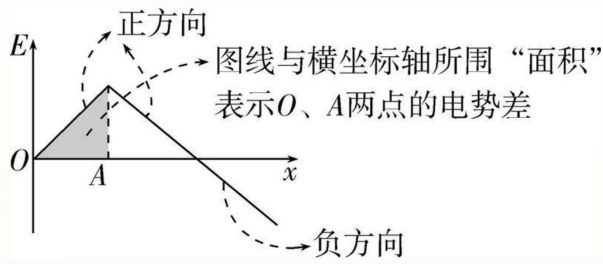
1. 描述电势随位移变化的规律, 从图像中可以直接判断各点电势的高低。
2. 根据电势的高低变化情况可以判断电场强度的方向, 并可根据 $E_p = q\varphi$ 结合电荷的电性分析电荷移动时电势能的变化。
3. 根据 $E = \frac{U}{d}$ 得 $E = \left| \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} \right|$, $\varphi - x$ 图线切线的斜率反映电场强度。

典例 3

(2024 届山东聊城二模) x 轴上有两个不等量点电荷 q_1 q_2 , 两点电荷连线上各点电势随位置坐标变化的 $\varphi - x$ 图像如图所示, 图线与 φ 轴正交, 交点处的纵坐标为 φ_0 , a b 为 x 轴上关于原点 O 对称的两个点。正电子的质量为 m , 电荷量为 e , 取无穷远处电势为 0。下列说法正确的是 ()



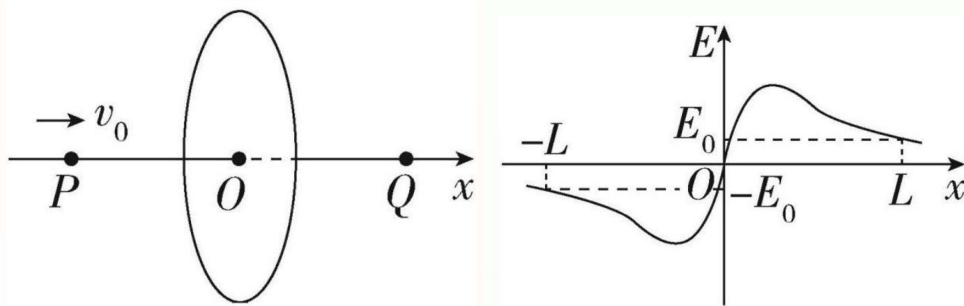
- A. q_1 q_2 带异种电荷
- B. 两电荷电荷量之比 $q_1 : q_2 = 1 : 2$
- C. 将一正电子从 a 点由静止释放, 若经过 O 点时速度大小为 v_0 , 则 a 点的电势 $\varphi_a = \varphi_0 + \frac{mv_0^2}{2e}$
- D. 将一正电子从 b 点由静止释放, 则静电力先做正功后做负功, 正电子经过 O 点后可以达到 a 点

2.5.4 $E-x$ 图像

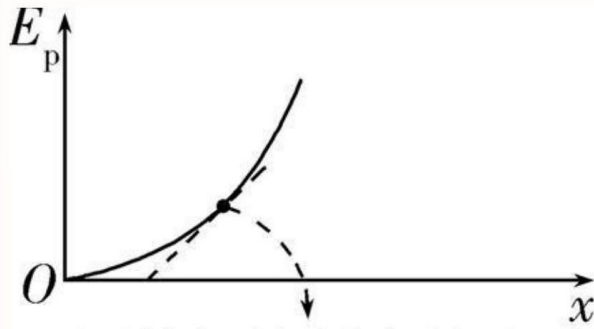
1. 描述电场强度随位移变化的规律。
2. 电场强度 E 的正负表示电场强度的方向。 $E > 0$ 表示电场强度沿正方向； $E < 0$ 表示电场强度沿负方向。
3. 图线与 x 轴围成的 "面积" 表示电势差，"面积" 大小表示电势差大小，"面积" 的正负表示始末两点电势的高低。

典例 4

(2024 届福建漳州质检) 如图甲所示，电荷均匀分布的固定绝缘细圆环，圆心为 O ，轴线上的电场强度如图乙所示。现有一带正电粒子，以大小为 v_0 的初速度沿轴线仅在静电力作用下由 P 点运动到 Q 点， $OP = OQ = L$ 。以 x 轴的正方向为电场强度的正方向，则 ()



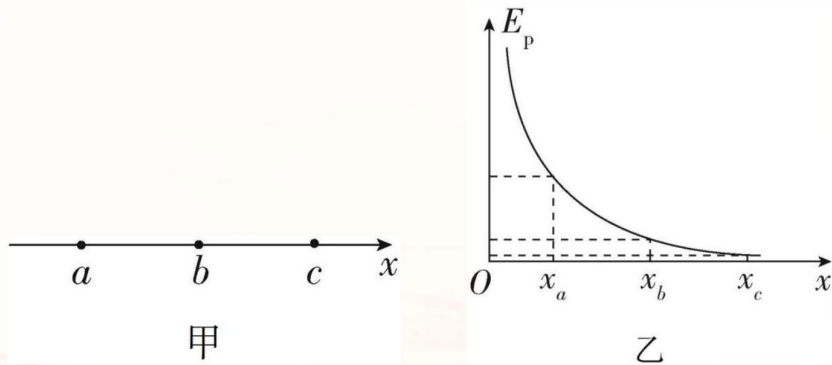
- A. 细圆环带负电
- B. OP 两点间的电势差 U_{OP} 小于 OQ 两点间的电势差 U_{OQ}
- C. 该粒子将会在 PQ 两点间做往复运动
- D. 该粒子由 P 点运动到 Q 点的过程，电势能先增加后减少

