



第08讲

电场

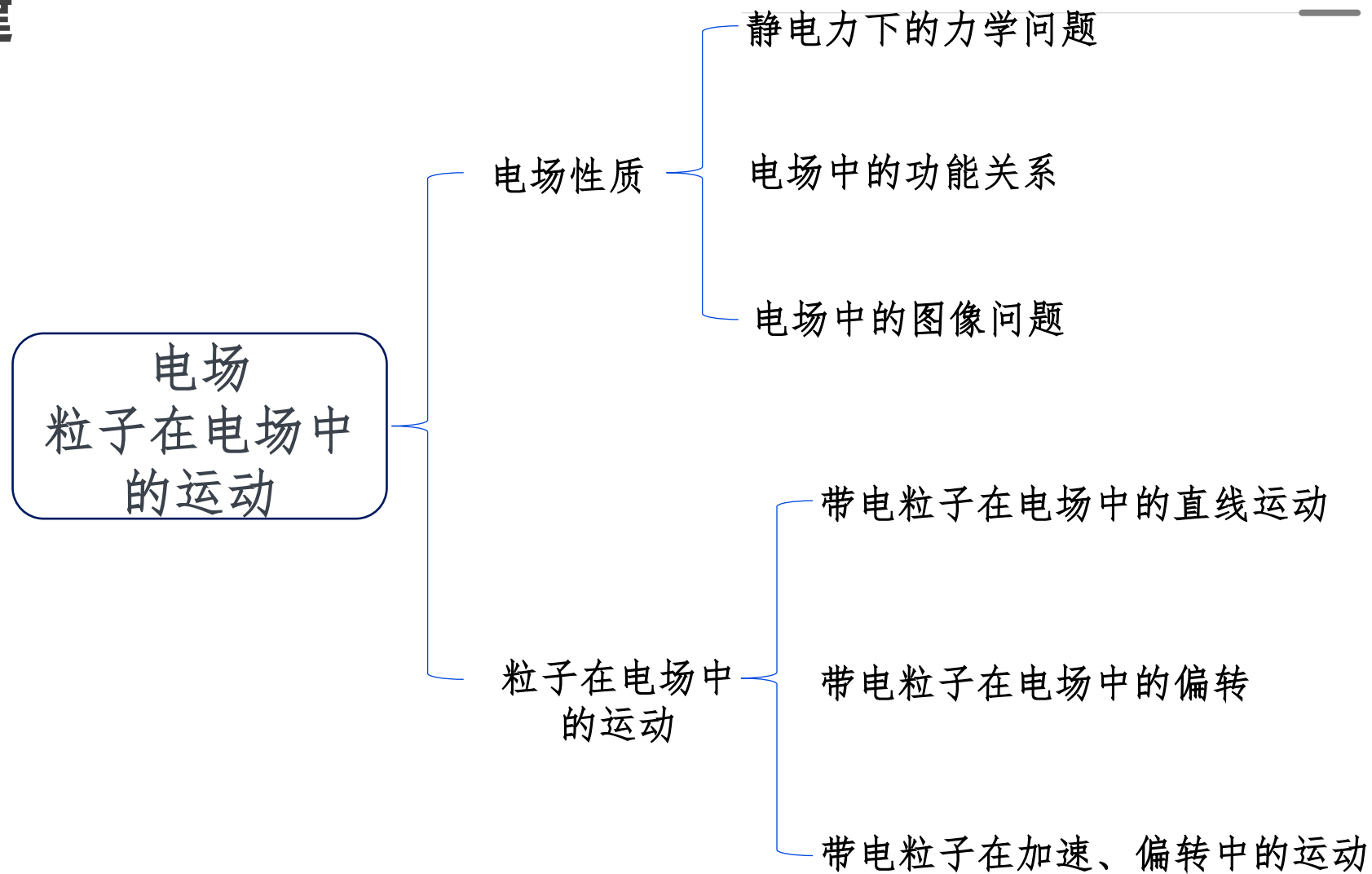
带电粒子在电场中的运动



课标内容要求

1. 知道电场是一种物质。了解电场强度，体会用物理量之比定义新物理量的方法。会用电场线描述电场。
2. 知道静电场中的电荷具有电势能。了解电势能、电势和电势差的含义。知道匀强电场中电势差与电场强度的关系。能分析带电粒子在电场中的运动情况，能解释相关的物理现象。

