

## 重点 2 带电粒子在电场中的运动



## 要点解读

## 一、高考热点：

1. 平行板电容器的定义式及决定式；
2. 带电粒子在电场中的运动轨迹与受力的关系及特点；
3. 带电粒子在电场中的加速、偏转问题；
4. 与动力学、曲线运动等的综合问题。

## 二、考查方式与特点：

电容器的考查多以选择题出现，综合分析平行板电容器电容结构变化时电容及相关物理量的变化，但也有可能与带电粒子在电场中的运动组成综合题，如 06 年全国卷 25 题。

带电粒子在电场中的运动是物理学的重点，也是每年必考的热点。带电粒子在电场中的加速和偏转问题常与牛顿运动定律、功能关系、能量守恒等内容综合在一起，题型多样，可以是选择题，也可以是计算题，甚至以压轴题的形式出现。本知识点与实际生活、科学研究联系密切，如喷墨打印机、静电除尘器、示波管、串联加速器等都有可能成为高考新情景综合问题的命题素材。

## 三、应对策略：

对于电容器要牢牢把握住其定义式和决定式，知道电容器充电后断开电源和保持与电源相连两种情况下各物理量的变化情况。

解决带电粒子在电场中的运动问题时，要善于把电学问题转化为力学问题，解题的基本步骤如下：(1)选取带电粒子为研究对象；(2)分析带电粒子的受力情况；(3)分析运动状态和运动过程；(4)恰当地选用相应规律解题；(5)讨论所得结果。具体来说，恰当选用规律有三种途径：(1)动力学观点：电场性质、牛顿运动定律、运动学公式、运动的合成与分解相结合解题；(2)功能观点：电场性质、动能定理与能量守恒相结合解题；(3)动量观点：电场性质、动量定理与动量守恒定律相结合解题。



## 典例调研



## 题型一 电容、电容器

**规律方法** 对平行板电容器的有关物理量  $Q$ 、 $E$ 、 $U$ 、 $C$  进行讨论时,关键在于弄清哪些是变量,哪些是不变量,在变量中哪些是自变量,哪些是因变量.根据不变量,可把这类问题分为两种情况:

(1) 电容器充电后断开电源:电容器充电后和电源断开,则电容器所带电量  $Q$  保持不变.  $E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{Q}{\frac{\epsilon S}{4\pi k d}} = \frac{4\pi k}{\epsilon} \cdot \frac{Q}{S}$ . 式中  $\frac{4\pi k}{\epsilon}$  是常数,单位面积上的电荷量

$\frac{Q}{S}$  越大,即单位面积上聚集的电荷越多,电场强度越大.我们把这种情况可以进行形象化处理:认为每一个正电荷和与之对应的负电荷之间有一条电场线,这样,  $\frac{Q}{S}$  越大,电场线就越密,  $E$  就越大,反之就越小;  $\frac{Q}{S}$  不变时,不管板间距离如何变化,电场线的疏密程度不变,则  $E$  不变.由此式可知,在电量保持不变的情况下,电场强度与板间的距离无关.

(2) 电容器始终和电源相连:电容器充电后保持与电源相连,电容器两极板的电压等于电源电动势且始终保持不变.当板间距离减小时,由  $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$  知电容器电容  $C$  增大,再由  $Q = CU$  知带电量  $Q$  增加,极板间电场强度增大,反之则反.当极板的相对面积减小时,电容  $C$  减小,所带电量  $Q$  减小,但因极板间距离不变,极板间场强不变.

【调研 1】(高考改编题)一平行板电容器充电后与电源断开,负极接地,在两极板间有一正电荷(电量很小)固定在  $P$  点,如图 1-2-1 所示,  $E$  表示两板间的场强,  $U$  表示电容器的电压,  $W$  表示正电荷在  $P$  点的电势能,若保持负极板不动,将正极板移到虚线所示的位置,则

- A.  $U$  变小,  $E$  不变      B.  $E$  变大,  $W$  变大  
C.  $U$  变小,  $W$  不变      D.  $U$  不变,  $W$  不变

图 1-2-1

**解析** 电容器充电后与电源断开,说明电容器带电量不变.正极板向负极板移近,由  $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$  可知电容增大,由  $\frac{Q}{C}$  可知,  $U$  变小.而  $E = \frac{4\pi k Q}{\epsilon S}$ ,由此可看出,场强  $E$  不变.因  $E$  不变,  $P$  点与负极板间的距离不变,可知  $P$  点的电势  $U_p$  不变,那么正电荷的电势能  $W = qU_p$  就不变.综上所述,  $A$ 、 $C$  选项正确.

