# 专题 15.2 磁场（精讲精练）

**第一部分、 基础知识快速过.....1**
考点一、左右手定则的理解与应用以及磁场的产生与特征.....2
考点二、对安培力的理解与分析.....3
考点三、安培力作用下导体运动情况的判断.....3
考点四、安培力作用下导体的平衡.....4
考点五、安培力作用下的功能关系.....5
考点六、对洛伦兹力的理解.....6
考点七、带电粒子在匀强磁场中的运动.....8
考点八、带电粒子在磁场中运动的多解问题.....11
考点九、解决有界磁场中临界极值问题的方法.....12
考点十、带电粒子在复合场中的运动之粒子在组合场中的运动.....16
考点十一、带电粒子在复合场中的运动之粒子在叠加场中的运动.....17
考点十二、带电粒子在复合场中的运动之在交变电磁场中的运动.....18
考点十三、现代科技中有关复合场的应用类问题.....20
**第二部分、题型学习**.....23
题型一、左、右手定则的应用以及安培力大小的相关运算.....23
题型二、安培力作用下导体运动情况的定性判断.....25
题型三、平衡状态下安培力作用下的相关定量运算.....26
题型四、安培力作用下的功能关系.....27
题型五、带电粒子在磁场中运动问题中有关速率、时间的大小的相关计算.....28
题型六、带电粒子在磁场中运动问题中的多解问题.....29
题型七、带电粒子在复合场中的运动的综合类考查.....30

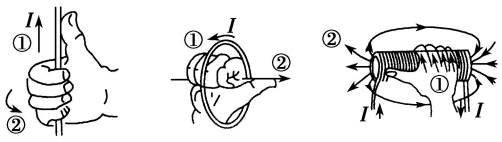
## 第一部分、基础知识快速过

## 考点一、左右手定则的理解与应用以及磁场的产生与特征

**1.右手定则**

a.通电直导线：右手握住导线，让伸直的拇指所指的方向与电流方向一致，弯曲的四指所指的方向就是磁感线环绕的方向。

b．环形电流(或通电螺线管)：让右手弯曲的四指与环形电流(或通电螺线管中电流)的方向一致，伸直的拇指所指的方向就是环形导线(或通电螺线管)轴线上磁感线的方向。




c.如上图，分别表示通电直导线、环形电流、通电线圈周围的磁场，①表示电流的方向，②表示磁场的方向。

**2.左手定则及安培力的大小**

a.伸出左手，让拇指与其余四指垂直，并且都在同一个平面内。

b.让磁感线从掌心进入，并使四指指向电流方向。

c.拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向。

**3.典例应用**

1．关于磁感应强度 $B$，下列说法正确的是(　　)

A．根据磁感应强度的定义式 $B=\frac{F}{IL}$可知，磁感应强度 $B$ 与 $F$ 成正比，与 $IL$ 成反比

B．一小段通电导线放在磁感应强度为零处，它所受的磁场力一定为零

C．一小段通电导线在某处不受磁场力的作用，则该处的磁感应强度一定为零

D．磁场中某处磁感应强度的方向，与通电导线在该处所受磁场力的方向相同

【答案】：　B

2.(多选)(2015·课标Ⅱ·18)指南针是我国古代四大发明之一。关于指南针，下列说法正确的是(　　)

A．指南针可以仅具有一个磁极

B．指南针能够指向南北，说明地球具有磁场

C．指南针的指向会受到附近铁块的干扰

D．在指南针正上方附近沿指针方向放置一直导线，导线通电时指南针不偏转

【答案】：BC

【解析】：　指南针有 N、S 两个磁极，受到地磁场的作用静止时 S 极指向南方，A 错误，B 正确。指南针有磁性，可以与铁块相互吸引，C 正确。由奥斯特实验可知，小磁针在通电导线放置位置合适的情况下，会发生偏转，D 错误。

## 考点二、对安培力的理解与分析

**1.安培力的大小：**F＝BILsin θ(θ为磁场方向与电流方向的夹角)

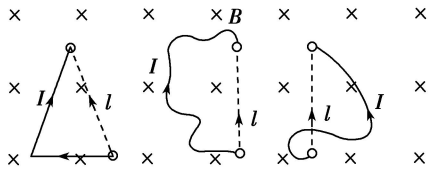
**2．应用安培力公式 F＝BIl 时要注意**

(1)B 与 I 垂直。

(2)B 与 I 平行时，F＝0。

(3)l 是有效长度。

**3.（有效长度的理解）**曲导线的有效长度 l 等于连接两端点线段的长度(如图所示)；相应的电流沿 l 由始端流向末端。




**4．方向：**根据左手定则判断。

**5.典例应用：**

1．(多选)(2018·山西省重点中学高三联考)在赤道附近水平放置一根长 $L$ 的直导线，导线中通有恒定电流 $I$，地磁场在赤道的磁感应强度为 $B$，若不考虑磁偏角的影响，那么地磁场对该导线的作用力大小及方向可能是(　　)

A．0　　B.$\frac{BIL}{2}$，竖直向下　　C．$BIL$，向西　　D.$\frac{BIL}{3}$，向东

【答案】:　AB

【解析】:　当水平通电直导线与磁场方向平行时，地磁场对通电导线的作用力为零，A 正确；当水平通电直导线与磁场方向垂直时，地磁场对通电导线的作用力大小为 BIL，且为最大值；当水平通电直导线与磁场方向成一夹角时，地磁场对通电导线的作用力大小应介于 0 和 BIL 之间，方向均沿竖直方向，B 正确，C、D 错误。

## 考点三、安培力作用下导体运动情况的判断

**1．判定通电导体在安培力作用下的运动或运动趋势的思路**

(1)首先必须弄清楚导体所在位置的磁场分布情况。

(2)然后利用左手定则准确判定导体的受力情况。

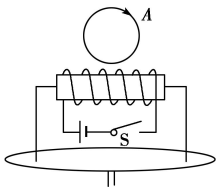
(3)进而确定导体的运动方向或运动趋势的方向。

**2．常用判断方法**

| | |
|---|---|
| 电流元法 | 分割为电流元$\xrightarrow{\text{左手定则}}$安培力方向$\longrightarrow$整段导体合力方向$\longrightarrow$运动方向 |
| 特殊位置法 | 在特殊位置$\longrightarrow$安培力方向$\longrightarrow$运动方向 |
| 等效法 | 环形电流$\rightleftharpoons$小磁针<br>条形磁铁$\rightleftharpoons$通电螺线管$\rightleftharpoons$多个环形电流 |
| 利用结论法 | 同向电流互相吸引，异向电流互相排斥；两不平行的直线电流相互作用时，有转到平行且电流方向相同的趋势 |
| 转换研究对象法 | 定性分析磁体在电流磁场作用下如何运动或运动趋势的问题，可先分析电流在磁体磁场中所受的安培力，然后由牛顿第三定律，确定磁体所受电流磁场的作用力，从而确定磁体所受合力及运动方向 |

**3.典例应用**

1．如图所示，均匀绕制的螺线管水平固定在可转动的圆盘上，在其正中心的上方有一固定的环形电流 A，A 与螺线管垂直。A 中电流方向为顺时针方向，开关 S 闭合瞬间，关于圆盘的运动情况(从上向下观察)，下列说法正确的是(　　)



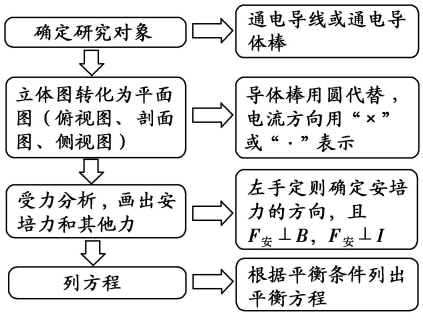

A．静止不动　　B．顺时针转动　　C．逆时针转动　　D．无法确定

【答案】:　B

【解析】:环形电流可等效为里面为 N 极、外面为 S 极的小磁针，通电螺线管可等效为右边为 N 极，左边为 S 极的条形磁铁，根据磁极间的相互作用，圆盘将顺时针转动，选项 B 正确。

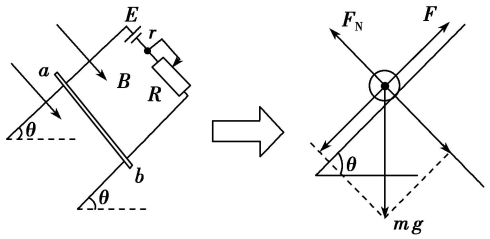
## 考点四、安培力作用下导体的平衡

**1.安培力作用下平衡问题的解题技巧**

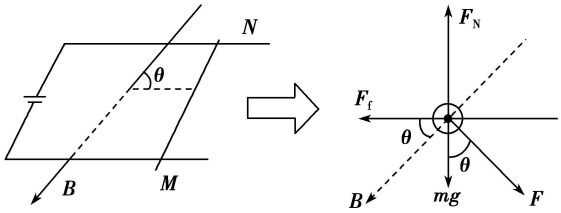



**2.解题步骤示例说明**

通电导体棒在磁场中的平衡问题是一种常见的力学综合模型，该模型一般由倾斜导轨、导体棒、电源和电阻等组成。这类题目的难点是题图具有立体性，各力的方向不易确定。因此解题时一定要先把立体图转化成平面图，通过受力分析建立各力的平衡关系，如下图所示。



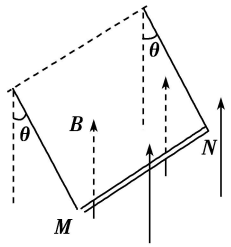

立体图　　平面图




立体图　　平面图

**3.（典例应用）**

1.如图所示，金属棒 *MN* 两端由等长的轻质细线水平悬挂，处于竖直向上的匀强磁场中，棒中通以由 *M* 向 *N* 的电流，平衡时两悬线与竖直方向夹角均为$\theta$。如果仅改变下列某一个条件，$\theta$角的相应变化情况是(　　)

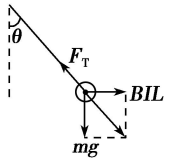



A．棒中的电流变大，$\theta$角变大　　B．两悬线等长变短，$\theta$角变小

C．金属棒质量变大，$\theta$角变大　　D．磁感应强度变大，$\theta$角变小

【答案】：　A

【解析】：对金属棒受力分析如图所示。由三力平衡的特点得 $\tan\theta=\frac{BIL}{mg}$，故 A 正确，C、D 错误；悬线的长度对$\theta$角没有影响，B 错误。



