

2024 版高三物理培优——模型与方法

专题 13 匀强电场中的匀变速直（曲）线运动模型

目录

【模型一】带电粒子在电场中的加速和减速运动模型	1
1.带电粒子在电场中的加速直线运动模型	1
2.交变电场中的直线运动	8
3.带电体在电场中的直线运动	12
【模型二】带电粒子在匀强电场中的偏转模型	20
【模型三】带电粒子经加速电场后进入偏转电场模型	29
【模型四】带电粒子在复合场中的匀变速曲线运动的几种常见模型.....	37

【模型一】带电粒子在电场中的加速和减速运动模型

1.带电粒子在电场中的加速直线运动模型

(1) 受力分析:

与力学中受力分析方法相同,知识多了一个电场力而已.如果带电粒子在匀强电场中,则电场力为恒力(qE),若在非匀强电场,电场力为变力.

(2) 运动过程分析:

带电粒子沿与电场线平行的方向进入匀强电场,收到的电场力与运动方向在同一直线上,做匀加(减)速直线运动.

(3) 两种处理方法:

①力和运动关系法——牛顿第二定律:

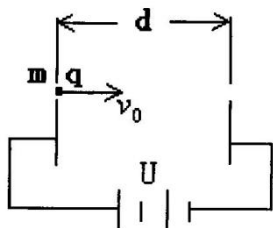
带电粒子受到恒力的作用,可以方便地由牛顿第二定律求出加速度,结合匀变速直线运动的公式确定带电粒子的速度、时间和位移等.

②功能关系法——动能定理:

带电粒子在电场中通过电势差为 U_{AB} 的两点时动能的变化是 ΔE_k , 则

$$qU_{AB} = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2.$$

例:如图真空中有一对平行金属板,间距为 d ,接在电压为 U 的电源上,质量为 m 、电量为 q 的正电荷穿过正极板上的小孔以 v_0 进入电场,到达负极板时从负极板上正对的小孔穿出.不计重力,求:正电荷穿出时的速度 v 是多大?



解法一、动力学:由牛顿第二定律: $a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$ ①

由运动学知识: $v^2 - v_0^2 = 2ad$ ②

联立①②解得: $v = \sqrt{\frac{2qU}{m} + v_0^2}$

解法二、动能定理: $qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 解得 $v = \sqrt{\frac{2qU}{m} + v_0^2}$

讨论:

(1) 若带电粒子在正极板处 $v_0 \neq 0$, 由动能定理得 $qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 解得 $v = \sqrt{\frac{2qU}{m} + v_0^2}$

(2) 若将图中电池组的正负极调换, 则两极板间匀强电场的场强方向变为水平向左, 带电量为 $+q$, 质量为 m 的带电粒子, 以初速度 v_0 , 穿过左极板的小孔进入电场, 在电场中做匀减速直线运动.

①若 $v_0 > \sqrt{\frac{2qU}{m}}$, 则带电粒子能从对面极板的小孔穿出, 穿出时的速度大小为 v ,

有 $-qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 解得 $v = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{m}}$

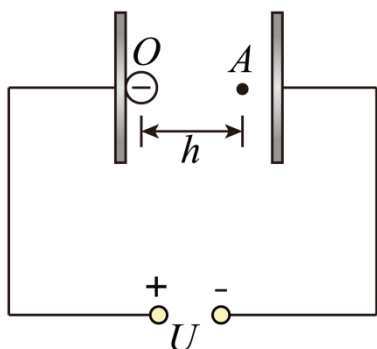
②若 $v_0 < \sqrt{\frac{2qU}{m}}$, 则带电粒子不能从对面极板的小孔穿出, 带电粒子速度减为零后, 反方向加速运动,

从左极板的小孔穿出, 穿出时速度大小 $v = v_0$.

设带电粒子在电场中运动时距左极板的最远距离为 x , 由动能定理有: $-qEx = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$

又 $E = \frac{U}{d}$ (式 d 中为两极板间距离) 解得 $x = \frac{mdv_0^2}{2qU}$.

【模型演练 1】(2023·全国·高三假期作业) 如图所示, 两平行金属板相距为 d , 电势差 U 未知, 一个电子从 O 点沿垂直于极板的方向以速度 v 射出, 最远到达 A 点, 然后返回, 已知 O 、 A 相距为 h , 电子的质量为 m , 电荷量为 e , 则两金属板间的电势差 U 为 ()



A. $\frac{mv^2}{2h}$

B. $\frac{mv^2}{2e}$

C. $\frac{mdv^2}{2eh}$

D. $\frac{m hv^2}{2ed}$

【答案】C

【详解】电子由 O 到 A 的过程，只有电场力做功，根据动能定理得

$$-eEh = 0 - \frac{1}{2}mv^2$$

两板间的电场强度

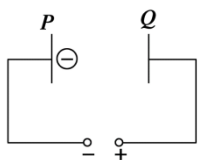
$$E = \frac{U}{d}$$

解得两金属板间的电势差 U 为

$$U = \frac{mdv^2}{2eh}$$

故选 C。

【模型演练 2】（2023 春·江苏南京·高三南京市第一中学校考期末）如图所示，在 P 板附近有一电子由静止开始向 Q 板运动，则关于电子到达 Q 板时的速度，下列说法正确的是（ ）



- A. 两板间距离越大，加速的时间就越长，获得的速度就越大
- B. 两板间距离越小，加速度就越大，获得的速度就越大
- C. 与两板间距离无关，仅与加速电压有关
- D. 以上说法均不正确