【互动研习 1】 如果将负极板向上移动一些,结果又将如何?

【知识深化】 掌握平行板电容器充电后与电源断开后一些物理量的变化是解决这类问题的关键(规律方法中已有介绍).本题中因负极板接地,所以负极板的电势为零,则电容器中任一点的电势都为正值,且离正极板越近,电势越高,再根据  $W = qU_p$  来判断电势能的变化,判断电势能时,要注意电荷的正负,对某一负电荷而言,电势越高,电势能反而越小.



【调研 2】如图 1-2-2 所示, A、B 为平行金属板, 两板相距为  $d$ , 分别与电源两极相连, 两板的中央各有一个小孔 M 和 N. 今有一个带电质点, 自 A 板上方相距为  $d$  的 P 点由静止自由下落 (P、M、N 在同一直线上), 空气阻力忽略不计, 到达 N 孔时质点速度恰好为零, 然后沿原路返回, 若保持两板始终与电源相连, 则

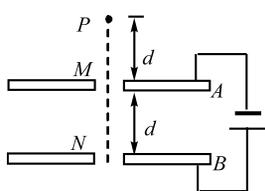


图 1-2-2

A. 把 A 板向上平移一小段距离, 质点自 P 点自由下落, 后仍能返回

B. 把 A 板向上平移一小段距离, 质点自 P 点自由下落后将穿过 N 孔继续下落

C. 把 B 板向上平移一小段距离, 质点自 P 点自由下落后仍能返回

D. 把 B 板向下平移一小段距离, 质点自 P 点自由下落后将穿过 N 孔继续下落

解析 平行金属板与电源两极相连, 则两板间电势差  $U$  保持不变. 若质点运动到 N 孔时速度为零, 则重力做功与电场力做功相等.

若把 A 板向上或向下平移一小段距离, 因电场力做功和重力做功均不变, 则质点速度为零的位置仍为 N 孔, 且能返回; 若把 B 板向上平移一小段距离, 质点速度为零的位置在 N 孔的上方, 能返回; 若把 B 板向下平移一小段距离, 质点到达 N 孔时重力做功大于电场力所做的功, 质点到达 N 孔时有一竖直向下的速度, 即将穿过 N 孔继续下落. 答案为 ACD.

【互动研习 2】现将电容器充电后, 再断开电源, 将会出现什么情况?

【方法技巧】由题意可知, 电场力做的是负功. 因两板间电势差  $U$  保持不变, 根据  $W = qU$  可知无论移动上板还是下板, 当带电质点穿过 MN 时, 电场力所做的功均不变. A 板的移动不影响重力做功, 但移动 B 板时要影响到重力做功的大小.

### 题型二 带电粒子在电场中的平衡

规律方法 处理带电粒子在电场中的平衡问题时, 首先要明确研究对象除去电场力之外还受到哪几个力的作用, 然后再利用力学知识求解.

【调研 3】(06 江苏盐城模拟)如图 1-2-3 所示, 两平行金属板水平放置, 并接到电源上, 一带电微粒 P 位于两板间处于静止状态,  $O_1$ 、 $O_2$  分别为两个金属板的中点, 现将金属板在极短的时间内分别绕过  $O_1$ 、 $O_2$  且垂直于纸面的轴逆时针旋转一个角度  $\theta$  ( $\theta < 90^\circ$ ) 则下列说法正确的是

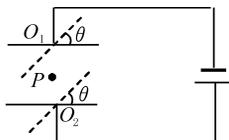


图 1-2-3

A. 微粒 P 受到的电场力不变

B. 两板上的带电量不变

C. 两板间的电压变小

D. 微粒将水平向左做直线运动

解析 两金属板逆时针旋转之后, 电源依然连在两极之间, 所以两极间的电压为电源电动势, 是不变的, C 错; 旋转后, 两板间的距离变成  $d \cos \theta$  ( $d$  为原来的两板间

距), 距离变小, 由  $Q = CU$  知, 判断  $Q$  的变化需知电容  $C$  的变化, 因极板旋转时板间距离与正对面积均减小, 且减小的幅度无法定量比较, 故无法判断  $C$  的变化, 那么, 两板上的带电量  $Q$  的变化情况不确定, 电场力  $F = qE = q \frac{U}{d}$  变大,  $A$ 、 $B$  均错; 对  $P$  受力分析, 如图 1-2-4 所示, 原来微粒  $P$  处于静止状态, 则  $qE = mg$ , 旋转后电场力  $F' = qE' = q \frac{U}{d \cos \theta}$ , 将  $F'$  分解为水平方向上的  $F_1 = F' \sin \theta$  和竖直方向上的力  $F_2 = F' \cos \theta = qE = mg$ , 可知  $F_2$  与重力平衡, 所以物体  $P$  将沿水平方向向左做直线运动,  $D$  正确. 本题答案为  $D$ .

