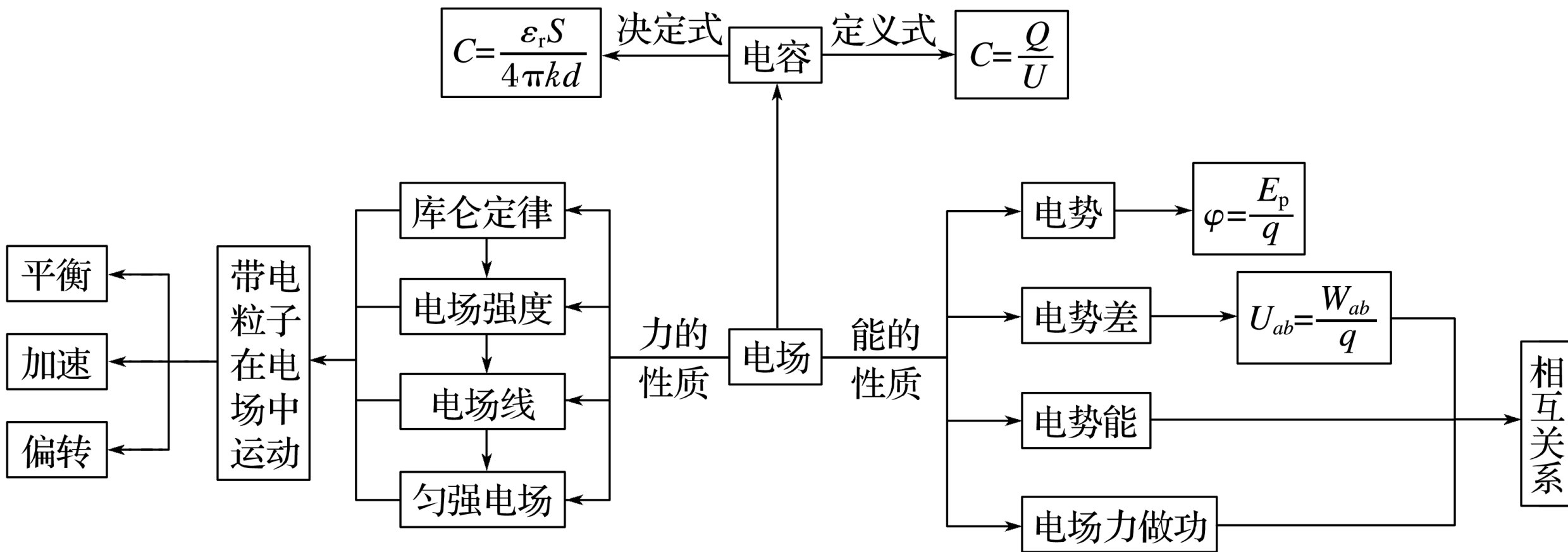


知识专题

# 专题7 电场和带电粒子在电场中的运动





**考题一 对电场性质的理解与应用**

---

**考题二 与平行板电容器有关的电场问题**

---

**考题三 带电粒子在电场中的运动**

---

## 知识精讲

### 1. 电场性质

电场力的性质	电场能的性质
<p>(1) 电场力</p> <p>① <math>F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}</math> (只适用于真空中静止的点电荷)</p> <p>② <math>F = qE</math> (普遍适用)</p>	<p>(1) 电场力做功</p> <p>① <math>W = qEd</math> (只适用于匀强电场)</p> <p>② <math>W_{AB} = qU_{AB} = E_{pA} - E_{pB}</math> (适用于任何电场)</p>

电场力的性质	电场能的性质
<p>(2)电场强度</p> <p>① <math>E = \frac{F}{q}</math> (定义式，普遍适用)</p> <p>② <math>E = \frac{U}{d}</math> (只适用于匀强电场)</p> <p>③ <math>E = k\frac{Q}{r^2}</math> (只适用于点电荷产生的电场)</p>	<p>(2)电势、电势差、电场力做功与电势差的关系</p> <p>① <math>\varphi = \frac{E_p}{q}</math> (电势定义式)</p> <p>② <math>U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B</math> (<math>U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A</math>)</p> <p>③ <math>W_{AB} = qU_{AB}</math> (<math>U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}</math>)</p> <p>④ <math>U_{AB} = Ed</math> (只适用于匀强电场)</p> <p>⑤ <math>E_p = q\varphi</math></p>

## 2. 电场性质的判断思路

(1) 明确电场的电场线与等势面的分布规律。

(2) 利用电场线的疏密分布规律或场强的叠加原理判定场强的强弱。(由  $a = \frac{qE}{m}$  判断  $a$  的变化)