【答案】C

【详解】设两板间电势差为 U ，根据动能定理有

$$Ue = \frac{1}{2}mv^2$$

解得

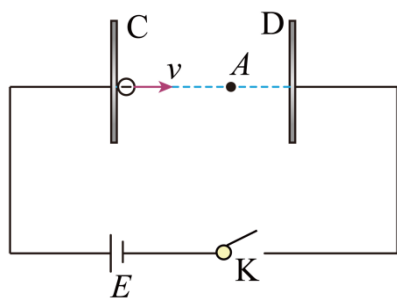
$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

可知，两板间电压一定的情况下，增加板间距或减小板间距，电子到达 Q 板时的速度不变，即电子到达 Q 板时的速度与两板间距离无关，仅与加速电压有关。

故选 C。

【模型演练 3】（2023·河北保定·统考三模）一对平行正对的金属板 C、D 接入如图所示的电路中，电源电动势为 E ，C 板固定，D 板可左右平行移动，闭合开关，一段时间后再断开开关，从 C 板发射一电子，恰能运动到 A 点后再返回，已知 A 到 D 板的距离是板间距离的三分之一，电子质量为 m ，电荷量为 $-e$

，忽略电子的重力，则（ ）



- A. 设定 C 板电势为 0，电子在 A 点的电势能为 $-\frac{2}{3}eE$
- B. 若要让电子能够到达 D 板，可将 D 板向左平移至 A 点或 A 点左侧某位置
- C. 若要让电子能够到达 D 板，可将 D 板向右平移至某位置
- D. 若要让电子能够到达 D 板，可闭合开关，再将 D 板向右平移至某位置

【答案】B

【详解】A. 金属板的电场线由 C 指向 D ，沿着电场线电势逐渐降低，设定 C 板电势为 0，则 A 点的电势为

$$\varphi_A = -\frac{2}{3}E$$

电子在 A 点的电势能为

$$E_{PA} = \frac{2}{3}eE$$

故 A 错误；

BCD. 闭合开关，一段时间后再断开开关，则电容器的电量 Q 不变，根据电容的定义式和决定式有

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

联立解得

$$U = \frac{4\pi k d Q}{\epsilon_r S}$$

从 C 板发射一电子，恰能运动到 A 点后再返回，则有

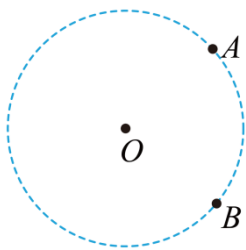
$$E_{k0} = E_{PA}$$

所以若要让电子能够到达 D 板，可将 D 板向左平移至 A 点或 A 点左侧某位置，或者闭合开关，再将 D 板向左平移至 A 点或 A 点左侧某位置，故 B 正确，CD 错误

故选 B。

【模型演练 4】（2023·河北沧州·河北省吴桥中学校考模拟预测）如图所示，半径为 R 的圆处在匀强电场中， O 为圆心，圆所在平面与电场线平行， A 、 B 是圆上两点， AB 间劣弧为四分之一圆弧，一个质量为 m 、电荷量为 q 的带正电的粒子以大小为 v_0 的速度从 O 点沿某一方向射出，到达 B 点时的动能为 mv_0^2 ，若以垂直 AB

连线向左的方向仍以大小为 v_0 的速度射出，过一段时间 t 粒子又回到 O 点，再改变粒子从 O 点射出的方向，射出速度大小仍为 v_0 ，结果粒子到达了 A 点，不计粒子的重力，则（ ）



A. $t = \frac{\sqrt{2}R}{2v_0}$

B. A 点电势比 B 点电势高

C. 匀强电场的电场强度大小为 $\frac{\sqrt{2}mv_0^2}{2qR}$

D. O 、 A 两点的电势差为 $\frac{\sqrt{2}mv_0^2}{2q}$

【答案】C

【详解】B. 粒子从 O 点沿垂直 AB 方向射出去，能回到 O 点，说明电场方向垂直 AB ，由 O 指向 AB ，则 AB 是等势线， A 、 B 两点等势，故 B 错误；

C. 由题意知

$$qE \times \frac{\sqrt{2}}{2}R = mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得

$$E = \frac{\sqrt{2}mv_0^2}{2qR}$$

故 C 正确；

A. 根据题意

$$t = \frac{2v_0}{a}$$

$$a = \frac{qE}{m}$$

解得

$$t = \frac{2\sqrt{2}R}{v_0}$$

故 A 错误；

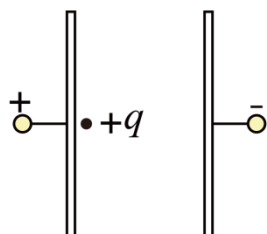
D. O 、 A 两点的电势差等于

$$U = E \times \frac{\sqrt{2}}{2}R = \frac{mv_0^2}{2q}$$

故 D 错误。

故选 C。

【模型演练 5】（2023·北京·高三专题练习）如图所示，两极板加上恒定的电压 U ，将一质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的带电粒子在正极板附近由静止释放，粒子向负极板做加速直线运动。不计粒子重力。若将两板间距离减小，再次释放该粒子，则（ ）



- A. 带电粒子获得的加速度变小
- B. 带电粒子到达负极板的时间变短
- C. 带电粒子到达负极板时的速度变小
- D. 加速全过程静电力对带电粒子的冲量变小

