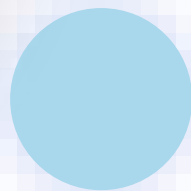




第08讲

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。

目录

C O N T E N T S

01 考情分析

02 知识构建

03 考点突破

考点一 电场的性质

考点二 带电粒子在电场中的运动



01

考情分析

PART ONE

考情分析

考情分析

命题规律及方法指导

- 1.命题重点：本专题就是高考的**热点**，借助点电荷的电场或实际生活中存在的电场，将**静电场中力的性质、静电场中能的性质**一起考查，知识点综合性强。
- 2.常用方法：对称法、等效法、微元法、挖补法。
- 3.常考题型：**选择题，计算题**。

命题预测

- 1.本专题属于**热点、难点**内容；
- 2.高考命题考察方向
 - ①电场的性质：电场强度的分析，电势高低与电势能大小的判断
 - ②带电粒子在电场中的运动：带电粒子在电场中的加速和偏转,带电粒子(带电体)在电场中的综合问题



02

网络构建

PART TWO





考点一 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：按照重力、弹力、摩擦力、静电力（ $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 、 $F = Eq$ ）……顺序分析力

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) 电场力做功与路径无关，只与初、末位置有关。

计算方法有：由公式 $W = Eq l \cos \theta$ 计算（此公式只适合于匀强电场中），或由动能定理计算。

2) 只有电场力做功，电势能和电荷的动能之和保持不变。

3) 只有电场力和重力做功，电势能、重力势能、动能三者之和保持不变。

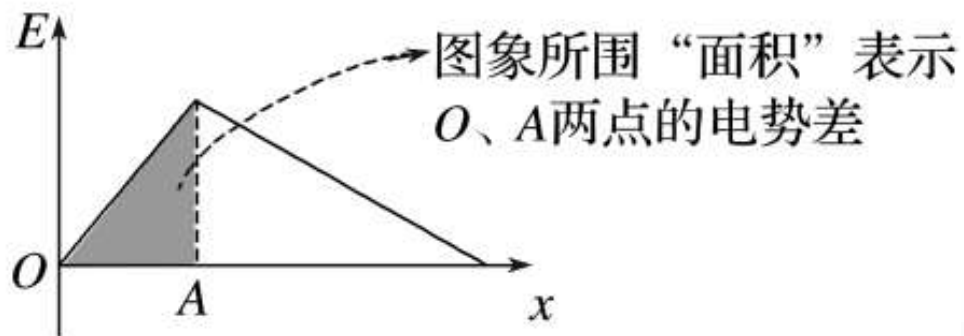
核心提炼

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， $E>0$ 表示电场强度沿 x 轴正方向； $E<0$ 表示电场强度沿 x 轴负方向。

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。在与粒子运动相结合的题目中，可进一步确定粒子的电性、动能变化、电势能变化等情况。

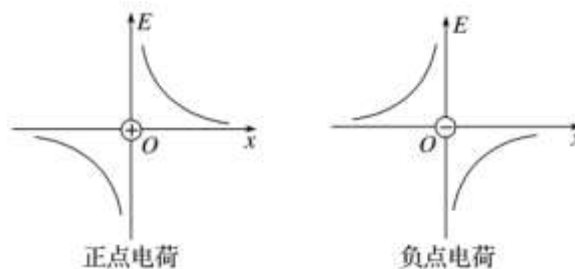


核心提炼

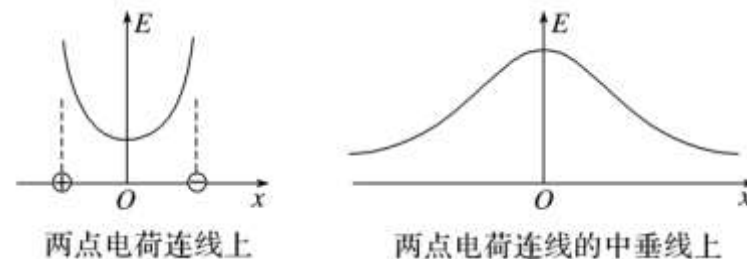
电场中的图像问题

③ 电场中常见的 $E-x$ 图象 (E 的正负代表其方向)