2.5.5 $E_p - x$ 图像

1. 描述电势能随位移变化的规律。
2. 根据电势能的变化可以判断静电力做功的正负。
3. 根据 $W_{\text{静电}} = -\Delta E_p = Fx$, $E_p - x$ 图线切线斜率 $k = \frac{E_{p2} - E_{p1}}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta E_p}{\Delta x} = \frac{-W_{\text{静电}}}{\Delta x} = -F_{\text{静电}}$, 即图线切线的斜率的绝对值表示静电力的大小。

典例 5

(2024 届安徽黄山一模) (多选) 如图甲所示, 在某电场中建立 x 坐标轴, 一个电子仅在电场力作用下沿 x 轴正方向运动, 经过 $a b c$ 三点, 已知 $x_b - x_a = x_c - x_b$ 。该电子的电势能 E_p 随坐标 x 变化的关系如图乙所示。下列说法正确的是 ()

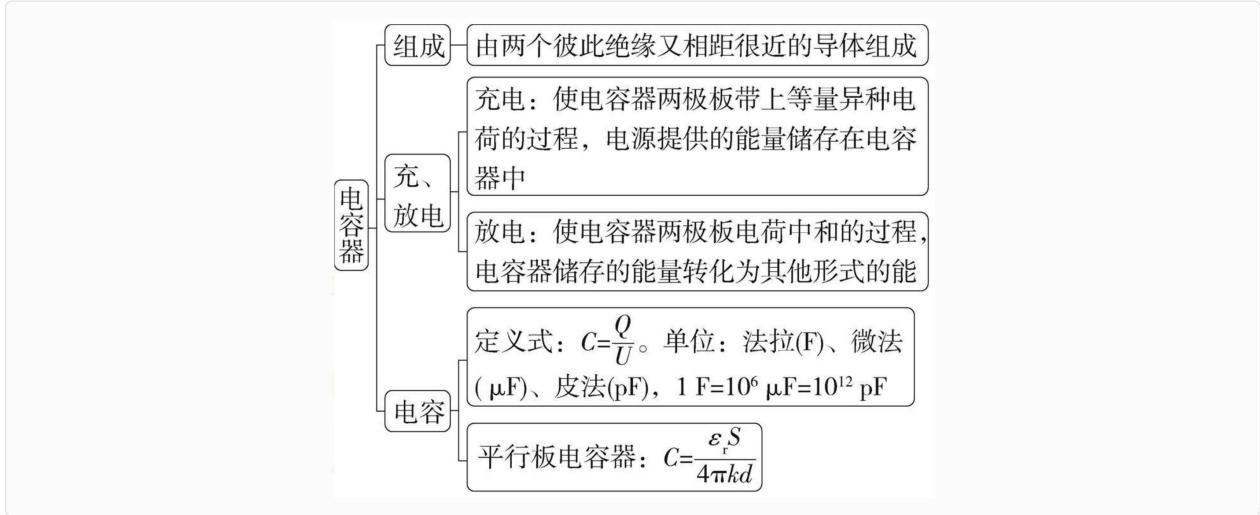


- A. 自 a 到 c 电场力对电子做正功
- B. a 点的电势高于 b 点的电势
- C. 电子在 a 点的加速度大于在 c 点的加速度
- D. 电子经过 a 点的动能小于经过 b 点的动能

