

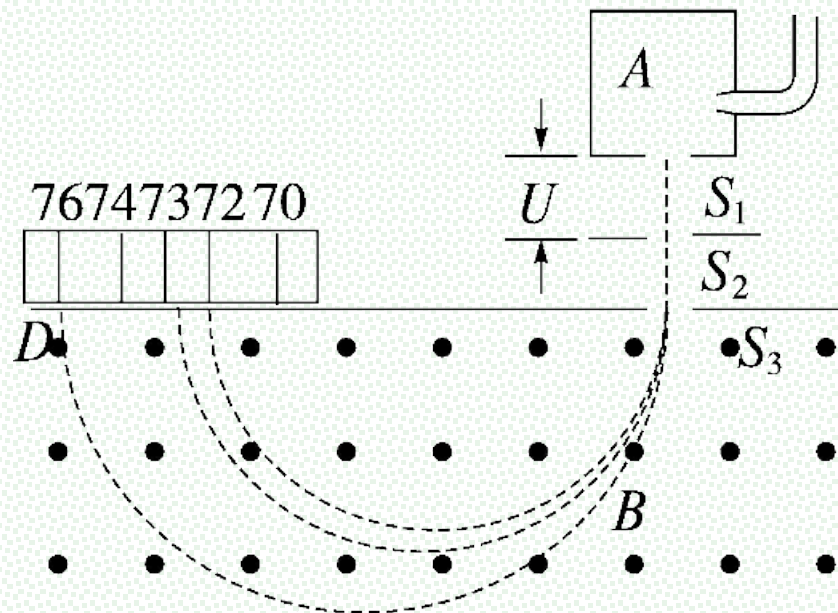
第十章

专题提升课13 现代科技中的电场与 磁场问题

专题概要:带电粒子在组合场、叠加场中的运动规律的应用非常广泛,生产生活及现代科技中的许多仪器都与这些规律密切相关。组合场应用实例主要有质谱仪和回旋加速器等;叠加场应用实例有速度选择器、磁流体发电机、电磁流量计、霍尔元件等。

1. 构造

如图所示,由粒子源、加速电场、偏转磁场和照相底片等构成。



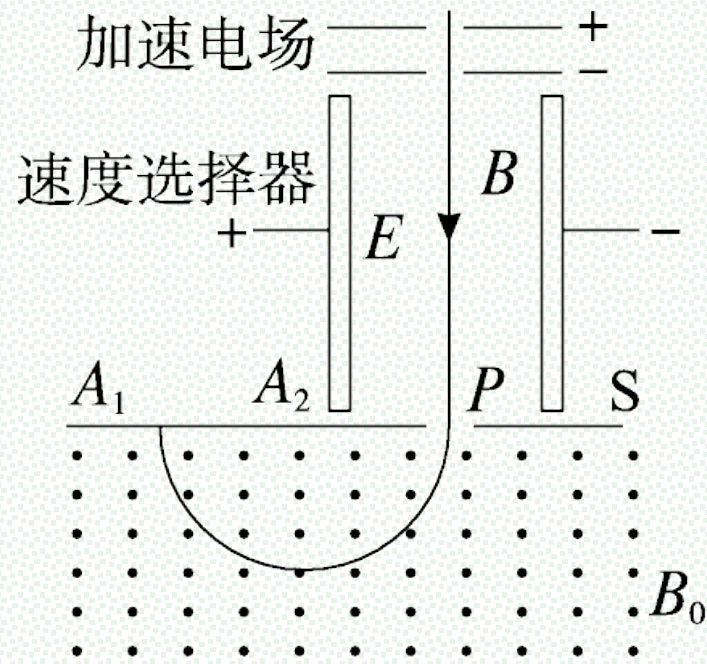
2. 原理

①加速电场: $qU = \frac{1}{2}mv^2$; ②偏转磁场: $qvB = \frac{mv^2}{r}, l = 2r$;