(3) 根据电场力与电场线相切(与等势面垂直)，且指向轨迹的弯曲方向，或轨迹一定夹在力与速度方向之间，分析带电粒子在电场中的运动轨迹问题。

(4) 根据电场线的方向、电场线的疏密及电势能的大小分析电势的高低。

(5) 应用电场力做功与电势能改变之间的关系判定电势能的大小或电场力

## 典例剖析

**例 1** 在直角坐标系  $xOy$  中， $M$ 、 $N$  两点位于  $x$  轴上， $G$ 、 $H$  两点坐标如图 1， $M$ 、 $N$  两点各固定一负点电荷，一电量为  $Q$  的正点电荷置于  $O$  点时， $G$  点处的电场强度恰好为零。静电力常量用  $k$  表示。若将该正点电荷移到  $G$  点，则  $H$  点处场强的大小和方向分别为 (

A.  $\frac{3kQ}{4a^2}$ ，沿  $y$  轴正向

B.  $\frac{3kQ}{4a^2}$ ，沿  $y$  轴负向

C.  $\frac{5kQ}{4a^2}$ ，沿  $y$  轴正向

D.  $\frac{5kQ}{4a^2}$ ，沿  $y$  轴负向

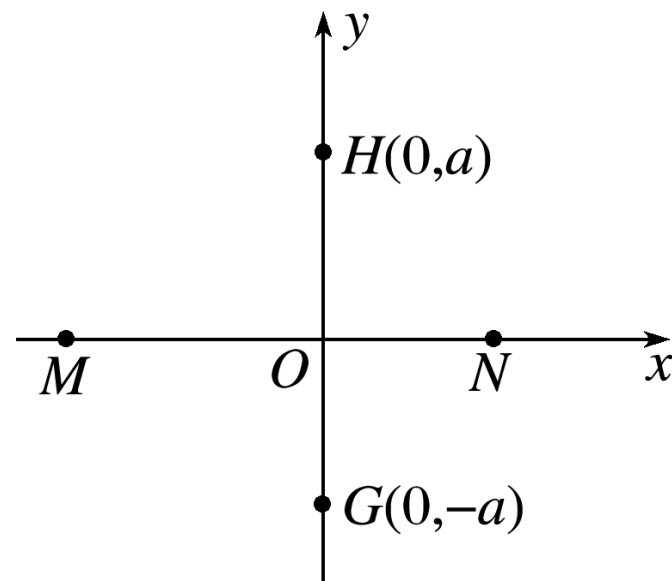


图 1

## [ 变式训练 ]

1. 在光滑的绝缘水平面上，有一个正三角形  $abc$ ，顶点  $a$ 、 $b$  处分别固定一个正点电荷， $c$  处固定一个负点电荷，它们的电荷量都相等，如图 2 所示， $D$  点为正三角形外接圆的圆心， $E$ 、 $G$ 、 $H$  分别为  $ab$ 、 $ac$ 、 $bc$  的中点， $E$ 、 $F$  两点关于 ? 对称

( )

A.  $D$  点的场强为零，电势也为零

B.  $E$ 、 $F$  两点的电场强度大小相等、方向相反

✓ C.  $G$ 、 $H$  两点的场强相同

D. 将一带正电的试探电荷由  $E$  点移动到  $D$  点的过程中，该电荷的电势能

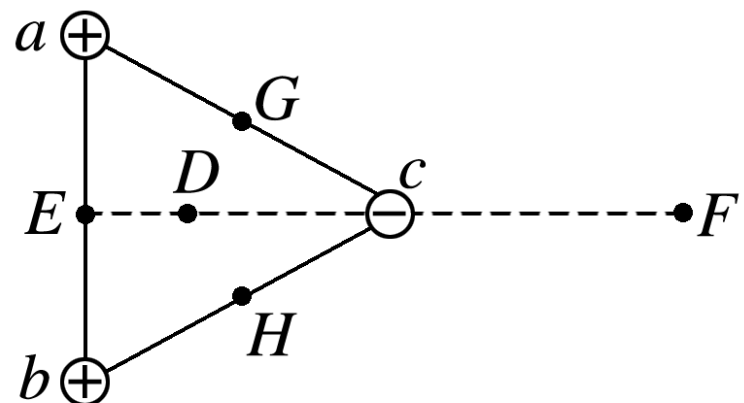


图 2

2. 在  $x$  轴上有两个点电荷  $q_1$  和  $q_2$ ， $x$  轴上电势  $\varphi$  随  $x$  而变化的关系如图 3 所示，则 ( )

