

专题：磁场与现代科技

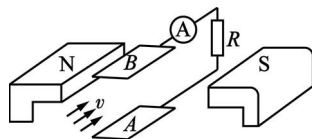
磁场在现代技术中的主要应用有：①速度选择器、②磁流体发电机、③电磁流量计、④霍尔元件（霍尔效应）、⑤质谱仪、⑥回旋加速器等。其中：前四个的共同特征是粒子在其中只受电场力和洛伦兹力作用，并且最终达到稳定时有：电场力和洛伦兹力平衡！质谱仪是测定带电粒子的质量和研究同位素的重要工具。回旋加速器能够实现在有限的空间内使带电粒子被加速从而获得高能粒子用于科学研究。

问题突破

模型 1：磁流体发电机

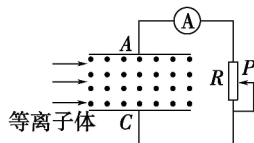
【例 1】（单选）磁流体发电机原理如图所示，等离子体高速喷射到加有强磁场的管道内，正、负离子在洛伦兹力作用下分别向 A 、 B 两金属板偏转，形成直流电源对外供电。则

- A. 仅减小两板间的距离，发电机的电动势将增大
- B. 仅增强磁感应强度，发电机的电动势将减小
- C. 仅增加负载的阻值，发电机的输出功率将增大
- D. 仅增大磁流体的喷射速度，发电机的总功率将增大



【变式 1】（多选）如图是磁流体发电机的示意图，平行金属板 A 、 C 表面积为 S ，间距为 d ，匀强磁场垂直纸面向外，磁感应强度为 B ，两金属板通过导线与滑动变阻器相连，变阻器接入电路的电阻为 R 。等离子体连续以速度 v 平行于两金属板垂直射入磁场，稳定时等离子体在两板间均匀分布，电阻率为 ρ ，理想电流表 $\textcircled{A}$ 的读数为 I ，忽略边缘效应，则

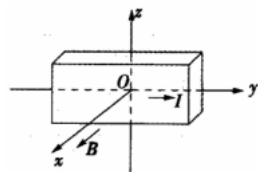
- A. 发电机的电动势 $E = IR$
- B. 发电机的内电阻为 $r = \rho \frac{d}{S}$
- C. 发电机的内电阻为 $r = \frac{Bdv}{I} - R$
- D. 变阻器触头 P 向上滑动时，单位时间内到达金属板 A 、 C 的等离子体数目减少



模型 2：霍尔元件（霍尔效应）

【例 2】（多选）利用霍尔效应制作的霍尔元件，广泛应用于测量和自动控制等领域。当电流通过位于磁场中的导体时，会在导体的两表面产生电势差，这种磁电现象称为霍尔效应。如图所示，长方体金属块的长、宽、高分别为 a 、 b 、 h ，金属的电阻率为 ρ ，在三维空间有一个沿 x 轴正方向、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，当金属块沿 y 轴正方向通以大小为 I 的电流时，以下判断正确的是

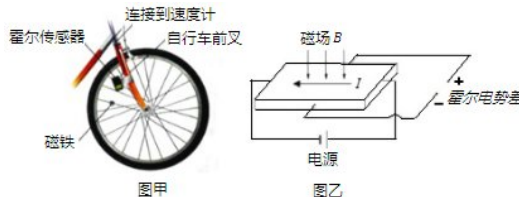
- A. 金属块受到的磁场力大小为 Bla ，方向沿 z 轴正方向
- B. 金属块沿 y 轴方向的电阻为 $\frac{\rho a}{bh}$
- C. 金属块沿 y 轴正方向两个侧表面的电势差为 $\frac{I\rho h}{ab}$
- D. 金属块沿 z 轴方向的上表面的电势高于下表面的电势



【变式 2】（多选）自行车速度计利用霍尔效应传感器获知自行车的运动速率。如图甲所示，自行车前轮上安装一块磁铁，轮子每转一圈，这块磁铁就靠近传感器一次，传感器会输出

一个脉冲电压.图乙为霍尔元件的工作原理图.当磁场靠近霍尔元件时,导体内定向运动的自由电荷在磁场力作用下偏转,最终使导体在与磁场、电流方向都垂直的方向上出现电势差,即为霍尔电势差.下列说法正确的是

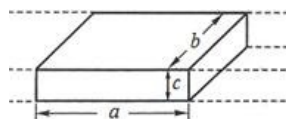
- A. 根据单位时间内的脉冲数和自行车车轮的半径即可获知车速大小
 B. 自行车的车速越大,霍尔电势差越高
 C. 图乙中霍尔元件的电流 I 是由正电荷定向运动形成的
 D. 如果长时间不更换传感器的电源,霍尔电势差将减小