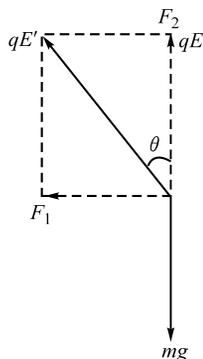


图 1-2-4

【互动研习 3】 如果顺时针旋转一个角度  $\alpha$  ( $\theta < 90^\circ$ ) 呢?

【方法技巧】 因微粒  $P$  原来处于静止状态, 所以受力平衡, 得出电场力与重力大小相等. 金属板旋转后, 电场力的方向、大小均发生了变化, 通过力的分解可以发现此时的电场力在竖直方向上的分量依然和重力平衡, 进而得到答案. 所以恰当地分解电场力是解答本题的关键.

“短的时间内”旋转金属板的目的是让电容器的电场迅速地从一种状态过渡到另外一种状态, 不考虑中间过程.

### 题型三 带电粒子在电场中的加速

规律方法 解带电粒子在电场中加速的问题时, 首先要对带电粒子受力分析, 应用牛顿第二定律求出其加速度, 再利用运动学公式求解, 或者应用动能定理求解, 应用功能关系时要注意电场力及重力做功的特点, 在有的时候还可能要用到动能定理等.

【调研 4】 (原创题) 在足够大的长方形区域  $abcd$  内有水平向右的匀强电场, 其中  $ad$  与水平方向垂直. 现有一带负电的质点从  $O$  点沿电场方向射入该区域, 它的动能为  $20 \text{ J}$ , 当它到达距  $ad$  边最远点  $A$  时, 具有的动能为  $50 \text{ J}$  (如图 1-2-5 所示), 求该带电质点折回通过  $ad$  边上的  $O'$  点时, 其动能多大?

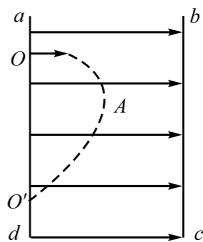


图 1-2-5

解析 解法一(运动学的观点): 以出发点  $O$  为坐标原点, 建立直角坐标系, 水平向右为  $x$  轴正方向, 竖直向下为  $y$  轴正方向. 带电质点在重力和电场力作用下做曲线运动, 可分解为  $y$  轴正方向的自由落体运动和  $x$  轴正方向的匀减速运动.

当它到达  $O'$  点时因和出发点在同一等势面上, 故电场力做功为零, 所以水平方向上的速度没有变, 则  $E_{kxO} = E_{kxO'} = 20 \text{ J}$

由运动学知识可知, 从  $O$  到  $A$  所需的时间与从  $A$  到  $O'$  所需的时间相同, 而粒子在竖直方向上做自由落体运动, 所以  $y_{OA} : y_{O'O} = 1 : 4$ , 在竖直方向上由运动学公式可知



$v_y^2 = 2gy$ , 故  $\frac{1}{2}mv_y^2 = mgy$ . 当带电粒子到达最右端时其水平方向的速度为零, 则从 O 到 A 重力所做的功为 50 J, 则可知, 从 O 到 O' 重力所做的功为 200 J, 即  $E_{kyO'} = 200 J$ , 所以 O' 点的动能  $E_{kO'} = E_{kxO'} + E_{kyO'} = 220 J$ .

**解法二(能量的观点)** 由解法一可知, 从 O 到 O', 重力做了 200 J 的功, 电场力不做功, 只有重力做功, 所以由动能定理可得

$$W_G = E_{kO'} - E_{kO}, \text{ 则 } E_{kO'} = 220 J.$$

**【互动研习 4】** 如果要想求出 OO' 的长度, 还需知道哪些物理量?

**【方法技巧】** 因物体只受重力和电场力作用, 且这两个力都是恒力, 所以可以将物体的运动分解为水平方向和竖直方向的分量. 这样运用运动的合成与分解的思想, 将较为复杂的曲线运动转化为较为简单的直线运动, 然后运用直线运动的规律即可求解, 达到“化曲为直, 化繁为简”的目的.