A.  $x = x_1$  处电场强度为 0

B.  $x = x_2$  处电场强度不为 0

C.  $q_1$ 、 $q_2$  为不等量异种电荷，且正电荷在  $x = 0$

负电荷在  $x < 0$  的某处

D.  $q_1$ 、 $q_2$  为等量异种电荷，且正电荷在  $x < 0$  处，

负电荷在  $x > 0$  的某处

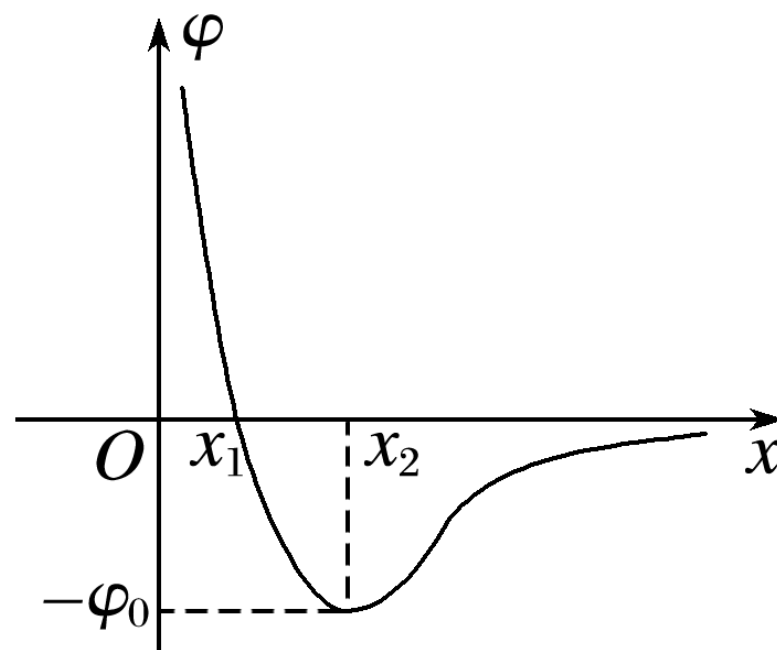


图 3

3. 点电荷  $Q_1$ 、 $Q_2$  和  $Q_3$  所产生的静电场的等势面与纸面的交线如图 4

所示，图中标在等势面上的数值分别表示该等势面  
 $a$ 、 $b$ 、 $c$ ……表示等势面上的点，下列说法正确  
 有 ( ? )

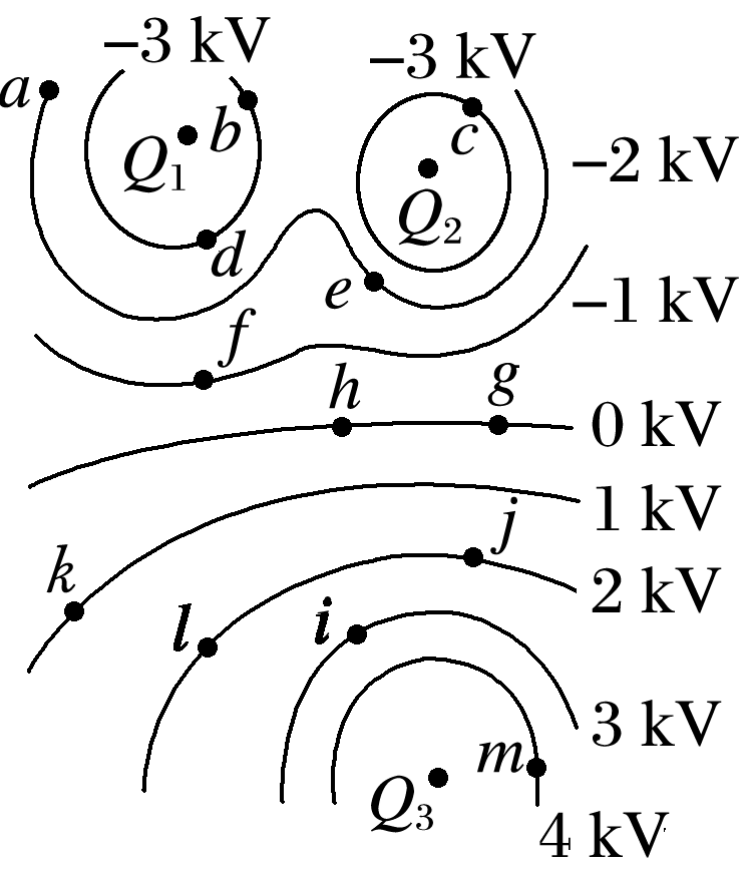


图 4

- A. 位于  $g$  点的点电荷不受电场力作用
- B.  $b$  点的场强与  $d$  点的场强大小一定相等
- C. 把电荷量为  $q$  的正点电荷从  $a$  点移到  $i$  点，再从移到  $f$  点过程中，电场力做的总功大于把该点电荷从  $a$  点直接移到  $f$  点过程中电场力所做的功