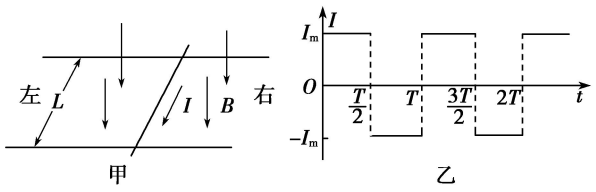

## 考点五、安培力作用下的功能关系

**1.考点说明：**

安培力和重力、弹力、摩擦力一样，会使通电导体在磁场中平衡、转动、加速，也会涉及做功问题。解答时一般要用到动能定理、能量守恒定律等。

**2.典例应用**

1.(多选)如图甲所示，两根光滑平行导轨水平放置，间距为 $L$，其间有竖直向下的匀强磁场，磁感应强度为 $B$。垂直于导轨水平对称放置一根均匀金属棒。从 $t=0$ 时刻起，棒上有如图乙所示的持续交变电流 $I$，周期为 $T$，最大值为 $I_m$，图甲中 $I$ 所示方向为电流正方向。则金属棒(　　)




A．一直向右移动

B．速度随时间周期性变化

C．受到的安培力随时间周期性变化

D．受到的安培力在一个周期内做正功

【答案】:　ABC

【解析】:　由左手定则可知，金属棒一开始向右做匀加速运动，当电流反向以后，金属棒开始做匀减速运动，经过一个周期速度变为 0，然后重复上述运动，所以选项 A、B 正确；安培力 $F=BIL$，由图象可知前半个周期安培力水平向右，后半个周期安培力水平向左，不断重复，选项 C 正确；一个周期内，金属棒初、末速度相同，由动能定理可知安培力在一个周期内不做功，选项 D 错误。

## 考点六、对洛伦兹力的理解

**1．洛伦兹力的特点**

(1)利用左手定则判断洛伦兹力的方向，注意区分正、负电荷。

(2)当电荷运动方向发生变化时，洛伦兹力的方向也随之变化。

(3)运动电荷在磁场中不一定受洛伦兹力作用。

(4)洛伦兹力一定不做功。

**2．洛伦兹力与安培力的联系及区别**

(1)安培力是洛伦兹力的宏观表现，二者是相同性质的力，都是磁场力。

(2)安培力可以做功，而洛伦兹力对运动电荷不做功。

**3．洛伦兹力与电场力的比较**

| | 洛伦兹力 | 电场力 |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| 产生条件 | $v\neq0$ 且 $v$ 不与 $B$ 平行 | 电荷处在电场中 |
| 大小 | $F=qvB(v\perp B)$ | $F=qE$ |
| 力方向与场方向的关系 | $F\perp B$，$F\perp v$ | $F/\!/E$ |
| 做功情况 | 任何情况下都不做功 | 可能做功，也可能不做功 |

**4.典例应用**

1．(多选)关于安培力和洛伦兹力，下面的说法中正确的是(　　)

A．洛伦兹力和安培力是性质完全不同的两种力

B．安培力和洛伦兹力，其本质都是磁场对运动电荷的作用力

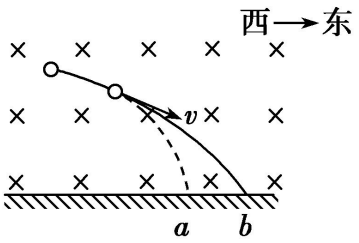
C．安培力和洛伦兹力，二者是等价的

D．安培力能对通电导体做功，但洛伦兹力不能对运动电荷做功

【答案】:　BD

【解析】:　安培力是洛伦兹力的宏观表现，其本质都是磁场对运动电荷的作用力，所以 A、C 错，B 对。洛伦兹力总垂直于电荷的运动方向，所以不做功，而安培力却可以与运动方向不垂直，所以可以做功，D 对。

2．(2018·北京海淀区质检)如图所示，在赤道处，将一小球向东水平抛出，落地点为 $a$；给小球带上电荷后，仍以原来的速度抛出，考虑地磁场的影响，下列说法正确的是(　　)




A．无论小球带何种电荷，小球仍会落在 $a$ 点

B．无论小球带何种电荷，小球下落时间都会延长

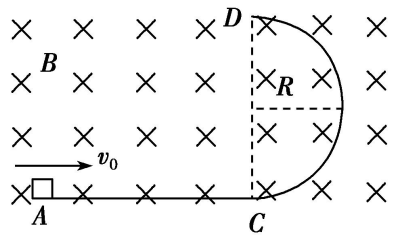
C．若小球带负电荷，小球会落在更远的 $b$ 点

D．若小球带正电荷，小球会落在更远的 $b$ 点

【答案】:　D

【解析】:　地磁场在赤道上空水平由南向北，从南向北观察，如果小球带正电荷，则洛伦兹力斜向右上方，该洛伦兹力在竖直向上和水平向右方向均有分力，因此，小球落地时间会变长，水平位移会变大；同理，若小球带负电，则小球落地时间会变短，水平位移会变小，故 D 正确。

3．如图所示，一质量为 $m=0.10$ g、带电荷量 $q=1.6\times10^{-3}$ C 的带负电滑块(可看作质点)以初速度 $v_0=5$ m/s 由水平面上的 $A$ 点向右滑动，到达 $C$ 点后恰好能通过半径为 $R=0.5$ m 的光滑半圆轨道的最高点 $D$，已知水平轨道 $AC$ 与半圆轨道相切于 $C$ 点，整个装置处在垂直纸面向里、磁感应强度 $B=0.50$ T 的匀强磁场中，重力加速度 $g=10$ m/s$^2$，则(　　)




A．滑块运动到最高点 $D$ 时的速度大小为 1.25 m/s

B．滑块运动到最高点 $D$ 时的速度大小为$\sqrt{5}$ m/s

C．滑块从 $C$ 运动到 $D$ 的过程中，机械能不守恒

D．滑块从 $A$ 到 $C$ 的过程中克服阻力做的功为 $2\times10^{-4}$ J

【答案】:　D

【解析】:　因滑块恰好能通过光滑半圆轨道的最高点 $D$，在 $D$ 点由竖直向下的重力和竖直向上的洛伦兹力的合力提供向心力，即 $mg-Bqv=m\frac{v^2}{R}$，代入数值得 $v=1$ m/s，A、B 错误；滑块从 $C$ 到 $D$ 的过程中，洛伦兹力时刻与速度方向垂直，不做功，只有重力做功，机械能守恒，C 错误；由机械能守恒定律知 $\frac{1}{2}mv_C^2=\frac{1}{2}mv^2+mg\cdot2R$，即 $v_C=\sqrt{21}$ m/s，滑块从 $A$ 到 $C$ 的过程中，由动能定理知克服阻力做的功为 $W_f=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv_C^2$，即 $W_f=2\times10^{-4}$ J，D 正确。

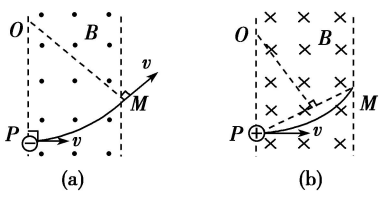
## 考点七、带电粒子在匀强磁场中的运动

### 1．带电粒子在匀强磁场中圆周运动分析

**(1)圆心的确定方法**

方法一　：若已知粒子轨迹上的两点的速度方向，则可根据洛伦兹力 $F\perp v$，分别确定两点处洛伦兹力 $F$ 的方向，其交点即为圆心，如图(a)；

方法二　若已知粒子运动轨迹上的两点和其中某一点的速度方向，则可作出此两点的连线(即过这两点的圆弧的弦)的中垂线，中垂线与垂线的交点即为圆心，如图(b)。



**(2)半径的计算方法**

方法一　由物理方法求：半径 $R=\frac{mv}{qB}$;

方法二　由几何方法求：一般由数学知识(勾股定理、三角函数等)计算来确定。

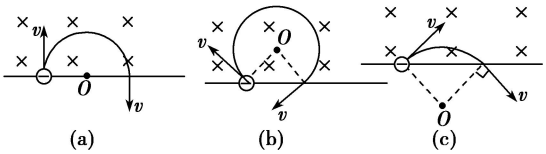
**(3)时间的计算方法**

方法一　由圆心角求：$t=\frac{\theta}{2\pi}\cdot T$;

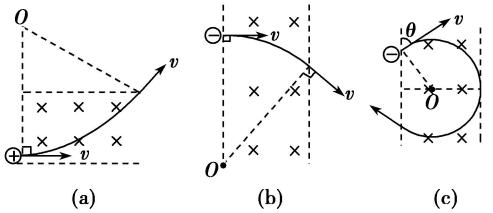
方法二　由弧长求：$t=\frac{s}{v}$。

**2．带电粒子在不同边界磁场中的运动**

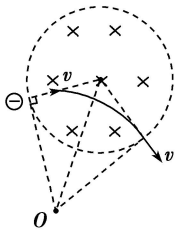
**(1)直线边界(进出磁场具有对称性，如图所示)。**




**(2)平行边界(存在临界条件，如图所示)。**

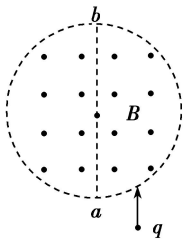



**(3)圆形边界(沿径向射入必沿径向射出，如图所示)。**




**3.典例应用**

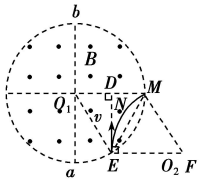
A.如图所示，半径为 $R$ 的圆是一圆柱形匀强磁场区域的横截面(纸面)，磁感应强度大小为 $B$，方向垂直于纸面向外。一电荷量为 $q(q>0)$、质量为 $m$ 的粒子沿平行于直径 $ab$ 的方向射入磁场区域，射入点与 $ab$ 的距离为$\frac{R}{2}$，已知粒子射出磁场与射入磁场时运动方向间的夹角为 60°，则粒子的速率为(不计重力)(　　)




A.$\frac{qBR}{2m}$　　B．$\frac{qBR}{m}$　　C.$\frac{3qBR}{2m}$　　D．$\frac{2qBR}{m}$

【答案】：B

【解析】：如图所示，粒子做圆周运动的圆心 $O_2$ 必在过入射点垂直于入射速度方向的直线 $EF$ 上，由于粒子射入、射出磁场时运动方向间的夹角为 60°，故圆弧 $ENM$ 对应圆心角为 60°，所以$\triangle EMO_2$ 为等边三角形。由于 $O_1D=\frac{R}{2}$，所以$\angle EO_1D=60°$，$\triangle O_1ME$ 为等边三角形，所以可得到粒子做圆周运动的半径 $EO_2=O_1E=R$，由 $qvB=\frac{mv^2}{R}$，得 $v=\frac{qBR}{m}$，B 正确。




