

第 37 讲 带电粒子在电场中的偏转

目录

01、考情透视，目标导航

02、知识导图，思维引航.....1

03、考点突破，考法探究

考点一 带电粒子在匀强电场中的偏转.....2

知识点 1.带电粒子在电场中偏转问题的两个重要结论.....2

知识点 2.处理带电粒子的偏转问题的方法.....3

考点二 示波管的工作原理.....5

知识点 1. 确定最终偏移距离.....5

知识点 2. 确定偏转后的动能(或速度).....5

考点三 带电粒子在电场和重力场中的偏转.....7

考点四 带电粒子在交变电场中的偏转.....8

04、真题练习，命题洞见11

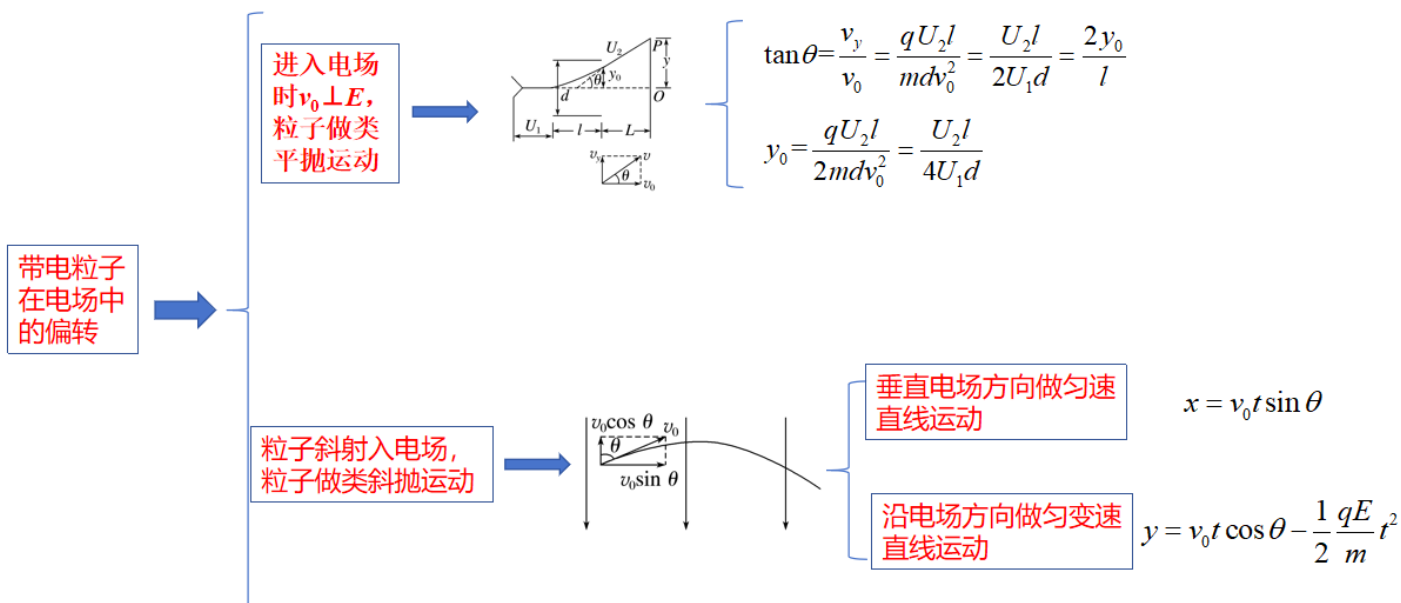
01

// 考情透视·目标导航 //

考情 分析	2024·广东·高考物理第 15 题 2024·江西·高考物理第 7 题 2023·浙江·高考物理第 4 题 2023·湖北·高考物理第 9 题
复习 目标	目标 1.掌握带电粒子在电场中偏转的规律。 目标 2.理解带电粒子在示波管中的运动。3.掌握带电粒子在电场和重力场的叠加场中的运动规律。