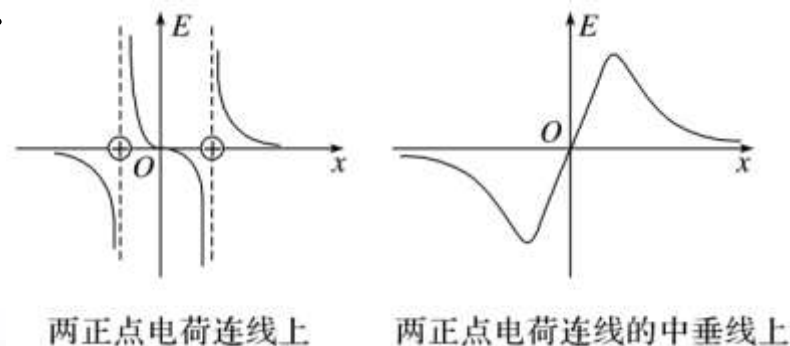
I、点电荷的 $E-x$ 图象：正点电荷及负点电荷的电场强度 E 随坐标 x 变化关系的图象大致如图所示。



II、两个等量异种点电荷的 $E-x$ 图象，如图所示。



III、两个等量同种点电荷的 $E-x$ 图象，如图所示。

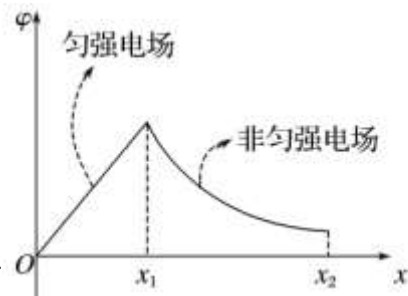


核心提炼

电场中的图像问题

2) φ - x 图像

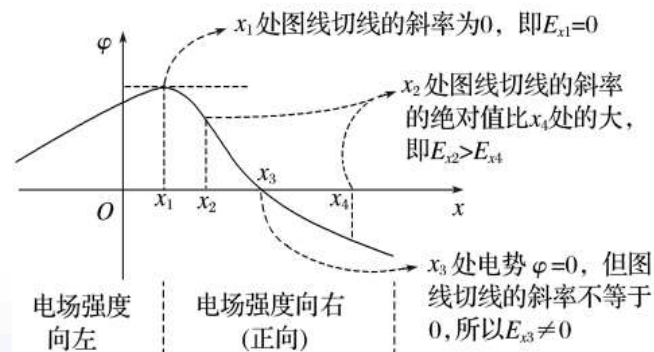
① φ - x 图像的斜率的绝对值等于电场强度的大小,在 φ - x 图像切线的斜率为零处,电场强度为零.如果图线是曲线,电场为非匀强电场;如果图线是倾斜的直线,电场为匀强电场,电场强度为零处 φ - x 图线存在极值,其切线的斜率为零.



②由 φ - x 图像可以直接判断各点电势的大小,并可根据电势大小关系确定电场强度的方向,进而可以判断电荷在电场中的受力方向.

③在 φ - x 图像中分析电荷移动时电势能的变化,可用

$W_{AB}=qU_{AB}$ 分析 W_{AB} 的正负,然后作出判断.

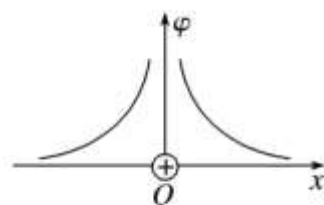


核心提炼

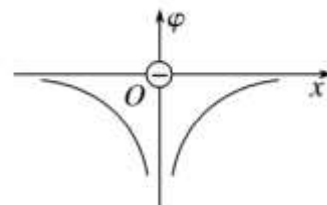
电场中的图像问题

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), 如图所示.

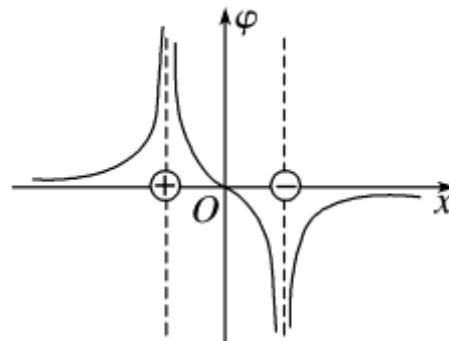


正点电荷

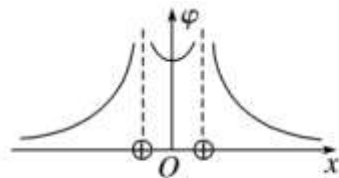


负点电荷

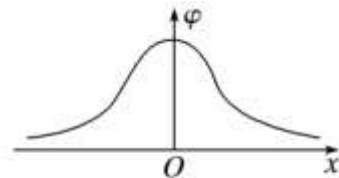
II、两个等量异种点电荷连线上的 $\varphi-x$ 图象, 如图所示.