B（扩展），带电粒子在圆柱形匀强磁场区域中的运行时间为(　　)

A.$\frac{\pi m}{6qB}$　　B．$\frac{\pi m}{3qB}$　　C.$\frac{2\pi m}{3qB}$　　D．$\frac{\pi m}{qB}$

【答案】：　B

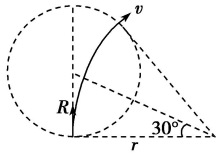
【解析】：　由 $T=\frac{2\pi m}{qB}$，$t=\frac{\theta}{2\pi}\cdot T$　　可得：$t=\frac{\pi m}{3qB}$，故选项 B 正确。

C（扩展），若带电粒子对准圆心沿直径 $ab$ 的方向射入磁场区域，粒子射出磁场与射入磁场时运动方向的夹角仍为 60°，则粒子的速率为(　　)

A.$\frac{qBR}{2m}$　　B.$\frac{qBR}{m}$　　C.$\frac{\sqrt{3}qBR}{m}$　　D．$\frac{\sqrt{3}qBm}{R}$

【答案】：　C

【解析】：粒子进入磁场后做匀速圆周运动的轨迹如图所示，根据几何关系可知，粒子做圆周运动的半径 $r=\sqrt{3}R$，由 $qvB=m\frac{v^2}{r}$可得，$v=\frac{\sqrt{3}qBR}{m}$。选项 C 正确。




D（扩展），若带电粒子速率不变，磁场方向改为垂直纸面向里，带电粒子从磁场射出时与射入磁场时运动

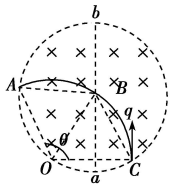
方向的夹角为(　　)

A．30°　　B．45°

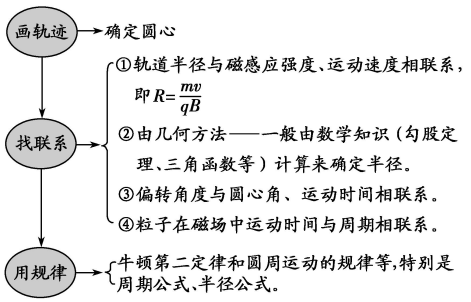
C．60°　　D．120°

【答案】：　D

【解析】：磁场方向改为垂直纸面向里，粒子进入磁场后向左偏转，运动轨迹如图所示，$\triangle OAB$ 和$\triangle OBC$ 都是等边三角形，所以$\angle AOC=120°$，带电粒子从磁场射出时与射入磁场时运动方向的夹角也是 120°。选项 D 正确。



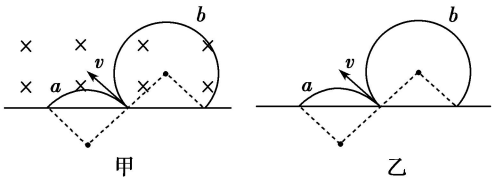

**4.方法总结:**




## 考点八、带电粒子在磁场中运动的多解问题

**1．带电粒子电性不确定形成多解：**受洛伦兹力作用的带电粒子，由于电性不同，当速度相同时，正、负粒子在磁场中运动轨迹不同，形成多解。

如图甲所示，带电粒子以速率 $v$ 垂直进入匀强磁场，如带正电，其轨迹为 $a$，如带负电，其轨迹为 $b$。

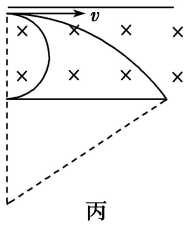



**2．磁场方向不确定形成多解：**有些题目只已知磁感应强度的大小，而不知其方向，此时必须要考虑磁感应强度方向不确定而形成的多解。

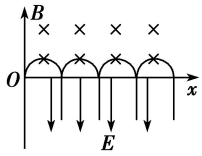
如图乙所示，带正电粒子以速率 $v$ 垂直进入匀强磁场，如 $B$ 垂直纸面向里，其轨迹为 $a$，如 $B$ 垂直纸面向外，其轨迹为 $b$。

**3．临界状态不唯一形成多解：**带电粒子在洛伦兹力作用下飞越有界磁场时，由于粒子运动轨迹是圆弧状，

因此，它可能穿过去，也可能转过 180°从入射界面这边反向飞出，从而形成多解，如图丙所示。



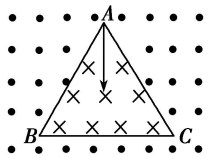
丙



丁

**4．运动的周期性形成多解：**带电粒子在部分是电场，部分是磁场的空间运动时，运动往往具有往复性，从而形成多解，如图丁所示，(多选)如图所示，两方向相反、磁感应强度大小均为 $B$ 的匀强磁场被边长为 $L$ 的等边三角形 $ABC$ 理想分开，三角形内磁场垂直纸面向里，三角形顶点 $A$ 处有一质子源，能沿∠$BAC$ 的角平分线发射速度不同的质子(质子重力不计)，所有质子均能通过 $C$ 点，质子比荷$\frac{q}{m}=k$，则质子的速度可能为

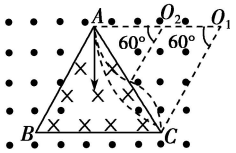
(　　)




A．$2BkL$　　B．$\frac{BkL}{2}$　　C.$\frac{3BkL}{2}$　　D．$\frac{BkL}{8}$

【答案】:　BD

【解析】:




因质子带正电，且经过 $C$ 点，其可能的轨迹如图所示，所有圆弧所对圆心角均为 60°，所以质子运行半径 $r=\frac{L}{n}(n=1,2,3，…)$，由洛伦兹力提供向心力得 $Bqv=m\frac{v^2}{r}$，即 $v=\frac{Bqr}{m}=Bk\cdot\frac{L}{n}(n=1,2,3，…)$，选项 B、D 正确。

**5.求解带电粒子在磁场中运动的多解问题的技巧**

(1)分析题目特点，确定题目多解性形成原因。

(2)作出粒子运动轨迹示意图(全面考虑多种可能性)。

(3)若为周期性重复的多解问题，寻找通项式，若是出现几种解的可能性，注意每种解出现的条件。

## 考点九、解决有界磁场中临界极值问题的方法

**1．带电粒子在磁场中运动的临界问题的处理方法**

解决此类问题，关键在于运用动态思维，寻找临界点，确定临界状态，根据粒子的速度方向找出半径，同时由磁场边界和题设条件画好轨迹、定好圆心，建立几何关系。

扣好关键词切入：以题目中的“恰好”“最高”“最长”“至少”等为突破口，将不确定的物理量推向极端(如极大、极小；最上、最下；最左、最右等)，结合几何关系分析得出临界条件，列出相应方程求解。

**2．求极值问题的基本方法**

(1)物理方法：①利用临界条件求极值；②利用矢量图求极值。

(2)数学方法：①利用三角函数求极值；②利用二次方程的判别式求极值；③利用不等式的性质求极值；④利用图象法求极值。

**3．常用结论**

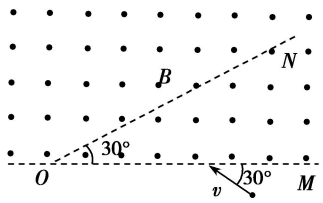
(1)刚好穿出磁场边界的条件是带电粒子在磁场中运动的轨迹与边界相切。

(2)当速度 $v$ 一定时，弧长(或弦长)越长，圆心角越大，则带电粒子在有界磁场中运动的时间越长。

(3)当速率 $v$ 变化时，仍然是运动轨迹所对圆心角越大，运动时间越长。

**4.典例应用**

**1.直线边界磁场中的临界极值问题**(2016·全国 3)平面 $OM$ 和平面 $ON$ 之间的夹角为 30°，其横截面(纸面)如图所示，平面 $OM$ 上方存在匀强磁场，磁感应强度大小为 $B$，方向垂直于纸面向外。一带电粒子的质量为 $m$，电荷量为 $q(q>0)$。粒子沿纸面以大小为 $v$ 的速度从 $OM$ 的某点向左上方射入磁场，速度与 $OM$ 成 30°角。已知该粒子在磁场中的运动轨迹与 $ON$ 只有一个交点，并从 $OM$ 上另一点射出磁场。不计重力。粒子离开磁场的出射点到两平面交线 $O$ 的距离为(　　)

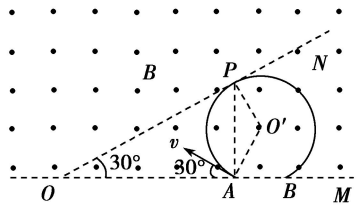



A. $\frac{mv}{2qB}$　　B. $\frac{\sqrt{3}mv}{qB}$

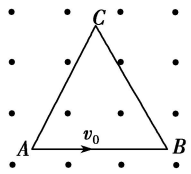
C. $\frac{2mv}{qB}$　　D. $\frac{4mv}{qB}$

【答案】：　D

【解析】：　如图所示，粒子在磁场中运动的轨道半径为 $R=\frac{mv}{qB}$。设入射点为 $A$ ，出射点为 $B$，圆弧与 $ON$ 的交点为 $P$。由粒子运动的对称性及粒子的入射方向知，$AB=R$。由几何图形知，$AP=\sqrt{3}R$，则 $AO=\sqrt{3}AP=3R$，所以 $OB=4R=\frac{4mv}{qB}$。故选项 D 正确。



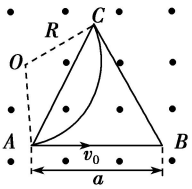

2.**三角形磁场中的临界极值问题**如图所示，$\triangle ABC$ 为与匀强磁场垂直的边长为 $a$ 的等边三角形，比荷为$\frac{e}{m}$的电子以速度 $v_0$ 从 $A$ 点沿 $AB$ 边入射，欲使电子经过 $BC$ 边，磁感应强度 $B$ 的取值为(　　)



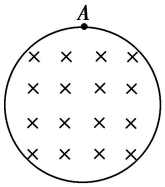

A．$B>\frac{2mv_0}{ae}$　　B．$B<\frac{2mv_0}{ae}$　　C．$B>\frac{\sqrt{3}mv_0}{ae}$　　D．$B<\frac{\sqrt{3}mv_0}{ae}$