**【发散拓展】** 粒子在水平方向上受到恒定的合外力(电场力), 先做末速度为零的匀减速直线运动, 再做初速度为零的匀加速直线运动, 这实际上是我们非常熟悉的运动模型——竖直上抛运动很相似的, 我们称之为类竖直上抛运动, 运动规律与竖直上抛完全一样.

#### 题型四 带电粒子在电场中的偏转

**规律方法** 当带电粒子(不考虑重力)垂直电场方向进入电场而发生偏转时, 应用分解的思想, 沿初速度的方向, 粒子由于不受力将做匀速直线运动; 沿着场强 E 的方向, 做初速度为零的匀加速直线运动, 其加速度  $a = \frac{qE}{m}$ , 这是一种典型的类平抛运动, 平抛运动的规律在这里都适用.

**【调研 5】** (06 山东潍坊模拟) 示波器是一种多功能电学仪器, 它是由加速电场和偏转电场组成的. 如图 1-2-6 所示, 电子在电压为  $U_1$  的电场中由静止开始加速, 然后射入电压为  $U_2$  的平行金属板间的电场中, 入射方向与极板平行. 在满足电子能射出由平行金属板产生的电场区的条件下, 下述情况一定能使电子偏转角度  $\theta$  变大的是

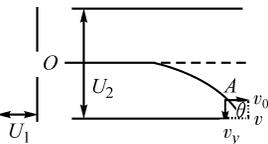


图 1-2-6

- A.  $U_1$  变大,  $U_2$  变大      B.  $U_1$  变小,  $U_2$  变大  
C.  $U_1$  变大,  $U_2$  变小      D.  $U_1$  变小,  $U_2$  变小

**解析** 电子射出加速电场时有  $eU_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$

在偏转电场中, 设电子通过的水平位移为  $l$ , 竖直位移为  $d$ , 在垂直于电场线的方向上电子做匀速直线运动, 则运动时间  $t = \frac{l}{v_0}$

在平行于电场线的方向上电子做初速度为零的匀加速直线运动, 加速度  $a = \frac{eU_2}{md}$ ,

末速度  $v_y = at = \frac{eU_2 l}{mdv_0}$ , 则偏转角  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{U_2 l}{2U_1 d}$

所以当  $U_1$  变小,  $U_2$  变大时  $\theta$  一定变大, 答案为 B.

【互动研习 5】 何种情况一定可以使示波器的描述范围变大?

【方法技巧】 解答本题时应首先找出电子偏转角  $\theta$  与  $U_1$ 、 $U_2$  的关系, 然后再寻找适合题目的答案. 由  $\theta$  的表达式可以看出, 当  $U_1$ 、 $U_2$  都变大或都变小时,  $\theta$  角不一定增大.

【发散拓展】 在讨论带电粒子的加速或偏转时, 对于基本粒子, 如电子、质子、中子、 $\alpha$  粒子等, 没有特殊说明, 其重力一般不计, 带电粒子如液滴、尘埃、颗粒等没有特殊说明, 其重力一般不能忽略. 粒子从偏转电场射出时, 逆着

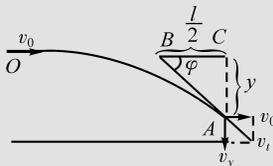


图 1-2-7

粒子射出的方向看, 粒子好像从极板中间  $x = \frac{l}{2}$  ( $l$  为板长) 处直接射出的, 如图 1-2-7 所示, 则  $\frac{y}{\tan \varphi} = \frac{l}{2}$ .

【调研 6】 (06 南京白下区模拟) 如图 1-2-8 所示, 在  $y > 0$  的空间中, 存在沿  $y$  轴正方向的匀强电场  $E$ . 在  $y < 0$  的空间中, 存在沿  $y$  轴负方向的匀强电场, 场强大小也为  $E$ . 一电子 ( $-e, m$ ) 在  $y$  轴上的  $P(0, d)$  点以沿  $x$  轴正方向的初速度  $v_0$  开始运动, 不计电子重力, 求:

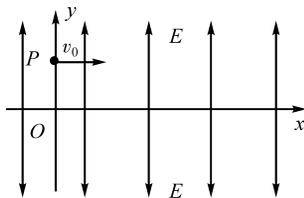


图 1-2-8

- (1) 电子第一次经过  $x$  轴的坐标值;
- (2) 请在图上画出电子在一个周期内的大致运动轨迹;
- (3) 电子在  $y$  方向上分运动的周期;
- (4) 电子运动的轨迹与  $x$  轴的各个交点中, 任意两个相邻交点间的距离.