III、两个等量同种点电荷的 $\varphi-x$ 图象, 如图所示.



两正点电荷连线上



两正点电荷连线的中垂线上

核心提炼

电场中的图像问题

3) $E_{p\text{电}}-x$ 图像

① $E_{p\text{电}}-x$ 图线的斜率表示电场力，纵轴截距表示初电势能。

② 根据两图线斜率的变化可判断出电场力的变化，进而判断出电场强度的变化。

4) 电场分布结合 $v-t$ 图像

根据 $v-t$ 图像的速度变化、斜率变化(即加速度的变化),可确定电荷所受电场力的方向与电场力的大小变化情况,进而确定电场的方向、电势的高低及电势能的变化。

真题研析

【考向】电场的性质

1. (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

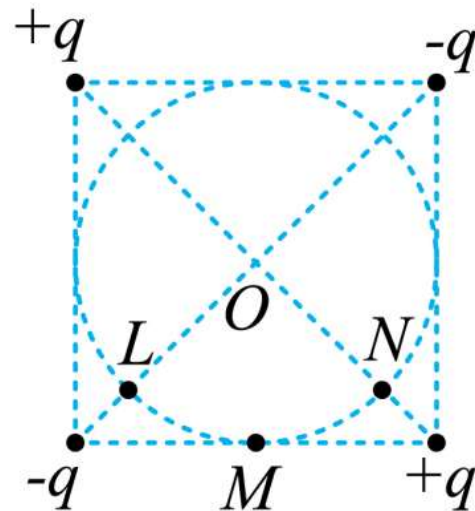
电场力先做正功后做负功



真题研析

【考向】电场的性质

2. (2022·全国·高考真题) (多选) 如图, 两对等量异号点电荷、固定于正方形的4个顶点上。L、N是该正方形两条对角线与其内切圆的交点, O为内切圆的圆心, M为切点。则 (**AB**)



N点的合场强方向由N指向O
L处的合场强方向由O指向L

A. L和N两点处的电场方向相互垂直

上方的一对等量异号电荷在M点产生的场强方向向右
底边的一对等量异号电荷在M点产生的场强方向向左
M点离上方一对等量异号电荷距离较远

B. M点的电场方向平行于该点处的切线, 方向向左

M和O点的电场方向与位移垂直

C. 将一带正电的点电荷从M点移动到O点, 电场力做正功

D. 将一带正电的点电荷从L点移动到N点, 电场力做功为零

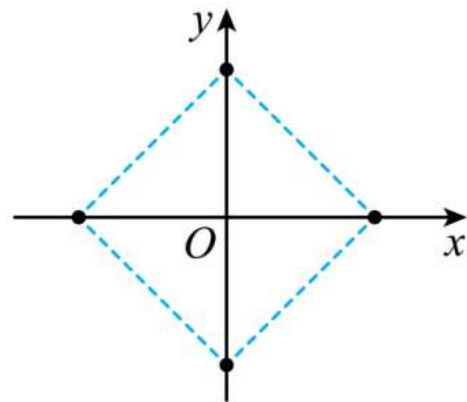
L点的电势低于N点电势
电场力做功不为零

真题研析

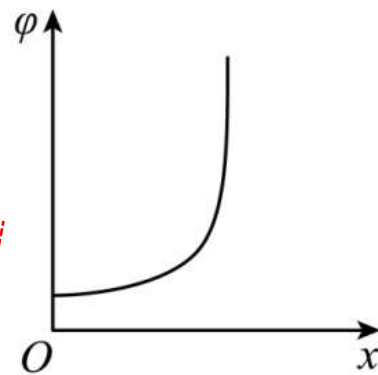
【考向】电场中的图像问题

3. (2021·山东·高考真题) 如图甲所示, 边长为 a 的正方形, 四个顶点上分别固定一个电荷量为 $+q$ 的点电荷; 在 $0 \leq x < \frac{\sqrt{2}}{2}a$ 区间, x 轴上电势 φ 的变化曲 $\sqrt{2}k \frac{q^2}{a^2} + k \frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2} = k \frac{Qq}{(\frac{\sqrt{2}}{2}a)^2}$ 一电荷量为 $-Q$ 的点电荷 P 置于正方形的中心 O 点, 受库仑力的合力均为零。若将 P 沿 x 轴向右略微移动后, 由静止释放, 以下判断正确的是 (C)