【答案】：　D

【解析】：由题意得，电子正好经过 $C$ 点，如图所示，此时圆周运动的半径 $R=\frac{\frac{a}{2}}{\cos 30°}=\frac{a}{\sqrt{3}}$，要使电子从 $BC$ 边经过，电子做圆周运动的半径要大于$\frac{a}{\sqrt{3}}$，由带电粒子在磁场中运动的公式 $r=\frac{mv}{qB}$ 有 $\frac{a}{\sqrt{3}}<\frac{mv_0}{eB}$，即 $B<\frac{\sqrt{3}mv_0}{ae}$，选 D。




**3.圆形磁场中的临界极值问题**(2018·辽宁朝阳三校协作体联考)如图所示，半径为 $r$ 的圆形区域内有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 $B$，磁场边界上 $A$ 点有一粒子源，源源不断地向磁场发射各种方向(均平行于纸面)且速度大小相等的带正电的粒子(重力不计)，已知粒子的比荷为 $k$，速度大小为 $2kBr$。则粒子在磁场中运动的最长时间为(　　)

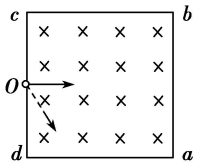



A.$\frac{\pi}{kB}$　　B.$\frac{\pi}{2kB}$　　C.$\frac{\pi}{3kB}$　　D．$\frac{\pi}{4kB}$

【答案】：　C

【解析】：　粒子在磁场中运动的半径为 $R=\frac{mv}{qB}=\frac{2kBr}{Bk}=2r$；当粒子在磁场中运动时间最长时，其轨迹对应的圆心角最大，此时弦长最大，其最大值为磁场圆的直径 $2r$，故 $t=\frac{T}{6}=\frac{\pi m}{3qB}=\frac{\pi}{3kB}$，故选 C。

**4.矩形磁场中的临界极值问题**(多选)如图所示，垂直于纸面向里的匀强磁场分布在正方形 *abcd* 区域内，*O* 点是 *cd* 边的中点。一个带正电的粒子仅在磁场力的作用下，从 *O* 点沿纸面以垂直于 *cd* 边的速度射入正方形内，经过时间 $t_0$ 后刚好从 *c* 点射出磁场。现设法使该带电粒子从 *O* 点沿纸面以与 *Od* 成 30°角的方向，以大小不同的速率射入正方形内，那么下列说法中正确的是(　　)




A．若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{5}{3}t_0$，则它一定从 *cd* 边射出磁场

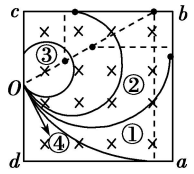
B．若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{2}{3}t_0$，则它一定从 *ad* 边射出磁场

C．若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{5}{4}t_0$，则它一定从 *bc* 边射出磁场

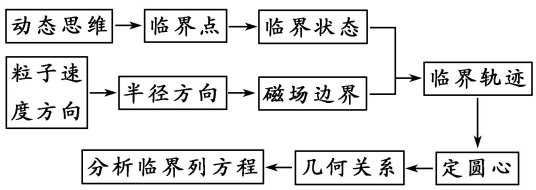
D．若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $t_0$，则它一定从 *ab* 边射出磁场

【答案】：　AC

【解析】：如图所示，作出粒子刚好从 *ab* 边射出的轨迹①、刚好从 *bc* 边射出的轨迹②、从 *cd* 边射出的轨迹③和刚好从 *ad* 边射出的轨迹④。由从 *O* 点沿纸面以垂直于 *cd* 边的速度射入正方形内，经过时间 $t_0$ 后刚好从 *c* 点射出磁场可知，带电粒子在磁场中做圆周运动的周期是 $2t_0$。由几何关系可知，从 *ad* 边射出磁场经历的时间一定小于 $\frac{1}{3}t_0$；从 *ab* 边射出磁场经历的时间一定大于等于 $\frac{1}{3}t_0$，小于 $\frac{5}{6}t_0$；从 *bc* 边射出磁场经历的时间一定大于等于 $\frac{5}{6}t_0$，小于 $\frac{4}{3}t_0$；从 *cd* 边射出磁场经历的时间一定是 $\frac{5}{3}t_0$。综上所述，A、C 正确。




**5.临界问题的一般解题流程**



## 考点十、带电粒子在复合场中的运动之粒子在组合场中的运动

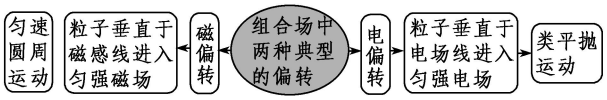
### 1．组合场

电场与磁场各位于一定的区域内，并不重复；或在同一区域分时间段交替出现。

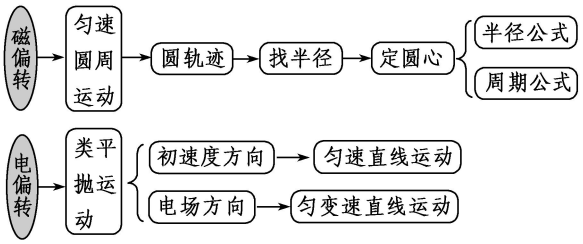
### 2．带电粒子在组合场中运动的分析思路

第 1 步：分阶段(分过程)按照时间顺序和进入不同的区域分成几个不同的阶段；

第 2 步：受力和运动分析，主要涉及两种典型运动，如下：

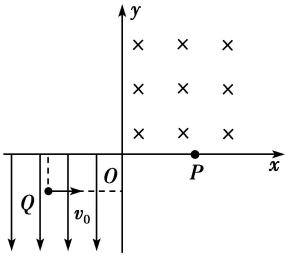



第 3 步：用规律




### 3.典例应用

1.(2017·天津卷·11)平面直角坐标系 $xOy$ 中，第Ⅰ象限存在垂直于平面向里的匀强磁场，第Ⅲ象限存在沿 $y$ 轴负方向的匀强电场，如图所示。一带负电的粒子从电场中的 $Q$ 点以速度 $v_0$ 沿 $x$ 轴正方向开始运动，$Q$ 点到 $y$ 轴的距离为到 $x$ 轴距离的 2 倍。粒子从坐标原点 $O$ 离开电场进入磁场，最终从 $x$ 轴上的 $P$ 点射出磁场，$P$ 点到 $y$ 轴距离与 $Q$ 点到 $y$ 轴距离相等。不计粒子重力，问：




(1)粒子到达 $O$ 点时速度的大小和方向；

(2)电场强度和磁感应强度的大小之比。

【答案】：　(1)$\sqrt{2}v_0$　速度方向与 $x$ 轴正方向成 45°角斜向上　(2)$\frac{v_0}{2}$

【解析】：(1)在电场中，粒子做类平抛运动，设 $Q$ 点到 $x$ 轴距离为 $L$，到 $y$ 轴距离为 $2L$，粒子的加速度为 $a$，运动时间为 $t$，有

$2L=v_0t$①

$L=\frac{1}{2}at^2$②

设粒子到达 $O$ 点时沿 $y$ 轴方向的分速度为 $v_y$

$v_y=at$③

设粒子到达 $O$ 点时速度方向与 $x$ 轴正方向夹角为$\alpha$，有

$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}$④

联立①②③④式得

$\alpha=45°$⑤

即粒子到达 $O$ 点时速度方向与 $x$ 轴正方向成 45°角斜向上。设粒子到达 $O$ 点时速度大小为 $v$，由运动的合成有

$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$⑥

联立①②③⑥式得

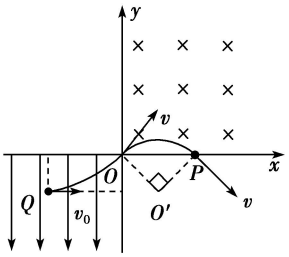
$v=\sqrt{2}v_0$⑦

(2)设电场强度为 $E$，粒子所带电荷量为 $q$，质量为 $m$，粒子在电场中受到的电场力为 $F$，由牛顿第二定律可得

$F=ma$⑧

又 $F=qE$⑨

设磁场的磁感应强度大小为 $B$，粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径为 $R$，所受的洛伦兹力提供向心力，有




$qvB=m\frac{v^2}{R}$⑩

由几何关系可知

$R=\sqrt{2}L$⑪

联立①②⑦⑧⑨⑩⑪式得

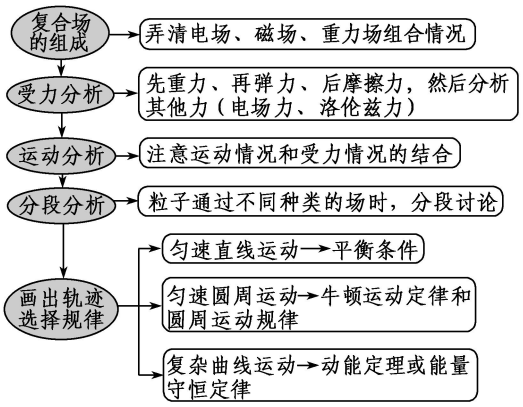
$\frac{E}{B}=\frac{v_0}{2}$⑫

## 考点十一、带电粒子在复合场中的运动之粒子在叠加场中的运动

### 1．叠加场

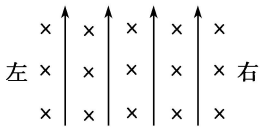
电场、磁场、重力场在同一区域共存，或其中两场在同一区域共存。

**2．带电粒子在叠加场中运动的分析方法**




**3.典例应用**

1.(2017·全国卷 1·16)如图，空间某区域存在匀强电场和匀强磁场，电场方向竖直向上(与纸面平行)，磁场方向垂直于纸面向里。三个带正电的微粒 a、b、c 电荷量相等，质量分别为 $m_a$、$m_b$、$m_c$。已知在该区域内，a 在纸面内做匀速圆周运动，b 在纸面内向右做匀速直线运动，c 在纸面内向左做匀速直线运动。下列选项正确的是(　　)