【答案】B

【详解】A. 根据匀强电场场强公式和牛顿第二定律有

$$E = \frac{U}{d}, \quad qE = ma$$

可得

$$a = \frac{qU}{md}$$

将两板间距离减小，带电粒子获得的加速度变大，故 A 错误；

B. 根据匀变速直线运动规律

$$d = \frac{1}{2}at^2$$

解得

$$t = \sqrt{\frac{2md^2}{qU}}$$

将两板间距离减小，带电粒子到达负极板的时间变短，故 B 正确；

C. 根据动能定理有

$$qU = \frac{1}{2}mv^2$$

解得

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

带电粒子到达负极板时的速度不变，故 C 错误；

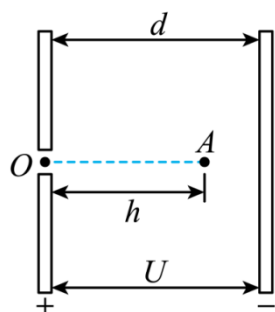
D. 根据动量定理有

$$I = mv$$

可知加速全过程静电力对带电粒子的冲量不变，故 D 错误。

故选 B。

【模型演练 6】（2023·高三课时练习）两平行金属板相距为 d ，电势差为 U ，一电子质量为 m 、电荷量为 e ，从 O 点沿垂直于极板的方向射入电场，最远到达 A 点，然后返回，如图所示， OA 间距为 h ，则此电子的初动能为（ ）



A. $\frac{edh}{U}$

B. $\frac{dU}{eh}$

C. $\frac{eU}{dh}$

D. $\frac{eUh}{d}$

【答案】 D

【详解】 电子从 O 点到达 A 点的过程中，仅在电场力作用下速度逐渐减小，根据动能定理可得

$$-eU_{OA} = 0 - E_k$$

因为

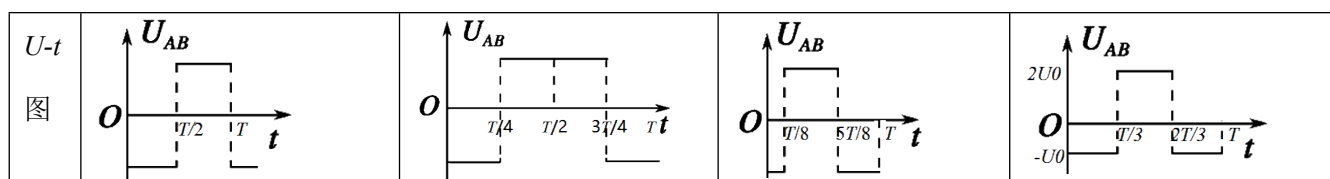
$$U_{OA} = \frac{U}{d}h$$

所以

$$E_k = \frac{eUh}{d}$$

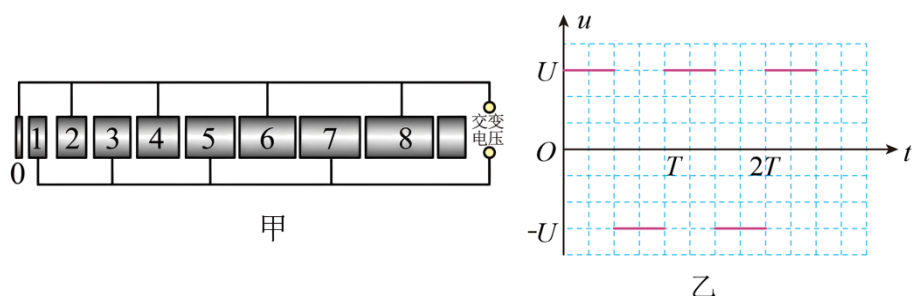
故选 D。

2. 交变电场中的直线运动



$v-t$ 图	速度不反向 单向直线运动	速度反向 往返直线运动	速度反向 往返直线运动	速度反向 往返直线运动
轨 迹 图				

【模型演练 1】（2023·湖南邵阳·统考模拟预测）如图甲所示，直线加速器由一个金属圆板（序号为 0）和多个横截面积相同的金属圆筒组成，其中心轴线在同一直线上，圆筒的长度遵照一定的规律依次增加。圆板和圆筒与交流电源相连，序号为奇数的圆筒和电源的一极相连，圆板和序号为偶数的圆筒和该电源的另一极相连，交变电源两极间电势差的变化规律如图乙所示。若电压的绝对值为 U ，电子电量为 e ，电子通过圆筒间隙的时间可以忽略不计。在 $t=0$ 时刻，圆板中央的一个电子在圆板和圆筒之间的电场中由静止开始加速，沿中心轴线冲进圆筒 1，电子在每个圆筒中运动的时间均小于 T ，且电子均在电压变向时恰从各圆筒中射出，不考虑相对论效应，则（ ）



- A. 由于静电屏蔽作用，圆筒内不存在电场
- B. 电子运动到第 n 个圆筒时动能为 $2neU$
- C. 在 $t=\frac{5T}{4}$ 时奇数圆筒相对偶数圆筒的电势差为负值
- D. 第 $n-1$ 个和第 n 个圆筒的长度之比为 $\sqrt{n-1}:\sqrt{n}$

【答案】 AD

【详解】 A. 由于静电屏蔽作用，圆筒内不存在电场，A 正确；

B. 电子每经过一个间隙，电场力做功 eU ，根据动能定理，电子运动到第 n 个圆筒时动能为

$$neU = E_k - 0$$

电子运动到第 n 个圆筒时动能为 neU ，B 错误；

C. 因为

$$t = \frac{5T}{4} = T + \frac{T}{4}$$

$t = \frac{T}{4}$ 时圆筒 1 相对圆板的电势差为正值，同理， $t = \frac{5T}{4}$ 奇数圆筒相对偶数圆筒的电势差为正值，C 错误；

D. 根据动能定理得

$$eU = \frac{1}{2}mv_1^2, \quad 2eU = \frac{1}{2}mv_2^2, \quad 3eU = \frac{1}{2}mv_3^2 \dots, \quad neU = \frac{1}{2}mv_n^2$$