02

// 知识导图·思维引航 //



03

// 考点突破·考法探究 //

考点一 带电粒子在匀强电场中的偏转

知识固本

知识点 1. 带电粒子在电场中偏转问题的两个重要结论

(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。

证明: 由 $qU_0 = \frac{1}{2}mv^2$

$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU_1}{md} \cdot \left(\frac{l}{v_0} \right)^2$$

$$\tan \theta = \frac{qU_1 l}{mdv^2}$$

$$\text{得 } y = \frac{U_1 l^2}{4U_0 d}, \quad \tan \theta = \frac{U_1 l}{2U_0 d}$$

可见 y 和 $\tan \theta$ 与粒子的 q 、 m 无关。

(2) 粒子经电场偏转后射出，合速度方向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

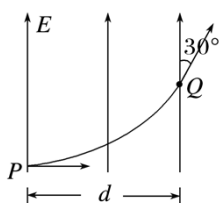
O 到偏转电场边缘的距离为 $\frac{l}{2}$ 。

知识点 2. 处理带电粒子的偏转问题的方法

运动的分解法	将带电粒子的运动分解为沿静电力方向的匀加速直线运动和垂直静电力方向的匀速直线运动
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 $U_y = \frac{U}{d}y$ ，指运动过程初、末位置两点间的电势差

考向洞察

1. (多选) 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 ，不计粒子重力，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. 匀强电场电场强度大小为 $E = \frac{\sqrt{3}U}{3d}$

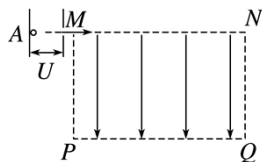
D. 匀强电场电场强度大小为 $E = \frac{2\sqrt{3}U}{3d}$

【答案】 AD

【解析】 粒子的轨迹向上，则所受的静电力向上，与电场方向相同，所以该粒子带正电。粒子从 P 到 Q ，静电力做正功为 $W = qU$ ，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；设带电粒子在 P 点时的速度为 v_0 ，以垂直于电场线为 x 轴，平行于电场线为 y 轴，由类平抛运动的规律和几何知识求得在 Q 点时粒子在 y 轴方向的分速度为 $v_y = \sqrt{3}v_0$ ，粒子在 y 轴方向上的平均速度为 $\bar{v}_y = \frac{\sqrt{3}v_0}{2}$ ，设粒子在 y 轴方向上的位移为 y_0 ，粒子在电场中的运动时间为 t ，则竖直方向有 $y_0 = \bar{v}_y t =$

$\frac{\sqrt{3}v_0t}{2}$, 水平方向有 $d=v_0t$, 可得 $y_0=\frac{\sqrt{3}d}{2}$, 所以电场强度为 $E=\frac{U}{y_0}$, 联立得 $E=\frac{2U}{\sqrt{3}d}=\frac{2\sqrt{3}U}{3d}$, 故 C 错误, D 正确。

2.如图,静止于 A 处的质子(质量为 m 、电荷量为 e),经电压为 U 的加速电场加速后,沿图中虚线垂直 MP 进入方向竖直向下的矩形有界匀强偏转电场区域 $MNQP$,区域边界 $MN=3L$ 、 $MP=2L$,质子经加速偏转后恰好能从 PQ 边距 P 点为 $2L$ 处射出,质子重力不计。(结果均用 e 、 U 、 m 表示)



- (1)求质子离开加速电场时的速度大小;
- (2)求质子离开偏转电场时的速度大小;
- (3)若偏转电场的电场强度大小变为原来的三分之一、方向不变,求质子离开该区域时的速度大小。

【答案】 (1) $\sqrt{\frac{2eU}{m}}$ (2) $\sqrt{\frac{10eU}{m}}$ (3) $2\sqrt{\frac{eU}{m}}$

【解析】 (1)质子在加速电场中做加速直线运动,由动能定理有 $eU=\frac{1}{2}mv_1^2-0$, 解得 $v_1=\sqrt{\frac{2eU}{m}}$