- A. $Q = \frac{\sqrt{2}+1}{2}q$, 释放后 P 将向右运动
- B. $Q = \frac{\sqrt{2}+1}{2}q$, 释放后 P 将向左运动
- C. $Q = \frac{2\sqrt{2}+1}{4}q$, 释放后 P 将向右运动
- D. $Q = \frac{2\sqrt{2}+1}{4}q$, 释放后 P 将向左运动



图甲



图乙

沿 x 轴正向电势升高, 则场强方向沿 x 轴负向
将 P 沿 x 轴正向向右略微移动后释放, P 受到
向右的电场力而向右运动



考点二 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或匀减速直线运动。

2) 用动力学观点分析： $a = \frac{Eq}{m}$ ， $E = \frac{U}{d}$

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： $W = qU = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

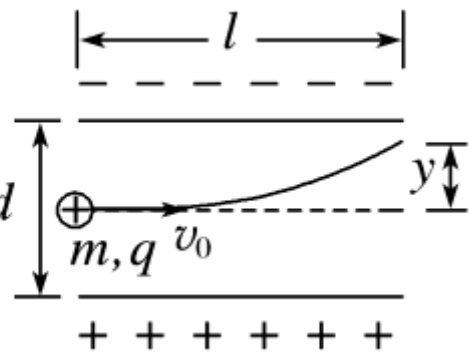
核心提炼

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 $\begin{cases} v_y = at \\ y = \frac{1}{2} at^2 \end{cases}$



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

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

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

技巧点拨

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

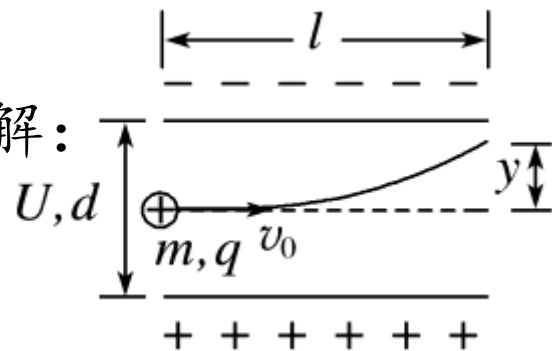
带电粒子在电场中的直线运动

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.



技巧点拨

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, 其他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:

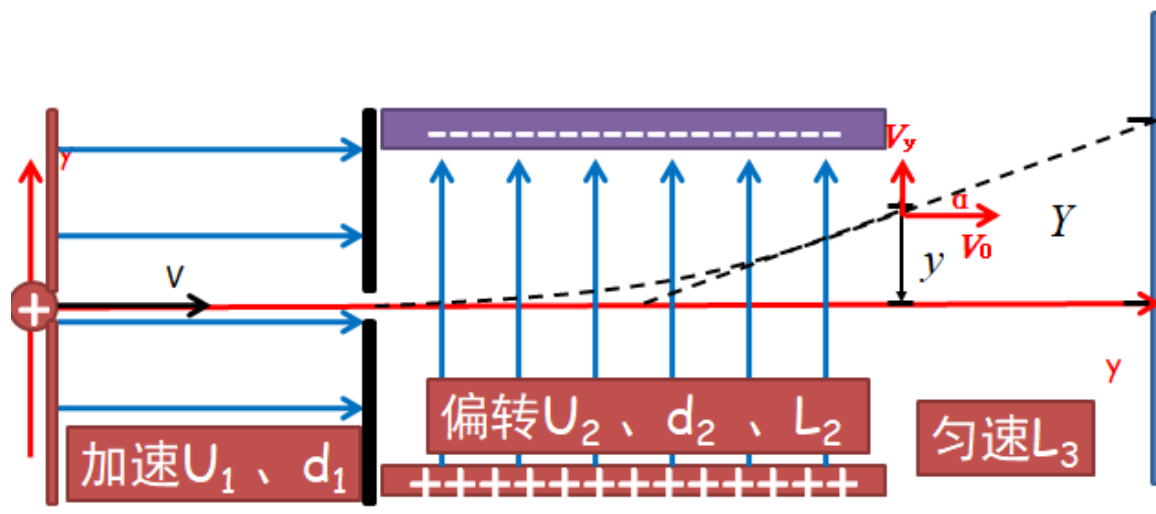
$$t_2 = L_2 \sqrt{\frac{m}{2qU_1}}$$

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: $Y = \left(\frac{L_2}{2} + L_3 \right) \tan \alpha = \left(\frac{L_2}{2} + L_3 \right) \frac{U_2 L_2}{2d_2 U_1}$



技巧点拨

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

核心提炼

带电粒子在加速、偏转中的运动

技巧点拨

- ①不同的带电粒子从静止开始经过同一电场加速后再从同一偏转电场射出时，偏移量和偏转角总是相同的。
- ②粒子经电场偏转后射出，合速度的反向延长线与初速度延长线的交点O为粒子水平位移的中点，即O到偏转电场边缘的距离为偏转极板长度的一半。

核心提炼

带电粒子在交变电场中的运动

1) 带电粒子在交变电场中的运动，通常只讨论电压的大小不变、方向做周期性变化(如方波)的情形。

①当粒子平行于电场方向射入时，粒子做直线运动，其初速度和受力情况决定了粒子的运动情况，粒子可以做周期性的直线运动。

②当粒子垂直于电场方向射入时，沿初速度方向的分运动为匀速直线运动，沿电场方向的分运动具有周期性。

2) 研究带电粒子在交变电场中的运动，关键是根据电场变化的特点，利用牛顿第二定律正确地判断粒子的运动情况。根据电场的变化情况，分段求解带电粒子运动的末速度、位移等。

核心提炼

带电粒子在交变电场中的运动

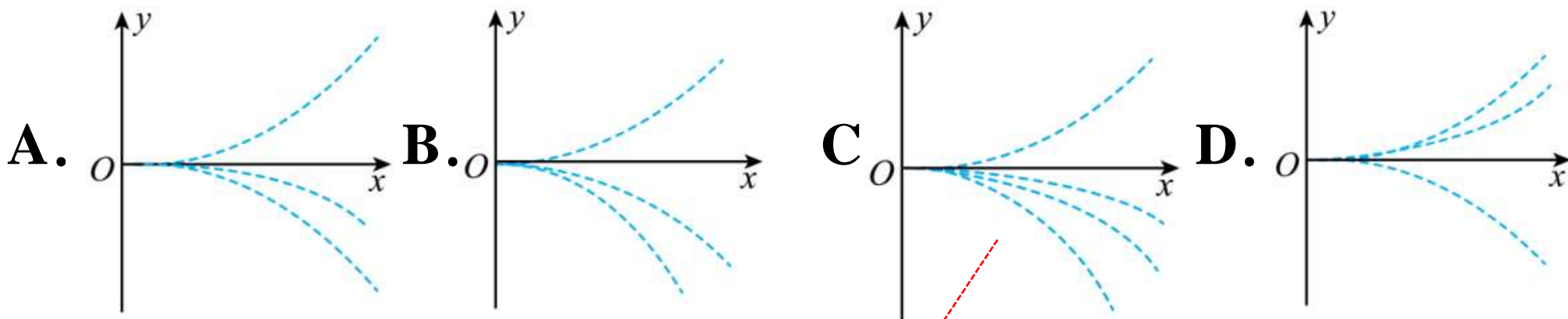
3) 注重全面分析(分析受力特点和运动规律): 抓住粒子运动时间上的周期性和空间上的对称性, 求解粒子运动过程中的速度、位移、做功或确定与物理过程相关的临界条件.

4) 对于锯齿波和正弦波等电压产生的交变电场, 若粒子穿过板间的时间极短, 带电粒子穿过电场时可认为是在匀强电场中运动.