网络构建





电场的性质

核心提炼

静电力作用下的力学问题

1) 涉及静电场中的平衡问题，其解题思路与力学中的平衡问题相同，只是在原来受力的基础上多了静电力

2) 解题思路

①确定研究对象，根据问题选择“整体法”或“隔离法”确定研究对象。

②受力分析：重力、弹力、摩擦力、静电力 ($F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 、 $F = Eq$)

②列方程：根据平衡条件 ($F_{\text{合}} = 0$) 或牛顿第二定律 ($F_{\text{合}} = ma$) 列方程。

核心提炼

电场中的功能关系

1) 电场力为**保守力**，其做功与路径无关，只与初、末位置有关.

计算方法（匀强电场）有：由公式 $W = Eq l \cos \theta = Uq = (\varphi - \varphi')q$ 计算，或由动能定理计算 $W = Eqd = qU = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

2) 只有电场力做功，电荷的电势能和动能之和保持不变.

3) 只有电场力和重力（弹力）做功，电势能、重力（弹性）势能、动能三者之和保持不变.

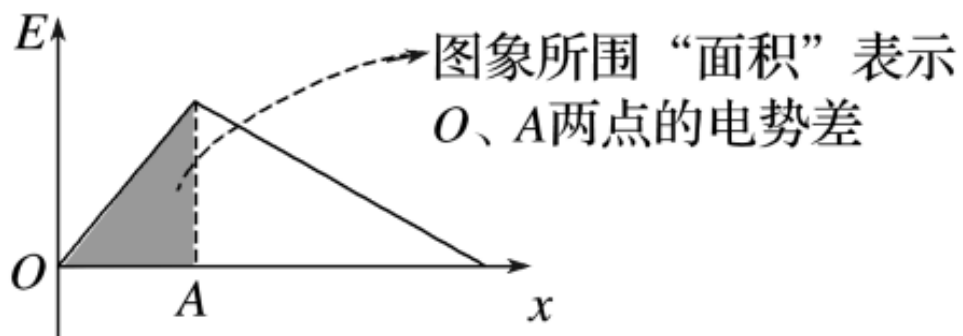
核心提炼

电场中的图像问题

1) $E-x$ 图像

① $E-x$ 图象反映了电场强度随位移变化的规律， $E>0$ ($E<0$) 表示电场强度沿 x 轴正 (负) 方向

② $E-x$ 图线与 x 轴所围图形“面积”表示电势差，两点的电势高低根据电场方向判定。对于匀强电场， $U=Ex$

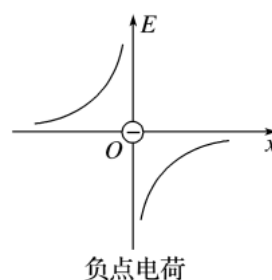
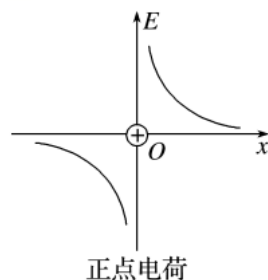


核心提炼

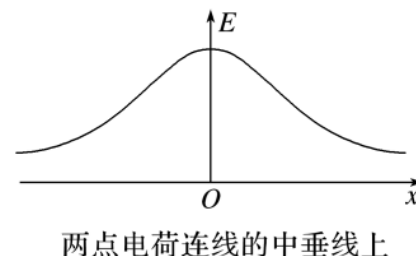
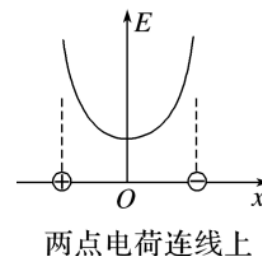
电场中的图像问题