(2)由题意知,质子在竖直方向做初速度为零的加速直线运动,在水平方向做速度大小为 $\sqrt{\frac{2eU}{m}}$ 的匀速直线运

动,设偏转电场的电场强度为 E , 竖直方向有 $eE=ma, 2L=\frac{1}{2}at^2$, $v_y=at$, 水平方向有 $2L=v_1t$

质子离开偏转电场时速度为 $v_2=\sqrt{v_1^2+v_y^2}$

解得 $v_2=\sqrt{\frac{10eU}{m}}$

(3)若偏转电场的电场强度大小变为原来的三分之一,由之前的分析可知,其竖直方向的加速度大小也变为原来的三分之一,有 $a=3a'$, 假设质子从 PQ 边射出,则质子在竖直方向上依然做匀加速直线运动,有 $2L=\frac{1}{2}a't_1^2$, 所以有 $t_1=\sqrt{3}t$, 则该段时间内质子在水平方向运动的距离为 $x'=v_1t_1$

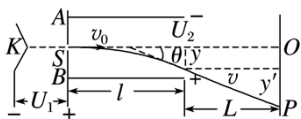
有 $x'=2\sqrt{3}L>3L$, 由上述分析可知,质子出电场时不是从电场下端离开,设其离开电场时竖直方向的速度为 v_{y1} , 时间为 t_2 , 竖直方向有 $v_{y1}=a't_2$, 水平方向仍然以 v_1 做匀速直线运动,有 $3L=v_1t_2$, 质子离开电场的速

度大小为 $v_3=\sqrt{v_1^2+v_{y1}^2}=2\sqrt{\frac{eU}{m}}$ 。

考点二 示波管的工作原理

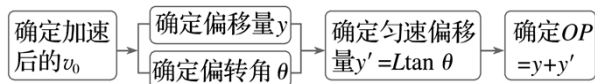
知识固本

在示波管模型中,带电粒子经加速电场 U_1 加速,再经偏转电场 U_2 偏转后,需要经历一段匀速直线运动才会打到荧光屏上并显示亮点 P ,如图所示。

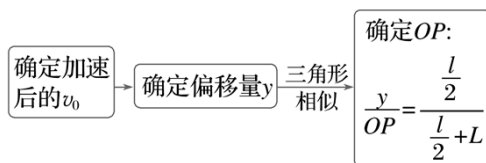


知识点 1 . 确定最终偏移距离

思路一

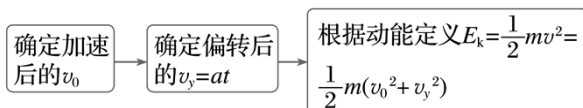


思路二

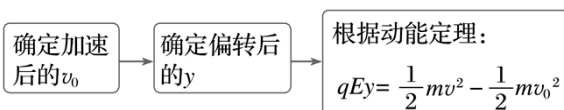


知识点 2 . 确定偏转后的动能(或速度)

思路一

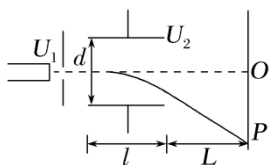


思路二



考向洞察

1.一束电子从静止开始经加速电压 $U_1 = U_0$ 加速后,水平射入水平放置的两平行金属板中间,如图所示。金属板长为 l , 两板距离为 $d = l$, 竖直放置的荧光屏距金属板右端为 $L = 2l$, 若在两金属板间加直流电压 $U_2 = 2U_0$ 时, 光点偏离中线打在荧光屏上的 P 点, 其中电子的质量为 m , 电荷量为 e , 不计电子重力及电子之间的相互作用。求: (结果用 e 、 m 、 l 、 U_0 表示)



- (1)电子刚进入偏转电场时的速度大小；
 (2)电子离开偏转电场时垂直于板面方向的位移大小；
 (3) OP 的长度和电子打到 P 点时的动能。

【答案】 (1) $\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$ (2) $\frac{l}{2}$ (3) $\frac{5}{2}l$ $2eU_0$

【解析】 (1)电子经 $U_1=U_0$ 的电场加速后，由动能定理可得 $eU_1=\frac{1}{2}mv_0^2$

解得电子刚进入偏转电场时的速度大小为

$$v_0 = \sqrt{\frac{2eU_1}{m}} = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}}.$$