3 电容器带电粒子在电场中的运动

3.1 电容器平行板电容器的动态分析

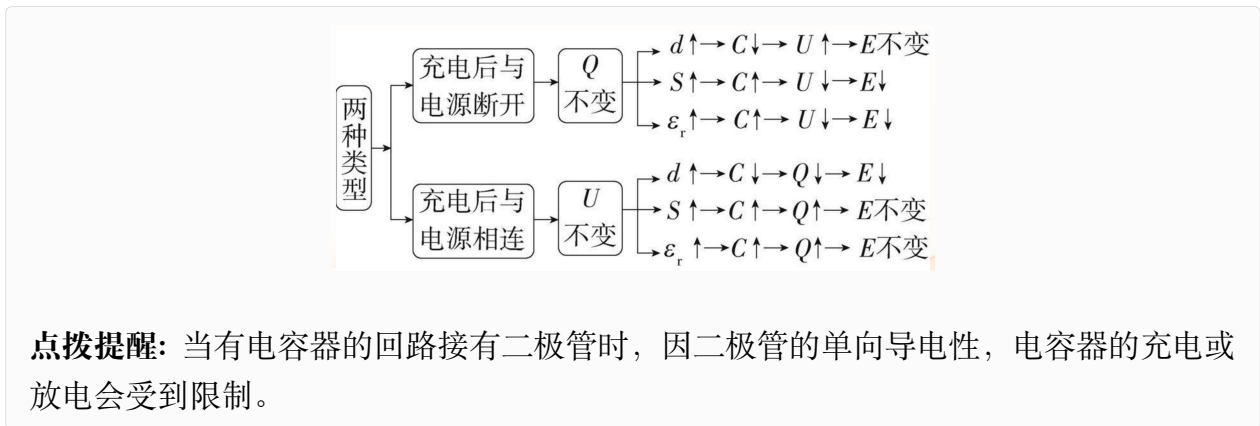
3.1.1 电容器



3.1.2 定义式与决定式的比较

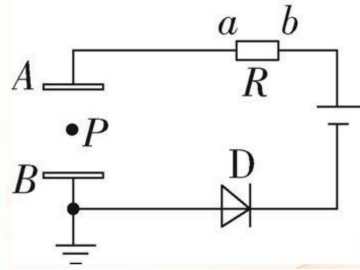
	$C = \frac{Q}{U}$ (定义式)	$C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ (决定式)
意义	对某电容器， $\frac{Q}{U} = C$ 不变，反映电容器储存电荷的本领大小	对平行板电容器， $C \propto \epsilon_r, C \propto S, C \propto \frac{1}{d}$ ，反映了决定平行板电容器电容大小的因素
联系	电容器储存电荷的本领大小由 $\frac{Q}{U}$ 来量度，由本身的结构来决定	

3.1.3 平行板电容器的动态分析



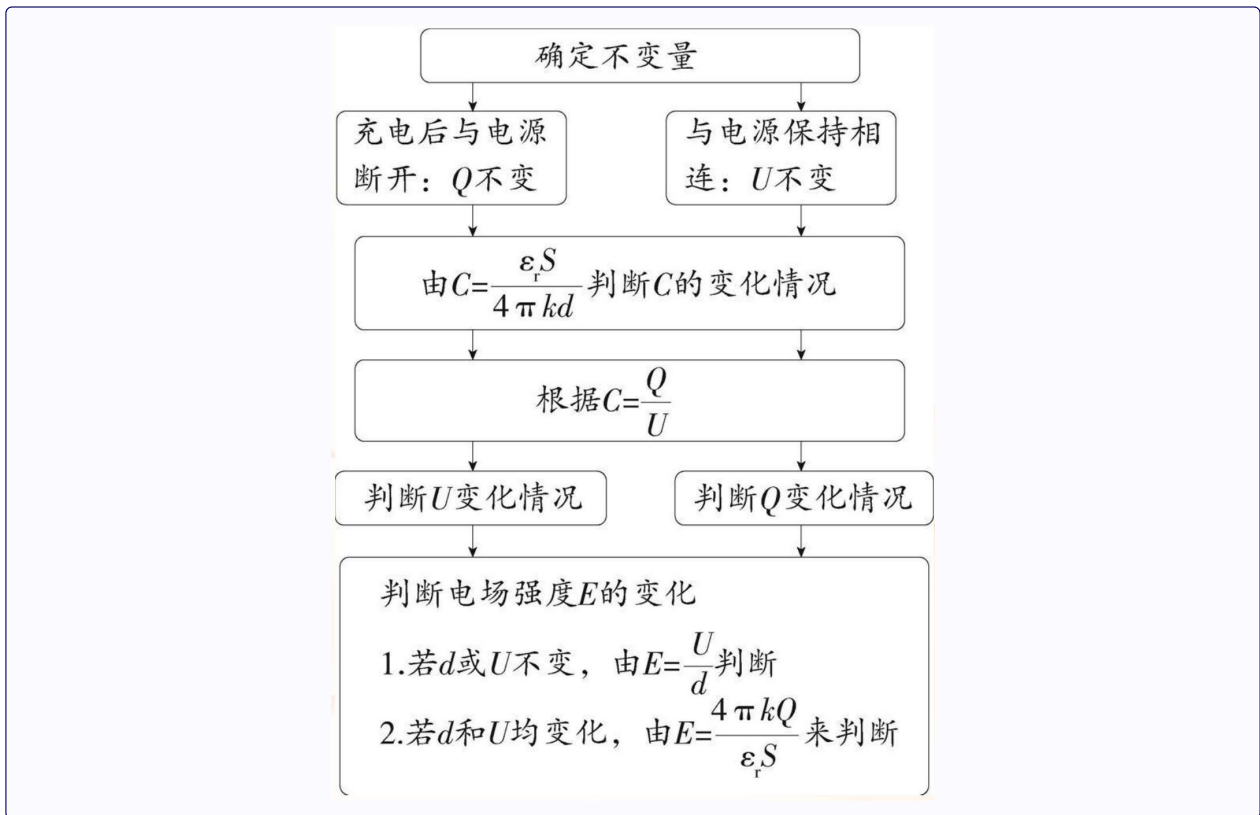
典例 1

(2024 届安徽合肥三模) (多选) 如图所示, 平行板电容器两极板与直流电源、理想二极管 D (正向电阻为 0, 反向电阻无穷大)、定值电阻 R 连接, 电容器下极板 B 接地, 两板间 P 点有一带电油滴恰好处于静止状态。现将上极板 A 向上移动, 下列说法正确的是 ()



- A. R 中有从 a 到 b 的电流
- B. 两极板间电压保持不变
- C. 油滴的电势能不变
- D. 油滴仍保持静止状态

提分关键 · 方法提升: 解决平行板电容器动态分析问题的思路



3.2 带电粒子在电场中的直线运动

3.2.1 带电粒子做直线运动的条件

1. 若粒子所受合力 $F_{\text{合}} = 0$ ，粒子做匀速直线运动。
2. 若粒子所受合力 $F_{\text{合}} \neq 0$ ，且与初速度方向在同一条直线上，带电粒子将做加速直线运动或减速直线运动。