*A*．$m_a>m_b>m_c$　　B．$m_b>m_a>m_c$　　*C*．$m_c>m_a>m_b$　　D．$m_c>m_b>m_a$

【答案】:　B

【解析】:　设三个微粒的电荷量均为 $q$，$a$ 在纸面内做匀速圆周运动，说明洛伦兹力提供向心力，重力与电场力平衡，即：

$m_ag=qE$①

$b$ 在纸面内向右做匀速直线运动，三力平衡，则

$m_bg=qE+qvB$②

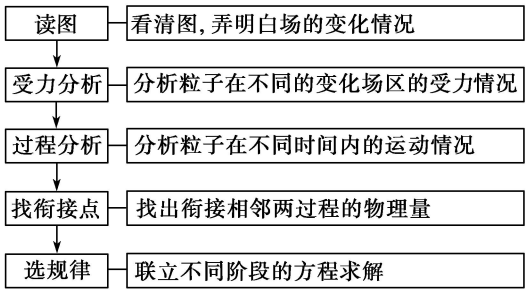
$c$ 在纸面内向左做匀速直线运动，三力平衡，则

$m_cg+qvB=qE$③

比较①②③式得：$m_b>m_a>m_c$，选项 B 正确。

## 考点十二、带电粒子在复合场中的运动之在交变电磁场中的运动

**1.解决带电粒子在交变电、磁场中的运动问题的基本思路**

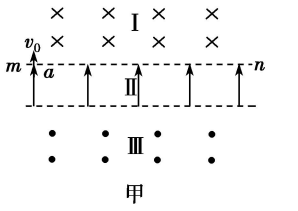



**2.典例应用**

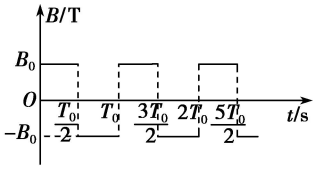
1.(2018·哈尔滨市模拟)如图甲所示，质量为 $m$ 带电荷量为$-q$ 的带电粒子在 $t=0$ 时刻由 $a$ 点以初速度 $v_0$ 垂直进入磁场，Ⅰ区域磁场磁感应强度大小不变方向周期性变化如图乙所示(垂直纸面向里为正方向)；Ⅱ区域为匀强电场，方向向上；Ⅲ区域为匀强磁场，磁感应强度大小与Ⅰ区域相同均为 $B_0$。粒子在Ⅰ区域内一定能完成半圆运动且每次经过 $mn$ 的时刻均为$\frac{T_0}{2}$整数倍，则

(1)粒子在Ⅰ区域运动的轨道半径为多少？

(2)若初始位置与第四次经过 $mn$ 时的位置距离为 $x$，求粒子进入Ⅲ区域时速度的可能值(初始位置记为第一次经过 $mn$)。




甲




乙

【答案】： (1)$\frac{mv_0}{qB_0}$或$\frac{v_0T_0}{2\pi}$ (2)$\frac{qB_0x}{2m}$ $\frac{qB_0x}{2m}-2v_0$

【解析】： (1)带电粒子在Ⅰ区域做匀速圆周运动，

洛伦兹力提供向心力，即 $qv_0B_0=m\frac{v_0^2}{r}$

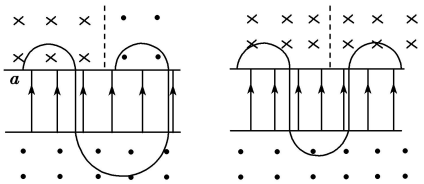
解得 $r=\frac{mv_0}{qB_0}$(或 $T_0=\frac{2\pi r}{v_0}$，$r=\frac{T_0v_0}{2\pi}$)。

(2)第一种情况：粒子在Ⅲ区域运动半径

$R=\frac{x}{2}$

$qv_2B_0=m\frac{v_2^2}{R}$

解得粒子在Ⅲ区域速度大小：$v_2=\frac{qB_0x}{2m}$



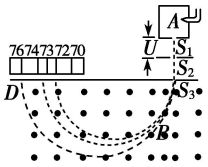

第二种情况：

粒子在Ⅲ区域运动半径 $R=\frac{x-4r}{2}$

粒子在Ⅲ区域速度大小：$v_2=\frac{qB_0x}{2m}-2v_0$。

## 考点十三、现代科技中有关复合场的应用类问题

**1．质谱仪**

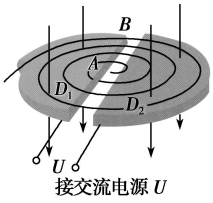



(1)构造：如图所示，由粒子源、加速电场、偏转磁场和照相底片等构成。

(2)原理：粒子在加速电场中由静止被加速，根据动能定理：$qU=\frac{1}{2}mv^2$，粒子在磁场中做匀速圆周运动：$qvB=\frac{mv^2}{R}$。

**2.回旋加速器**

(1)

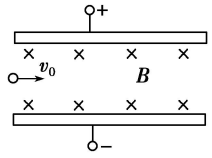
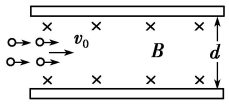
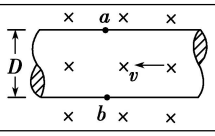
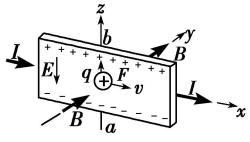



构造：如图所示，$D_1$、$D_2$ 是半圆形金属盒，$D$ 形盒的缝隙处接交流电源，$D$ 形盒处于匀强磁场中。

（2）原理：交流电的周期和粒子做圆周运动的周期相等，粒子经电场加速，经磁场回旋。由 $qvB=\frac{mv^2}{r}$ 得 $E_{km}=\frac{q^2B^2r^2}{2m}$，可见粒子获得的最大动能由磁感应强度 $B$ 和 $D$ 形盒半径 $r$ 决定，与加速电压无关。

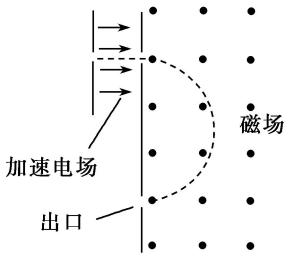
**（3）叠加场应用实例(速度选择器等)**

| 装置 | 原理图 | 规律 |
| --- | --- | --- |

| | | |
|---|---|---|
| 速度选择器 |  | 若 $qv_0B=Eq$，即 $v_0=\frac{E}{B}$，粒子做匀速直线运动 |
| 磁流体发电机 |  | 等离子体射入，受洛伦兹力偏转，使两极板带正、负电，两极电压为 $U$ 时稳定，$q\frac{U}{d}=qv_0B$，$U=Bdv_0$ |
| 电磁流量计 |  | $\frac{U}{D}q=qvB$，所以 $v=\frac{U}{DB}$，所以 $Q=vS=\frac{\pi DU}{4B}$ |
| 霍尔元件 |  | 当磁场方向与电流方向垂直时，导体在与磁场、电流方向都垂直的方向上出现电势差 |

**3.典例应用**

1.(2016·全国乙卷·15)现代质谱仪可用来分析比质子重很多倍的离子，其示意图如图所示，其中加速电压恒定。质子在入口处从静止开始被加速电场加速，经匀强磁场偏转后从出口离开磁场。若某种一价正离子在入口处从静止开始被同一加速电场加速，为使它经匀强磁场偏转后仍从同一出口离开磁场，需将磁感应强度增加到原来的 12 倍。此离子和质子的质量比约为(　　)




A．11　　B．12　　C．121　　D．144

【答案】：　D

【解析】：带电粒子在加速电场中运动时，有 $qU=\frac{1}{2}mv^2$，在磁场中偏转时，其半径 $r=\frac{mv}{qB}$，由以上两式整理得：$r=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$。由于质子与一价正离子的电荷量相同，$B_1:B_2=1:12$，当半径相等时，解得：$\frac{m_2}{m_1}=144$，选项 D 正确。

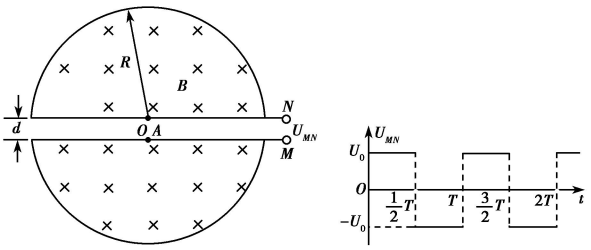
2.(2016·江苏单科·15)回旋加速器的工作原理如图甲所示，置于真空中的 $D$ 形金属盒半径为 $R$。两盒间狭缝的间距为 $d$，磁感应强度为 $B$ 的匀强磁场与盒面垂直。被加速粒子的质量为 $m$、电荷量为 $+q$，加在狭缝间的交变电压如图乙所示，电压值的大小为 $U_0$，周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$。一束该种粒子在 $t=0\sim\frac{T}{2}$ 时间内从 $A$ 处均匀地飘入狭缝，其初速度视为零。现考虑粒子在狭缝中的运动时间，假设能够出射的粒子每次经过狭缝均做加

速运动，不考虑粒子间的相互作用。求：

(1)出射粒子的动能 $E_m$；

(2)粒子从飘入狭缝至动能达到 $E_m$ 所需的总时间 $t_0$；

(3)要使飘入狭缝的粒子中有超过 99%能射出，$d$ 应满足的条件。




甲　　乙

【答案】：　(1)$\frac{q^2B^2R^2}{2m}$　　(2)$\frac{\pi BR^2+2BRd}{2U_0}-\frac{\pi m}{qB}$　　(3)$d<\frac{\pi mU_0}{100qB^2R}$

【解析】：(1)粒子运动半径为 $R$ 时

$qvB=m\frac{v^2}{R}$

且 $E_m=\frac{1}{2}mv^2$

解得 $E_m=\frac{q^2B^2R^2}{2m}$

(2)粒子被加速 $n$ 次达到动能 $E_m$，则 $E_m=nqU_0$

粒子在狭缝间做匀加速运动，设 $n$ 次经过狭缝的总时间为$\Delta t$

加速度 $a=\frac{qU_0}{md}$

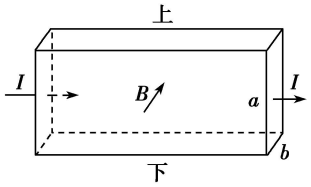
匀加速直线运动 $nd=\frac{1}{2}a\cdot\Delta t^2$

由 $t_0=(n-1)\cdot\frac{T}{2}+\Delta t$，解得 $t_0=\frac{\pi BR^2+2BRd}{2U_0}-\frac{\pi m}{qB}$

(3)只有在 $0\sim\left(\frac{T}{2}-\Delta t\right)$时间内飘入的粒子才能每次均被加速，则所占的比例为$\eta=\frac{\frac{T}{2}-\Delta t}{\frac{T}{2}}$

由$\eta>99\%$，解得 $d<\frac{\pi mU_0}{100qB^2R}$

3.如图所示，一段长方体形导电材料，左右两端面的边长都为 $a$ 和 $b$，内有带电荷量为 $q$ 的某种自由运动电荷。导电材料置于方向垂直于其前表面向里的匀强磁场中，内部磁感应强度大小为 $B$。当通以从左到右的稳恒电流 $I$ 时，测得导电材料上、下表面之间的电压为 $U$，且上表面的电势比下表面的低。由此可得该导电材料单位体积内自由运动电荷数及自由运动电荷的正负分别为(　　)