真题研析

【考向】带电粒子在电场中的偏转

1. (2021·全国·高考真题) (多选) 四个带电粒子的电荷量和质量分别 $(+q, m)$ 、 $(+q, 2m)$ 、 $(+3q, 3m)$ 、 $(-q, m)$ 它们先后以相同的速度从坐标原点沿 x 轴正方向射入一匀强电场中，电场方向与 y 轴平行，不计重力，下列描绘这四个粒子运动轨迹的图像中，可能正确的是 (**AD**)



$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{at}{v_0} = \frac{qEl}{mv_0^2}$$

真题研析

【考向】带电粒子在电场中的加速和偏转

2. (2023·浙江·高考真题) 如图所示, 示波管由电子枪竖直方向偏转电极 YY' 、水平方向偏转电极 XX' 和荧光屏组成。电极 XX' 的长度为 l 、间距为 d 、极板间电压为 U , YY' 极板间电压为零, 电子枪加速电压为 $10U$ 。电子刚离开金属丝的速度为零, 从电子枪射出后沿 OO' 方向进入偏转电极。已知电子电荷量为 e , 质量为 m , 则电子

(**D**)

A. 在 XX' 极板间的加速度

B. 打在荧光屏时, 动能大小为 $11eU$

C. 在 XX' 极板间受到电场力的冲量大小为 $\sqrt{2meU}$

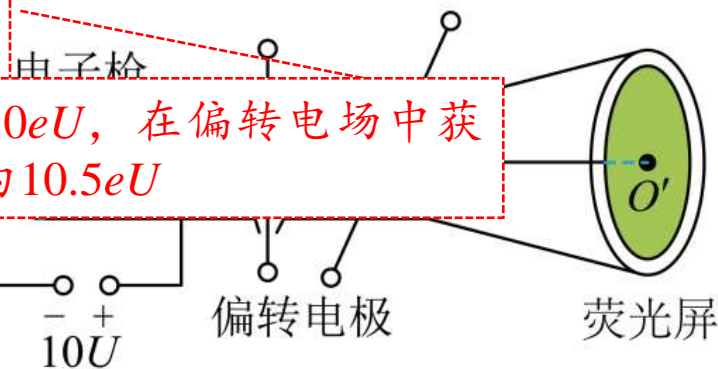
D. 打在荧光屏时, 其速度方向与 OO' 连线夹角 α 的正切 $\tan \alpha = \frac{l}{20d}$

偏转电场对电子做功最大值为 $0.5eU$, 即 $\frac{1}{2}mv_z^2 \leq 0.5eU$, 则 $I = mv_z \leq \sqrt{meU}$

$$\tan \alpha = \frac{v_x}{v_z} = \frac{l}{20d}$$

$$XX' \text{极板间 } a_x = \frac{eE}{m} = \frac{eU}{md}, v_x = a_x t, t = \frac{l}{v_z}$$

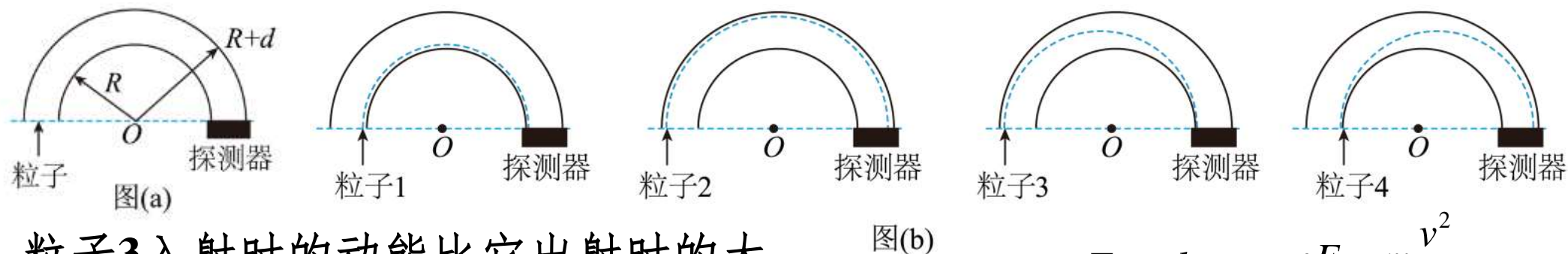
电子在加速电场中获得的动能为 $10eU$, 在偏转电场中获得的动能 $0.5eU$, 到荧光屏的动能为 $10.5eU$