③ 电场中常见的 E (电场强度)— x 图象 (E 的正负代表其方向)

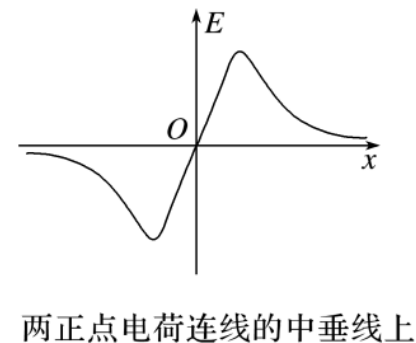
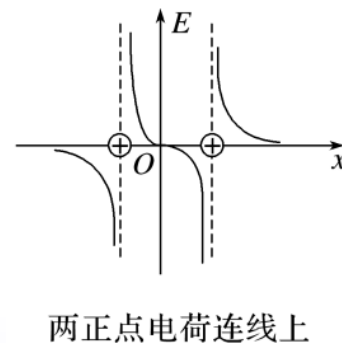
I、单个点电荷的 E — x 图象:



II、两个等量异种点电荷的 E — x 图象



III、两个等量同种点电荷的 E — x 图象



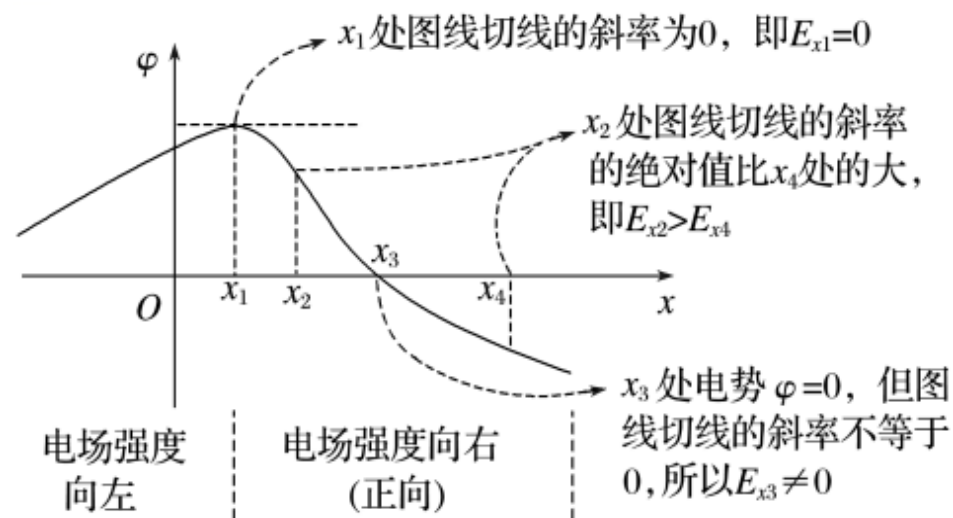
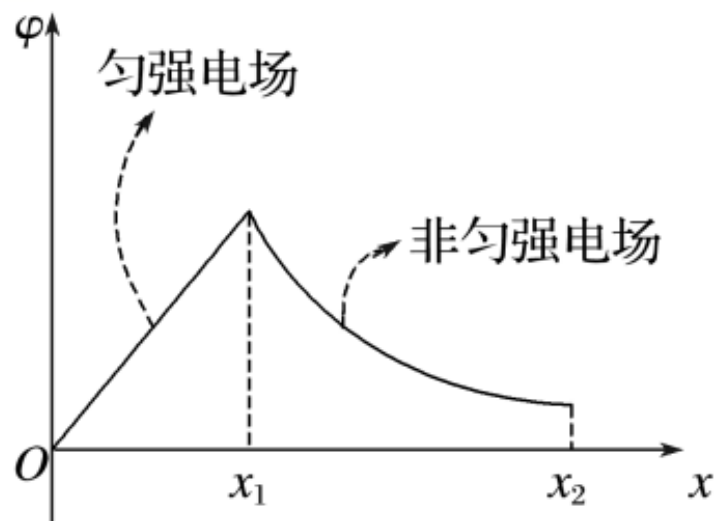
核心提炼