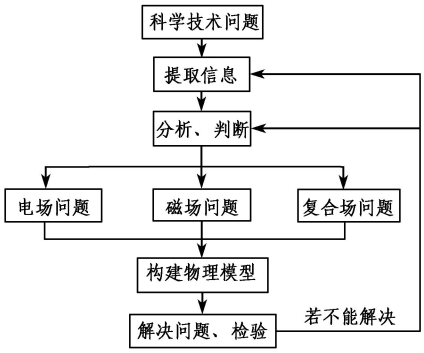

A.$\frac{IB}{|q|aU}$ 负　　B．$\frac{IB}{|q|aU}$ 正

C.$\frac{IB}{|q|bU}$ 负　　D．$\frac{IB}{|q|bU}$ 正

【答案】：　C

【解析】：　因导电材料上表面的电势比下表面的低，故上表面带负电荷，根据左手定则可判断自由运动电荷带负电，则 B、D 两项均错。设长方形材料长度为 $L$，总电量为 $Q$，则其单位体积内自由运动电荷数为$\frac{Q}{|q|ab\cdot L}$，当电流 $I$ 稳恒时，材料内的电荷所受电场力与磁场力相互平衡，则有$\frac{UQ}{a}=BIL$，故$\frac{Q}{|q|ab\cdot L}=\frac{BI}{|q|bU}$，A 项错误，C 项正确。

**4．解决实际问题的一般过程**




**5．关于加速器与选择器的几点注意**

(1)回旋加速器的加速电压增大时，粒子每次获得的动能增大，加速的次数减少，但粒子获得的最大动能不受加速电压变化的影响。

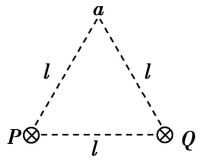
(2)带电粒子在速度选择器中若做曲线运动，则曲线运动不是“类平抛”运动。

(3)速度选择器、磁流体发电机、电磁流量计都利用了力的平衡知识。

## 第二部分、题型学习

### 题型一、左、右手定则的应用以及安培力大小的相关运算

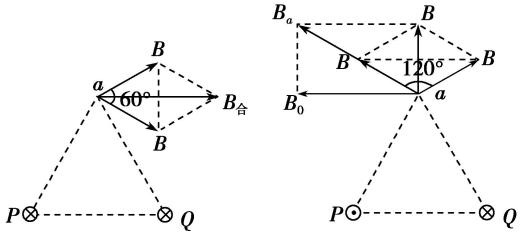
1．(2017·全国 3)如图，在磁感应强度大小为 $B_0$ 的匀强磁场中，两长直导线 P 和 Q 垂直于纸面固定放置，两者之间的距离为 l。在两导线中均通有方向垂直于纸面向里的电流 I 时，纸面内与两导线距离均为 l 的 a 点处的磁感应强度为零。如果让 P 中的电流反向、其他条件不变，则 a 点处磁感应强度的大小为(　　)




A．0　　B．$\frac{\sqrt{3}}{3}B_0$　　C．$\frac{2\sqrt{3}}{3}B_0$　　D．$2B_0$

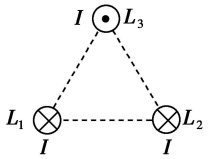
【答案】C

【解析】：　两长直导线 P 和 Q 在 a 点处的磁感应强度的大小相等，设为 B，方向如图甲所示，此时 a 点处的磁感应强度为零，则两磁感应强度的合磁感应强度 $B_{合}$的大小等于 $B_0$，方向与 $B_0$ 相反，即 $B_0$ 的方向水平向左，此时 $B=\frac{B_0}{2\cos 30°}=\frac{\sqrt{3}}{3}B_0$；让 P 中的电流反向、其他条件不变，两长直导线 P 和 Q 在 a 点处的磁感应强度的大小仍为 B，方向如图乙所示，则两磁感应强度的合磁感应强度大小为 B，方向竖直向上，B 与 $B_0$ 垂直，其合磁感应强度为 $B_a=\sqrt{B^2+B_0^2}=\frac{2\sqrt{3}}{3}B_0$，选项 *C* 正确。




甲　　乙

2．(多选)(2017·全国卷 1)如图，三根相互平行的固定长直导线 $L_1$、$L_2$ 和 $L_3$ 两两等距，均通有电流 I，$L_1$ 中电流方向与 $L_2$ 中的相同，与 $L_3$ 中的相反。下列说法正确的是(　　)




*A*．$L_1$ 所受磁场作用力的方向与 $L_2$、$L_3$ 所在平面垂直

*B*．$L_3$ 所受磁场作用力的方向与 $L_1$、$L_2$ 所在平面垂直

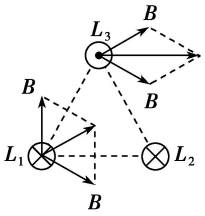
*C*．$L_1$、$L_2$ 和 $L_3$ 单位长度所受的磁场作用力大小之比为 $1∶1∶\sqrt{3}$

*D*．$L_1$、$L_2$ 和 $L_3$ 单位长度所受的磁场作用力大小之比为 $\sqrt{3}∶\sqrt{3}∶1$

【答案】：　*BC*

【解析】：如图，由磁场的叠加知，$L_2$ 与 $L_3$ 中的电流在 $L_1$ 处产生的合磁场的方向在 $L_2$、$L_3$ 连线的中垂线上，由左手定则知，$L_1$ 所受磁场作用力的方向与 $L_2$、$L_3$ 所在平面平行。选项 *A* 错误。

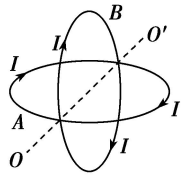
$L_1$ 与 $L_2$ 中的电流在 $L_3$ 处产生的合磁场的方向与 $L_1$、$L_2$ 的连线平行，由左手定则知，$L_3$ 所受磁场作用力的方向与 $L_1$、$L_2$ 所在平面垂直。选项 *B* 正确。




由几何关系知，设电流在另外导线处产生磁场的磁感应强度为 B，而 $L_1$、$L_2$ 所在处两个磁场方向的夹角均为 120°，则 $B_{合}=B$，而 $L_3$ 所在处两个磁场方向的夹角为 60°，则 $B'_{合}=\sqrt{3}B$，由 $F=ILB$ 知，$L_1$、$L_2$ 和 $L_3$ 单位长度所受的磁场作用力大小之比为 $1:1:\sqrt{3}$。选项 *C* 正确，选项 *D* 错误。

## 题型二、安培力作用下导体运动情况的定性判断

3.(2018·杭州五校联考)如图所示，两个完全相同且相互绝缘、正交的金属环 *A*、*B*，可沿轴线 *OO*′自由转动，现通以图示方向电流，沿 *OO*′看去会发现(　　)




A．*A* 环、*B* 环均不转动

B．*A* 环将逆时针转动，*B* 环也逆时针转动，两环相对不动

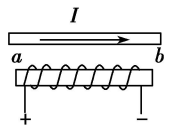
C．*A* 环将顺时针转动，*B* 环也顺时针转动，两环相对不动

D．*A* 环将顺时针转动，*B* 环将逆时针转动，两者吸引靠拢至重合为止

【答案】:　D

【解析】:由安培定则可得，*A* 环产生的磁场方向向下，*B* 环产生的磁场方向向左，两磁场相互作用后有磁场的方向趋向一致的趋势，所以 *A* 环顺时针转动，*B* 环逆时针转动，二者相互靠拢，直至重合，选项 D 正确。

4.一直导线平行于通电螺线管的轴线放置在螺线管的上方，如图所示，如果直导线可以自由地运动且通以由 *a* 到 *b* 的电流，则关于导线 *ab* 受磁场力后的运动情况，下列说法正确的是(　　)




A．从上向下看顺时针转动并靠近螺线管

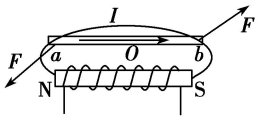
B．从上向下看顺时针转动并远离螺线管

C．从上向下看逆时针转动并远离螺线管

D．从上向下看逆时针转动并靠近螺线管

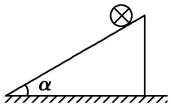
【答案】: D

【解析】: 由安培定则可判定通电螺线管产生的磁场方向，导线等效为 $Oa$、$Ob$ 两电流元，由左手定则可判定两电流元所受安培力的方向，如图所示，所以从上向下看导线逆时针转动，当转过 90°时再用左手定则可判定导线所受磁场力向下，即导线在逆时针转动的同时还要靠近螺线管，D 对。




## 题型三、平衡状态下安培力作用下的相关定量运算

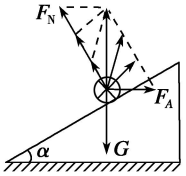
5.(2018·河南开封模拟)如图所示，在倾角为$\alpha$的光滑斜面上，水平放置一根长为 $l$、质量为 $m$ 的直导体棒。当导体棒中的恒定电流 $I$ 垂直于纸面向里时，欲使导体棒静止在斜面上，可将导体棒置于匀强磁场中，当外加匀强磁场的磁感应强度 $B$ 的方向由竖直向上逆时针转至水平向左的过程中，关于 $B$ 的大小的变化，正确的是(　　)



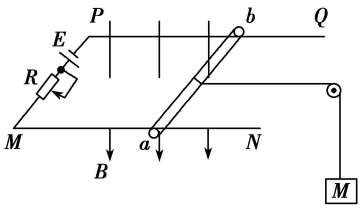

A．逐渐增大　　B．逐渐减小　　C．先增大后减小　　D．先减小后增大

【答案】: D

【解析】: 对导体棒受力分析，受重力 $G$、支持力 $F_N$ 和安培力 $F_A$，三力平衡，合力为零，其变化过程如图所示，可以看出，安培力 $F_A$ 先变小后变大，由于 $F_A=BIl$，其中电流 $I$ 和导体棒的长度 $l$ 均不变，故磁感应强度先变小后变大，选项 D 正确。