得

$$v_{n-1} : v_n = \sqrt{n-1} : \sqrt{n}$$

电子在每个圆筒中做匀速运动，故第 $n-1$ 个和第 n 个圆筒的长度之比为

$$L_{n-1} : L_n = v_{n-1} : v_n$$

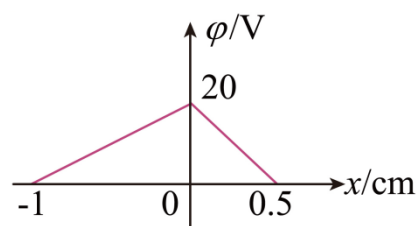
得

$$L_{n-1} : L_n = \sqrt{n-1} : \sqrt{n}$$

D 正确。

故选 AD。

【模型演练 2】（2023·全国·高三专题练习）反射式速调管是常用的微波器件之一，它利用电子团在电场中的振荡来产生微波，其振荡原理与下述过程类似。已知静电场的方向平行于 x 轴，其电势 φ 随 x 的分布如图所示，一质量 $m = 4.0 \times 10^{-20} \text{ kg}$ ，电荷量 $q = -4.0 \times 10^{-9} \text{ C}$ 的带负电的粒子从 $(-1 \text{ cm}, 0)$ 点由静止开始，仅在电场力作用下在 x 轴上 $-1 \text{ cm} \sim 0.5 \text{ cm}$ 范围内往返运动，则（ ）



- A. x 轴负半轴电场强度 E_1 和正半轴电场强度 E_2 的大小的比值为 $\frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{2}$
- B. 粒子在 $-1 \text{ cm} \sim 0$ 范围内运动过程中，电场力的冲量为 $8.0 \times 10^{-14} \text{ N} \cdot \text{s}$
- C. 该粒子运动过程中电势能变化量的最大值为 $6.0 \times 10^{-8} \text{ J}$
- D. 该粒子运动的周期 $T = 3.0 \times 10^{-8} \text{ s}$

【答案】 ABD

【详解】 A. 由 $E = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$ 及 $\varphi-x$ 图像知， x 轴负半轴和正半轴的电场强度大小分别为

$$E_1 = \frac{20}{0.01} \text{ V/m} = 2 \times 10^3 \text{ V/m}$$

$$E_2 = \frac{20}{5 \times 10^{-3}} \text{ V/m} = 4 \times 10^3 \text{ V/m}$$

所以

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{2}$$

故 A 正确；

C. 根据电场力做功与电势能变化关系可得

$$\Delta E_p = -qU$$

该粒子运动过程中电势差取最大值时，电势能变化量取最大值，即

$$\Delta E_{p\max} = -q(\Delta\varphi)_{\max} = -(-4.0 \times 10^{-9} \text{ C}) \times 20 \text{ V} = 8.0 \times 10^{-8} \text{ J}$$

故 C 错误；

D. 粒子在 $-1\text{cm} \sim 0$ 范围内运动过程中，由牛顿第二定律和匀变速直线运动规律可得

$$E_1 q = ma_1$$

$$x_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2$$

粒子在 $0 \sim 0.5 \text{ cm}$ 范围内运动过程中，由牛顿第二定律和匀变速直线运动规律可得

$$E_2 q = ma_2$$

$$x_2 = \frac{1}{2} a_2 t_2^2$$

该粒子运动的周期

$$T = 2(t_1 + t_2)$$

联立可得

$$T = 3.0 \times 10^{-8} \text{ s}$$

故 D 正确；

B. 粒子在 $-1\text{cm} \sim 0$ 范围内运动过程中，所受的电场力

$$F = E_1 q = 8.0 \times 10^{-6} \text{ N}$$

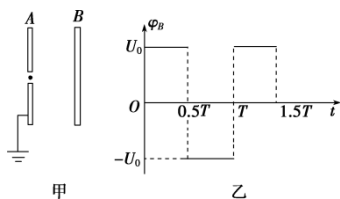
冲量为

$$I = Ft_1 = 8.0 \times 10^{-14} \text{ N} \cdot \text{s}$$

故 B 正确。

故选 ABD。

【模型演练 3】(2023·广东省湛江市高三上学期调研) 如图甲所示, A 板电势为 0, A 板中间有一小孔, B 板的电势变化情况如图乙所示, 一质量为 m 、电荷量为 q 的带负电粒子在 $t = \frac{T}{4}$ 时刻以初速度为 0 从 A 板上



A. A 、 B 两板间的距离为 $\sqrt{\frac{qU_0T^2}{8m}}$ B. 粒子在两板间的最大速度为 $\sqrt{\frac{qU_0}{m}}$

C. 粒子在两板间做匀加速直线运动

D. 若粒子在 $t = \frac{T}{8}$ 时刻进入两极板间, 它将时而向 B 板运动, 时而向 A 板运动, 最终打向 B 板

【答案】 B.

【解析】 粒子仅在电场力作用下运动, 加速度大小不变, 方向变化, 选项 C 错误; 粒子在 $t = \frac{T}{4}$ 时刻以初速

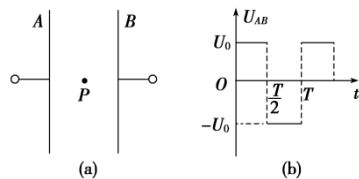
度为 0 进入两极板, 先加速后减速, 在 $\frac{3T}{4}$ 时刻到达 B 板, 则 $\frac{1}{2} \cdot \frac{qU_0}{md} \cdot \left(\frac{T}{4}\right)^2 = \frac{d}{2}$, 解得 $d = \sqrt{\frac{qU_0T^2}{16m}}$, 选项 A 错

误; 粒子在 $\frac{T}{2}$ 时刻速度最大, 则 $v_m = \frac{qU_0}{md} \cdot \frac{T}{4} = \sqrt{\frac{qU_0}{m}}$, 选项 B 正确; 若粒子在 $t = \frac{T}{8}$ 时刻进入两极板间, 在 $\frac{T}{8} \sim$

$\frac{T}{2}$ 时间内, 粒子做匀加速运动, 位移 $x = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU_0}{md} \cdot \left(\frac{3T}{8}\right)^2 = \frac{9d}{8}$, 所以粒子在 $\frac{T}{2}$ 时刻之前已经到达 B 板, 选项 D 错

误.