3.2.2 用动力学观点分析（匀强电场、只受静电力）

$$a = \frac{qE}{m}, E = \frac{U}{d}, v^2 - v_0^2 = 2ad$$

3.2.3 用功能观点分析（只受静电力）

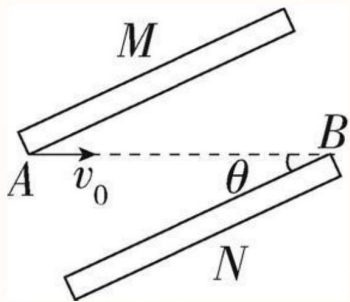
1. 匀强电场中： $qEd = qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 。
2. 非匀强电场中： $W = qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 。

点拨提醒：

- (1) 带电粒子：例如电子、质子、 α 粒子、离子等除有特殊说明或明确的暗示外，一般不考虑其重力（但不能忽略其质量）。
- (2) 带电颗粒：例如液滴、油滴、尘埃等，除有特殊说明或明确的暗示外，一般都不能忽略其重力。

典例 2

如图所示，倾斜放置的平行板电容器两极板与水平面的夹角为 θ ，极板间距为 d ，带负电的微粒质量为 m ，带电荷量的绝对值为 q ，从极板 M 的左边缘 A 处以初速度 v_0 水平射入，沿直线运动并从极板 N 的右边缘 B 处射出，重力加速度为 g ，则（ ）



- A. 微粒到达 B 点时的动能为 $\frac{1}{2}mv_0^2$
- B. 微粒的加速度大小等于 $g \sin \theta$
- C. 两极板间的电势差 $U_{MN} = \frac{mgd}{q \cos \theta}$
- D. 微粒从 A 点到 B 点的过程，电势能减少 $\frac{mgd}{\cos \theta}$

3.3 带电粒子在电场中的曲线运动

3.3.1 运动规律

偏转

基本关系式

运动形式：类平抛运动

处理方法：应用运动的合成与分解

运动时间： $t = \frac{l}{v_0}$

加速度： $a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$

偏移量： $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qUl^2}{2mdv_0^2}$

速度偏转角 θ 的正切值： $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{at}{v_0} = \frac{qUl}{mdv_0^2}$

中点结论：速度反向延长线过水平位移的中点

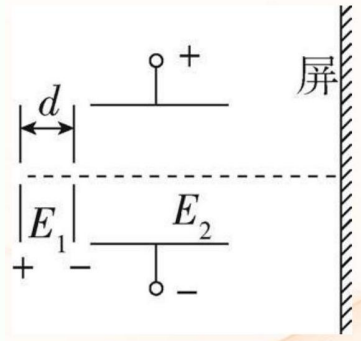
$y' = y + L \tan \theta = \left(\frac{l}{2} + L\right) \tan \theta$

3.3.2 功能关系

当讨论带电粒子的末速度 v 时也可以从能量的角度进行求解， $qU_y = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ ，其中 $U_y = \frac{U}{d}y$ ， U_y 即初、末位置间的电势差。

典例 3

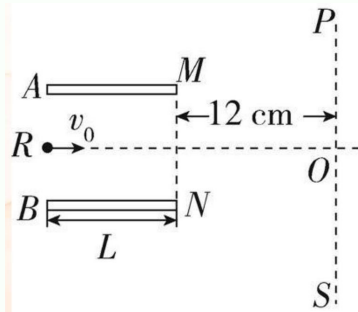
(多选) 如图所示, 氦核、氘核、氚核三种粒子从同一位置无初速度地进入水平向右的加速电场, 其电场强度的大小为 E_1 , 之后进入竖直向下的匀强电场, 其电场强度的大小为 E_2 , 粒子经过偏转打在屏上。整个装置处于真空中, 不计粒子重力及其相互作用, 那么 ()



- A. 偏转电场对三种粒子做的功一样多
- B. 三种粒子打到屏上时的速度大小相等
- C. 三种粒子运动到屏上所用的时间相等
- D. 三种粒子一定打到屏上的同一位置