6．(2018·河南六市模拟)如图所示，$PQ$ 和 $MN$ 为水平平行放置的金属导轨，相距 $L=1$ m。$P$、$M$ 间接有一个电动势为 $E=6$ V，内阻不计的电源和一只滑动变阻器，导体棒 $ab$ 跨放在导轨上并与导轨接触良好，棒的质量为 $m=0.2$ kg，棒的中点用细绳经定滑轮与物体相连，物体的质量 $M=0.4$ kg。棒与导轨的动摩擦因数为$\mu=0.5$(设最大静摩擦力与滑动摩擦力相等，导轨与棒的电阻不计，$g$ 取 10 m/s$^2$)，匀强磁场的磁感应强度 $B=2$ T，方向竖直向下，为了使物体保持静止，滑动变阻器连入电路的阻值不可能的是(　　)




A．2 Ω　　B．2.5 Ω

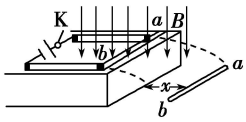
C．3 Ω　　D．4 Ω

【答案】：　A

【解析】：　对棒受力分析可知，其必受绳的拉力 $F_T=Mg$ 和安培力 $F_{安}=BIL=\frac{BEL}{R}$。若摩擦力向左，且满足 $\frac{BEL}{R_1}+\mu mg=Mg$，代入数据解得 $R_1=4\ \Omega$；若摩擦力向右，且满足 $\frac{BEL}{R_2}-\mu mg=Mg$，代入数据解得 $R_2=2.4\ \Omega$，所以 $R$ 的取值范围为 $2.4\ \Omega\le R\le 4\ \Omega$，则选 A。

## 题型四、安培力作用下的功能关系

7.如图所示，在水平放置的平行导轨一端架着一根质量 $m=0.04$ kg 的金属棒 $ab$，导轨另一端通过开关与电源相连。该装置放在高 $h=20$ cm 的绝缘垫块上。当有竖直向下的匀强磁场时，接通开关金属棒 $ab$ 会被抛到距导轨右端水平位移 $x=100$ cm 处。试求开关接通后安培力对金属棒做的功。　($g$ 取 10 m/s$^2$)




【答案】：　0.5 J

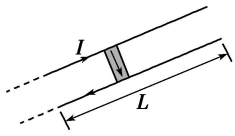
【解析】：在接通开关到金属棒离开导轨的短暂时间内，安培力对金属棒做的功为 $W$，由动能定理得：$W=\frac{1}{2}mv^2$

设平抛运动的时间为 $t$，则竖直方向：

$h=\frac{1}{2}gt^2$

水平方向：$x=vt$ 解得：$W=0.5$ J。

8.(多选)电磁轨道炮工作原理如图所示。待发射弹体可在两平行轨道之间自由移动，并与轨道保持良好接触。电流 $I$ 从一条轨道流入，通过导电弹体后从另一条轨道流回。轨道电流可形成在弹体处垂直于轨道面的磁场(可视为匀强磁场)，磁感应强度的大小与 $I$ 成正比。通电的弹体在轨道上受到安培力的作用而高速射出。现欲使弹体的出射速度增加至原来的 2 倍，理论上可采用的办法是(　　)



A．只将轨道长度 $L$ 变为原来的 2 倍

B．只将电流 $I$ 增加至原来的 2 倍

C．只将弹体质量减至原来的一半

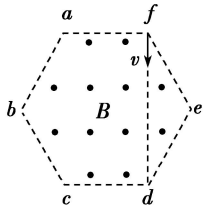
D．将弹体质量减至原来的一半，轨道长度 $L$ 变为原来的 2 倍，其他量不变

【答案】： BD

【解析】： 由题意可知磁感应强度 $B=kI$，安培力 $F=BId=kI^2d$，由动能定理可得：$FL=\frac{mv^2}{2}$，解得 $v=I\sqrt{\frac{2kdL}{m}}$，由此式可判断 B、D 选项正确。

## 题型五、带电粒子在磁场中运动问题中有关速率、时间的大小的相关计算

9.(2016·四川理综·4)如图所示，正六边形 $abcdef$ 区域内有垂直于纸面的匀强磁场。一带正电的粒子从 $f$ 点沿 $fd$ 方向射入磁场区域，当速度大小为 $v_b$ 时，从 $b$ 点离开磁场，在磁场中运动的时间为 $t_b$；当速度大小为 $v_c$ 时，从 $c$ 点离开磁场，在磁场中运动的时间为 $t_c$，不计粒子重力。则(　　)




A．$v_b∶v_c=1∶2$，$t_b∶t_c=2∶1$

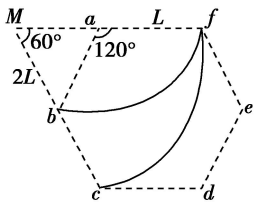
B．$v_b∶v_c=2∶1$，$t_b∶t_c=1∶2$

C．$v_b∶v_c=2∶1$，$t_b∶t_c=2∶1$

D．$v_b∶v_c=1∶2$，$t_b∶t_c=1∶2$

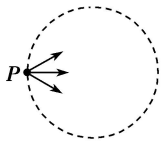
【答案】： A

【解析】： 由定圆心的方法知，粒子以 $v_b$ 射入时轨迹圆心在 $a$ 点，半径为正六边形边长 $L$；粒子以 $v_c$ 射入时轨迹圆心在 $M$ 点，半径为 $2L$(如图)；由半径公式 $r=\frac{mv}{qB}$可得 $v_b∶v_c=r_b∶r_c=1∶2$，由几何图形可看出，两个圆弧轨迹所对圆心角分别是 120°、60°，所以 $t_b∶t_c=2∶1$，A 项正确。




10．(2017·全国卷 2)如图，虚线所示的圆形区域内存在一垂直于纸面的匀强磁场，P 为磁场边界上的一点。大量相同的带电粒子以相同的速率经过 P 点，在纸面内沿不同方向射入磁场。若粒子射入速率为 $v_1$，这些

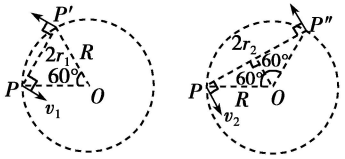
粒子在磁场边界的出射点分布在六分之一圆周上；若粒子射入速率为 $v_2$，相应的出射点分布在三分之一圆周上。不计重力及带电粒子之间的相互作用。则 $v_2:v_1$ 为(　　)




A.$\sqrt{3}:2$　　B．$\sqrt{2}:1$　　C.$\sqrt{3}:1$　　D．$3:\sqrt{2}$

【答案】:　C

【解析】:　相同的带电粒子垂直匀强磁场入射均做匀速圆周运动。粒子以 $v_1$ 入射，一端为入射点 P，对应圆心角为 60°(对应六分之一圆周)的弦 PP′必为垂直该弦入射粒子运动轨迹的直径 $2r_1$，如图甲所示，设圆形区域的半径为 R，由几何关系知 $r_1=\frac{1}{2}R$。其他不同方向以 $v_1$ 入射的粒子的出射点在 PP′对应的圆弧内。




同理可知，粒子以 $v_2$ 入射及出射情况，如图乙所示。由几何关系知 $r_2=\sqrt{R^2-\left(\frac{R}{2}\right)^2}=\frac{\sqrt{3}}{2}R$，

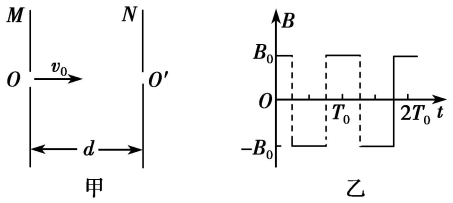
可得 $r_2:r_1=\sqrt{3}:1$。

因为 m、q、B 均相同，由公式 $r=\frac{mv}{qB}$ 可得 $v\propto r$，

所以 $v_2:v_1=\sqrt{3}:1$。故选 *C*。

## 题型六、带电粒子在磁场中运动问题中的多解问题

11．(2018·天水模拟)如图甲所示，*M*、*N* 为竖直放置彼此平行的两块平板，板间距离为 *d*，两板中央各有一个小孔 *O*、*O*′正对，在两板间有垂直于纸面方向的磁场，磁感应强度随时间的变化如图乙所示，设垂直纸面向里的磁场方向为正方向。有一群正离子在 $t=0$ 时垂直于 *M* 板从小孔 *O* 射入磁场。已知正离子质量为 *m*、带电荷量为 *q*，正离子在磁场中做匀速圆周运动的周期与磁感应强度变化的周期都为 $T_0$，不考虑由于磁场变化而产生的电场的影响。求：




(1)磁感应强度 $B_0$ 的大小。

(2)要使正离子从 $O'$ 孔垂直于 $N$ 板射出磁场，正离子射入磁场时的速度 $v_0$ 的可能值。

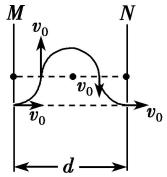
【答案】：　(1)$\frac{2\pi m}{qT_0}$　(2)$\frac{\pi d}{2nT_0}(n=1,2,3,\ldots)$

【解析】：　(1)正离子射入磁场，由洛伦兹力提供向心力，即

$qv_0B_0=\frac{mv_0^2}{r}$

做匀速圆周运动的周期 $T_0=\frac{2\pi r}{v_0}$

联立两式得磁感应强度 $B_0=\frac{2\pi m}{qT_0}$




(2)要使正离子从 $O'$ 孔垂直于 $N$ 板射出磁场，离子的运动轨迹如图所示，两板之间正离子只运动一个周期即 $T_0$ 时，有 $r=\frac{d}{4}$

当在两板之间正离子共运动 $n$ 个周期，

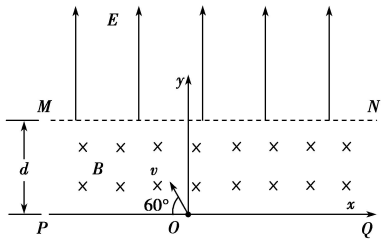
即 $nT_0$ 时，有 $r=\frac{d}{4n}(n=1,2,3,\ldots)$

联立求解，得正离子的速度的可能值为

$v_0=\frac{B_0qr}{m}=\frac{\pi d}{2nT_0}(n=1,2,3,\ldots)$

## 题型七、带电粒子在复合场中的运动的综合类考查

12.(多选)如图所示，在长度足够长、宽度 $d=5$ cm 的区域 $MNQP$ 内，有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度 $B=0.33$ T。水平边界 $MN$ 上方存在范围足够大的竖直向上的匀强电场，电场强度 $E=200$ N/C。现有一质量 $m=6.6\times10^{-27}$ kg、电荷量 $q=3.2\times10^{-19}$ C 的带负电的粒子，从边界 $PQ$ 上的 $O$ 点与 $x$ 轴负方向成 60° 角射入磁场，射入时的速度大小 $v=1.6\times10^{6}$ m/s，不计粒子的重力。则下列说法正确的是(　　)