(2)电子以 v_0 的速度进入偏转电场 U_2 做类平抛运动，则有 $l=v_0t$, $a=\frac{eE}{m}=\frac{eU_2}{md}$,

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

联立解得电子离开偏转电场时垂直于板面方向的位移大小为 $y=\frac{U_2l^2}{4U_1d}=\frac{l}{2}$ 。

(3)电子离开偏转电场时垂直极板方向速度大小为

$$v_y=at=\frac{eU_2}{md} \cdot \frac{l}{v_0}=\frac{eU_2}{mv_0}$$

电子离开偏转电场时偏转角 θ 的正切值为

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{U_2}{2U_1} = 1$$

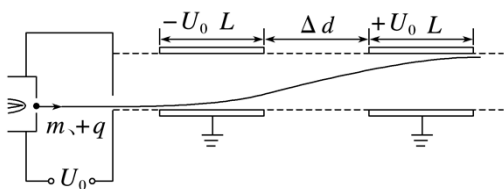
根据几何关系可知， OP 的长度为

$$OP=y+L\tan \theta=\frac{1}{2}l+2l=\frac{5}{2}l$$

由动能定理得，电子打在荧光屏的 P 点动能为

$$E_k=eU_1+e\frac{U_2}{d}y=2eU_0.$$

2.如图装置是由粒子加速器和平移器组成，平移器由两对水平放置、间距为 Δd 的相同平行金属板构成，极板间距离和板长均为 L 。加速电压为 U_0 ，两对极板间偏转电压大小相等均为 U_0 ，电场方向相反。质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的粒子无初速度地进入加速电场，被加速器加速后，从平移器下板边缘水平进入平移器，最终从平移器上板边缘水平离开，不计粒子重力。下列说法正确的是()



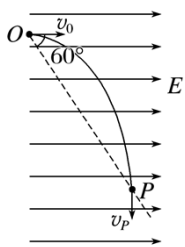
- A. 粒子离开加速器时速度 $v_0 = \sqrt{\frac{qU_0}{m}}$
- B. 粒子通过左侧平移器时, 竖直方向位移 $y_1 = \frac{L}{4}$
- C. Δd 与 $2L$ 相等
- D. 只增加加速电压, 粒子将不能从平移器离开

【答案】 B

【解析】 根据 $qU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$, 粒子离开加速器时速度为 $v_0 = \sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$, 故 A 错误; 粒子在左侧平移器电场中的偏移量为 $y_1 = \frac{1}{2}at^2$, 又 $\frac{qU_0}{L} = ma$, $L = v_0t$, 得 $y_1 = \frac{L}{4}$, 故 B 正确; 根据类平抛运动的特点和对称性, 粒子在两平移器之间做匀速直线运动, 它的轨迹延长线分别过左侧平移器下方平行板和右侧平移器上方平行板中点, 根据几何关系可知 $\Delta d = L$, 故 C 错误; 由上述分析可得 $y_1 = \frac{qU_0L}{2mv_0^2}$, 当加速电压增大时, 粒子进入平移器的速度增大, 粒子在平移器中竖直方向偏移量变小, 粒子可以离开平移器, 位置比原来靠下, 故 D 错误。

考点三 带电粒子在电场和重力场中的偏转

1. 如图所示, 地面上某区域存在着水平向右的匀强电场, 一个质量为 m 的带负电小球(可视为质点)以水平向右的初速度 v_0 , 由 O 点射入该区域, 刚好竖直向下通过竖直平面中的 P 点, 已知 OP 与初速度方向的夹角为 60° , 重力加速度为 g , 则以下说法正确的是()



- A. 小球所受静电力大小为 $\frac{\sqrt{3}mg}{2}$
- B. 小球所受的合外力大小为 $\frac{\sqrt{3}mg}{3}$
- C. 小球由 O 点到 P 点用时为 $\frac{\sqrt{3}v_0}{g}$

