**专题10·安培力和洛伦兹力**

**题型1安培力的综合问题**难度★★考频★★★

|  |
| --- |
| 备考策略  1*.*解决安培力问题的方法  在磁场中,当通电导线中电流方向与磁场方向垂直时,所受安培力大小为*F*=*BIL.*通常用左手定则判断安培力的方向*.*  推论:导线间的安培力——同向电流相互吸引,反向电流相互排斥*.*  在得到安培力后,在仅受安培力时利用动量定理*F*安Δ*t*=*m*Δ*v*、牛顿第二定律*F*安=*ma*求解问题,常用公式:通电直导线附近磁场大小满足*B*=*k*,*r*是与导线间的距离*.*  2*.*求解安培力作用下的动力学问题的一般思路 |

题型例析

例1 [湖北2022*·*11,4分](多选)如图所示,两平行导轨在同一水平面内*.*一导体棒垂直放在导轨上,棒与导轨间的动摩擦因数恒定*.*整个装置置于匀强磁场中,磁感应强度大小恒定,方向与导体棒垂直、与水平向右方向的夹角*θ*可调*.*导体棒沿导轨向右运动,现给导体棒通以图示方向的恒定电流,适当调整磁场方向,可以使导体棒沿导轨做匀加速运动或匀减速运动*.*已知导体棒加速时,加速度的最大值为*g*;减速时,加速度的最大值为*g*,其中*g*为重力加速度大小*.*下列说法正确的是(　　)



A.棒与导轨间的动摩擦因数为

B.棒与导轨间的动摩擦因数为

C.加速阶段加速度大小最大时,磁场方向斜向下,*θ*=60*°*

D.减速阶段加速度大小最大时,磁场方向斜向上,*θ*=150*°*

解析▶本题的题眼是“适当调整磁场方向,可以使导体棒沿导轨做匀加速运动或匀减速运动”*.*涉及最值问题,可以考虑利用数学函数求解*.*

由安培力公式*F*=*BIL*可知,导体棒所受安培力大小恒定*.*当导体棒加速且加速度最大时,合力向右且最大,受力分析可知安培力应该斜向右上方,根据左手定则可得磁场方向斜向右下方;磁场方向斜向右下方时,有*F*sin *θ*-*μ*(*mg*-*F*cos *θ*)=*ma*,解得*a*=(sin *θ*+*μ*cos *θ*)·-*μg*,令cos *α*=,sin *α*=,根据数学知识可得*a*=sin(*θ*+*α*)·-*μg*,当*θ*=90*°*-*α*时*a*有最大值,*a*m=-*μg*=*g*①*.*当导体棒减速且加速度最大时,合力向左且最大,受力分析可知安培力应该斜向左下方,根据左手定则可得磁场方向斜向左上方;磁场方向斜向左上方时有*F*sin(π-*θ*)+*μ*[*mg*+*F*cos(π-*θ*)]=*ma'*,解得*a'*=(sin *θ*-*μ*cos *θ*)+*μg*=·sin(*θ*-*α*)·+*μg*,当*θ*=90*°*+*α*时*a'*有最大值,*a'*m=+*μg*=*g*②*.*联立①②可得*μ*=,则*α*=30*°*,加速阶段加速度大小最大时*θ*=60*°*,减速阶段加速度大小最大时*θ*=120*°.*故B、C正确,A、D错误*.*

答案BC

例2 [湖南永州2023三模]一正方形的中心*O*和四个顶点均固定着平行长直导线,若所有平行长直导线均通入大小相等的恒定电流,电流方向如图中所示,下列截面图中中心长直导线所受安培力最大的是source:si_idm989475104;FounderCES已知通电直导线附近磁场大小满足*B*=*k*,其中*r*是到导线的距离source:si_idm989441312;FounderCES(　　)

A　　　B

C　　　D

解析▶本题的题眼是“所有平行长直导线均通入大小相等的恒定电流”*.*

方法一:受力分析

同向电流相互吸引,异向电流相互排斥*.*

根据“同向电流相互吸引,异向电流相互排斥”,由顶点处导线中通入电流大小相等,且四顶点到*O*点距离相等,可设四根导线与中间的导线的相互作用力大小均为*F*,则分析如图所示,对中间导线,A所受合力为零,B和C所受合力大小为2*F*,D所受合力大小为2*F*,故中心长直导线所受安培力最大的是D*.*