✓ D. 把 1 C 正电荷从  $m$  点移到  $c$  点过程中电场力做的功等于 7 kJ

### 方法指导

#### 1. 必须记住的三个公式

$$C = \frac{Q}{U}, \quad C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}, \quad E = \frac{U}{d}.$$

#### 2. 必须明确的两个关键点

- (1) 电路处于接通状态时，电容器两极板间电压不变。
- (2) 电路处于断开状态时，电容器两极板间的带电荷量不变。

### 3.平行板电容器问题的分析思路

(1)明确平行板电容器中的哪些物理量是不变的，哪些物理量是变化的以及怎样变化.

(2)应用平行板电容器的决定式  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$  分析电容器的电容的变化.

(3)应用电容的定义式  $C = \frac{Q}{U}$  分析电容器带电量和两板间电压的变化情况.

(4)根据控制变量法对电容的变化进行综合分析，得出结论.

## 典例剖析

**例 2** (2016·天津理综·4) 如图 5 所示, 平行板电容器带有等量异种电荷, 与静电计相连, 静电计金属外壳和电容器下极板都接地, 在两极板间有一固定在  $P$  点的点电荷, 以  $E$  表示两板间的电场强度,  $E_p$  表示点电荷在  $P$  点的电势能,  $\theta$  表示静电计指针的偏角. 若保持下极板不动, 将上极板向下移动一小段距离至图中虚线位置, 则 (

- A.  $\theta$  增大,  $E$  增大
- B.  $\theta$  增大,  $E_p$  不变
- C.  $\theta$  减小,  $E_p$  增大
- ✓ D.  $\theta$  减小,  $E$  不变

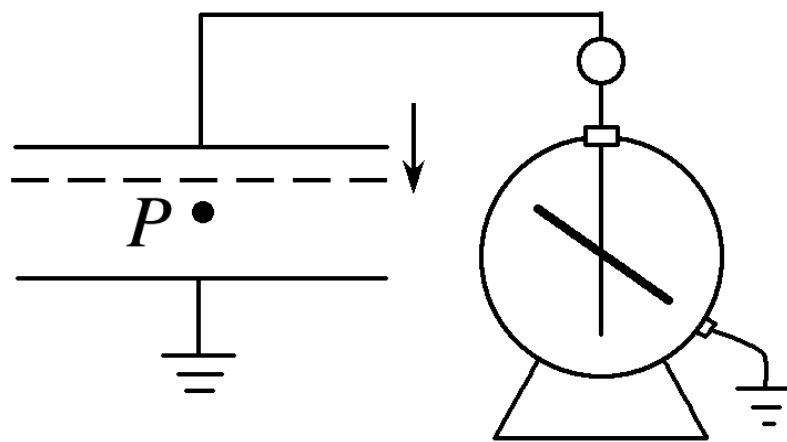


图 5

## [ 变式训练 ]

4. 如图 6 所示，平行板电容器与电动势为  $E$  的直流电源（内阻不计）连接，下极板接地，静电计所带电荷量很少，可被忽略。一带负电油滴被固定于电容器中的  $P$  点。现将平行板电容器的下极板向下移动一小段距离，则（ ? ）