典例 4

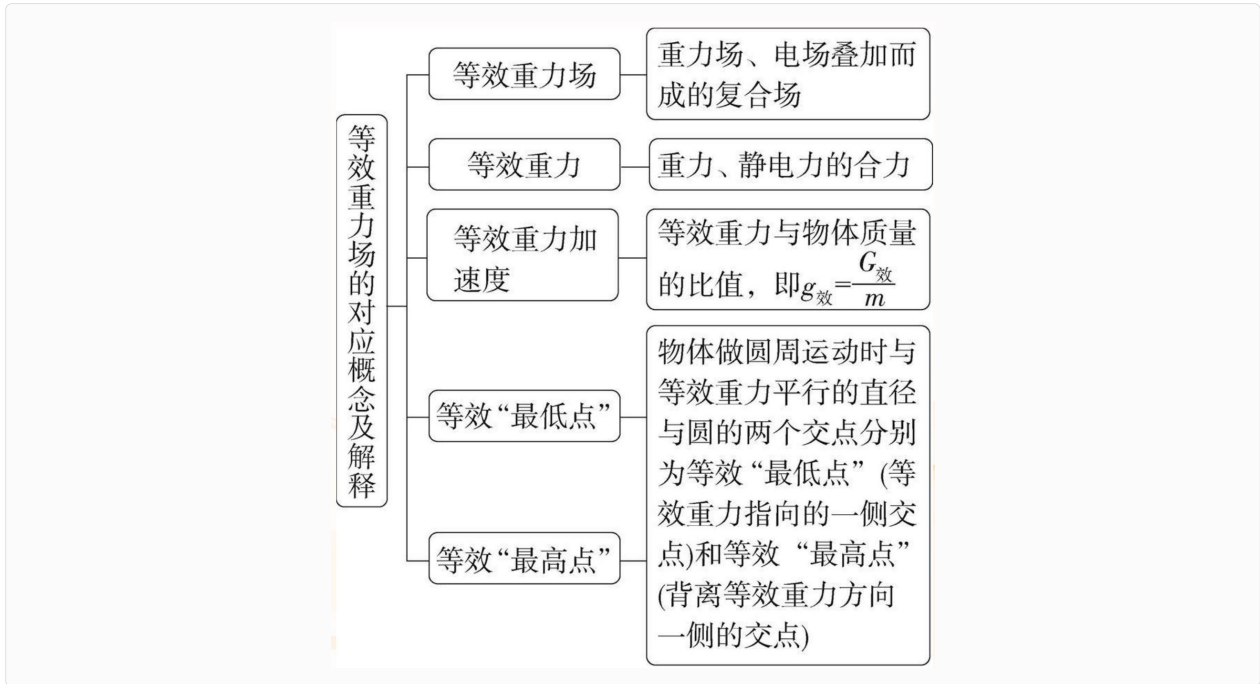
如图所示, 两平行金属板 AB 长 $L = 8 \text{ cm}$, 两板间距离 $d = 8 \text{ cm}$, A 板的电势比 B 板的电势高, 电势差 $U = 300 \text{ V}$, 一个不计重力的带正电的粒子的电荷量 $q = 1 \times 10^{-10} \text{ C}$, 质量 $m = 1 \times 10^{-20} \text{ kg}$, 沿电场中心线 RO 垂直电场线飞入电场, 初速度 $v_0 = 2 \times 10^6 \text{ m/s}$, 粒子飞出平行板后, 可进入界面 MN 和光屏 PS 间的无电场的真空区域, 最后打在光屏 PS 上的 D 点 (未画出)。已知界面 MN 与光屏 PS 相距 12 cm , O 点是中心线 RO 与光屏 PS 的交点。 $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$ 。求:



- (1) 粒子穿过界面 MN 时偏离中心线 RO 的距离;
- (2) 粒子射出平行板电容器时的偏转角;
- (3) OD 两点间的距离。

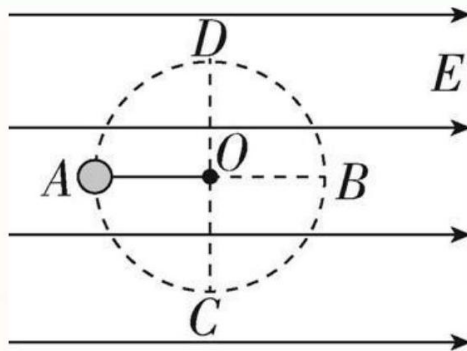
3.4 微专题 3 带电粒子在电场中的力电综合问题

3.4.1 题型 1 带电粒子在重力场和电场中的圆周运动



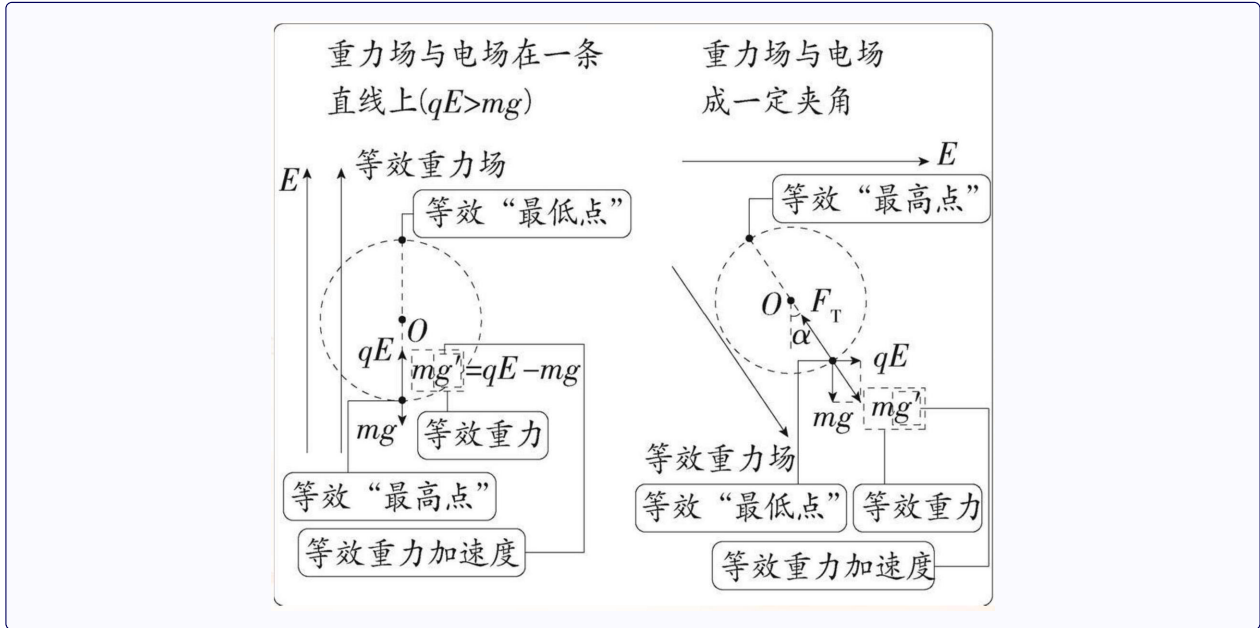
典例 1

(多选) 如图所示, 在水平的匀强电场中, 一个质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的小球 (视为质点), 系在一根长为 L 的绝缘细线一端, 小球可以在竖直平面内绕 O 点做圆周运动, AB 为圆的水平直径, CD 为竖直直径。已知重力加速度为 g , 电场强度大小 $E = \frac{mg}{q}$, 不计空气阻力。下列说法正确的是 ()



