

## 专题 2 洛伦兹力与现代科技

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 授课日期：2023.03.13

本课在课程标准中的表述：深入认识物理学对现代生活和科技社会发展的促进作用。

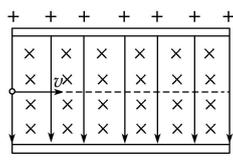
### [学习目标]

1. 知道速度选择器、磁流体发电机、电磁流量计、霍尔元件的工作原理。
2. 进一步了解洛伦兹力在科技生活中的应用，提高学生的综合分析和计算能力。

### [课前预习]

#### 一、速度选择器

##### 1. 装置及要求



如图，两极板间存在匀强电场和匀强磁场，二者方向互相垂直，带电粒子从左侧射入，不计粒子重力。

2. 带电粒子能够沿直线匀速通过速度选择器的条件是\_\_\_\_\_，即\_\_\_\_\_。

##### 3. 速度选择器的特点

(1)  $v$  的大小等于  $E$  与  $B$  的比值，即  $v = \frac{E}{B}$ 。速度选择器只对选择的粒子的\_\_\_\_\_有要求，而对粒子的\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_无要求。

(2) 当  $v > \frac{E}{B}$  时，粒子向\_\_\_\_\_方向偏转， $F_{电}$  做\_\_\_\_\_功，粒子的动能\_\_\_\_\_，电势能\_\_\_\_\_。

(3) 当  $v < \frac{E}{B}$  时，粒子向\_\_\_\_\_方向偏转， $F_{电}$  做\_\_\_\_\_功，粒子的动能\_\_\_\_\_，电势能\_\_\_\_\_。

### [课堂学习]

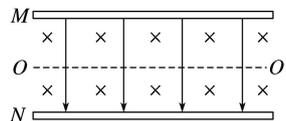
例 1：如图所示，两个平行金属板  $M$ 、 $N$  间为一个正交的匀强电场和匀强磁场区域，电场方向由  $M$  板指向  $N$  板，磁场方向垂直纸面向里， $OO'$  为距离两极板相等且平行两极板的直线。一质量为  $m$ 、电荷量为  $+q$  的带电粒子，以速度  $v_0$  从  $O$  点射入，沿  $OO'$  方向匀速通过场区，不计带电粒子的重力，则以下说法正确的是( )

A. 电荷量为  $-q$  的粒子以  $v_0$  从  $O$  点沿  $OO'$  方向射入时，不能匀速通过场区

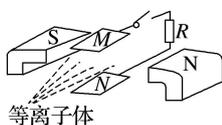
B. 电荷量为  $2q$  的粒子以  $v_0$  从  $O$  点沿  $OO'$  方向射入时，不能匀速通过场区

C. 保持电场强度和磁感应强度大小不变，方向均与原来相反，则粒子仍能匀速通过场区

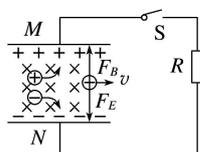
D. 粒子以速度  $v_0$  从右侧的  $O'$  点沿  $O'O$  方向射入，粒子仍能匀速通过场区



#### 二、磁流体发电机



甲



乙

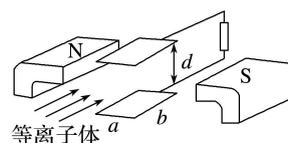
磁流体发电机的发电原理图如图甲所示，其平面图如图乙所示。

设带电粒子的运动速度为  $v$ ，带电荷量为  $q$ ，匀强磁场的磁感应强度为  $B$ ，极板间距离为  $d$ ，极板间电压为  $U$ ，根据  $F_B = F_E$ ，有  $qvB = qE = \frac{qU}{d}$ ，得  $U = Bdv$ 。