真题研析

【考向】带电粒子在电场中的偏转

3. (2022·全国·高考真题) (多选) 一种可用于卫星上的带电粒子探测装置，由两个同轴的半圆柱形带电导体极板（半径分别为 R 和 $R+d$ ）和探测器组成，其横截面如图（a）所示，点 O 为圆心。在截面内，极板间各点的电场强度大小与其到 O 点的距离成反比，方向指向 O 点。4个带正电的同种粒子从极板间通过，到达探测器。不计重力。粒子1、2做圆周运动，圆的圆心为 O 、半径分别为 r_1 、 r_2 ($R < r_1 < r_2 < R+d$)；粒子3从距 O 点 r_2 的位置入射并从距 O 点 r_1 的位置出射；粒子4从距 O 点 r_1 的位置入射并从距 O 点 r_2 的位置出射，轨迹如图（b）中虚线所示。则（ **BD** ）



- A. 粒子3入射时的动能比它出射时的大
- B. 粒子4入射时的动能比它出射时的大
- C. 粒子1入射时的动能小于粒子2入射时的动能
- D. 粒子1入射时的动能大于粒子3入射时的动能

$$Er = k \quad qE = m \frac{v^2}{r}$$

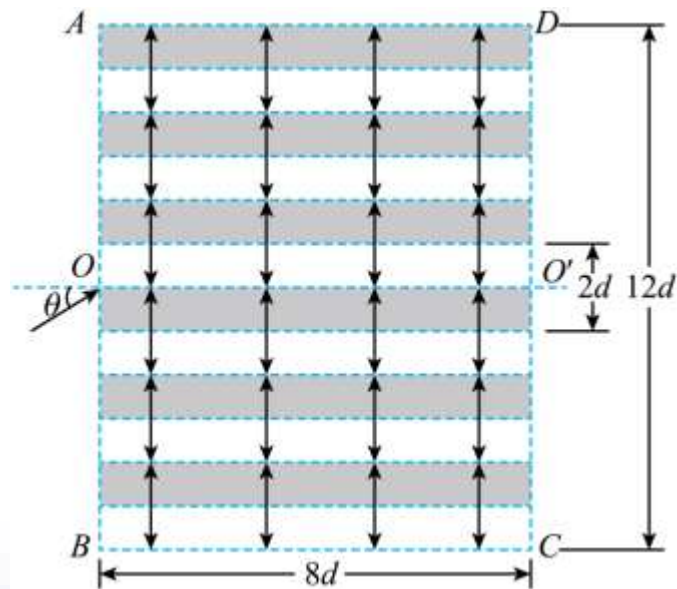
$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = \frac{qEr}{2} = \frac{qk}{2}$$

真题研析

【考向】带电粒子在电场中的综合问题

4. (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

【考向】带电粒子在电场中的综合问题

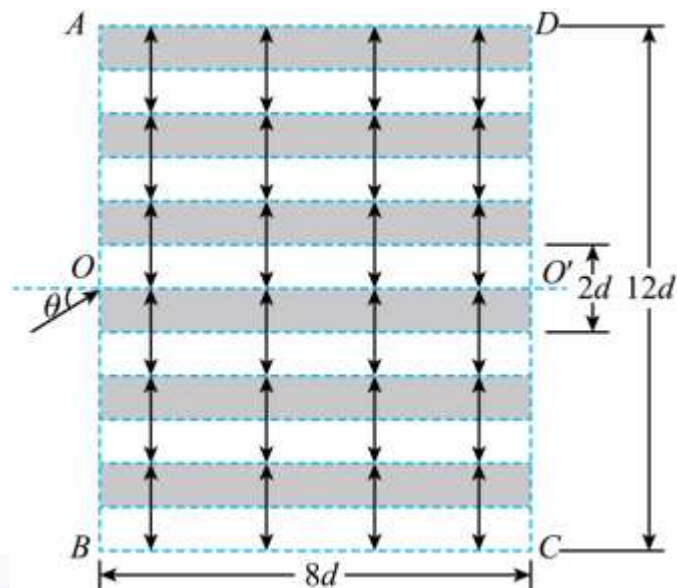
解：（1）电场在竖直方向上，粒子所受电场力在竖直方向上，粒子在水平方向上做匀速直线运动，则

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

（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) $N : N_0 = 50\%$





THANK YOU!