- A. 若小球在竖直平面内绕 O 点做圆周运动, 则小球运动到 B 点时的机械能最大
- B. 若将小球在 A 点由静止开始释放, 它将沿着 $ACBD$ 圆弧运动
- C. 若小球在竖直平面内绕 O 点做圆周运动, 则它运动过程中的最小速度为 $\sqrt{\sqrt{2}gL}$
- D. 若将小球在 A 点以大小为 \sqrt{gL} 的速度竖直向上抛出, 它将能够到达 D 点

提分关键·方法提升: 等效 " 最高点 " 和等效 " 最低点 " 的确定方法



3.4.2 题型 2 电场中的力电综合问题

在电磁的考察中因为我们没有学习电磁场的理论甚至于场的描述, 所以高中对于电磁的考查只能通过与运动学结合在一起, 故下面通过力学的三大观点对电场中的电力综合问题剖析思路

动力学的观点

1. 由于匀强电场中带电粒子所受静电力和重力都是恒力, 可用正交分解法。
2. 综合运用牛顿运动定律和匀变速直线运动公式解题, 注意受力分析要全面, 特别注意重力是否需要考虑。

能量的观点

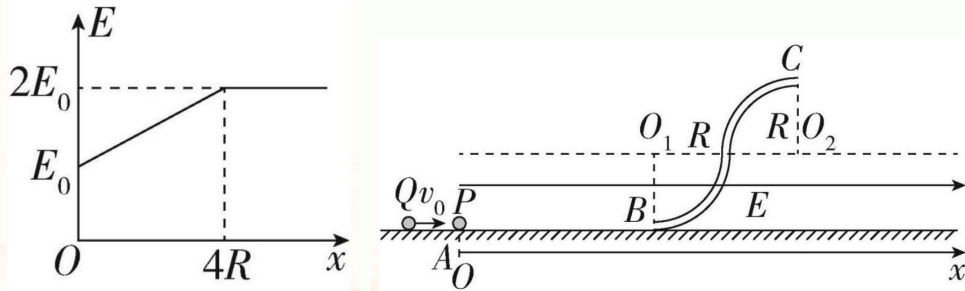
1. 运用动能定理解题, 注意过程分析要全面, 准确求出过程中的所有力做的功, 判断是对分过程还是对全过程使用动能定理。
2. 运用能量守恒解题, 注意题目中有哪些形式的能量出现。

动量的观点

1. 运用动量定理解题, 要注意动量定理的表达式是矢量式, 在一维情况下, 各个矢量必须选同一个正方向。
2. 运用动量守恒定律解题, 除了要注意动量守恒定律的表达式是矢量式, 还要注意题目表述是否在某方向上动量守恒。

典例 2

如图甲所示，两个半径均为 R 的竖直固定的绝缘光滑¹ 细圆管道与粗糙水平地面 AB 在 B 点平滑相切，过管道圆心 $O_1 O_2$ 的水平界面下方空间有水平向右的电场，记 A 点所在位置为坐标原点，沿 AB 方向建立 x 坐标轴，电场强度大小随 x 的变化如图乙所示。质量为 m 、带电荷量为 $+q$ ($q > 0$) 的小球 P 静止在 A 点，小球与地面间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$ 。另有一光滑绝缘不带电小球 Q ，质量为 $\frac{m}{2}$ ，以速度 $v_0 = \frac{3}{2}\sqrt{2gR}$ 向右运动，与小球 P 发生弹性正碰，碰撞时间极短，且 PQ 间无电荷转移，碰后 P 球可从 B 点无碰撞地进入管道。已知 AB 间距离为 $4R$ ， $E_0 = \frac{mg}{2q}$ ，重力加速度为 g ，不计空气阻力，小球 PQ 均可视为质点。