D. 小球通过 P 点时的动能为 $\frac{5}{2}mv_0^2$

【答案】 C

【解析】 设 $OP=L$, 小球从 O 到 P 水平方向做匀减速运动, 到达 P 点时水平速度为零, 竖直方向做自由落体运动, 则水平方向 $L\cos 60^\circ = \frac{v_0}{2}t$, 竖直方向 $L\sin 60^\circ = \frac{1}{2}gt^2$, 解得 $t = \frac{\sqrt{3}v_0}{g}$, 选项 C 正确; 水平方向受静电力 $F_1 = ma = m\frac{v_0}{t} = \frac{\sqrt{3}mg}{3}$, 小球所受的合外力是 F_1 与 mg 的合力, 可知合外力的大小 $F = \sqrt{(mg)^2 + F_1^2} = \frac{2\sqrt{3}}{3}mg$, 选项 A、B 错误. 小球通过 P 点时的速度大小 $v_P = gt = \sqrt{3}v_0$, 则动能 $E_{kP} = \frac{1}{2}mv_P^2 = \frac{3}{2}mv_0^2$, 选项 D 错误。

2. 空间存在一方向竖直向下的匀强电场, O 、 P 是电场中的两点。从 O 点沿水平方向以不同速度先后发射两个质量均为 m 的小球 A、B。A 不带电, B 的电荷量为 $q(q>0)$ 。A 从 O 点发射时的速度大小为 v_0 , 到达 P 点所用时间为 t ; B 从 O 点到达 P 点所用时间为 $\frac{t}{2}$ 。重力加速度为 g , 求:

(1) 电场强度的大小;

(2) B 运动到 P 点时的动能。

【答案】 (1) $\frac{3mg}{q}$ (2) $2m(v_0^2 + g^2t^2)$

【解析】 (1) 设电场强度的大小为 E , 小球 B 运动的加速度为 a 。根据牛顿第二定律、运动学公式和题给条件, 有 $mg + qE = ma$ ①

$$\frac{1}{2}a\left(\frac{t}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}gt^2 \quad ②$$

$$\text{解得 } E = \frac{3mg}{q} \quad ③$$

(2) 设 B 从 O 点发射时的速度为 v_1 , 到达 P 点时的动能为 E_k , O 、 P 两点的高度差为 h , 根据动能定理有 $mgh + qEh = E_k - \frac{1}{2}mv_1^2$ ④

$$\text{且有 } v_1 \cdot \frac{t}{2} = v_0t \quad ⑤$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad ⑥$$

联立 ③④⑤⑥ 式得 $E_k = 2m(v_0^2 + g^2t^2)$ 。

考点四 带电粒子在交变电场中的偏转

知识固本

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。

当粒子垂直于交变电场方向射入时,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。

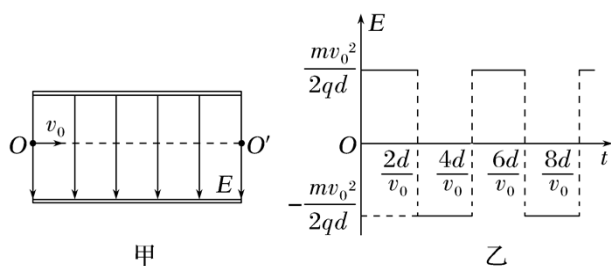
2. 研究带电粒子在交变电场中的运动,关键是根据电场变化的特点,利用牛顿第二定律正确地判断粒子的运动情况。根据电场的变化情况,分段求解带电粒子运动的末速度、位移等。

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匀强电场中运动。

考向洞察

1. (多选)如图甲所示,长为 $8d$ 、间距为 d 的平行金属板水平放置, O 点有一粒子源,能持续水平向右发射初速度为 v_0 、电荷量为 $q(q>0)$ 、质量为 m 的粒子。在两板间存在如图乙所示的交变电场,取竖直向下为正方向,不计粒子重力。以下判断正确的是()



- A. 粒子在电场中运动的最短时间为 $\frac{\sqrt{2}d}{v_0}$
- B. 能从板间电场射出的粒子的最大动能为 $\frac{5}{4}mv_0^2$
- C. $t = \frac{d}{2v_0}$ 时刻进入的粒子将从 O' 点射出
- D. $t = \frac{3d}{v_0}$ 时刻进入的粒子将从 O' 点射出