由以上两式可得 $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$, $m = \frac{qr^2 B^2}{2U}$, $\frac{q}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$ 。

典例1.(2023内蒙古赤峰模拟)质谱仪可以用来分析同位素。如图所示,带电粒子先经过加速电场,然后进入速度选择器,速度选择器内存在相互垂直、磁感应强度为 B 的匀强磁场和电场强度为 E 的匀强电场。平板 S 上有可让粒子通过的狭缝 P 和记录粒子位置的胶片 A_1A_2 ,平板 S 下方有磁感应强度为 B_0 的匀强磁场。下列说法正确的是()

- A.速度选择器中的磁场方向垂直纸面向里
- B.能通过狭缝 P 的带电粒子的速率等于 $\frac{B}{E}$
- C.粒子打在胶片上的位置越靠近狭缝 P ,粒子的比荷越小
- D.同一带电粒子,磁感应强度 B_0 越大,粒子打到胶片的位置越靠近狭缝 P

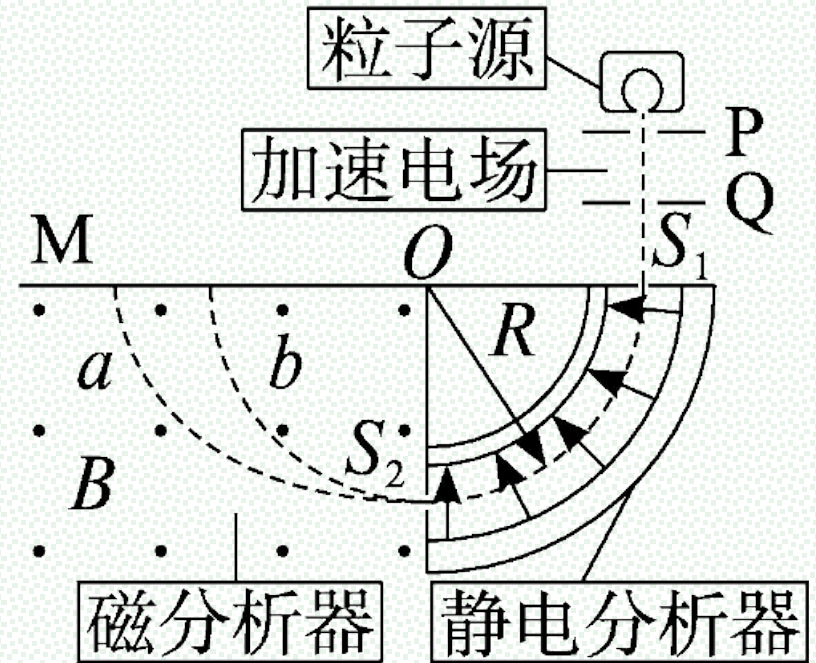


答案 D

解析 根据带电粒子在磁场中的偏转方向,由左手定则知,该粒子带正电,则在速度选择器中粒子受到的静电力水平向右,洛伦兹力水平向左,根据左手定则知,磁场方向垂直纸面向外,A错误。在速度选择器中,能通过狭缝P的带电粒子受到的静电力和洛伦兹力平衡,有 $qE = qvB$,解得 $v = \frac{E}{B}$,B 错误。粒子进入偏转电场后有 $qvB_0 = m\frac{v^2}{r}$,解得 $r = \frac{mv}{qB_0} = \frac{mE}{qB_0B}$,知 r 越小,比荷越大;同一带电粒子,磁感应强度 B_0 越大, r 越小,粒子打到胶片的位置越靠近狭缝 P,C 错误,D 正确。