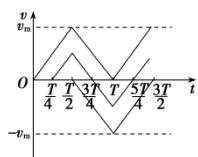
【模型演练 4】(2023·安徽合肥模拟) 如图(a)所示, 两平行正对的金属板 A 、 B 间加有如图(b)所示的交变电压, 一重力可忽略不计的带正电粒子被固定在两板的正中间 P 处. 若在 t_0 时刻释放该粒子, 粒子会时而向 A 板运动, 时而向 B 板运动, 并最终打在 A 板上. 则 t_0 可能属于的时间段是 ()



A. $0 < t_0 < \frac{T}{4}$ B. $\frac{T}{2} < t_0 < \frac{3T}{4}$ C. $\frac{3T}{4} < t_0 < T$ D. $T < t_0 < \frac{9T}{8}$

【答案】 B

【解析】：设粒子的速度方向、位移方向向右为正。依题意知，粒子的速度方向时而为正，时而为负，最终打在A板上时位移为负，速度方向为负。分别作出 $t_0=0$ 、 $\frac{T}{4}$ 、 $\frac{T}{2}$ 、 $\frac{3T}{4}$ 时粒子运动的 $v-t$ 图象，如图所示。由于 $v-t$ 图线与时间轴所围面积表示粒子通过的位移，则由图象知， $0 < t_0 < \frac{T}{4}$ 与 $\frac{3T}{4} < t_0 < T$ 时粒子在一个周期内的总位移大于零， $\frac{T}{4} < t_0 < \frac{3T}{4}$ 时粒子在一个周期内的总位移小于零， $t_0 > T$ 时情况类似。因粒子最终打在A板上，则要求粒子在每个周期内的总位移应小于零，对照各项可知B正确。



3.带电体在电场中的直线运动

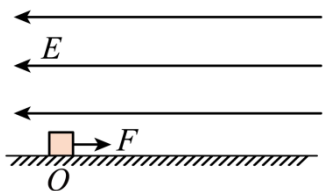
(1).带电小球在电容器中的直线运动

匀速直线运动	匀加速直线运动	匀加速直线运动	匀减速直线运动
$qE=mg, a=0$	$qE=mg\tan\theta, a=g/\cos\theta$	$qE=mg/\cos\theta, a=g\tan\theta$	$qE=mg/\cos\theta, a=g\tan\theta$

(2)多过程运动规律

运动模型	受力分析	运动分析	规律
			①速度公式 $v_0=gt_1=at_2$; 速度位移公式 $v_0^2=2gx_1=2ax_2$ ②全程动能定理: $mg(h+d)-qU=0$

【模型演练 1】(2023·全国·高三专题练习) 如图所示，空间存在水平向左的匀强电场，一带电量为 $+q$ 的物块放在光滑绝缘水平面上，在恒力 F 作用下由静止开始从 O 点向右做匀加速直线运动，先经时间 t 力 F 做功 90J ，此后撤去力 F ，物块再经时间 $2t$ 返回到出发点 O ，且回到出发点时的速度大小为 v 。设物块在 O 点的电势能为零，则 ()



- A. 撤去力 F 时物块的速度大小为 $\frac{v}{3}$
- B. 物块向右滑动的最大距离为 $\frac{2vt}{3}$
- C. 物块回到出发点时的动能为 90J
- D. 撤去力 F 时物块的电势能为 60J

【答案】C

【详解】A. 设 F 撤去前、后物块的加速度大小分别为 a_1 、 a_2 ，根据位移关系有

$$\frac{1}{2}a_1t^2 + (a_1t) \cdot 2t - \frac{1}{2}a_2(2t)^2 = 0$$

解得

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{4}{5}$$

根据运动学规律有

$$v = 2a_2t - a_1t = \frac{3}{2}a_1t$$

所以撤去力 F 时物块的速度大小为

$$v_1 = a_1t = \frac{2}{3}v$$

故 A 错误；

B. 从撤去 F 到物块速度减为零所经历的时间为

$$t_1 = \frac{v_1}{a_2} = \frac{v_1}{\frac{5}{4}a_1} = \frac{4}{5}t$$

所以物块向右滑动的最大距离为

$$s_{\max} = \frac{v_1}{2}t + \frac{v_1}{2}t_1 = \frac{3}{5}vt$$

故 B 错误；

C. 物块从 O 点开始运动到又回到 O 点的过程中，电场力做功为零，恒力 F 做功为 90J ，根据动能定理可知物块回到出发点时的动能为 90J ，故 C 正确；

D. 物块向右运动过程中，电势能增加量等于克服电场力做的功，根据能量守恒定律可知物块向右到达最远位置时的电势能为 90J，设撤去 F 时物块的电势能为 E_p ，则

$$\frac{E_p}{90\text{J}} = \frac{qEx_1}{qEx_{\max}} = \frac{\frac{v_1}{2}t}{\frac{3}{5}vt} = \frac{5}{9}$$