电场中的图像问题

2) φ (电势)- x 图像

φ - x 图像可以直接判断各点电势的大小，其斜率的绝对值等于电场强度的大小。

对于匀强电场（取无穷远处电势为零）， $\varphi = Ex$

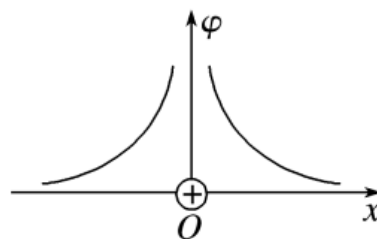


核心提炼

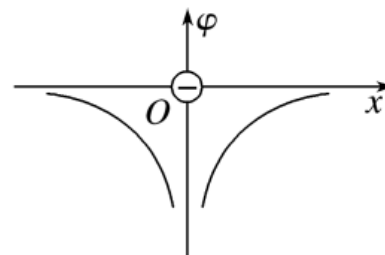
电场中的图像问题

④ 电场中常见的 $\varphi-x$ 图象

I、点电荷的 $\varphi-x$ 图象(取无限远处电势为零),

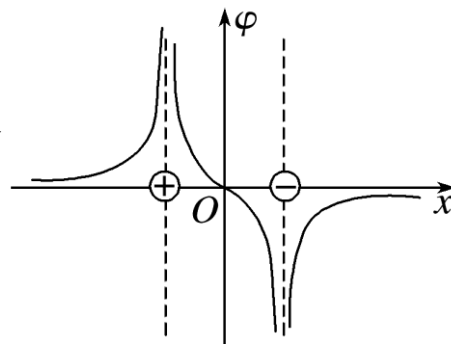


正点电荷

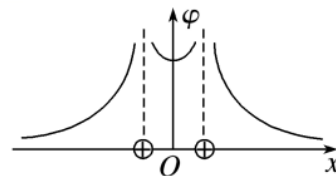


负点电荷

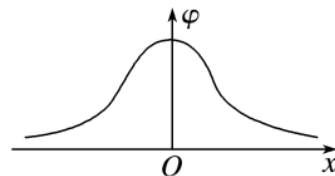
II、两个等量异种点电荷连线上的 $\varphi-x$ 图象



III、两个等量同种点电荷的 $\varphi-x$ 图象



两正点电荷连线上



两正点电荷连线的中垂线上

题型特训

(2023·全国·高考真题) (多选) 在O点处固定一个正点电荷，P点在O点右上方。从P点由静止释放一个带负电的小球，小球仅在重力和该点电荷电场力作用下在竖直面内运动，其一段轨迹如图所示。M、N是轨迹上的两点， $OP > OM$ ， $OM = ON$ ，则小球 (BC)