- A. 静电计指针张角变小
- B. 平行板电容器的电容将变大
- C. 带电油滴的电势能将增大

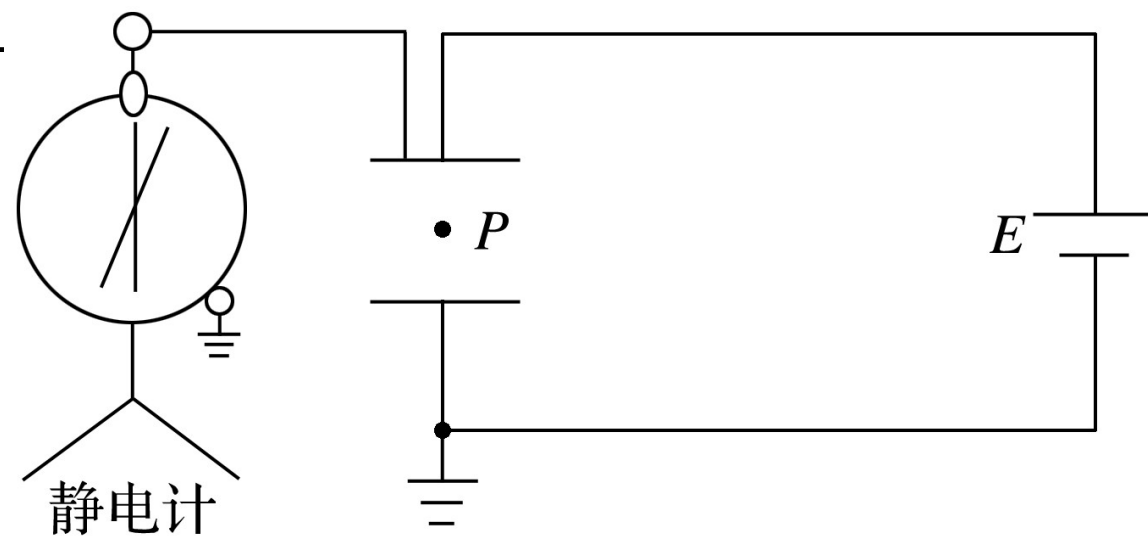


图 6

- ✓ D. 若先将电容器上极板与电源正极的导线断开，再将下极板向下移动一小段

5. 如图 7 所示，两个水平放置的平行板电容器， $A$  板用导线与  $M$  板相连， $B$  板和  $N$  板都接地。让  $A$  板带电后，在两个电容器间分别有  $P$ 、 $Q$  两个带电油滴都处于静止状态。 $A$ 、 $B$  间电容为  $C_1$ ，电压为  $U_1$ ，带电量为  $Q_1$ ； $M$ 、 $N$  间电容为  $C_2$ ，电压为  $U_2$ ，带电量为  $Q_2$ 。若将  $B$  板稍向 ? 移动，下列说法正确的是 ( )

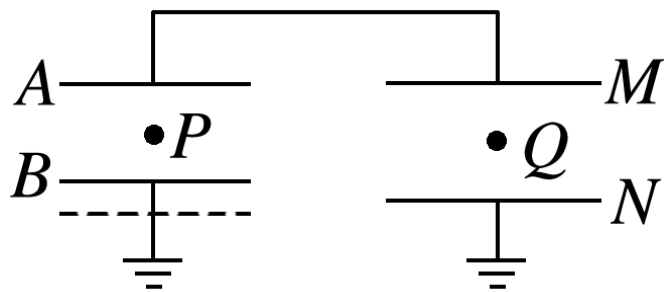


图 7

✓  
✓

$A$   $P$  向下动     $Q$  向上动     $C_1$  减小     $U_1$  增大

6. 如图 8 所示，平行板电容器两极板水平放置，电容为  $C$ ，开始时开关闭合，电容器与一直流电源相连，极板间电压为  $U$ ，两极板间距为  $d$ ，电容器储存的能量  $E = \frac{1}{2} CU^2$ 。一电荷量为  $-q$  的带电油滴，以初动能  $E_{k0}$  从平行板电容器的两个极板中央水平射入（极板足够长），带电油滴恰能沿图中所示水平虚线匀速通过电容器，则（ ）

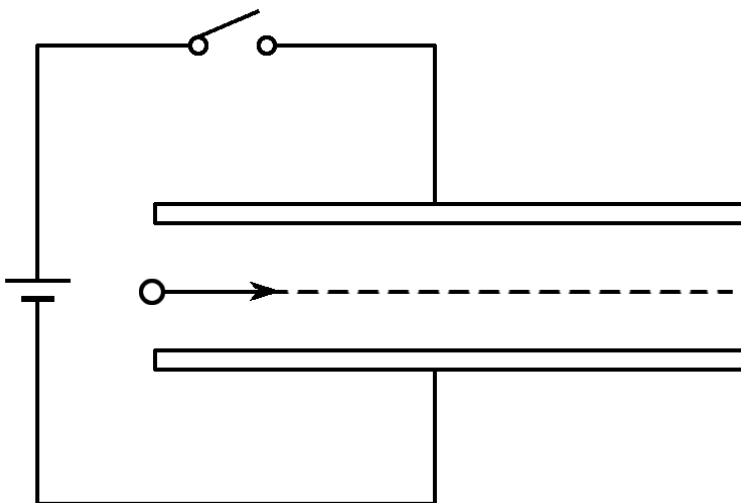


图 8

- A. 保持开关闭合，仅将上极板下移 $\frac{d}{4}$ ，带电油滴仍能沿水平线运动
- ✓ B. 保持开关闭合，仅将上极板下移 $\frac{d}{4}$ ，带电油滴将撞击上极板，撞击上极板时的动能为  $E_{k0} + \frac{qU}{12}$
- C. 断开开关，仅将上极板上移 $\frac{d}{4}$ ，带电油滴将撞击下极板，撞击下极板时的动能为  $E_{k0} + \frac{qU}{6}$
- ✓ D. 断开开关，仅将上极板上移 $\frac{d}{4}$ ，若不考虑电容器极板的重力势能变化，外力对极板做功至少为  $\frac{1}{8}CU^2$

