

## 专题课 带电粒子在叠加场中的运动

1.叠加场：同一区域电场、磁场、重力场共存，或其中某两种场共存。

### 2.带电粒子在叠加场中的运动形式

(1) 匀速直线运动：当带电粒子在叠加场中所受合外力为零时，将处于匀速直线运动状态。根据受力平衡列方程求解。

(2) 匀速圆周运动：当带电粒子所受的重力与电场力大小相等、方向相反时，带电粒子在洛伦兹力的作用下，在垂直于匀强磁场的平面内做匀速圆周运动。应用牛顿运动定律结合圆周运动规律求解。

(3) 较复杂的曲线运动：当带电粒子所受合外力的大小和方向均变化，且与初速度方向不在同一直线上时，粒子做非匀变速曲线运动，这时粒子运动轨迹既不是圆弧，也不是抛物线。一般用动能定理或能量守恒定律求解。

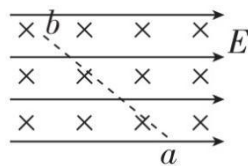
### 3.带电粒子在叠加场中运动问题的常用结论

(1) 若电场力、磁场力、重力共存，带电粒子在竖直面内做匀速圆周运动，则电场力一定与重力平衡， $qE = mg$ 。

(2) 若磁场力与电场力或重力共存，粒子做直线运动，则必然匀速，即合力为零。

#### 题型一 带电粒子在叠加场中的直线运动

例 1 如图所示，某空间存在正交的匀强磁场和匀强电场，电场方向水平向右，磁场方向垂直纸面向里，一带电微粒由  $a$  点进入电磁场并刚好能沿  $ab$  直线斜向上运动，下列说法正确的是 ( )

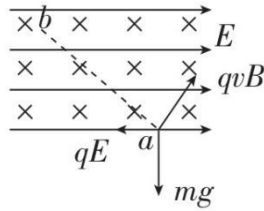


- A. 微粒一定带负电  
B. 微粒的动能一定减小  
C. 微粒的电势能一定增加  
D. 微粒的机械能不变

**【答案】** A

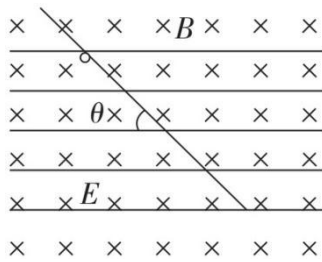
**【解析】** 根据做直线运动的条件和受力情况 (如图所示) 可知，微粒一定带负电，且做匀速直线运动，所以选项 A 正确；由于静电力向左，对微粒做正功，电势能减小，由于微粒做匀速直线运动，则合力做功为零，因此微粒的动能不变，选

项 B、C 错误；由能量守恒可知，电势能减小，机械能一定增加，所以选项 D 错误。



### 迁移应用

1. 如图所示，竖直平面内存在水平方向的匀强电场，电场强度为  $E$ ，同时存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为  $B$ ，纸面内放置一光滑的绝缘细杆，与水平方向成  $\theta = 45^\circ$  角。质量为  $m$ 、带电荷量为  $q$  的金属小环套在细杆上，以初速度  $v_0$  沿着细杆向下运动，小环离开细杆后，恰好做直线运动，重力加速度为  $g$ ，则以下说法正确的是 ( )



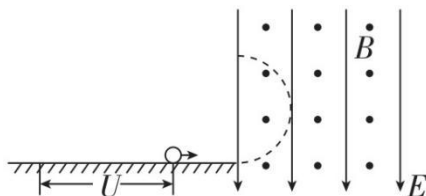
- A. 小环可能带负电
- B. 电场方向可能水平向右
- C. 小环的初速度  $v_0 = \frac{\sqrt{2}mg}{qB}$
- D. 小环离开细杆时的速度  $v = \frac{E}{B}$