A　　　B

C　　　D

方法二:磁场分析

根据左手定则,判断磁场中安培力方向,再进行矢量叠加计算合安培力*.*

设四顶点处导线在*O*点处产生的磁感应强度大小为*B*,由对称性可知A中*O*点合磁感应强度为零,直导线所受安培力为零,对B中分析可知导线在*O*点的合磁感应强度为2*B*、方向水平向右,安培力大小*F*=2*BIL*,对C同理可得导线在*O*点的合磁感应强度为2*B*、方向竖直向上,安培力大小*F*=2*BIL*,D中上下两根导线在*O*点产生的磁感应强度为2*B*、方向水平向右,左右两根导线在*O*点产生的磁感应强度为2*B*、方向竖直向下,四根导线在*O*点的合磁感应强度为2*B*,中心直导线所受安培力大小*F*=2*BIL*,安培力最大的是D,故D正确,A、B、C错误*.*

答案D

**题型2带电粒子在磁场中的运动问题**难度★★★考频★★★

|  |
| --- |
| 备考策略  解决带电粒子在匀强磁场中运动问题的方法  (1)寻找粒子运动的圆心和轨迹半径,画出带电粒子在匀强磁场中的运动轨迹,满足运动轨迹圆心角等于速度偏向角,根据运动轨迹寻找几何关系*.*  常用几何关系:①对于直线边界,进出磁场时速 |
| 度与边界的夹角相同;②对于圆形边界,进出磁场时速度延长线与过进出点的磁场半径的夹角相同;③通常利用两速度垂线或一速度垂线一弦中垂线确定圆心、半径*.* |
| (2)写出基本公式,洛伦兹力提供向心力,有*qvB*=,半径*r*=,周期*T*==*.*  (3)常见临界轨迹:与磁场边界相切;从端点射出磁场;最大弦长或最小弦长对应轨迹;放缩圆(适用于磁感应强度或速度大小变化的情况);旋转圆(适用于速度方向变化的情况)  (4)联立基本公式和几何方程进行分析计算*.* |

例3 [全国甲2023*·*20,6分](多选)光滑刚性绝缘圆筒内存在着平行于轴的匀强磁场,筒上*P*点开有一个小孔,过*P*的横截面是以*O*为圆心的圆,如图所示*.*一带电粒子从*P*点沿*PO*射入,然后与筒壁发生碰撞*.*假设粒子在每次碰撞前、后瞬间,速度沿圆上碰撞点的切线方向的分量大小不变,沿法线方向的分量大小不变、方向相反;电荷量不变*.*不计重力*.*下列说法正确的是(　　)



A*.*粒子的运动轨迹可能通过圆心*O*

B*.*最少经2次碰撞,粒子就可能从小孔射出

C*.*射入小孔时粒子的速度越大,在圆内运动时间越短

D*.*每次碰撞后瞬间,粒子速度方向一定平行于碰撞点与圆心*O*的连线

解析▶本题的题眼是“粒子在每次碰撞前、后瞬间,速度沿圆上碰撞点的切线方向的分量大小不变,沿法线方向的分量大小不变、方向相反”*.*对于圆形边界,进磁场时速度方向过圆心,出磁场时速度的反向延长线也过圆心*.*



甲

假设粒子带负电,第一次在*A*点和筒壁发生碰撞如图甲所示,*O*1为粒子做圆周运动轨迹的圆心,由几何关系可知∠*O*1*AO*为直角,即粒子此时的速度方向由*O*指向*A*,说明粒子在和筒壁碰撞后速度会反向,由圆的对称性可知,在其他点撞击时粒子速度方向一定平行于碰撞点与圆心*O*的连线,故D正确;假设粒子运动过程过*O*点,则过*P*点的速度的垂线和*OP*连线的中垂线是平行的,



乙

不能交于一点确定圆心,由圆形对称性可知撞击筒壁以后的*A*点的速度垂线和*AO*连线的中垂线依旧平行,不能确定圆心,则粒子不可能过*O*点,故A错误;若粒子可以射出磁场,以运动轨迹的圆心为多边形顶点,该多边形是以筒壁为内接圆的多边形,碰撞次数最少时应为三角形,如图乙所示,即撞击2次,故B正确;设粒子在磁场中做圆周运动的轨迹半径为*r*,且粒子在圆内做*n*段运动后从*P*点离开,圆筒的半径为*R*,∠*PO*1*A*=2*θ*,由几何关系有tan *θ*=,粒子在磁场中做匀速圆周运动,有*qvB*=,解得*r*=,粒子在磁场中运动的时间*t*=*n*·*T*=··=,由于*n*无法确定,则粒子在圆内运动的时间无法确定,故C错误*.*