模型 3: 电磁流量计

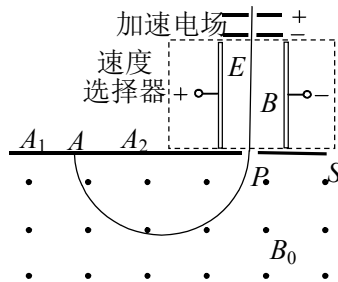
【例 3】(单选) 电磁流量计广泛应用于测量可导电液体(如污水)在管中的流量(在单位时间内通过管内横截面的流体的体积).为了简化,假设流量计是如图所示的横截面为长方形的一段管道,其中空部分的长、宽、高分别为图中的 a 、 b 、 c .流量计的两端与输送流体的管道相连接(图中虚线).图中流量计的上下两面是金属材料,前后两面是绝缘材料.现于流量计所在处加磁感强度为 B 的匀强磁场,磁场方向垂直于前后两面.当导电液体稳定地流经流量计时,在管外将流量计上、下两表面分别与一串联了电阻 R 的电流表的两端连接, I 表示测得的电流值.已知流体的电阻率为 ρ , 不计电流表的内阻,则可求得流量为

- A. $\frac{I}{B}(aR + \rho \frac{b}{c})$ B. $\frac{I}{B}(bR + \rho \frac{c}{a})$
 C. $\frac{I}{B}(cR + \rho \frac{a}{b})$ D. $\frac{I}{B}(R + \rho \frac{bc}{a})$



模型 4: 质谱仪

【例 4】 如图所示为质谱仪的构造原理图, 现让待测的不同带电粒子经加速后进入速度选择器, 速度选择器的平行金属板之间有相互正交的匀强磁场和匀强电场(图中未画出), 磁感应强度为 B , 电场强度为 E . 金属板靠近平板 S , 在平板 S 上有可让粒子通过的狭缝 P , 带电粒子经过速度选择器后, 立即从 P 点沿垂直平板 S 且垂直于磁场方向的速度进入磁感应强度为 B_0 、并以平板 S 为边界的有界匀强磁场中, 在磁场中偏转后打在记录它的照相底片上, 底片厚度可忽略不计, 且与平板 S 重合. 根据粒子打在底片上的位置, 便可以对它的比荷(电荷量与质量之比)情况进行分析. 在下面的讨论中, 磁感应强度为 B_0 的匀强磁场区域足够大, 空气阻力、带电粒子所受的重力及它们之间的相互作用力均可忽略不计.



- (1) 若某带电粒子打在底片上的 A 点, 测得 P 与 A 之间的距离为 x , 求该粒子的比荷 q/m ;
- (2) 若有两种质量不同的正一价离子, 质量分别为 m_1 和 m_2 , 它们经速度选择器和匀强磁场后, 分别打在底片上的 A_1 和 A_2 两点, 测得 P 到 A_2 的距离与 A_1 到 A_2 的距离相等, 求这两种离子的质量之比 m_1/m_2 ;
- (3) 若用这个质谱仪分别观测氢的两种同位素离子(所带电荷量为 e), 它们分别打在照相底片上相距为 d 的两点.

①为了便于观测, 希望 d 的数值大一些为宜. 试分析说明为了便于观测, 应如何改变

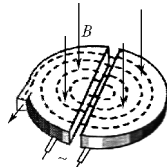
匀强磁场磁感应强度 B_0 的大小；

②研究小组的同学对上述 B_0 影响 d 的问题进行了深入的研究．为了直观，他们以 d 为纵坐标、以 $1/B_0$ 为横坐标，画出了 d 随 $1/B_0$ 变化的关系图像，该图像为一条过原点的直线．测得该直线的斜率为 k ，求这两种同位素离子的质量之差 Δm ．

模型 5：回旋加速器

【例 5】(多选) 回旋加速器工作原理示意图如图所示，磁感应强度为 B 的匀强磁场与盒面垂直，两盒间狭缝很小，粒子穿过的时间可忽略，它们接在电压为 U 、频率为 f 的交流电源上，若 A 处粒子源产生的质子在加速器中被加速，下列说法正确的是

- A. 若只增大交流电压 U ，则质子在回旋加速器中运行时间会变短
- B. 若只增大交流电压 U ，则质子获得的最大动能增大
- C. 随轨道半径 r 的增大，同一半盒中相邻轨道的半径之差 Δr 将逐渐减小
- D. 不改变磁感应强度 B 和交流电频率 f ，该回旋加速器也能用于加速 α 粒子



【变式 3】 如图所示为一种获得高能粒子的装置．环形区域内存在垂直纸面向外、大小可调的匀强磁场． M 、 N 为两块中心开有小孔的极板，每当带电粒子经过 M 、 N 板时，都会被加速，加速电压均为 U ；每当粒子飞离电场后， M 、 N 板间的电势差立即变为零．粒子在电场中一次次被加速，动能不断增大，而绕行半径 R 不变 (M 、 N 两极板间的距离远小于 R)．当 $t=0$ 时，质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的粒子静止在 M 板小孔处．

- (1) 求粒子绕行 n 圈回到 M 板时的动能 E_n ；
- (2) 为使粒子始终保持在圆轨道上运动，磁场必须周期性递增，求粒子绕行第 n 圈时磁感应强度 B 的大小；
- (3) 求粒子绕行 n 圈所需总时间 t_n ．