解析 (1) 在  $y > 0$  空间中, 电子沿  $x$  轴正方向以速度  $v_0$  做匀速直线运动, 沿  $y$  轴负方向做匀加速直线运动, 设其加速度大小为  $a$ , 第一次经过  $x$  轴所需的时间为  $t_1$ , 则

$$a = \frac{eE}{m}, d = \frac{1}{2}at_1^2, x_1 = v_0 t_1, \text{ 解得 } t_1 = \sqrt{\frac{2md}{eE}}, x_1 = v_0 \sqrt{\frac{2md}{eE}}$$

因此电子第一次经过  $x$  轴的坐标值为  $(v_0 \sqrt{\frac{2md}{eE}}, 0)$ .

(2) 在  $y < 0$  空间中, 沿  $x$  轴正方向仍以速度  $v_0$  做匀速直线运动, 沿  $y$  轴负方向做匀减速直线运动, 设其加速度大小也为  $a$ , 由对称性可知:

电子在  $y$  轴方向速度减小为零所需的时间



$$t_2 = t_1 = \sqrt{\frac{2md}{eE}}$$

电子沿  $x$  轴方向移动的距离为  $x_2 = x_1 = v_0 \sqrt{\frac{2md}{eE}}$

则电子运动的轨迹如图 1-2-9 所示.

(3) 电子在  $y$  轴方向的运动周期为  $T = 2(t_1 +$

$$t_2) = 4\sqrt{\frac{2md}{eE}}.$$

(4) 电子运动轨迹与  $x$  轴的交点中任意两个相邻交点间的距离均为

$$s = 2x_1 = 2v_0 \sqrt{\frac{2md}{eE}}.$$

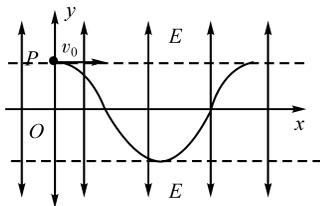


图 1-2-9

**【方法技巧】** 由于电子在  $x$  轴方向上不受力,所以无论在  $x$  轴上方,还是在  $x$  轴下方都做匀速直线运动;在  $y$  轴方向上先做匀加速直线运动,再做匀减速直线运动,且运动具有对称性,当电子重新回到最高点时,完成了—个周期,以后将重复这样的运动.本题对物理过程的分析要求较高.

在画电子的运动轨迹图时,因物体做的是曲线运动,应使合外力(电场力)指向曲线的“凹”侧.

#### 题型五 带电粒子在交变电场中的运动

**规律方法** 带电粒子在交变电场中的运动是一个综合性的问题,研究方法与质点力学的相同,它同样遵循运动的合成与分解、力的独立作用原理、牛顿运动定律、动能定理、能的转化与守恒等力学规律.可以从带电粒子受力产生加速度及能量转化两条途径进行分析与研究.

在交变电场中电场随时间发生周期性变化,但在某个时间段内电场可能是恒值,要抓住这个特征.

**【调研 7】** (高考改编题)如图 1-2-10(a) 所示,在 A、B 两平行金属板上加上电压后,它们之间的电场可视为匀强电场,电压变化如图 1-2-10(b) 所示.当  $t=0$  时, A 板电势比 B 板的高,这时,靠近 B 板处—初速度为零的电子(质量为  $m$ ,电量为  $q$ ) 在电场力作用下开始运动,分析电子的运动情况.如果电子是在  $t=T/8$  时刻进入的,它将如何运动?若电子是在  $t=3T/8$  时刻进入的呢?(设 A、B 两板之间的距离很大)

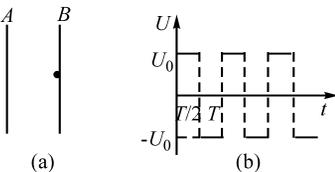


图 1-2-10

**解析** 在  $t=0$  时刻电子进入电场后,受指向 A 的电场力,加速度大小  $a = \frac{qE}{m}$  不变.在  $0 \sim \frac{T}{2}$  时间内,电子做  $v_0=0$  的匀加速直线运动,末速度为  $v$ ;在  $\frac{T}{2} \sim T$  时间内,

电子受力反向,做匀减速运动,加速度大小不变, $T$ 时刻末速度变为零,然后重复以上运动,电子一直向A运动最后打到A板上。

若电子是在 $t = \frac{T}{8}$ 时刻进入的,则在 $\frac{T}{8} \sim \frac{T}{2}$ 内,电子向A板做匀加速直线运动;在 $\frac{T}{2} \sim \frac{7T}{8}$ 内,电子受力反向,向A板做匀减速直线运动,速度减为零;在 $\frac{7}{8}T \sim T$ 内,电子折向B板做匀加速直线运动;在 $T \sim \frac{9}{8}T$ 内,电子受力又向A,做向