对点演练

1.(多选)(2023四川成都模拟)如图所示,某质谱仪的静电分析器通道中心线半径为 R ,通道内有均匀辐向电场(方向指向圆心 O),中心线处的电场强度大小为 E_1 ,磁分析器中分布着方向垂直于纸面向外的匀强磁场,其右边界与静电分析器的左边界平行,由粒子源发出不同种类的带电粒子,其中粒子 a 和 b (初速度为零,重力不计),经加速电场加速后由小孔 S_1 进入静电分析器,恰好做匀速圆周运动,而后经小孔 S_2 垂直磁场边界进入磁分析器,最终打在胶片 M 上, a 和 b 的运动轨迹如图所示。



下列说法正确的是()

A. a 和 b 均带负电,图中P板电势低于Q板电势

B. 加速电场的电压 $U=ER$

C. a 经过 S_1 时的速度小于 b 经过 S_1 时的速度

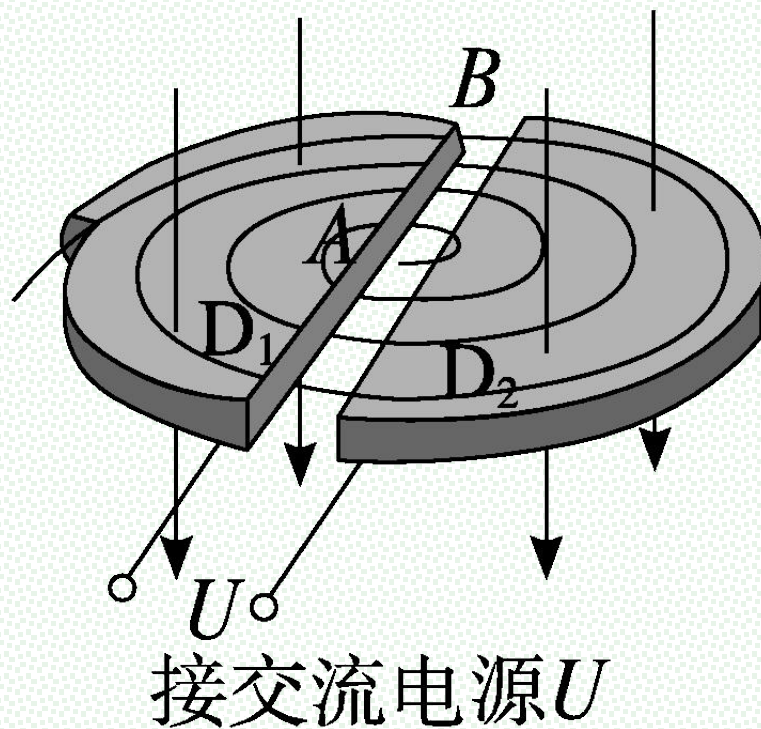
D. a 的比荷小于 b 的比荷

答案 CD

解析 a 和 b 在静电分析器中都做匀速圆周运动,受到的静电力提供向心力,指向圆心,可知静电力方向与电场方向相同,故 a 和 b 均带正电,图中 P 板电势高于 Q 板电势,A 错误;粒子经加速电场过程,根据动能定理可得 $qU = \frac{1}{2}mv^2$,粒子在静电分析器中做匀速圆周运动,静电力提供向心力,则有 $qE = m\frac{v^2}{R}$,联立解得加速电场的电压为 $U = \frac{ER}{2}$,B 错误;粒子在磁场中,由洛伦兹力提供向心力可得 $qvB = m\frac{v^2}{r}$,联立解得粒子的比荷为 $\frac{q}{m} = \frac{ER}{B^2r^2} \propto \frac{1}{r^2}$,由图可知 a 在磁场中的半径大于 b 在磁场中的半径,故 a 的比荷小于 b 的比荷,D 正确;

粒子经加速电场过程,根据动能定理可得 $qU = \frac{1}{2}mv^2$,解得 $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} \propto \sqrt{\frac{q}{m}}$,由于 a 的比荷小于 b 的比荷,可知 a 经过 S_1 时的速度小于 b 经过 S_1 时的速度,C 正确。