答案BD

例4 [湖北2022*·*8,4分](多选)在如图所示的平面内,分界线*SP*将宽度为*L*的矩形区域分成两部分,一部分充满方向垂直于纸面向外的匀强磁场,另一部分充满方向垂直于纸面向里的匀强磁场,磁感应强度大小均为*B*,*SP*与磁场左右边界垂直*.*离子源从*S*处射入速度大小不同的正离子,离子入射方向与磁场方向垂直且与*SP*成30*°*角*.*已知离子比荷为*k*,不计重力*.*若离子从*P*点射出,设出射方向与入射方向的夹角为*θ*,则离子的入射速度和对应*θ*角的可能组合为(　　)



A.*kBL*,0*°*  B.*kBL*,0*°*

C.*kBL*,60*°* D.2*kBL*,60*°*

解析▶本题的题眼是“离子从*P*点射出,设出射方向与入射方向的夹角为*θ*”*.*离子在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动,由于在不同磁场中射出造成离子在有界匀强磁场中运动的多解问题*.*

若离子最后经过下部分磁场从*P*点射出,如图1所示,则*θ*=60*°*,*R*=(*n*=1,3,5,…),又*qvB*=*m*·,可得*v*==(*n*=1,3,5,…);若离子最后经过上部分磁场从*P*点射出,如图2所示,则*θ*=0*°*,*R*=(*n*=2,4,6,…),又*qvB*=*m*,可得*v*==(*n*=2,4,6,…)*.*综上可知,B、C正确,A、D错误*.*

图1　　图2

答案BC

例5 [湖南岳阳2023二模](多选)如图所示,在*xOy*平面内,以*O'*(0,*R*)为圆心、*R*为半径的圆内有垂直平面向外的匀强磁场,*x*轴下方有垂直平面向里的匀强磁场,两区域磁感应强度大小均为*B*,第四象限有一与*x*轴成45*°*角倾斜放置的挡板*PQ*,*P*、*Q*两点在坐标轴上,且*O*、*P*两点间的距离大于2*R*,在圆形磁场的左侧0<*y*<2*R*的区间内,均匀分布着质量为*m*、电荷量为+*q*的一簇带电粒子,当所有粒子均沿*x*轴正向以相同的速度射入圆形磁场区域时,粒子偏转后都从*O*点进入*x*轴下方磁场,结果有一半粒子能打在挡板上*.*不计粒子重力、不考虑粒子间相互作用力,下列说法正确的是(　　)



A*.*所有粒子在圆形磁场中运动的时间相等

B*.*挡板端点*P*的横坐标为(+1)*R*

C*.*挡板上被粒子打中的区域长度为*R*

D*.*从距离*x*轴为0*.*5*R*处射入圆形磁场的粒子,离开磁场时的坐标为(*R*,0)

解析▶本题的题眼是“粒子偏转后都从*O*点进入*x*轴下方磁场,结果有一半粒子能打在挡板上”*.*带电粒子均汇聚于与速度垂直的直径和圆的交点,则圆形磁场半径等于带电粒子在磁场中偏转的半径*.*

粒子在圆形磁场中运动的轨迹长度不同,所用时间不相等,选项A错误;

设一粒子自磁场边界*A*点进入磁场,该粒子由*O*点射出圆形磁场,轨迹如图甲所示,

甲

过*A*点作速度的垂线*AB*,作*AO*的垂直平分线与*AB*相交于点*C*,设该轨迹圆的半径长度为*r*,*C*为该轨迹圆的圆心*.*连接*AO'*、*CO*,由几何关系可知四边形*ACOO'*为菱形,因此可得*r*=*R*,由题知有一半粒子能打在挡板上,故从*O*点射出的沿*x*轴负方向的粒子和沿*y*轴负方向的粒子轨迹刚好与挡板相切,如图乙所示,

乙

过轨迹圆心*D*作挡板的垂线与挡板交于*E*点,得*DP*=*R*,*OP*=(+1)*R*,即*P*点的横坐标为(+1)*R*,选项B正确;设打到挡板最左侧的粒子打在*F*点上,如图丙所示,