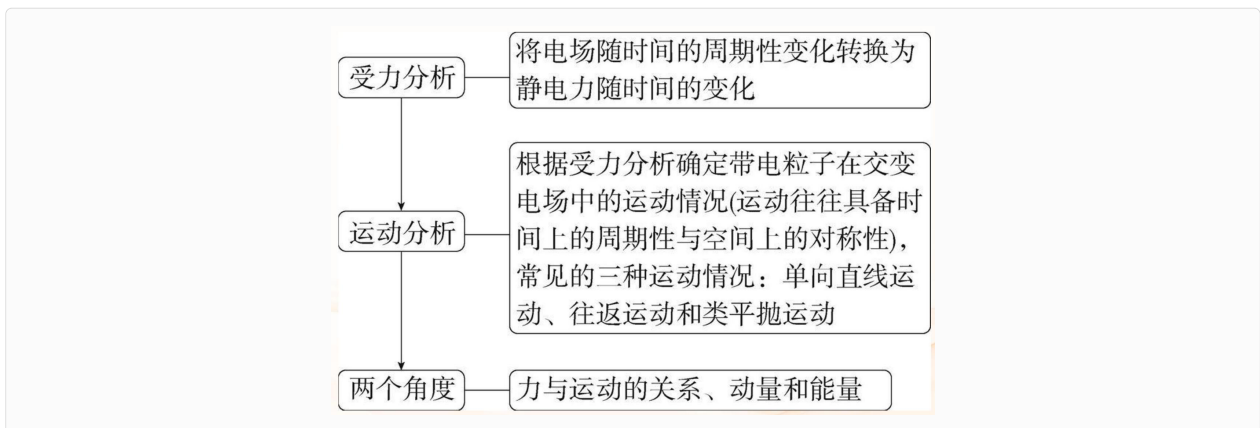
- (1) 光滑绝缘不带电小球 Q 与小球 P 发生弹性正碰，碰后小球 P 的速度大小为多少？
- (2) 小球 P 从 A 点运动到管道最高点 C 的过程中，能否求出静电力做的功 W_{AC} ？若能求出，是多少？
- (3) 如何求小球到达 C 点的速度大小？如何求小球 P 再次到达水平地面时与 B 点的距离？

3.5 微专题 4 带电粒子在交变电场中的运动

3.5.1 带电粒子在交变电场中的运动模型

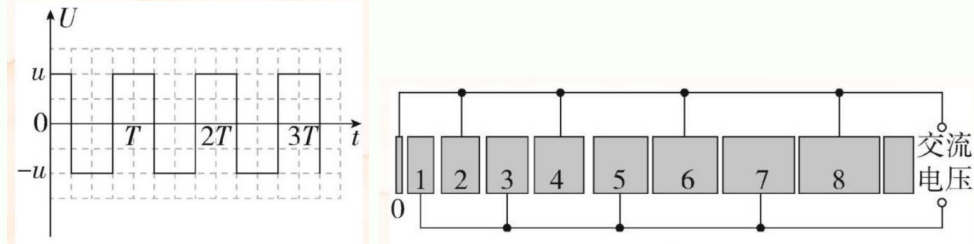
<p>直线运动</p>		<p>(1) 带电粒子进入电场时初速度为 0, 或初速度方向与电场方向平行, 带电粒子在静电力的作用下做加速、减速交替进行的直线运动</p> <p>(2) 该问题通常用动力学知识结合运动学图像分析求解。重点分析各段时间内的加速度、运动性质、每段运动时间与交变电场的周期 T 间的关系等</p>
<p>曲线运动</p>		<p>带电粒子以一定的初速度垂直于电场方向进入交变电场, 粒子做曲线运动</p> <p>(1) 若带电粒子的初速度很大, 通过交变电场所用时间极短, 可认为粒子所受静电力为恒力, 在电场中做类平抛运动</p> <p>(2) 若带电粒子运动的时间较长, 沿初速度方向做匀速直线运动, 沿垂直于初速度方向利用 $v_y - t$ 图像进行分析: y 方向的位移可用 $v_y - t$ 图线与横轴围成的 "面积" 求解</p>

3.5.2 带电粒子在交变电场中运动的分析思路



典例 1

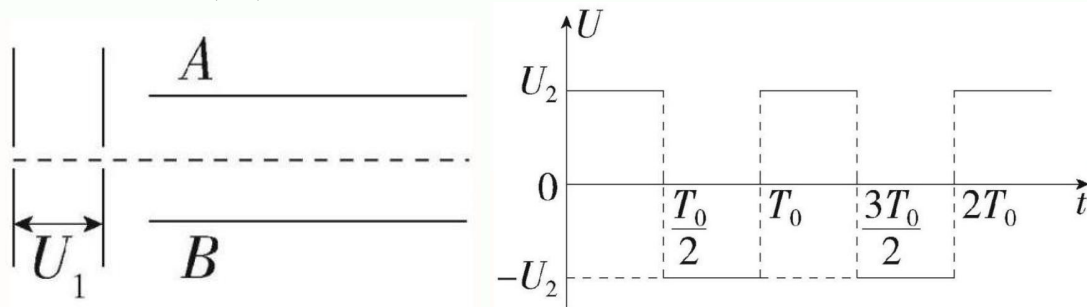
(2024 届浙江名校新高考研究联盟三模) 图甲为直线加速器原理图, 由多个横截面积相同的金属圆筒依次排列, 其中心轴线在同一直线上。序号为奇数的圆筒和交流电源的一个极相连, 序号为偶数的圆筒和该电源的另一个极相连。交流电源两极间电势差的变化规律如图乙所示。已知电子的质量为 m 、元电荷为 e 、电势差的绝对值为 u , 周期为 T , 电子通过圆筒间隙的时间可以忽略不计。在 $t = 0$ 时, 奇数圆筒相对偶数圆筒的电势差为正值, 此时位于和偶数圆筒相连的金属圆板 (序号为 0) 中央有一个初速度为 0 的电子。下列说法正确的是 ()



- A. 电子在圆筒中做匀加速直线运动
 B. 本装置可采用直流电源进行加速
 C. 进入第 2 个金属圆筒时的速度大小为 $2\sqrt{\frac{eu}{m}}$
 D. 第 8 个金属圆筒的长度为 $4T\sqrt{\frac{eu}{m}}$