1.构造:如图所示, D_1 、 D_2 是半圆形金属盒,D形盒的缝隙处接交变电流,D形盒处于匀强磁场中。



2.原理:①交变电流周期和粒子做圆周运动的周期相等;②使粒子每经过一次D形盒缝隙,粒子被加速一次。

3.最大动能:由 $qv_m B = \frac{mv_m^2}{R}$ 、 $E_{km} = \frac{1}{2}mv_m^2$ 联立解得 $E_{km} = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$ 。显然,粒子

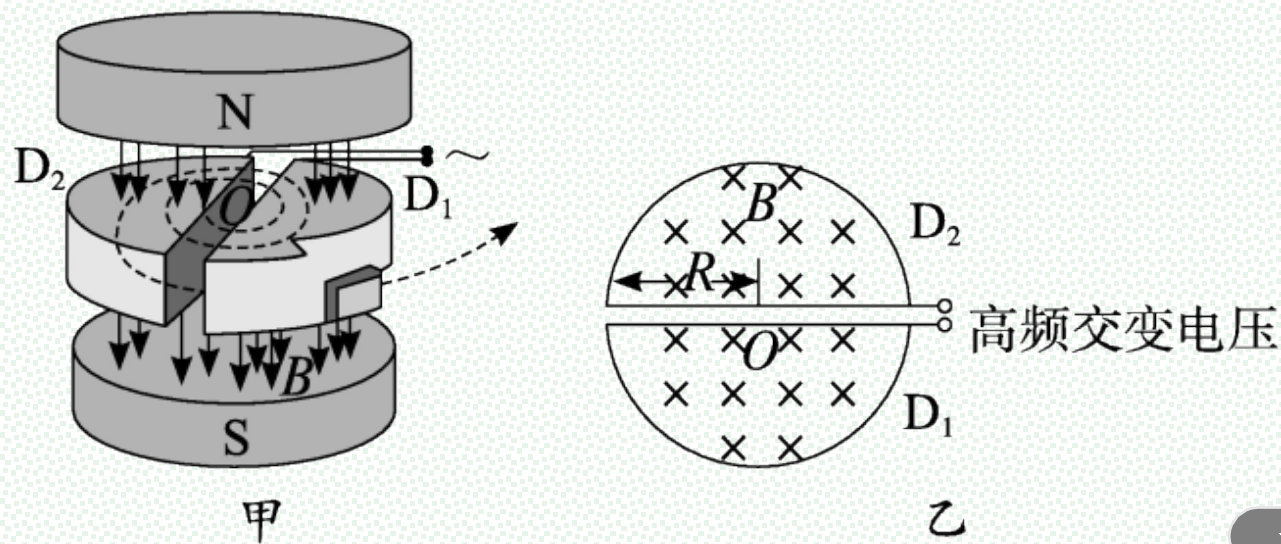
获得的最大动能由磁感应强度 B 和盒半径 R 决定,与加速电压无关。

4.粒子在磁场中运动的总时间:粒子在磁场中运动一个周期,被电场加速两次,每次增加动能 qU ,加速次数 $n = \frac{E_{km}}{qU}$,则粒子在磁场中运动的总时间

$t = \frac{n}{2}T = \frac{E_{km}}{2qU} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi BR^2}{2U}$ 。(粒子在加速电场中的运动时间一般不计,必须考

虑时可把电场中运动的全过程当成匀加速直线运动来处理)

典例2.某型号的回旋加速器的工作原理如图甲所示,图乙为俯视图。回旋加速器的核心部分为两个D形盒,分别为 D_1 、 D_2 。D形盒装在真空容器里,整个装置放在巨大的电磁铁两极之间的强大磁场中,磁场可以认为是匀强磁场,且与D形盒底面垂直。两盒间的狭缝很小,带电粒子穿过狭缝的时间可以忽略不计。D形盒的半径为 R ,磁场的磁感应强度为 B 。质子从粒子源 O 处进入加速电场的初速度不计,质子质量为 m 、电荷量为 $+q$ 。加速器接入一定频率的高频交变电压,加速电压为 U 。不考虑相对论效应和重力作用。



(1)质子在回旋加速器中运动时,随轨迹半径 r 的增大,同一D形盒中相邻轨迹的半径之差 Δr 如何变化?为什么?