### 知识精讲

#### 1. 带电粒子在电场中的运动问题的解题思路

首先分析粒子的运动规律，区分是在电场中的直线运动问题还是曲线运动问题。

#### 2. 带电粒子在电场中的加速

(1) 匀强电场中， $v_0$  与  $E$  平行时，优先用功能关系求解，若不行，则用牛顿第二定律和运动学公式。

(2) 非匀强电场中，只能用功能关系求解。

3. 带电粒子在匀强电场中的偏转 ( $v_0$  垂直于  $E$  的方向), 如图 9 所示

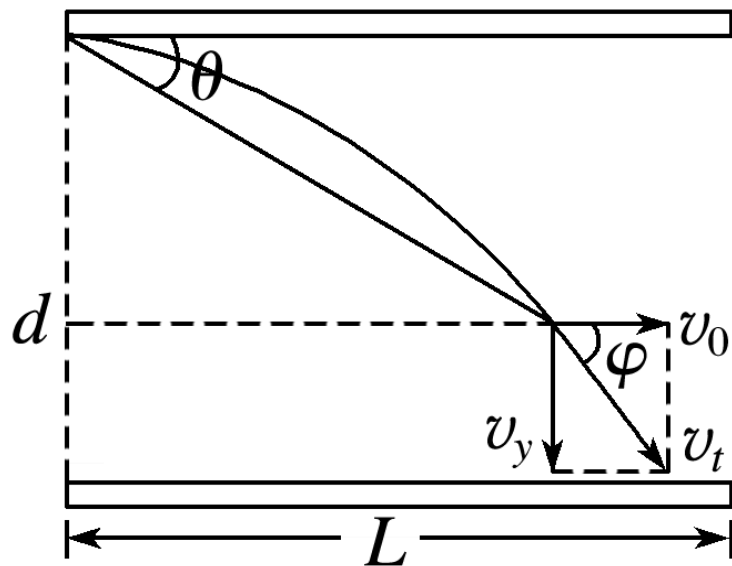


图 9

处理方法：应用运动的合成与分解。

(1)沿初速度方向做匀速直线运动，运动时间  $t = \frac{L}{v_0}$ .

(2)沿电场方向做初速度为零的匀加速直线运动，加速度  $a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$ .

(3)离开电场时的偏移量  $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qUL^2}{2mdv_0^2}$ .

(4)速度偏向角

$$\tan \varphi = \frac{v_y}{v_0} = \frac{qUx}{mdv_0^2} \xrightarrow{x=L} \tan \varphi = \frac{qUL}{mdv_0^2};$$

位移偏向角

$$\tan \theta = \frac{y}{x} = \frac{qUx}{2mdv_0^2} \xrightarrow{x=L} \tan \theta = \frac{qUL}{2mdv_0^2}.$$

## 典例剖析

**例 3** 如图 10 所示，一质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  的带正电荷小球（可视为质点）从  $y$  轴上的  $A$  点以初速度  $v_0$ （未知）水平抛出，两长为  $L$  的平行金属板  $M$ 、 $N$  倾斜放置且与水平方向间的夹角为  $\theta = 37^\circ$ ，带电小球恰好能垂直  $M$  板从其中中心小孔  $B$  进入两板间（ $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ）

(1) 试求带电小球在  $y$  轴上的抛出点  $A$  的坐标以及小球抛出的初速度  $v_0$ ；

(2) 若该平行金属板  $M$ 、 $N$  间有如图所示的匀强电场，且匀强电场的电场强度大小与小球质量之间的关系满足

$E = \frac{4mg}{5q}$ ，试计算两平行板  $M$ 、 $N$  之间的垂直距离  $d$  至少为多少时才能保证小球不打在  $N$  板上。