解得

$$E_p = 50\text{J}$$

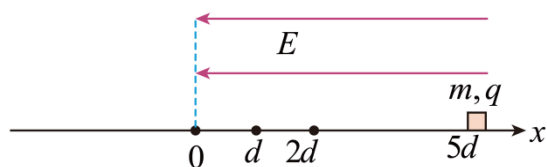
故 D 错误。

故选 C。

【模型演练 2】（2023 秋·云南昆明·高三云南师大附中校考阶段练习）如图所示，绝缘水平面 $x < 0$ 区域粗糙， $x > 0$ 区域光滑且处于一方向沿 x 负方向、电场强度大小 $E = \frac{2mg}{q}$ 的匀强电场中，在 $x = 0$ 、 $x = d$ 、 $x = 2d$ 处有 3 个完全相同的减速带，减速带的宽度远小于 d 。一质量为 m 、带电量为 q 的小滑块（可视为质点）从 $x = 5d$ 处由静止释放，测量发现小滑块通过相邻 2 个减速带间的时间相同。已知小滑块与水平地面间的动摩擦因数为 μ ，小滑块通过每一个减速带时损失的机械能相同，重力加速度为 g ，求：

（1）小滑块通过每一个减速带时损失的机械能；

（2）小滑块最终停在何处。



【答案】（1） $\Delta E = 2mgd$ ；（2） $x = -\frac{4d}{\mu}$

【详解】（1）由于滑块在区域 1 和区域 2 运动的时间相等，滑块过每个减速带损失的机械能相等，因此滑块过每一个减速带前后的速度相等，由能量关系得过每个减速带损失的机械能

$$\Delta E = qEd$$

由题意

$$E = \frac{2mg}{q}$$

$$\Delta E = 2mgd$$

（2）由能量关系

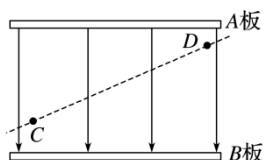
$$qE \times 5d - 3\Delta E - \mu mgs = 0$$

解得

$$s = \frac{4d}{\mu}$$

滑块最终停在 $x = -\frac{4d}{\mu}$ 处。

【模型演练 3】(2023·浙江宁波市重点中学联考)如图所示,相距为 d 的平行板 A 和 B 之间有电场强度为 E 、方向竖直向下的匀强电场。电场中 C 点距 B 板的距离为 $0.3d$, D 点距 A 板的距离为 $0.2d$,有一个质量为 m 的带电微粒沿图中虚线所示的直线从 C 点运动至 D 点,若重力加速度为 g ,则下列说法正确的是()

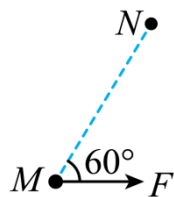


- A. 该微粒在 D 点时的电势能比在 C 点时的大
- B. 该微粒做匀变速直线运动
- C. 在此过程中电场力对微粒做的功为 $0.5mgd$
- D. 该微粒带正电,所带电荷量大小为 $q = \frac{mg}{E}$

【答案】 C

【解析】 由题知,微粒沿直线运动,可知重力和电场力二力平衡,微粒做匀速直线运动,微粒带负电, B、D 错误;微粒从 C 点运动至 D 点,电场力做正功,电势能减小, A 错误;此过程中电场力对微粒做的功为 $W = Fx = mg(d - 0.3d - 0.2d) = 0.5mgd$, C 正确。

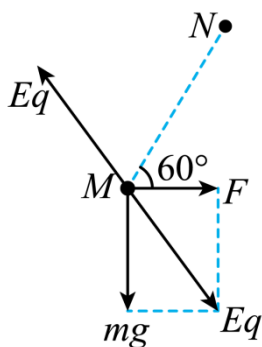
【模型演练 4】(2023·河南郑州·郑州外国语学校校考模拟预测)如图所示,在竖直面(纸面)内有匀强电场,带电量为 q ($q > 0$)、质量为 m 的小球受水平向右大小为 F 的恒力,从 M 匀速运动到 N 。已知 MN 长为 d ,与力 F 的夹角为 60° ,重力加速度为 g ,则()



- A. 场强大小为 $\frac{\sqrt{F^2 + m^2 g^2}}{q}$
- B. M 、 N 间的电势差为 $\frac{d}{q} \sqrt{F^2 + m^2 g^2}$
- C. 从 M 到 N , 电场力做功为 $\frac{\sqrt{3}}{2} mgd - \frac{1}{2} Fd$
- D. 若仅将力 F 方向顺时针转 60° , 小球将从 M 向 N 做匀变速曲线运动

【答案】 AC

【详解】A. 对小球受力分析，如图所示



根据受力平衡可得

$$(qE)^2 = (mg)^2 + F^2$$

解得场强大小为

$$E = \frac{\sqrt{F^2 + m^2 g^2}}{q}$$

故 A 正确；

B. 设 MN 与场强方向的夹角为 α ，则 M 、 N 间的电势差为

$$U_{MN} = Ed \cos \alpha = \frac{d}{q} \sqrt{F^2 + m^2 g^2} \cos \alpha$$

故 B 错误；

C. 从 M 到 N ，根据动能定理可得

$$Fd \cos 60^\circ - mgd \sin 60^\circ + W_{\text{电}} = 0 - 0$$

可得电场力做功为

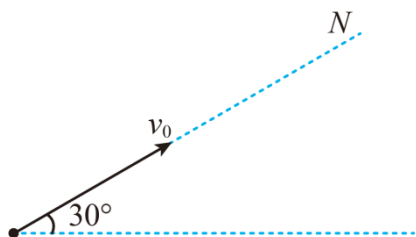
$$W_{\text{电}} = \frac{\sqrt{3}}{2} mgd - \frac{1}{2} Fd$$