根据外电路断开时，电源电动势的大小等于路端电压，故此磁流体发电机的电动势为  $E_{\text{电源}} = U = Bdv$ 。

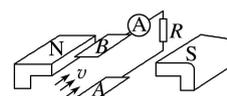
例 2：磁流体发电的原理如图所示，将一束速度为  $v$  的等离子体垂直于磁场方向喷入磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中，在相距为  $d$ 、宽为  $a$ 、长为  $b$  的两平行金属板间便产生电压。如果把上、下板和电阻  $R$  连接，上、下板就是一个直流电源的两极，若稳定时等离子体在两板间均匀分布，电阻率为  $\rho$ ，忽略边缘效应，下列判断正确的是( )

- A. 上板为正极，电流  $I = \frac{Bdvab}{Rab + \rho d}$       B. 上板为负极，电流  $I = \frac{Bvad^2}{Rad + \rho b}$   
 C. 下板为正极，电流  $I = \frac{Bdvab}{Rab + \rho d}$       D. 下板为负极，电流  $I = \frac{Bvad^2}{Rad + \rho b}$



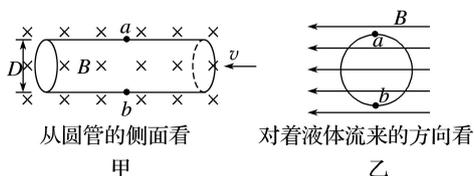
针对训练 1：磁流体发电机原理如图所示，等离子体高速喷射到加有强磁场的管道内，正、负离子在洛伦兹力作用下分别向  $A$ 、 $B$  两金属板偏转，形成直流电源对外供电。则( )

- A. 仅减小两板间的距离，发电机的电动势将增大  
 B. 仅增强磁场的磁感应强度，发电机的电动势将增大  
 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，发电机的总功率将减小



### 三、电磁流量计

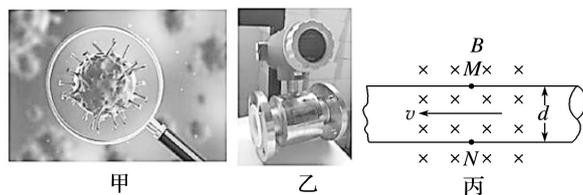
如图甲、乙所示是电磁流量计的示意图。



设管的直径为  $D$ ，磁感应强度为  $B$ ， $a$ 、 $b$  两点间的电势差是由于导电液体中电荷受到洛伦兹力作用，在管壁的上、下两侧堆积产生的。到一定程度后， $a$ 、 $b$  两点间的电势差达到稳定值  $U$ ，上、下两侧堆积的电荷不再增多，此时，洛伦兹力和电场力平衡，有  $qvB = qE = q\frac{U}{D}$ ，所以  $v = \frac{U}{DB}$ ，又圆管的横截面积  $S = \frac{1}{4}\pi D^2$ ，

故流量  $Q = Sv = \frac{\pi UD}{4B}$ 。

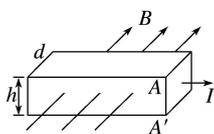
例 3：2020 年初爆发了新冠肺炎，该病毒传播能力非常强，因此研究新冠肺炎病毒株的实验室必须是全程都在高度无接触物理防护性条件下操作。武汉病毒研究所是我国防护等级最高的 P4 实验室，在该实验室中有一种污水流量计，其原理可以简化为如图丙所示模型：废液内含有大量正、负离子，从直径为  $d$  的圆柱形容器右侧流入，左侧流出。流量值  $Q$  等于单位时间通过横截面的液体的体积。空间有垂直纸面向里的磁感应强度为  $B$  的匀强磁场，下列说法正确的是( )



- A. 带电粒子所受洛伦兹力方向水平向左
- B. 正、负离子所受洛伦兹力方向是相同的
- C. 测量  $M$ 、 $N$  两点间的电压就能够推算废液的流量
- D.  $M$  点电势高于  $N$  点电势

#### 四、霍尔元件

例 4: 如图所示, 厚度为  $h$ 、宽度为  $d$  的导体板放在垂直于它的磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中, 当电流通过导体板时, 在导体板的上侧面  $A$  和下侧面  $A'$  之间会产生电势差  $U$ , 这种现象称为霍尔效应.