丙

*OF*=2*R*,过*O*点作挡板的垂线交于*G*点,得*OG*=(+1)*R*×=*R*,*FG*==*R*,*EG*=*R*,挡板上被粒子打中的区域长度为*FE*=*R*+*R*=*R*,选项C错误;从距离*x*轴为0*.*5*R*的*H*处射入圆形磁场的粒子,从*O*点射出,轨迹圆心为*I*点,可得*IO*与*x*轴负方向的夹角为30*°*,进入*x*轴下方磁场的轨迹图如图丁所示,

丁

可知离开磁场时的位置为*K*点,由几何关系可得*OK*=*R*,粒子离开磁场时的坐标为(*R*,0),选项D正确*.*

答案BD

**题型3带电粒子在复合场中的运动问题**难度★★★考频★★★

|  |
| --- |
| 备考策略  解决带电粒子在复合场中运动问题的方法  (1)带电粒子在复合场中的运动与粒子受力分析,常见运动情况:  ①粒子受力平衡时做匀速直线运动,此时会有*v*0=(不计重力)或电场力、重力、洛伦兹力三力平衡;  ②电场力与重力平衡,洛伦兹力提供向心力,粒子做圆周运动;  ③粒子受力不平衡,但沿束缚轨道运动,结合动能定理或能量守恒分析问题*.*  (2)带电粒子在组合场中的运动通常根据场的变化分析力的变化及运动状态的变化:纯电场中的运动常为匀变速直线运动;纯磁场中的运动一般为匀速圆周运动,连接不同场的物理量是速度*.* |

例6 [广东2022*·*8,6分](多选)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,下列说法正确的有(　　)



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

解析▶本题的题眼是“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”和“*M*、*P*在同一等势面上”*.*带电粒子在磁场中运动,洛伦兹力不做功*.*

电子所受电场力方向水平向左,则电子从*N*到*P*,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,以及等势线与电场线垂直,可知*N*点的电势高于*P*点的电势,故B正确;由于洛伦兹力始终和速度方向垂直,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,故电子从*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*点都只受匀强电场的电场力作用,即合力相等,故D错误*.*

答案BC

例7 [湖南2023*·*6,4分]如图,真空中有区域*Ⅰ*和*Ⅱ*,区域*Ⅰ*中存在匀强电场和匀强磁场,电场方向竖直向下(与纸面平行),磁场方向垂直纸面向里,等腰直角三角形*CGF*区域(区域*Ⅱ*)内存在匀强磁场,磁场方向垂直纸面向外*.*图中*A*、*C*、*O*三点在同一直线上,*AO*与*GF*垂直,且与电场和磁场方向均垂直*.A*点处的粒子源持续将比荷一定但速率不同的粒子射入区域*Ⅰ*中,只有沿直线*AC*运动的粒子才能进入区域*Ⅱ.*若区域*Ⅰ*中电场强度大小为*E*、磁感应强度大小为*B*1,区域*Ⅱ*中磁感应强度大小为*B*2,则粒子从*CF*的中点射出,它们在区域*Ⅱ*中运动的时间为*t*0*.*若改变电场或磁场强弱,能进入区域*Ⅱ*中的粒子在区域*Ⅱ*中运动的时间为*t*,不计粒子的重力及粒子之间的相互作用,下列说法正确的是(　　)



A*.* 若仅将区域*Ⅰ*中磁感应强度大小变为2*B*1, 则*t*>*t*0

B*.*若仅将区域*Ⅰ*中电场强度大小变为2*E*, 则*t*>*t*0

C*.*若仅将区域*Ⅱ*中磁感应强度大小变为*B*2,则*t*=

D*.*若仅将区域*Ⅱ*中磁感应强度大小变为*B*2, 则*t*=*t*0

解析▶本题的题眼是“*A*点处的粒子源持续将比荷一定但速率不同的粒子射入区域*Ⅰ*中,只有沿直线*AC*运动的粒子才能进入区域*Ⅱ*”*.*带电粒子能够沿直线匀速通过速度选择器的条件是洛伦兹力与静电力平衡*.*