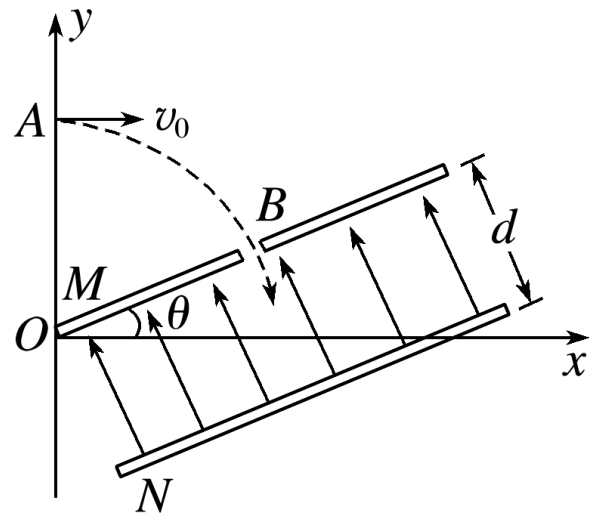


图 10

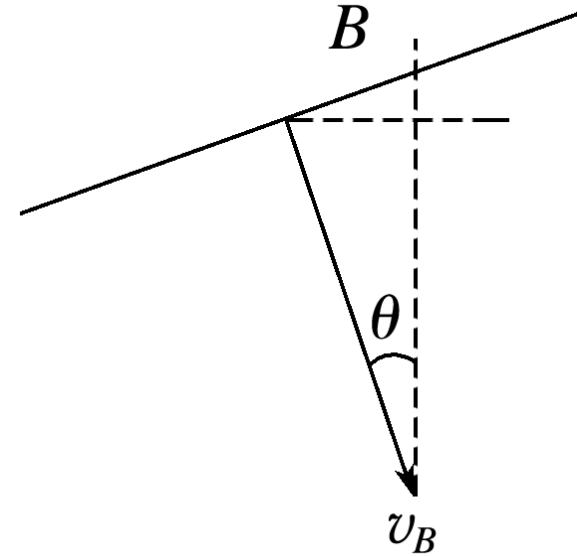
## [ 思维规范流程 ]

步骤 1 : 小球由  $A \rightarrow B$  做平抛运动, 分方向列方程

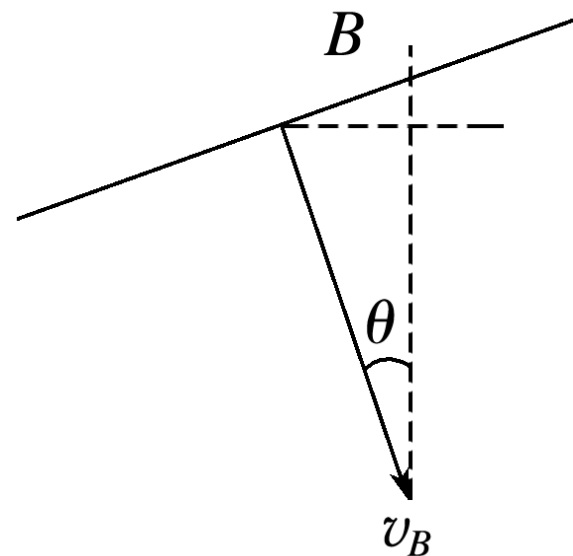
(1)  $A \rightarrow B$

$$\text{水平方向: } \frac{L}{2} \cdot \cos \theta = v_0 t \quad \text{①}$$

$$\text{竖直方向: } h = \frac{1}{2} g t^2 \quad \text{②}$$



小球垂直  $M$  板在  $B$  进入电场，  
在  $B$  点：分解速度



在  $B$  点：  $\tan \theta = \frac{v_0}{gt}$  ③

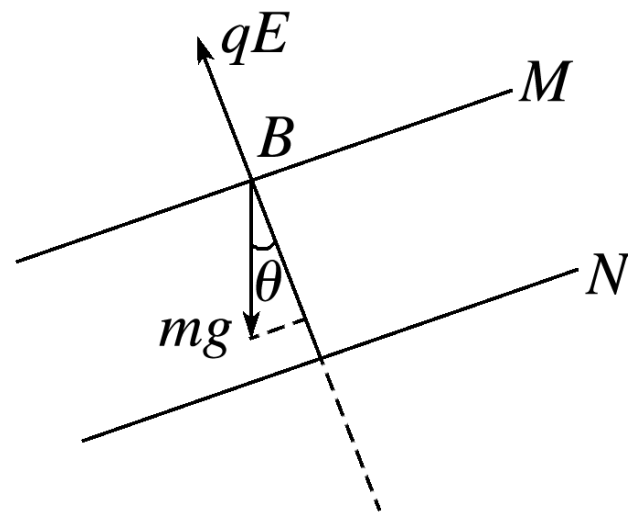
$y = \frac{h + \frac{L}{2} \sin \theta}{1}$  ④

解得  $y = \frac{17}{30}L$  ,  $\frac{v_0}{17} = \frac{\sqrt{\frac{3gL}{10}}}{1}$  ⑤