A. 在运动过程中，电势能先增加后减少

点电荷的电势分布情况可知 $\varphi_M = \varphi_N > \varphi_P$

B. 在P点的电势能大于在N点的电势能

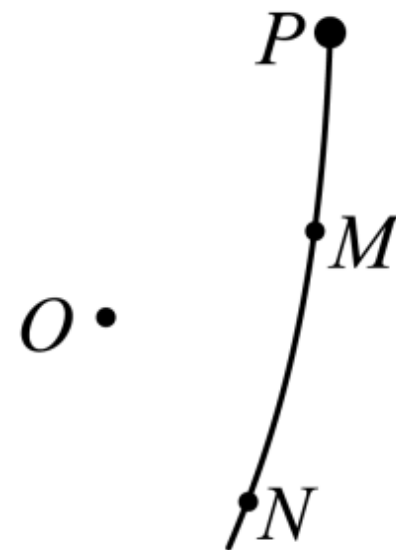
$E_M = E_N$

C. 在M点的机械能等于在N点的机械能

$OP > OM$ ， $OM = ON$
 $\rightarrow E_{pP} > E_{pM} = E_{pN}$

D. 从M点运动到N点的过程中，电场力始终不做功

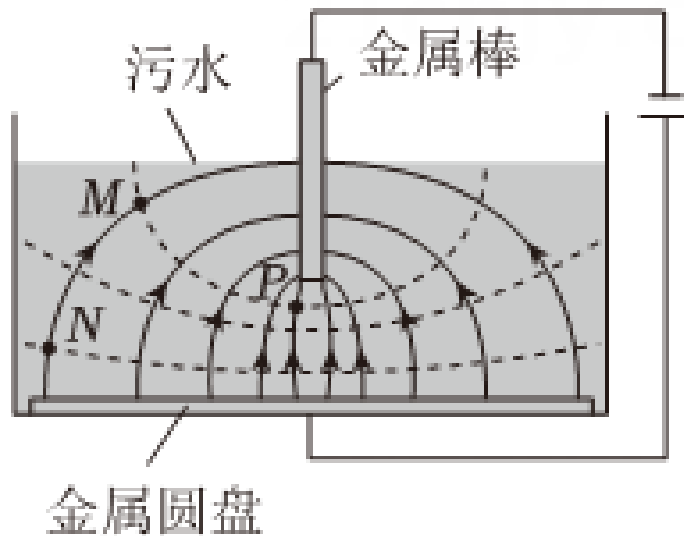
电场力先做正功后做负功



题型特训

(2024·广东高考真题) (多选) 污水中的污泥絮体金属圆盘经处理后带负电。可利用电泳技术对其进行沉淀去污，基本原理如图所示。涂有绝缘层的金属圆盘和金属棒分别接电源正、负极、金属圆盘置于容器底部、金属棒插入污水中，形成如图所示的电场分布，其中实线为电场线，虚线为等势面。 M 点和 N 点在同一电场线上， M 点和 P 点在同一等势面上。下列说法正确的有()

- A. M 点的电势比 N 点的低
- B. N 点的电场强度比 P 点的大
- C. 污泥絮体从 M 点移到 N 点，电场力对其做正功
- D. 污泥絮体在 N 点的电势能比其在 P 点的大



题型特训

- A、沿着电场线方向电势逐渐降低，则M点的电势低于N点的电势，故A正确；
- B、在电场线中，电场线的疏密程度表示场强的大小，则N点的场强小于P点的场强，故B错误；
- C、污泥絮体带负电，且从M点移动到N点的过程中电势逐渐升高，根据电势能的表达式 $E_p = q\varphi$ 可知污泥絮体的电势能减小，结合功能关系可知电场力对其做正功，故C正确；
- D、电场中的虚线表示等势面，则N点的电势高于P点的电势，同上述分析可知，污泥絮体在N点的电势能小于在P点的电势能，故D错误；
- 故选：AC。



带电粒子在电场中的运动

核心提炼

带电粒子在电场中的直线运动

1) 做直线运动的条件

①粒子所受合外力 $F_{\text{合}}=0$ ，粒子静止或做匀速直线运动。

②粒子所受合外力 $F_{\text{合}} \neq 0$ 且与初速度共线，带电粒子将做匀加速直线运动

2) 用动力学观点分析： $a = \frac{Eq}{m} = \frac{Uq}{dm}$

3) 用功能观点分析

①匀强电场中： $W = Eqd = qU = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

②非匀强电场中： $W = qU = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

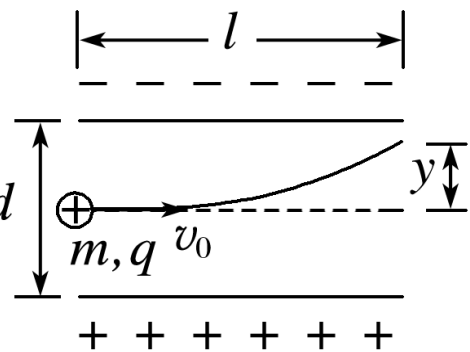
核心提炼

带电粒子在电场中的偏转

1) 带电粒子以垂直匀强电场的场强方向进入电场后, 做**类平抛运动**.