**【答案】C**

**【解析】**小环离开细杆后，恰好做直线运动，该运动一定是匀速直线运动，否则洛伦兹力会变化，速度也会变化；如果小环带正电，对其受力分析，根据平衡条件可判断电场力向左，故电场方向向左；如果小环带负电，根据受力分析可知电场力不管是向左还是向右，均不可能平衡；故小环一定是带正电，电场方向一定是向左，故 A、B 错误。小环离开杆后做匀速直线运动，根据平衡条件，在平行杆的方向有  $mg\sin 45^\circ = qE\cos 45^\circ$ ，垂直杆的方向有  $mg\cos 45^\circ + qE\sin 45^\circ = qvB$ ，联立解得  $v = \frac{\sqrt{2}mg}{qB}$ ， $qE = mg$ ，故  $v = \frac{\sqrt{2}E}{B}$ ；环在杆上运动过程，重力和电场力的合力垂直杆，不做功，而支持力和洛伦兹力也不做功，故也是匀速运动， $v_0 = \frac{\sqrt{2}E}{B} = \frac{\sqrt{2}mg}{qB}$ ，故 C 正确，D 错误。

### 题型二 带电粒子在叠加场中的匀速圆周运动

例2 如图所示，已知一带电小球在光滑绝缘的水平面上从静止开始经电压 $U$ 加速后，水平进入由互相垂直的匀强电场和匀强磁场构成的叠加场中（电场强度 $E$ 和磁感应强度 $B$ 已知），小球在此空间的竖直面内做匀速圆周运动，重力加速度大小为 $g$ ，则（ ）



A. 小球可能带正电

B. 小球做匀速圆周运动的半径为 $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2UE}{g}}$

C. 小球做匀速圆周运动的周期为 $T = \frac{\pi E}{Bg}$

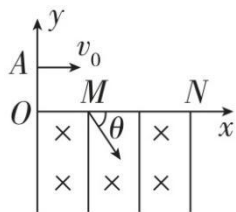
D. 若电压 $U$ 增大，则小球做匀速圆周运动的周期增加

**【答案】B**

**【解析】**小球在叠加场中做匀速圆周运动，则小球受到的静电力和重力平衡，大小满足 $mg = Eq$ ，小球带负电，A项错误；因为小球做圆周运动的向心力由洛伦兹力提供，由牛顿第二定律和动能定理可得 $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 、 $Uq = \frac{1}{2}mv^2$ ，故小球做匀速圆周运动的半径 $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2UE}{g}}$ ，B项正确；由 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ ，得 $T = \frac{2\pi E}{Bg}$ ，与电压 $U$ 无关，C、D项错误。

### 迁移应用

2. 如图所示，直角坐标系 $xOy$ 位于竖直平面内，在水平的 $x$ 轴下方存在匀强磁场和匀强电场，磁场的磁感应强度大小为 $B$ 、方向垂直 $xOy$ 平面向里，电场线平行于 $y$ 轴。一质量为 $m$ 、电荷量为 $q$ 的带正电的小球，从 $y$ 轴上的 $A$ 点水平向右抛出，经 $x$ 轴上的 $M$ 点进入电场和磁场叠加区域，恰能做匀速圆周运动，从 $x$ 轴上的 $N$ 点第一次离开电场和磁场叠加区域， $M$ 、 $N$ 之间的距离为 $L$ ，小球过 $M$ 点时的速度方向与 $x$ 轴正方向的夹角为 $\theta$ 。不计空气阻力，重力加速度为 $g$ ，求：



- (1) 电场强度 $E$ 的大小和方向；  
 (2) 小球从 $A$ 点抛出时初速度 $v_0$ 的大小；  
 (3)  $A$ 点到 $x$ 轴的高度 $h$ 。

【答案】 (1)  $\frac{mg}{q}$ ; 竖直向上

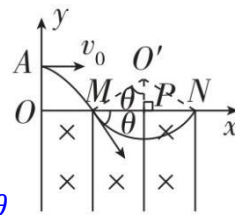
(2)  $\frac{qBL}{2m\tan\theta}$

(3)  $\frac{q^2B^2L^2}{8m^2g}$

【解析】

(1) 小球在电场和磁场叠加区域中恰能做匀速圆周运动，其所受静电力与重力平衡，有 $qE = mg$ 则 $E = \frac{mg}{q}$ ，静电力的方向为竖直向上，则电场强度方向竖直向上。