所以  $A$  的坐标为  $(\frac{30}{17}L, \frac{17}{30}L)$  ⑥

$A$  点的纵坐标：列几何关系，  
得结论

步骤 2：在  $B$  点，速度合成法  
 求  $v_B$  进入电场后的受力情况。



$$v_B = \frac{v_0}{\sin \theta} = \sqrt{\frac{5gL}{6}} \quad \textcircled{7}$$

$$qE = \frac{4mg}{5} = \underline{mg \cdot \cos \theta} \quad \textcircled{8}$$

对小球列牛顿第二定律表  
达式：

分方向列方程：得结论

所以小球做类平抛运动 ⑨

$$\underline{mgsin\theta = ma} \quad \text{⑩}$$

$$\text{所以 } a = \underline{gsin\theta} \quad \text{⑪}$$

$$d = \underline{v_B t'} \quad \text{⑫}$$

$$\frac{L}{2} = \frac{1}{2} at'^2 \quad \text{⑬}$$

$$d = \frac{5\sqrt{2}}{6} L \quad \text{⑭}$$

每式各 1

## [ 变式训练 ]

7.(2016·四川理综·9) 中国科学院 2015 年 10 月宣布中国将在 2020 年开始建造世界上最大的粒子加速器。加速器是人类揭示物质本源的关键设备，在放射治疗、食品安全、材料科学等方面有广泛应用。

如图 11 所示，某直线加速器由沿轴线分布的一系列金属圆管（漂移管）组成，相邻漂移管分别接在高频脉冲电源的两极。质子从  $K$  点沿轴线进入加速器并依次向右穿过各漂移管，在漂移管内做匀速直线运动，在漂移管间被电场加速，加速电压视为不变。

设质子进入漂移管  $B$  时速度为  $8 \times 10^6 \text{ m/s}$

漂移管  $E$  时速度为  $1 \times 10^7 \text{ m/s}$ ，电源频率为  $1 \times 10^7 \text{ Hz}$

漂移管间缝隙很小，质子在每个管内运动的时间视为电源周期的  $\frac{1}{2}$ ，质子的荷质比取  $1 \times 10^8 \text{ C/kg}$ 。求：

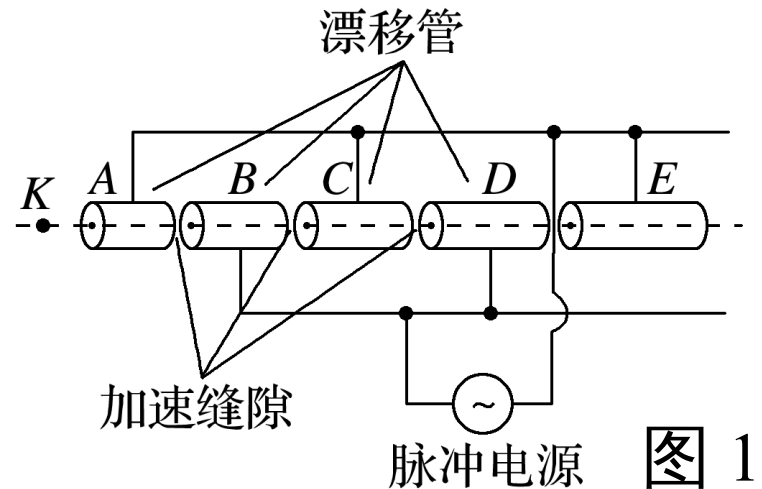


图 11

(1) 漂移管  $B$  的长度；

**解析** 设质子进入漂移管  $B$  的速度为  $v_B$ ，电源频率、周期分别为  $f$ 、 $T$ ，

漂移管  $B$  的长度为  $L$ ，则

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{①}$$

$$L = v_B \cdot \frac{T}{2} \quad \text{②}$$

联立①②式并代入数据得  $L = 0.4 \text{ m}$

**答案** 0.4 m

(2) 相邻漂移管间的加速电压.

**解析** 设质子进入漂移管  $E$  的速度为  $v_E$ ，相邻漂移管间的加速电压为  $U$ ，电场力对质子所做的功为  $W$ ，质子从漂移管  $B$  运动到漂移管  $E$  电场力做功  $W'$ ，质子的电荷量为  $q$ 、质量为  $m$ ，则

$$W = qU \quad \text{③}$$

$$W' = 3W \quad \text{④}$$

$$W' = \frac{1}{2}mv_E^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 \quad \text{⑤}$$

联立③④⑤式并代入数据得  $U = 6 \times 10^4 \text{ V}$ .

**答案**  $6 \times 10^4 \text{ V}$