(2)若使用这台回旋加速器加速 α 粒子,需要如何改造?

答案 (1) Δr 随 r 增大而减小,理由见解析

(2)见解析

解析 (1)由动能定理有

$$2qU = \frac{1}{2}mv_{k+1}^2 - \frac{1}{2}mv_k^2$$

$$\text{又有 } r_k = \frac{mv_k}{qB}$$

$$\text{则 } \Delta r_k = \frac{4mU}{qB^2(r_{k+1} + r_k)}$$

$$\text{同理 } \Delta r_{k+1} = \frac{4mU}{qB^2(r_{k+2} + r_{k+1})}$$

$$\text{因 } r_{k+2} > r_k$$

故 $\Delta r_{k+1} < \Delta r_k$, 即 Δr 随 r 增大而减小。

(2)由于加速质子时

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

α 粒子的比荷为质子的 $\frac{1}{2}$

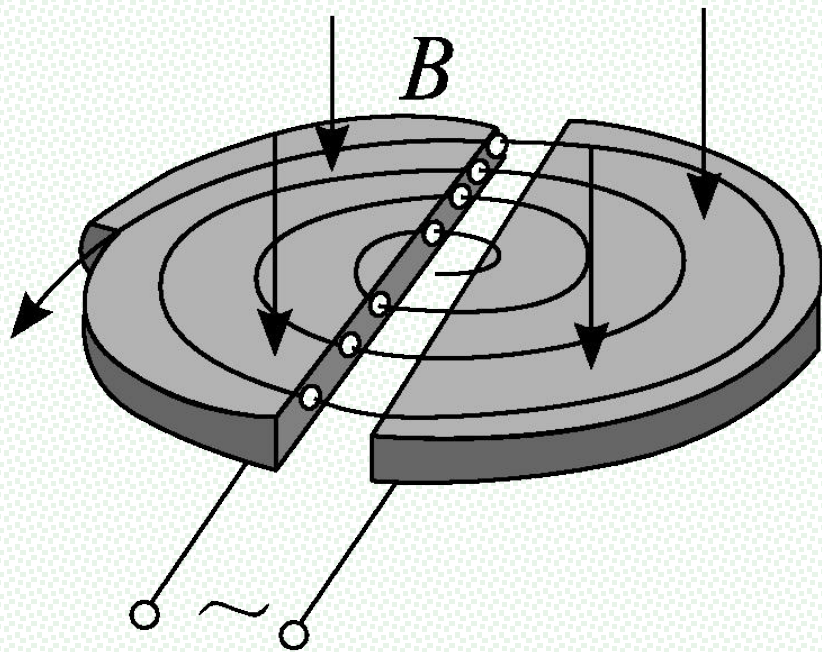
则 $f' = \frac{qB}{4\pi m} = \frac{f}{2}$, 故不能直接加速 α 粒子

改造方案一:磁感应强度加倍

改造方案二:交变电压频率减半。

对点演练

2.(2022山东临沂模拟)回旋加速器是用来加速带电粒子的装置,如图所示,它的核心部分是两个D形金属盒,两盒相距很近,分别和高频交流电源相连接,两盒间的窄缝中形成匀强电场,使带电粒子每次通过窄缝都得到加速。两盒放在匀强磁场中,磁场方向垂直于盒底面,带电粒子在磁场中做圆周运动,通过两盒间的窄缝时反复被加速,直到达到最大圆周半径时通过特殊装置被引出。



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/895104022120012003>