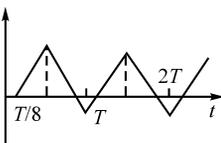


图 1-2-11

B板的匀减速运动,速度减为零。在这个周期内,电子向A板运动的时间和位移比向B板运动的时间和位移大,所以电子最终将打在A板上,如图1-2-11所示。

若电子是在 $t = \frac{3T}{8}$ 时刻进入的,则电子先向A板加速,再减速,然后再折向B板加速,减速,但向A板运动的时间和位移均小于向B板的时间和位移,故最后电子只能返回B板,不能打在A板上。

**【发散拓展】**由以上分析可知,带电粒子在不同时刻进入电场后的运动情况不相同,如图1-2-12、1-2-13所示分别表示带电粒子在0时刻及 $\frac{T}{4}$ 时刻进入电场后的 $v-t$ 图象(不计带电粒子进入电场时的初速度)。

若粒子是在0时刻进入加速电场的,则粒子始终向同一方向运动,若粒子是从 $\frac{T}{4}$ 时刻进入的,则在开始运动后 $\frac{T}{2}$ 时间内不能到达A板,以后就不能再到达A板,即粒子在AB板间以某点为中心往复运动。

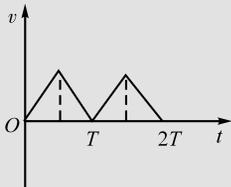


图 1-2-12

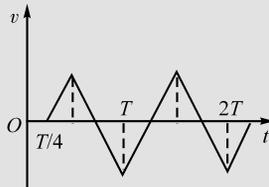


图 1-2-13

### 强化闯关

1. (T1 强化) 平行板电容器的两极板A、B接于电池两极,一带正电小球悬挂在电容器内部,闭合开关K,电容器充电,这时悬线偏离竖直方向的夹角为 $\theta$ ,如图1-2-14所示,则

A. 保持开关S闭合,带正电的A板向B板靠近,则 $\theta$ 角增大

绝缘或双重绝缘的电气设备,做保护接地或接零亦有好处。

- B. 保持开关  $S$  闭合, 带正电的  $A$  板向  $B$  板靠近, 则  $\theta$  角不变  
 C. 开关  $S$  断开, 带正电的  $A$  板向  $B$  板靠近, 则  $\theta$  角增大  
 D. 开关  $S$  断开, 带正电的  $A$  板向  $B$  板靠近, 则  $\theta$  角不变

2. (T2 强化) 如图 1-2-15(a) 所示, 一条长为  $3L$  的绝缘丝线穿过两个质量都是  $m$  的光滑的小金属环  $A$  和  $B$ , 将丝线的两端共同系于天花板上的  $O$  点, 两小金属环带上等量的同种电荷后, 因相互排斥而使丝线构成一个等边三角形, 此时两环恰处于同一水平线上, 求金属环所带电量是多少? 某同学解答此题的过程如下:

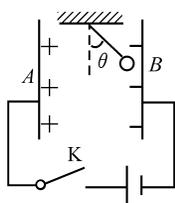


图 1-2-14

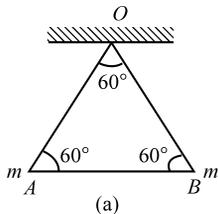
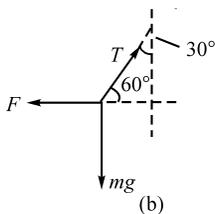


图 1-2-15



小环  $A$  受到三个力的作用, 拉力  $T$ 、重力  $mg$  和库仑力  $F$ , 受力分析如图 1-2-15(b), 设  $A$  的带电量为  $q$ , 则由受力平衡知识

$$\text{得 } \frac{kq^2}{L^2} = mg \tan 30^\circ$$

你认为他的解答是否正确? 如果不正确, 请给出你的解答.

3. (T3 强化) 如图 1-2-16 所示, 平行板电容器两极板间有场强为  $E$  的匀强电场, 且带正电的极板接地. 一质量为  $m$ 、电荷量为  $+q$  的带电粒子(不计重力)从  $x$  轴上坐标为  $x_0$  处静止释放.