典例 2

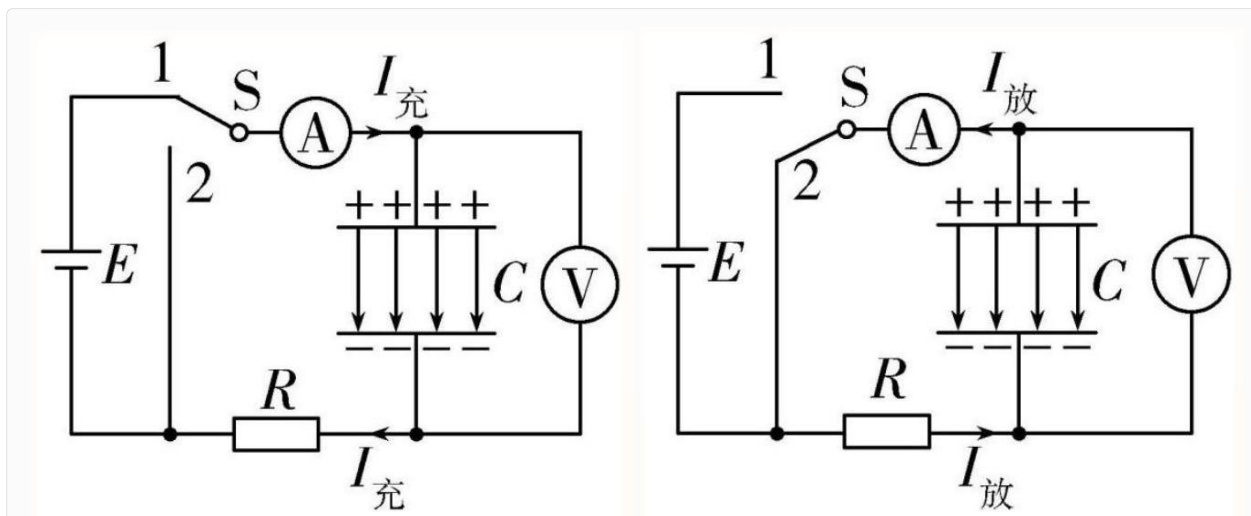
(多选) 如图 1 所示, 一束初速度很小的带电粒子进入加速电场后被加速, 沿着极板 A B 之间的中心线进入偏转电场。如图 2 所示, 偏转电场两极板之间的电压变化周期为 T_0 。带电粒子在 $t = 0$ 时刻射入偏转电场, T_0 时刻刚好从极板 A 的右边缘射出。已知带电粒子质量为 m , 电荷量为 q ($q > 0$), 偏转电场两极板的板长为 L , 极板间距为 d 。带电粒子受到的重力、粒子间相互作用及带电粒子进入加速电场的初速度忽略不计。下列说法正确的是 ()



- A. 加速电场极板间的电压 U_1 为 $\frac{mL^2}{2qT_0^2}$
 B. 偏转电场极板间的电压 U_2 为 $\frac{4md^2}{qT_0^2}$
 C. $\frac{3T_0}{8}$ 时刻进入偏转电场的粒子与 A 板的最小距离为 $\frac{15d}{32}$
 D. $\frac{3T_0}{8}$ 时刻进入偏转电场的粒子垂直极板方向的最大速度为 $\frac{3d}{4T_0}$

4 实验 观察电容器的充、放电现象

4.1 实验原理



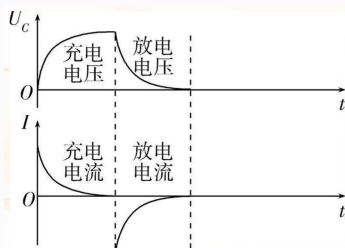
1. **充电过程**：电容器与电源相连，形成充电电流，随着极板电荷量的增加，充电电流减小。
2. **放电过程**：电容器的正、负电荷中和，形成放电电流，随着极板电荷量的减少，放电电流减小。

4.2 操作步骤

1. 按原理图连接实验器材。
2. 单刀双掷开关 S 接 1，观察电容器的充电现象，并将结果记录下来。
3. 单刀双掷开关 S 接 2，观察电容器的放电现象，并将结果记录下来。
4. 关闭电源，整理器材。

4.3 数据处理

1. 观察电流表、电压表示数变化，总结电容器充、放电电流、电压的变化规律。
2. 绘制充、放电的 $I - t$ 图像，由图像计算充、放电过程中通过电路的电荷量。



知识拓展：在 $I - t$ 图像中，先算出一个小方格代表的电荷量，然后数出整个图线与横轴所围的“面积”中的方格数（大于半格的按一个方格计算，小于半格的舍弃）。电容器充电或放电过程中的电荷量为一个小方格代表的电荷量乘以方格数。

3. 充电完成后, 电容器两极板之间的电压等于电源电动势, 由电容的定义式 $C = \frac{Q}{U}$ 估算出电容器的电容 C 。

4.4 注意事项

1. 电流表要选用小量程的灵敏电流表 (或电流传感器)。
2. 要选择大容量的电容器。
3. 实验要在干燥的环境中进行。
4. 在做放电实验时, 在电路中串联一个电阻, 避免烧坏电流表。

4.5 误差分析

1. 读数误差: 电流测量和读数不准确带来的误差。
2. 数据处理产生的误差: 利用 $I-t$ 图像进行数据处理时会造成误差。

4.6 改进方案

用电流传感器和电压传感器代替电流表和电压表, 电路如图所示。由计算机可以直接得到电容器充电的 U_c-t 图像及电容器放电的 $I-t$ 图像。