A．粒子在磁场中运动的时间约为 $3.27\times10^{-8}$ s

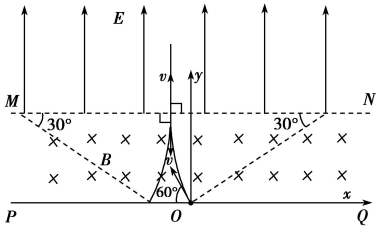
B．粒子在电场中运动的时间约为 $t=3.3\times10^{-4}$ s

C．粒子在电场中做匀变速直线运动

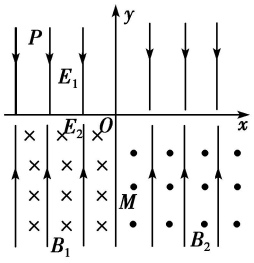
D．粒子在电场中做匀速直线运动

【答案】： BC

【解析】： 根据题意由洛伦兹力提供向心力有，$qvB=m\frac{v^2}{r}$，解得 $r=0.1$ m，$T=\frac{2\pi m}{Bq}=3.925\times10^{-7}$ s，粒子的运动轨迹如图所示，由几何关系知，粒子在磁场中运动的圆心角为 30°，所以粒子在磁场中运动的时间 $2t_1=2\times\frac{1}{12}T=6.54\times10^{-8}$ s，A 错误；由几何关系知粒子平行于电场方向进入电场，粒子在电场中运动的加速度 $a=\frac{qE}{m}$，粒子在电场中运动的时间 $t=\frac{2v}{a}$，解得 $t=3.3\times10^{-4}$ s，B、C 正确，D 错误。




13.在竖直 $xOy$ 平面内，第Ⅰ、Ⅱ象限存在沿 $y$ 轴负方向的匀强电场 1，场强大小为 $E_1$，在第Ⅲ、Ⅳ象限内，存在垂直于 $xOy$ 平面的匀强磁场和沿 $y$ 轴正方向的匀强电场 2，场强大小为 $E_2$，磁场方向如图所示，磁感应强度 $B_1=B_0$，$B_2=\frac{B_0}{2}$，电场强度大小 $E_1=E_2=\frac{mg}{q}$。两质量为 $m$、带电荷量为 $+q$ 的粒子 $a$、$b$ 同时分别从第Ⅱ、Ⅰ象限的 $P$、$Q$ 两点(图中没有标出)由静止释放后，同时进入匀强磁场和匀强电场复合场区中，且第一次经过 $y$ 轴时都过点 $M(0，-\sqrt{3}l)$。粒子 $a$ 在 $M$ 点时的速度方向 与 $y$ 轴正方向成 60°角，不计两粒子间的相互作用。求：

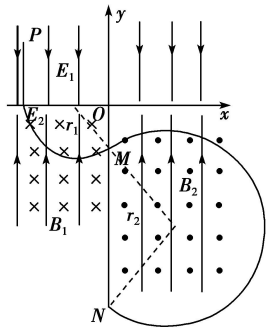



(1)粒子 $a$ 第一次在第Ⅲ、Ⅳ象限复合场中运动的时间之比；

(2)粒子 $b$ 在第Ⅳ象限内复合场中运动的轨迹半径。

【答案】： (1)1∶4 (2)4$l$

【解析】： (1)粒子 $a$ 进入复合场区中，电场力和重力平衡，$qE=mg$，粒子 $a$ 在第Ⅲ象限做匀速圆周运动，画出粒子 $a$ 的运动轨迹，如图所示，




洛伦兹力提供向心力，设粒子 $a$ 从第Ⅱ象限进入第Ⅲ象限时的速度大小为 $v$，在第Ⅲ象限内运动的轨迹半径为 $r_1$，则 $qvB_0=\frac{mv^2}{r_1}$，解得 $r_1=\frac{mv}{qB_0}$

运动周期 $T_1=\frac{2\pi r_1}{v}=\frac{2\pi m}{qB_0}$

由几何知识可知粒子 $a$ 在第Ⅲ象限运动的轨迹对应的圆心角 $\theta_1=\frac{2\pi}{3}$，运动时间 $t_1=\frac{1}{3}T_1=\frac{2\pi m}{3qB_0}$

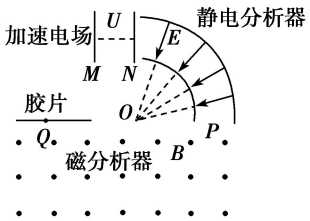
同理，粒子 $a$ 在第Ⅳ象限内做匀速圆周运动的半径 $r_2=\frac{2mv}{qB_0}$，运动周期 $T_2=\frac{2\pi r_2}{v}=\frac{4\pi m}{qB_0}$，由几何知识可知粒子 $a$ 在第Ⅳ象限运动的轨迹对应的圆心角 $\theta_2=\frac{4\pi}{3}$，运动时间 $t_2=\frac{2}{3}T_2=\frac{8\pi m}{3qB_0}$，所以 $t_1:t_2=1:4$

(2)由几何知识可知，粒子 $a$ 在第Ⅲ象限内运动的轨迹半径 $r_1=\frac{\sqrt{3}l}{\sin 60^\circ}=2l$

由(1)可知，粒子 $a$ 在第Ⅳ象限内运动的轨迹半径 $r_2=2r_1=4l$

由题意可知，粒子 $a$、$b$ 进入匀强磁场和匀强电场的速度大小相等，在第Ⅳ象限做匀速圆周运动的半径也相等，故粒子 $b$ 在第Ⅳ象限的半径 $r'=r_2=4l$。

14.(多选)(2018·西安地区八校高三年级联考)如图为一种质谱仪示意图，由加速电场、静电分析器和磁分析器组成，若静电分析器通道中心线的半径为 $R$，通道内均匀辐射电场在中心线处的电场强度大小为 $E$，磁分析器有范围足够大的有界匀强磁场，磁感应强度大小为 $B$、方向垂直纸面向外，一质量为 $m$、电荷量为 $q$ 的粒子从静止开始经加速电场加速后沿中心线通过静电分析器，由 $P$ 点垂直边界进入磁分析器，最终打到胶片上的 $Q$ 点，不计粒子重力，下列说法中正确的是(　　)




A．极板 $M$ 比极板 $N$ 电势高

B．加速电场的电压 $U=ER$

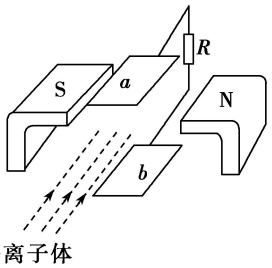
C．直径 $PQ=2B\sqrt{qmER}$

D．若一群粒子从静止开始经过上述过程都落在胶片上同一点，则该群粒子具有相同的比荷

【答案】： AD

【解析】： 由左手定则可知，粒子带正电，而粒子在 $M$、$N$ 间被加速，所以 $M$ 板的电势高于 $N$ 板，A 正确；根据电场力提供向心力，则有 $qE=m\frac{v^2}{R}$，又粒子在加速电场中运动，有 $qU=\frac{1}{2}mv^2$，从而解得 $U=\frac{ER}{2}$，B 错误；根据洛伦兹力提供向心力，有 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，结合上式可知，$PQ=2r=\frac{2\sqrt{ER}}{B}\cdot\sqrt{\frac{m}{q}}$，若一群粒子从静止开始经过上述过程都落在胶片上同一点说明运动的直径相同，由于磁感应强度、电场强度与静电分析器的半径不变，则该群粒子具有相同的比荷，C 错误，D 正确。

15.(多选)(2019·内蒙古包头市模拟)如图是磁流体发电机的装置，$a$、$b$ 组成一对平行电极，两板间距为 $d$，板平面的面积为 $S$，内有磁感应强度为 $B$ 的匀强磁场。现持续将一束等离子体(即高温下电离的气体，含有大量带正电和负电的微粒，而整体呈中性)，垂直磁场喷入，每个离子的速度为 $v$，负载电阻阻值为 $R$，当发电机稳定发电时，负载中电流为 $I$，则(　　)




A．$a$ 板电势比 $b$ 板电势低

B．磁流体发电机的电动势 $E=Bdv$

C．负载电阻两端的电压大小为 $Bdv$

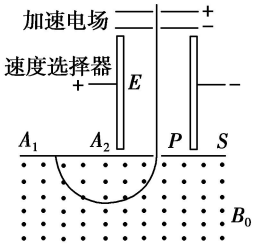
D．两板间等离子体的电阻率$\rho=\frac{Bdv-IR}{Id}S$

【答案】： BD

【解析】： 参看磁流体发电机的装置图，利用左手定则可知，正、负微粒通过发电机内部时，带正电微粒向上偏，带负电微粒向下偏，则知 $a$ 板电势比 $b$ 板电势高，所以 A 错误；当发电机稳定发电时，对微粒有 $F_{洛}=F_{电}$，即 $Bqv=\frac{E}{d}q$，得电动势 $E=Bdv$，所以 B 正确；闭合电路欧姆定律有 $U_R+U_r=E$，又 $E=Bdv$，则负载电阻两端的电压 $U_R<Bdv$，所以 C 错误；由闭合电路欧姆定律有 $I=\frac{E}{r+R}$，由电阻定律有 $r=\rho\frac{d}{S}$，得$\rho=\frac{Bdv-IR}{Id}S$，所以 D 正确。

16.(多选)如图是质谱仪的工作原理示意图。带电粒子被加速电场加速后，进入速度选择器。速度选择器内相互正交的匀强磁场和匀强电场的强度分别为 $B$ 和 $E$。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 $S$ 下方有强度为 $B_0$ 的匀强磁场。下列表述正确的是(　　)




A．质谱仪是分析同位素的重要工具

B．速度选择器中的磁场方向垂直于纸面向外

C．能通过狭缝 $P$ 的带电粒子的速率等于$\frac{E}{B}$

D．粒子打在胶片上的位置越靠近狭缝 $P$，粒子的比荷越小

【答案】:　ABC

【解析】:　质谱仪是分析同位素的重要工具，A 正确。在速度选择器中，带电粒子所受电场力和洛伦兹力在粒子沿直线运动时应等大反向，结合左手定则可知 B 正确。由 $qE=qvB$ 可得 $v=\frac{E}{B}$，C 正确。粒子在平板 $S$ 下方的匀强磁场中做匀速圆周运动的半径 $R=\frac{mv}{qB_0}$，所以$\frac{q}{m}=\frac{v}{B_0R}$，D 错误。