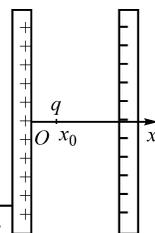


图 1-2-16

(1) 求该粒子在  $x_0$  处的电势能  $E_{px_0}$

(2) 试从牛顿第二定律出发, 证明该带电粒子在极板间运动过程中, 其动能与电势能之和保持不变.

4. (T4 强化) 一质量为  $m$ 、带电量为  $q$  的带电粒子以平行于两极板的速度  $v_0$  进入匀强电场, 如图 1-2-17 所示, 如果两极板间电压为  $U$ , 两极板间的距离为  $d$ , 板长为  $L$ , 设粒子不会击中极板, 则粒子从进入电场到飞出极板时电势能的变化量为多少? (粒子的重力忽略不计)

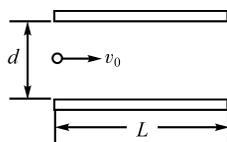


图 1-2-17

5. (T5 强化) 从阴极  $K$  发射的电子经  $U_0 = 5\,000\text{ V}$  的电压加速后, 沿平行于金属板的方向从中央射入两块长为  $L_1 = 10\text{ cm}$ 、间距  $d = 4\text{ cm}$  的平行金属板  $A$ 、 $B$  之间. 在距金属板右边缘为  $L_2 = 75\text{ cm}$  处放置一直径  $D = 20\text{ cm}$  带有记录纸的圆筒, 整个装置放在真空中, 电子发射的初速度不计, 如图 1-2-18 所示. 若在两金属板上加  $U_2 = 1\,000 \cos 2\pi t$  (V) 的周期性交变电压, 并使圆筒绕中心轴按图示方向以  $n = 2\text{ r/s}$  的速度匀速转动, 确定电子在记录纸上的轨迹形状并画出 1

带有电动机类的家用电器(如电风扇等), 还应了解其耐热水平, 是否可长时间连续运行. 要注意家用电器的散热条件.

s 内所记录到的图形。

### 【参考答案】

互动研习答案提示：

1. 如果将负极板向上移动一些, 同理场强  $E$  也不变.  $P$  点与负极板间的距离变小, 则  $P$  点的电势  $U_P$  将变小, 正电荷的电势能  $W = qU_P$  也变小, 只能选  $A$ .
2. 断开电源后, 电容器之间的场强不变, 当将  $A$  板向上移动时, 质点速度为零的位置在  $N$  孔的上方, 能返回; 当将  $A$  板向下移动时, 质点到达  $N$  孔时重力做功大于电场力所做的功, 质点将穿过  $N$  孔继续下落; 由题意知  $2mgd = qEd$ , 令  $B$  板上移后距  $A$  的距离为  $x$  ( $x < d$ ), 由  $P$  到  $B$  重力做功为  $mg(d+x) = \frac{qE}{2}(d+x)$ , 电场力做功为  $qEx$ , 则重力做功大于电场力做功, 带电质点将穿过  $N$  孔继续下落; 令  $B$  板下移  $\Delta x$  的距离, 同上移分析得, 到  $B$  板时电场力做功大于重力做功, 质点能返回.
3. 顺时针旋转角度  $\theta$  后, 粒子受到的电场力指向右上方, 通过受力分析可知, 这个力在竖直方向上的分力依然与重力平衡, 所以粒子将向右做匀加速直线运动.
4. 因重力所做功已知, 所以要想求出  $OO'$  的长度只要知道粒子的质量即可.
5. 示波器的描述范围变大, 也就是电子的偏转位移变大, 与使电子偏转角度  $\theta$  变大的情况是一样的.

强化闯关参考答案：

1.  $AD$  球在电场中平衡, 则所受电场力、重力及绳的拉力的合力为零. 由平衡条件得  $\tan \theta = \frac{qE}{mg}$ , 故要判断  $\theta$  的变化, 只需判断电场强度  $E$  的变化即可.  $K$  闭合时  $U$  不变,  $A$  向  $B$  靠近,  $d$  减小, 由  $E = \frac{U}{d}$ , 可知  $E$  增大,  $\theta$  角增大, 故  $A$  正确.  $K$  断开时  $Q$  不变,  $A$  向  $B$  靠近,  $E$  不变, 则  $\theta$  角不变, 故  $D$  正确.