(2) 小球在叠加场中做匀速圆周运动，如图所示， $O'$ 为圆心， $MN$ 为弦长，



$\angle MO'P = \theta$ ，设轨道半径为 $r$ ，由几何关系知 $\frac{L}{2r} = \sin\theta$  小球做

匀速圆周运动的向心力由洛伦兹力提供，设小球做圆周运动的速度大小为 $v$ ，有

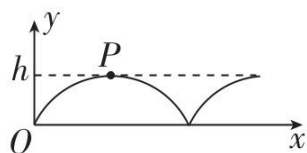
$qvB = \frac{mv^2}{r}$ 由速度的合成与分解知 $\frac{v_0}{v} = \cos\theta$ 联立解得 $v_0 = \frac{qBL}{2m\tan\theta}$ 。

(3) 设小球在 $M$ 点时的竖直分速度为 $v_y$ ，它与水平分速度的关系为 $v_y = v_0\tan\theta$

由匀变速直线运动规律有 $v_y^2 = 2gh$ ，联立解得 $h = \frac{q^2B^2L^2}{8m^2g}$ 。

### 题型三 带电粒子在叠加场中的一般曲线运动

例 3 空间同时存在匀强电场和匀强磁场。匀强电场的方向沿 $y$ 轴正方向，电场强度大小为 $E$ ；磁场方向垂直纸面向外。质量为 $m$ 、电荷量为 $+q$ 的粒子（重力不计）从坐标原点 $O$ 由静止释放，释放后粒子恰能沿图中的曲线运动。已知该曲线的最高点 $P$ 的纵坐标为 $h$ ，曲线在 $P$ 点附近的一小部分，可以看作是半径为 $2h$ 的圆周上的一小段圆弧，则（ ）



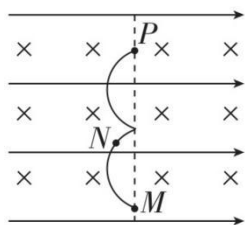
- A. 粒子在y轴方向做匀加速运动
- B. 粒子在最高点P的速度大小为  $\sqrt{\frac{qEh}{2m}}$
- C. 磁场的磁感应强度大小为  $\sqrt{\frac{2mE}{qh}}$
- D. 粒子经过时间  $\pi\sqrt{\frac{2mh}{qE}}$  运动到最高点P

【答案】C

【解析】由受力分析可知，粒子受到的洛伦兹力沿y轴方向的分力是变化的，故粒子在y轴方向的合力是变化的，加速度是变化的，故A错误；从O到P时，洛伦兹力不做功，由动能定理得  $qEh = \frac{1}{2}mv_P^2$ ，解得  $v_P = \sqrt{\frac{2qEh}{m}}$ ，故B错误；粒子经过最高点时，洛伦兹力和静电力的合力提供向心力，即  $qv_P B - qE = m\frac{v_P^2}{2h}$ ，联立解得  $B = \sqrt{\frac{2mE}{qh}}$ ，故C正确；粒子初速度为0，可分解为沿x轴、大小相等、方向相反的速度  $v_1$ 、 $v_2$ ，使  $v_1$  沿x轴正方向且满足  $qBv_1 = qE$ ，则粒子在叠加场中运动，可分解为速度大小为  $v_2$  的匀速圆周运动和沿x轴正方向、速度大小为  $v_1$  的匀速直线运动，粒子运动到最高点P的时间  $t = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{qB} = \pi\sqrt{\frac{mh}{2qE}}$ ，故D错误。

### 迁移应用

3. 多选题 如图所示，磁控管内局部区域分布有水平向右的匀强电场和垂直纸面向里的匀强磁场。电子从M点由静止释放，沿图中所示轨迹依次经过N、P两点。已知M、P在同一等势面上，下列说法正确的是（ ）



- A. 电子从N到P，电场力做正功
- B. N点的电势高于P点的电势
- C. 电子从M到N，洛伦兹力不做功
- D. 电子在M点所受的合力大于在P点所受的合力

**【答案】BC**

**【解析】**由题可知电子所受电场力水平向左，电子从*N*到*P*的过程中电场力做负功，故 **A** 错误；根据沿着电场线方向电势逐渐降低可知，*N*点的电势高于*P*点，故 **B** 正确；由于洛伦兹力一直都和速度方向垂直，故电子从*M*到*N*，洛伦兹力不做功，故 **C** 正确；由于*M*点和*P*点在同一等势面上，故从*M*到*P*电场力做功为 0，而洛伦兹力不做功，电子在*M*点速度为 0，根据动能定理可知电子在*P*点速度也为 0，则电子在*M*点和*P*点受力情况相同，合力相等，故 **D** 错误。