【答案】 AD

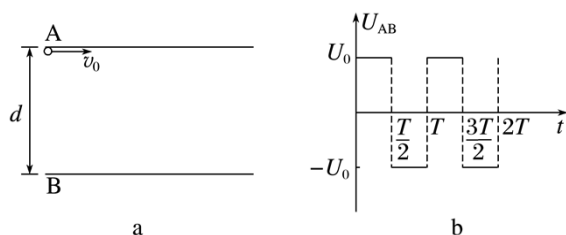
【解析】 由图像可知电场强度大小 $E = \frac{mv_0^2}{2qd}$, 则粒子在电场中的加速度 $a = \frac{qE}{m} = \frac{v_0^2}{2d}$, 假设粒子在电场中沿电场方向能做匀加速运动打在板上, 在电场中运动的时间为 t_0 , 有 $\frac{d}{2} = \frac{1}{2}at_0^2$, 解得 $t_0 = \frac{\sqrt{2}d}{v_0}$, 粒子能穿出两板间的条件下运动的时间 $t_1 = \frac{8d}{v_0}$, 由于 $t_0 < t_1$ 且 $t_0 < \frac{T}{2} = \frac{2d}{v_0}$, 所以粒子在电场中运动的最短时间为 $\frac{\sqrt{2}d}{v_0}$, 选项 A 正确; 能从板间射出的粒子在板间运动的时间均为 $t_1 = \frac{8d}{v_0} = 2T$

，任意时刻射入的粒子若能射出电场，则射出电场时沿电场方向的速度均为 0，所以射出电场时粒子的动能均为 $\frac{1}{2}mv_0^2$ ，选项 B 错误； $t = \frac{d}{2v_0} = \frac{T}{8}$ 时刻进入的粒子在沿电场方向的运动应先向下加速 $\frac{3T}{8}$ ，向下的偏转位移

$y = \frac{1}{2}a \cdot \left(\frac{3T}{8}\right)^2 = \frac{9}{16}d > \frac{d}{2}$ ，则粒子会打在板上，故 C 错误； $t = \frac{3d}{v_0} = \frac{3T}{4}$ 时刻进入的粒子在沿电场方向的运动是

先向上加速 $\frac{T}{4}$ ，后向上减速 $\frac{T}{4}$ ，速度到零，然后向下加速 $\frac{T}{4}$ ，再向下减速 $\frac{T}{4}$ ，速度到零……如此反复，则最后从右侧射出时沿电场方向的位移为零，所以粒子将从 O' 点射出，选项 D 正确。

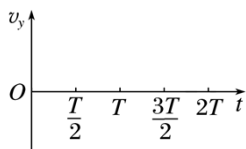
2. 如图 a 所示，水平放置的两正对、平行金属板 A、B 间加有如图 b 所示的交变电压 U_{AB} ，现有一带电粒子从 A 板左端边缘以速度 v_0 水平射入电场。粒子电荷量为 $+q$ ，质量为 m ，不计粒子重力。



(1) 若粒子能够射出电场，已知金属板长度为 L ，求粒子在电场中的运动时间 t ；

(2) 若粒子在 $t=0$ 时刻射入电场，经过一段时间后从 B 板右侧边缘水平射出。

① 定性画出垂直板方向的速度 v_y (规定竖直向下为正方向) 随时间变化的图像。



② 求出板长 L 和两板间距 d 分别满足的条件。

③ 若金属板足够长，要求 $t=0$ 时刻射入的粒子打到 B 板时动能最大，则两板间距 d 应当满足什么条件？

(3) 若粒子在 $t = \frac{T}{4}$ 时刻射入电场，经过一段时间后从 A 板右侧边缘水平射出，则板长 L 和两板间距 d 分别满足什么条件？

【答案】 (1) $\frac{L}{v_0}$

(2) ① 见解析图 ② 见解析

$$\textcircled{3} d = \frac{T}{4} \sqrt{\frac{(4n+2)qU_0}{m}} (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$(3) L = mv_0 T (n=1, 2, 3, \dots) \quad d \geq \frac{T}{4} \sqrt{\frac{qU_0}{m}}$$

【解析】

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/548023056121007002>