由题知粒子沿*AC*做直线运动,则有*qv*0*B*1=*qE*,区域*Ⅱ*中磁感应强度大小为*B*2,则粒子从*CF*的中点射出,则粒子转过的圆心角为90*°*,根据*qvB*=*m*·*r*,有*t*0=,若仅将区域*Ⅰ*中磁感应强度大小变为2*B*1,则粒子沿*AC*做直线运动时,有*qv*1∙2*B*1=*qE*,则*v*1=,再根据*qvB*=*m*,可知粒子在区域*Ⅱ*的轨迹半径变为原来的,则粒子仍然从*CF*边射出,粒子转过的圆心角仍为90*°*,则*t*=*t*0,故A错误;若仅将区域*Ⅰ*中电场强度大小变为2*E*,则粒子沿*AC*做直线运动,有*qv*2*B*1=*q*∙2*E*,则*v*2=2*v*0,再根据*qvB*=*m*,可知粒子在区域*Ⅱ*的轨迹半径变为原来的2倍,则粒子从*F*点射出,粒子转过的圆心角仍为90*°*,则*t*=*t*0,故B错误;若仅将区域*Ⅱ*中磁感应强度大小变为*B*2,则粒子沿*AC*做直线运动的速度仍为*v*0,再根据*qvB*=*m*,可知粒子轨迹半径变为原来的>2,则粒子从*OF*边射出,根据几何关系可知转过的圆心角为60*°*,根据*qvB*=*mr*,有*t*=,则*t*=,故C错误;若仅将区域*Ⅱ*中磁感应强度大小变为*B*2,则粒子沿*AC*做直线运动的速度仍为*v*0,再根据*qvB*=*m*,可知粒子轨迹半径变为原来的>2,则粒子从*OF*边射出,根据几何关系可知转过的圆心角为45*°*,根据*qvB*=*mr*,有*t*=,则*t*=*t*0,故D正确*.*

答案D

例8 [江西九校联考2023二模](多选)圆心为*O*、半径为*R*的圆形区域内存在磁感应强度为*B*、方向垂直纸面向外的匀强磁场,在磁场边缘上的*A*点沿纸面向圆形区域各个方向均匀发射速度大小为*v*0的带电粒子*.*圆的右边是边长为2*R*的正方形,刚好与圆相切于*C*点,其区域内存在水平向左的匀强电场*.*当粒子沿*AO*方向射入时,粒子刚好从*C*点离开磁场,进入电场后又恰好从右边界的中点返回*.*不计粒子重力和粒子间的相互作用*.*下列说法正确的是(　　)



A*.*粒子的比荷为

B*.*粒子从*A*点进入磁场到最终离开磁场的运动过程中的总时间与入射方向无关

C*.*若将电场*E*方向变为竖直向下,则从电场边界*PQ*与*NQ*射出的粒子数之比为2∶1

D*.*若电场*E*方向变为竖直向下,且粒子要全部从*NQ*边界射出,则场强大小至少变为原来的4倍

解析▶本题的题眼是“当粒子沿*AO*方向射入时,粒子刚好从*C*点离开磁场,进入电场后又恰好从右边界的中点返回”*.*

由题可知粒子在圆形区域磁场内的偏转半径为*R*,如图甲所示,

甲

则有*Bqv*0=,化简可得粒子的比荷为=,故A正确;粒子从*A*点进入磁场到最终离开磁场的运动过程的总时间为*t*=*T*=,所以总时间与偏转角度有关,偏转角度越大,运动时间越长,粒子入射方向不同,偏转时间不同,则进入磁场到最终离开磁场的运动过程的总时间也不一样,故B错误;在磁场边缘上的*A*点沿纸面向圆形区域各个方向均匀发射速度大小为*v*0的带电粒子,由题知当粒子沿*AO*方向运动时,粒子刚好从*C*点离开磁场,进入电场后又恰好从右边界的中点返回,可得*Eq*·2*R*=*m*,解得电场力*F*=*Eq*=,则若将电场*E*方向变为竖直向下,粒子将做类平抛运动,且向下的加速度*a*==,如图乙所示,

乙

刚好打到*Q*处时,有*h*1=*a*,2*R*=*v*0*t*1,解得*h*1=*R*,由于能进入电场的粒子高度范围为0*~*2*R*,高度小于*R*的粒子均从*NQ*射出,高度大于*R*、小于2*R*的粒子均从*PQ*射出,高度等于*R*的粒子从*A*点射出时速度方向与*x*轴正方向的夹角为60*°*,则从电场边界*PQ*与*NQ*射出的粒子数之比为==,故C正确;若电场*E*方向竖直向下,且粒子要全部从*NQ*边界射出,则进入电场范围高度为2*R*的粒子恰好打到*Q*处,则有2*R*=*a't'*2,2*R*=*v*0*t'*,解得*a'*=,由于电子在原电场中加速度为*a*==,若电场*E*方向竖直向下,且粒子要全部从*NQ*边界射出,需要的加速度为*a'*==,所以由上面两式可得=,故D正确*.*

答案ACD