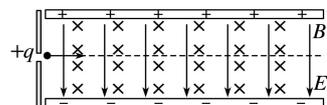
霍尔效应可解释如下: 外部磁场对运动电子的洛伦兹力使电子聚集在导体板的一侧, 在导体板的另一侧会出现多余的正电荷, 从而形成电场. 电场对电子施加与洛伦兹力方向相反的电场力. 当电场力与洛伦兹力达到平衡时, 导体板上、下两侧面之间就会形成稳定的电势差. 电流  $I$  是自由电子的定向移动形成的, 电子的平均定向移动速率为  $v$ , 电荷量为  $e$ . 回答下列问题:

- (1) 达到稳定状态时, 导体板上侧面  $A$  的电势 \_\_\_\_\_ (选填“高于”“低于”或“等于”) 下侧面  $A'$  的电势.
- (2) 电子所受洛伦兹力的大小为 \_\_\_\_\_.
- (3) 当导体板上、下两侧面之间的电势差为  $U_H$  时, 电子所受电场力的大小为 \_\_\_\_\_.
- (4) 导体板上、下两侧面产生的稳定的电势差  $U =$  \_\_\_\_\_.

## [随堂练习]

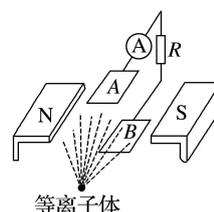
1. 如图所示的平行板器件中有方向相互垂直的匀强电场和匀强磁场. 一带正电的粒子以某一速度从该装置的左端水平向右进入两板间后, 恰好能做直线运动. 忽略粒子重力的影响, 则( )

- A. 若只将粒子改为带负电, 其将往上偏
- B. 若只增大粒子进入该装置的速度, 其将往上偏
- C. 若只增大粒子的电荷量, 其将往下偏
- D. 若粒子从右端水平进入, 则仍沿直线水平飞出



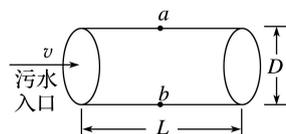
2. 磁流体发电是一项新兴技术, 它可以把气体的内能直接转化为电能, 如图是它的示意图, 平行金属板  $A$ 、 $B$  之间有一个很强的匀强磁场, 磁感应强度为  $B$ , 将一束等离子体(即高温下电离的气体, 含有大量正、负带电粒子)垂直于磁场且平行于  $A$ 、 $B$  板平面的方向喷入磁场, 每个离子的速度为  $v$ , 电荷量大小为  $q$ ,  $A$ 、 $B$  两板间的距离为  $d$ , 装置稳定时, 下列说法中正确的是( )

- A.  $B$  板的电势比  $A$  板的高
- B. 图中通过电阻  $R$  的电流方向是向下的
- C. 离子只受到电场力作用
- D. 图中电阻  $R$  两端电压为  $Bvq$



3. 江苏启动“263”专项行动, 打响碧水蓝天保卫战, 根据群众举报“263”暗访组对某化工厂的排污管进行了测量. 如图所示, 是排污管末端安装的流量计, 测量管由绝缘材料制成, 其长为  $L$ 、直径为  $D$ , 左右两端开口, 匀强磁场方向垂直纸面向里, 在上下两个内侧面  $a$ 、 $b$  固定有金属板作为电极,  $a$ 、 $b$  两端连接显示器(图中未画出). 污水充满管口从左向右流经测量管时,  $a$ 、 $b$  两端电压为  $U$ , 显示仪器显示污水流量为  $Q$ (单位时间内排出的污水体积). 则( )

- A.  $a$  侧电势比  $b$  侧电势低
- B. 由题中条件可得污水流量  $Q = \frac{\pi DU}{4B}$
- C. 该流量计也能检测出离子的浓度
- D. 若污水从右侧流入测量管, 则不能测出流量



[课后作业] 完成课后作业

[课后感悟] \_\_\_\_\_