故 C 正确；

D. 因电场力 qE 和重力 mg 的合力与 F 等大反向，则若仅将力 F 方向顺时针转 60° ，小球受的合力方向沿 NM 的方向向下，大小为 F ，则小球将从 M 向 N 做匀变速直线运动，故 D 错误。

故选 AC。

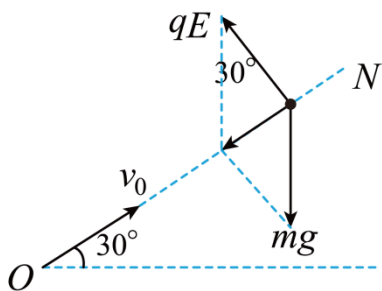
【模型演练 5】（2023·陕西安康·统考三模）如图所示，质量为 m 、电荷量为 q 的小球在电场强度为 E 的匀强电场中，以初速度 v_0 沿直线 ON 做匀变速运动，直线 ON 与水平面的夹角为 30° ，若小球在初始位置的电势能为零，重力加速度为 g ，则下列说法中正确的是（ ）



- A. 电场强度 E 的最小值为 $\frac{\sqrt{3}mg}{2q}$
- B. 匀强电场的方向可能竖直向上
- C. 如果小球加速运动且加速度大小为 g ，则电场强度 $E = \frac{\sqrt{3}mg}{q}$
- D. 如果电场强度为 $E = \frac{mg}{q}$ ，小球电势能的最大值为 $\frac{mv_0^2}{2}$

【答案】AC

【详解】A. 因为小球做匀变速直线运动，则小球所受的合力与速度方向在同一条直线上，结合平行四边形定则知，电场力的方向不确定，有最小值，当电场力垂直于运动方向时，电场力最小为 $mg \cos 30^\circ$ ，如图所示



所以电场强度的最小值

$$E_{\min} = \frac{mg \cos 30^\circ}{q} = \frac{\sqrt{3}mg}{2q}$$

故 A 正确；

B. 因为小球做匀变速直线运动，则小球所受的合力与速度方向在同一条直线上，结合平行四边形定则知，电场方向不可能竖直向上，B 错误；

C. 如果小球加速运动且加速度大小为 $a = g$ ，由受力分析可知此时

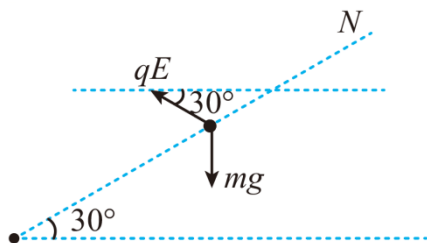
$$qE = 2mg \cos 30^\circ$$

解得

$$E = \frac{\sqrt{3}mg}{q}$$

故 C 正确；

D. 如果电场强度为 $E = \frac{mg}{q}$ ，小球所受的合力与速度方向在同一条直线上，结合平行四边形定则知，电场力的方向与水平方向夹角为 30° ，斜向上，如图所示



根据牛顿第二定律知，小球的加速度为

$$a = g$$

小球斜向上做匀减速直线运动，匀减速直线运动的位移

$$s = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2g}$$

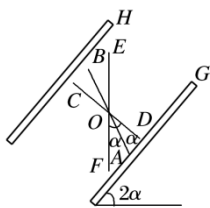
在整个过程中电场力做功

$$W = qEs \cos 120^\circ = -\frac{1}{4}mv_0^2$$

即电势能增加 $\frac{1}{4}mv_0^2$ ，所以小球电势能的最大值为 $\frac{1}{4}mv_0^2$ ，故 D 错误。

故选 AC。

【模型演练 6】(2023·陕西榆林市高三第一次模拟)如图，平行板电容器两个极板与水平地面成 2α 角，在平行板间存在着匀强电场，直线 CD 是两板间一条垂直于板的直线，竖直线 EF 与 CD 交于 O 点，一个带电小球沿着 $\angle FOD$ 的角平分线从 A 点经 O 点向 B 点做直线运动，重力加速度为 g 。则在此过程中，下列说法正确的是()



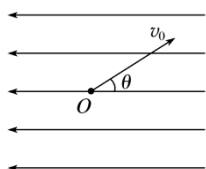
- A. 小球带正电
- B. 小球可能做匀加速直线运动
- C. 小球加速度大小为 $g \cos \alpha$
- D. 小球重力势能的增加量等于电势能的增加量

【答案】 D

【解析】 带电小球沿着 $\angle FOD$ 的角平分线从 A 点经 O 点向 B 点做直线运动，所以小球所受合外力沿 BA 方向，又由于小球受重力，所以电场力的方向由 O 到 D ，由于此电场的方向未知，所以小球的电性不能确定，小球做匀减速直线运动，故 A、B 错误；由题图可知，由于 OA 是角平分线，且小球的加速度方向由 O

到 A ，据几何关系可知 $a=2g\cos\alpha$ ，故 C 错误。由分析可知，小球所受重力大小等于电场力大小，运动的位移与重力、电场力的夹角相同，所以二力做的功相同，据功能关系可知，小球重力势能的增加量等于电势能的增加量，故 D 正确。

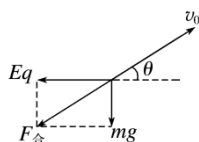
【模型演练 7】 一匀强电场，场强方向是水平的，如图所示，一个质量为 m 、电荷量为 q 的带正电的小球，从 O 点出发，初速度的大小为 v_0 ，在电场力和重力作用下恰好能沿与场强的反方向成 θ 角做直线运动，重力加速度为 g ，求：