① 垂直于场强方向做匀速直线运动: $\begin{cases} v_x = v_0 \\ L = v_0 t \end{cases}$

② 平行于场强方向做初速为零的匀加速直线运动 $\begin{cases} v_y = at \\ y = \frac{1}{2} at^2 \end{cases} U, d$



$$\text{式中 } a = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md},$$

$$\text{侧移距离 } y = \frac{qUL^2}{2mdv_0^2},$$

$$\text{偏转角 } \theta = \arctan \frac{qUL}{mdv_0^2}$$

注意:

① 基本粒子: 如电子、质子、 α 粒子、离子等除有说明或明确的暗示以外, 一般都不考虑重力 (但不能忽略质量).

② 带电颗粒: 如液滴、油滴、尘埃、小球等, 除有说明或明确的暗示以外, 一般都不能忽略重力.

核心提炼

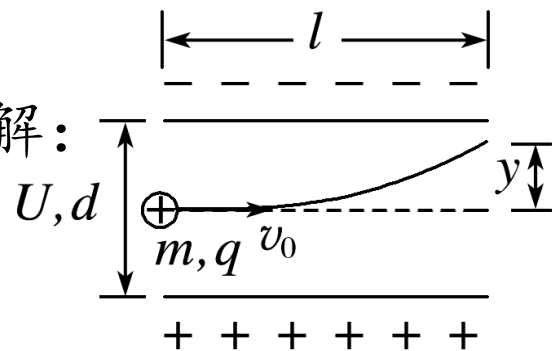
带电粒子在电场中的偏转

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 $U_y = \frac{y}{d}U$ ，指初、末位置间的电势差



注意：

电场中常见的功能关系

- 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除重力之外，其它力对物体做的功等于物体机械能的变化量。
- ④所有外力对物体所做的总功等于物体动能的变化量。

核心提炼

带电粒子在加速、偏转中的运动

1) 加速末速度: $qU_1 = \frac{1}{2}mv^2$,

$$\text{解得 } v = \sqrt{\frac{2qU_1}{m}} = v_0$$

2) 偏转电场中运动时间:

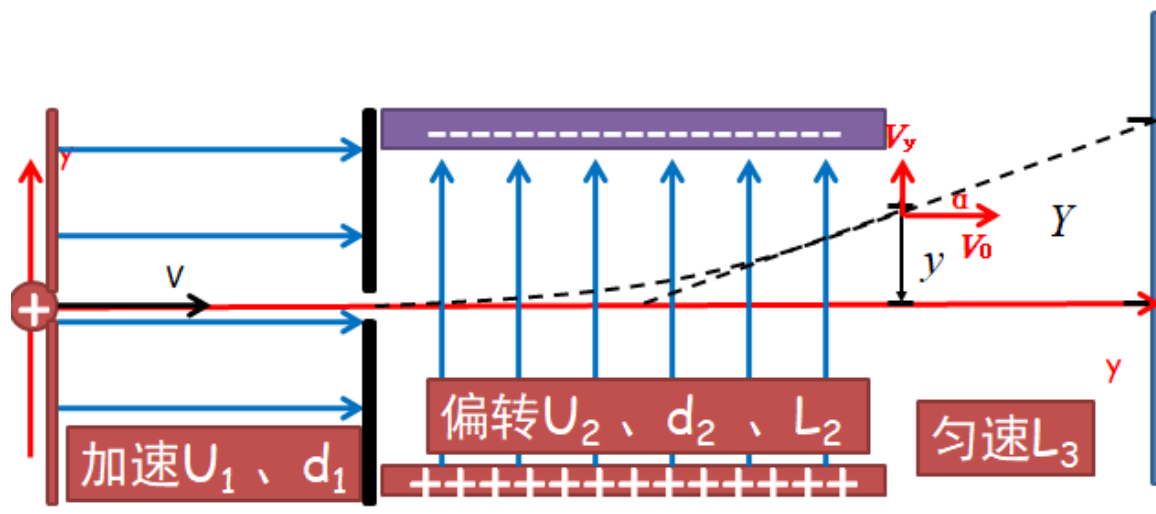
$$t_2 = L_2 \sqrt{\frac{m}{2qU_1}}$$

3) 偏转电场出来后偏移量:

$$y = \frac{L_2^2 U_2}{4d_2 U_1}$$

$$\text{偏移角 } \tan \alpha = \frac{U_2 L_2}{2d_2 U_1}$$

4) 出偏移电场后打到屏幕上总偏移量: $Y = \left(\frac{L_2}{2} + L_3 \right) \tan \alpha = \left(\frac{L_2}{2} + L_3 \right) \frac{U_2 L_2}{2d_2 U_1}$



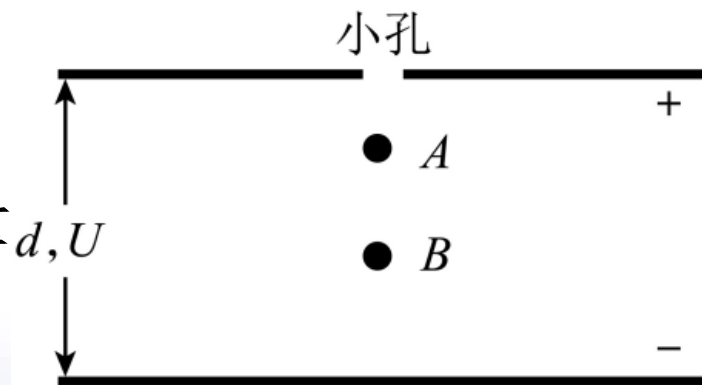
注意:

偏转量和带电粒子 q 、 m 无关, 只取决于加速电场和偏转电场

题型特训

(2022·广东·高考真题)密立根通过观测油滴运动规律证明了电荷的量子性，因此获得了1923年的诺贝尔奖。图是密立根油滴实验的原理示意图，两个水平放置、相距为 d 的足够大金属极板，上极板中央有一小孔。通过小孔喷入一些小油滴，由于碰撞或摩擦，部分油滴带上了电荷。有两个质量均为 m_0 、位于同一竖直线上的球形小油滴 A 和 B ，在时间 t 内都**匀速**下落了距离 h_1 。此时给两极板加上电压 U （上极板接正极）， A 继续以**原速度**下落， B 经过一段时间后向上**匀速**运动。 B 在匀速运动时间 t 内上升了距离 h_2 （ $h_2 \neq h_1$ ），随后与 A 合并，形成一个球形新油滴，继续在两极板间运动直至匀速。已知球形油滴受到的空气阻力大小为 $f=km^{1/3}v$ ，其中 k 为比例系数， m 为油滴质量， v 为油滴运动速率，不计空气浮力，重力加速度为 g 。求：

- (1) 比例系数 k
- (2) 油滴 A 、 B 的带电量和电性； B 上升距离 h_2 电势能的变化量
- (3) 新油滴匀速运动速度的大小和方向。



题型特训

解：（1）未加电压时，油滴匀速时的速度大小

$$v_1 = \frac{h_1}{t}$$

匀速时

$$m_0 g = f$$

又

$$f = k m_0^{\frac{1}{3}} v_1$$

联立可得

$$k = \frac{m_0^{\frac{2}{3}} g t}{h_1}$$

题型特训

(2) 加电压后, 油滴 A 的速度不变, 可知油滴 A 不带电, 油滴 B 最后速度方向向上, 可知油滴 B 所受电场力向上, 极板间电场强度向下, 可知油滴 B 带负电, 油滴 B 向上匀速运动时, 速度大小为