2. 他的解答是错误的. 由于小环穿在丝线上, 故作用于小环上的拉力应有大小相等、方向不同的两个, 正确的受力分析如图 1-2-19 所示

$$\text{竖直方向上受力平衡, 有 } T \sin 60^\circ = mg \quad \text{①}$$

$$\text{水平方向上受力也平衡, 有 } T \cos 60^\circ + T = \frac{kq^2}{L^2} \quad \text{②}$$

$$\text{由①②联立得 } q = \sqrt{\frac{\sqrt{3}mgL^2}{k}}$$

3. (1) 由题意可知  $W_{\text{电}} = qEx_0 = -(E_{px_0} - 0)$ , 所以  $E_{px_0} = -qEx_0$ .

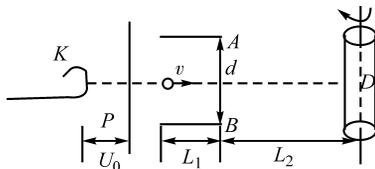


图 1-2-18

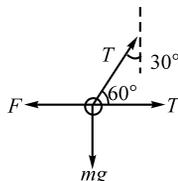


图 1-2-19



(2)任一点的动能与电势能之和与初态( $x_0$ 处)的相同.

在带电粒子的运动方向上任取一点,设坐标为  $x$ ,由牛顿第二定律可得  $qE = ma$

由运动学公式可得  $v_x^2 = 2a(x - x_0)$

联立以上两式可得  $E_{kx} = \frac{1}{2}mv_x^2 = qE(x - x_0)$ ,同第(1)问知  $E_{px} = -qEx$

$E_x = E_{kx} + E_{px} = -qEx_0 = E_{x_0}$ ,命题得证.

4. 带电粒子以速度  $v_0$  进入匀强电场,在  $v_0$  方向上不受力做匀速直线运动,在垂直于极

板方向上只受电场力作用,做初速度为 0 的匀加速直线运动,加速度  $a = \frac{qU}{md}$ ,离开

电场时垂直于电场方向上的速度  $v_{\perp} = at = \frac{Uq}{md} \times \frac{L}{v_0} = \frac{ULq}{mdv_0}$ . 电场力对粒子做正功,

粒子的动能增加,由能量守恒定律可得,电势能的变化量等于动能的变化量,即

$$\Delta E_p = \Delta E_k$$

$$\text{因为 } \Delta E_k = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_{\perp}^2 + \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{q^2U^2L^2}{2md^2v_0^2}$$

所以粒子从进入电场到飞出极板的过程电势能的变化量为  $\frac{q^2U^2L^2}{2md^2v_0^2}$ .

5. 由电场力做功与动能的关系  $eU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$

加上交流电压时,A、B间的场强  $E_2 = \frac{U_2}{d}$

$$\text{电子飞离金属板时的偏距 } y_1 = \frac{1}{2}at_1^2 = \frac{1}{2} \frac{eU_2}{md} \left( \frac{L_1}{v_0} \right)^2$$

$$\text{电子飞离金属板时的竖直速度 } v_y = at_1 = \frac{eU_2}{md} \left( \frac{L_1}{v_0} \right)$$

$$\text{电子从飞离金属板到圆筒时的偏距 } y_2 = v_y t_2 = \frac{eU_2 L_1}{mdv_0} \cdot \frac{L_2}{v_0} = \frac{eU_2 L_1 L_2}{mdv_0^2}$$

所以在纸筒上的落点对入射方向的总偏距为  $y = y_1 + y_2 = \left( \frac{L_1}{2} + L_2 \right) \frac{L_1 U_2}{2dU_0}$ ,如图

1-2-20所示,代入数据解之得  $y = 0.20 \cos 2\pi t$  (m). 可见,在记录纸上的点以振幅

0.20 m,周期  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 1$  s 做简谐运动,因为圆筒每秒转 2 周,故在 1 s 内,纸上图形

如图 1-2-21 所示.

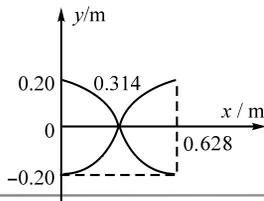
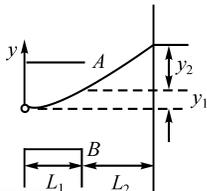


图 1-2-20

图 1-2-21

带有电动机类的家用电器(如电风扇等),还应了解其耐热水平,是否可长时间连续运行.要注意家用电器的散热条件.



该题的巧妙在于创设了新的物理情景。在偏转电场右侧设置了一个记录圆筒，圆筒绕竖直轴转动，试题要求在给出的坐标纸上定量地画出电子打到记录纸上的点形成的图线，这一方法与利用沙漏描绘单摆振动图象本质上是一致的。