- (1) 电场强度的大小；
(2) 小球运动到最高点时其电势能与 O 点的电势能之差。

【答案】 (1) $\frac{mg}{q\tan\theta}$ (2) $\frac{1}{2}mv_0^2\cos^2\theta$

【解析】 (1) 小球做直线运动，所受的电场力 qE 和重力 mg 的合力必沿此直线方向



如图所示，由几何关系可知 $mg=qE\tan\theta$

解得 $E=\frac{mg}{q\tan\theta}$

(2) 小球做匀减速直线运动，由牛顿第二定律可得 $\frac{mg}{\sin\theta}=ma$

设从 O 点到最高点的位移为 x ，根据运动学公式可得 $v_0^2=2ax$

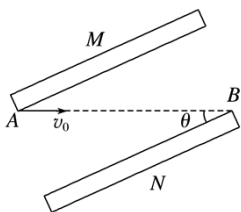
联立可得 $x=\frac{v_0^2\sin\theta}{2g}$

运动的水平距离 $l=x\cos\theta$

两点间的电势能之差 $\Delta W=Eq l$

联立解得 $\Delta W=\frac{1}{2}mv_0^2\cos^2\theta$

【模型演练 8】 (2023·黑龙江哈尔滨一中高三上学期 11 月期中) 如图所示，倾斜放置的平行板电容器两极板与水平面夹角为 θ ，极板间距为 d ，带负电的微粒质量为 m 、带电荷量为 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 $\frac{mgd}{\cos\theta}$

【答案】 C

【解析】 微粒仅受电场力和重力，电场力方向垂直于极板，重力的方向竖直向下，微粒做直线运动，合力方向沿水平方向，由此可知，电场力方向垂直于极板斜向左上方，合力方向水平向左，微粒做减速运动，

微粒到达 B 点时动能小于 $\frac{1}{2}mv_0^2$ ，选项 A 错误；根据 $qE\sin\theta = ma$ ， $qE\cos\theta = mg$ ，解得 $E = \frac{mg}{q\cos\theta}$ ， $a = g\tan\theta$ ，选项 B 错误；两极板的电势差 $U_{MN} = Ed = \frac{mgd}{q\cos\theta}$ ，选项 C 正确；微粒从 A 点到 B 点的过程，电场力做负功，电势能增加，电势能增加量 $qU_{MN} = \frac{mgd}{\cos\theta}$ ，选项 D 错误。

功，电势能增加，电势能增加量 $qU_{MN} = \frac{mgd}{\cos\theta}$ ，选项 D 错误。

【模型二】带电粒子在匀强电场中的偏转模型

【运动模型】质量为 m 、电荷量为 q 的带电粒子以初速 v_0 沿垂直于电场的方向，进入长为 l 、间距为 d 、电压为 U 的平行金属板间的匀强电场中，粒子将做匀变速曲线运动，如图所示，若不计粒子重力，则可求出如下相关量：

1、粒子穿越电场的时间 t ：

粒子在垂直于电场方向以 $v_x = v_0$ 做匀速直线运动，

$$l = v_0 t, \quad t = \frac{l}{v_0};$$



2、粒子离开电场时的速度 v ：

粒子沿电场方向做匀加速直线运动，加速度 $a = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$ ，

粒子离开电场时平行电场方向的分速度 $v_y = at = \frac{qUl}{mdv_0}$ ，

所以 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{qUl}{mdv_0}\right)^2}$ 。

3、粒子离开电场时的侧移距离 y ：

$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qUl^2}{2mdv_0^2} \quad (2)$$

②式涉及了描述粒子的物理量如 m 、 q 、 $\frac{q}{m}$ 、 v_0 ；描述设备的物理量 U 、 l

不难发现：(1) 当不同粒子 ($\frac{q}{m}$ 不同) 以相同的速度进入偏转电场时侧移距离 $y \propto \frac{q}{m}$

(2) 当不同粒子以相同的动能进入偏转电场时侧移距离 $y \propto q$

4、粒子离开电场时的偏角 φ ：

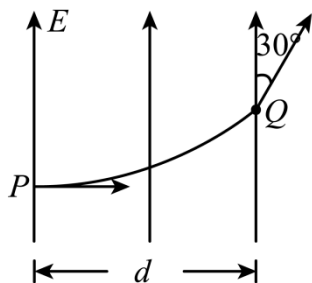
$$\text{因为 } \tan\varphi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{qUl}{mdv_0^2} \quad (3)$$

$$\text{②与③的关系：} \tan\varphi = \frac{2y}{l} \quad (\text{熟记})$$

5、速度方向的反向延长线必过偏转电场的中点

由 $\tan\varphi = \frac{qUl}{mdv_0^2}$ 和 $y = \frac{qUl^2}{2mdv_0^2}$ ，可推得 $y = \frac{l}{2}\tan\varphi$ 。粒子可看作是从两板间的中点沿直线射出的。

【模型演练 1】(2023·河北唐山·开滦第一中学校考模拟预测) 如图所示，空间存在竖直向上的匀强电场，一个带电粒子电荷量为 q ，以一定的水平初速度由 P 点射入匀强电场，当粒子从 Q 点射出电场时，其速度方向与竖直方向成 30° 角。已知匀强电场的宽度为 d ， P 、 Q 两点的电势差为 U ，不计重力，设 Q 点的电势为零。则下列说法正确的是 ()



A. 带电粒子在 P 点的电势能为 Uq

B. 带电粒子带负电

C. 匀强电场场强大小为 $E = \frac{\sqrt{3}U}{3d}$

D. 匀强电场场强大小为 $E = \frac{2\sqrt{3}U}{3d}$

【答案】AD

【详解】AB. 由图看出粒子的轨迹向上，则所受的电场力向上，与电场方向相同，所以该粒子带正电。粒子从 P 到 Q ，电场力做正功为

$$W = qU$$

则粒子的电势能减少了 qU ， Q 点的电势为零，则知带电粒子在 P 点的电势能为 Uq ，故 A 正确，B 错误；

CD. 设带电粒子在 P 点时的速度为 v_0 ，在 Q 点建立直角坐标系，垂直于电场线为 x 轴，平行于电场线为 y 轴，由平抛运动的规律和几何知识求得粒子在 y 轴方向的分速度为

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/495000003023011141>