$$v_2 = \frac{h_2}{t}$$

根据平衡条件可得

$$m_0 g + km_0^{\frac{1}{3}} v_2 = \frac{U}{d} q$$

解得

$$q = \frac{m_0 g d (h_1 + h_2)}{h_1 U}$$

根据

$$\Delta E_p = -W_{\text{电}}$$

又

$$W_{\text{电}} = \frac{U}{d} \cdot q h_2$$

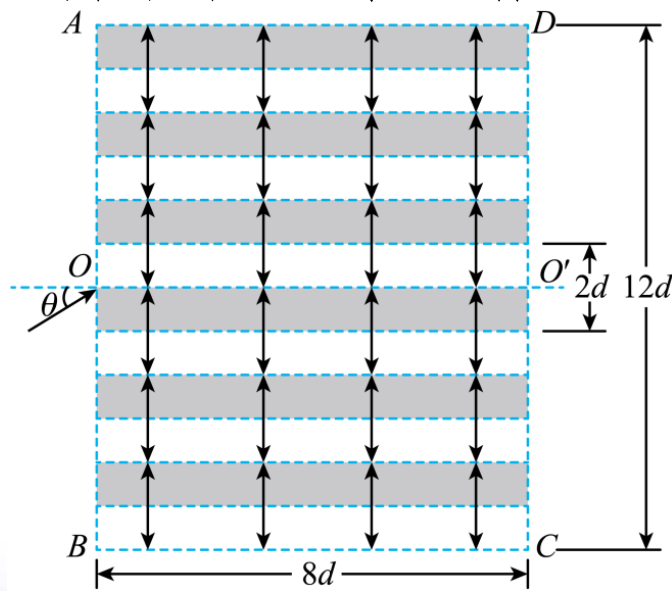
联立解得

$$\Delta E_p = -\frac{m_0 g h_2 (h_1 + h_2)}{h_1}$$

真题研析

(2022·江苏·高考真题) 某装置用电场控制带电粒子运动，工作原理如图所示，矩形 $ABCD$ 区域内存在多层紧邻的匀强电场，每层的高度均为 d ，电场强度大小均为 E ，方向沿竖直方向交替变化， AB 边长为 $12d$ ， BC 边长为 $8d$ ，质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的粒子流从装置左端中点射入电场，粒子初动能为 E_k ，入射角为 θ ，在纸面内运动，不计重力及粒子间的相互作用力。

- (1) 当 $\theta = \theta_0$ 时，若粒子能从 CD 边射出，求该粒子通过电场的时间 t ；
- (2) 当 $E_k = 4qEd$ 时，若粒子从 CD 边射出电场时与轴线 OO' 的距离小于 d ，求入射角 θ 的范围；
- (3) 当 $E_k = \frac{8}{3}qEd$ ，粒子在 θ 为 $-\frac{\pi}{2} \sim \frac{\pi}{2}$ 范围内均匀射入电场，求从 CD 边出射的粒子与入射粒子的数量之比 $N:N_0$ 。



真题研析

解：（1）电场在竖直方向上，粒子所受电场力在竖直方向上，粒子在水平方向上做匀速直线运动，则

$$\begin{cases} v_x = v \cos \theta_0 \\ E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow t = \frac{8d}{\cos \theta_0} \sqrt{\frac{m}{2E_k}} \\ t = 8d / v_x \end{cases}$$

（2）粒子在竖直方向具有加速度，则

$$\begin{cases} E_k = 4qEd = \frac{1}{2}mv_0^2 \\ v_{y0} = v \sin \theta_0 \\ 2ax = v_{0y}^2 \\ Eq = ma \end{cases} \Rightarrow -\frac{1}{2} < \sin \theta < \frac{1}{2} \Rightarrow -30^\circ < \theta < 30^\circ$$

【答案】(1) $t = \frac{8d}{\cos \theta_0} \cdot \sqrt{\frac{m}{2E_k}}$ (2) $-30^\circ < \theta < 30^\circ$ 或 $-\frac{\pi}{6} < \theta < \frac{\pi}{6}$ (3) $N : N_0 = 50\%$

