

微专题 压轴题 2

一. 磁流体推动船 电源杆问题

1. 如图 1 所示为某型号舰上导轨式电磁弹射实验机，其工作原理为用电磁力推动战机达到起飞速度。相比传统的蒸汽弹射，该弹射方式具有弹力大、发射效率高、自重轻、占用空间小等优势。该导轨式电磁弹射模型可简化如图 2 所示：间距为 $L=0.5\text{m}$ 的固定导轨间有垂直纸面内的匀强磁场，磁感应强度为 $B=1\text{T}$ 。导轨和电动势为 $E=5\times 10^2\text{V}$ 、内阻为 $r=1\Omega$ 的电源相连，导轨间有导体电枢，弹射过程中电枢和模型飞机结合为整体，其总质量为 $m=5\text{kg}$ ，电枢的电阻为 $R=4\Omega$ ，和轨道的滑动摩擦系数为 $\mu=0.1$ ，重力加速度为 $g=10\text{m/s}^2$ 。导轨、导线及其他电阻均忽略不计。从静止开始，闭合开关 k ，开始弹射

- (1) k 闭合后，模型飞机开始运动瞬间的加速度大小 a ?
- (2) 当导轨足够长，模型飞机能达到的最大速度 v_m 多大?
- (3) 满足 (2) 的条件下，已知飞机启动到起飞速度 $v=102\text{m/s}$ 所需时间 $t=12\text{s}$ ，轨道长度至少需要多长?

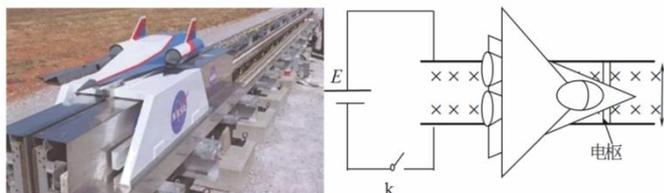


图 1

图 2

2. 如图，在竖直向下的磁感应强度为 B 的匀强磁场中，两根足够长的平行光滑金属轨道 MN 、 PQ 固定在水平面内，相距为 L ，一质量为 m 的导体棒 ab 垂直于 MN 、 PQ 放在轨道上，与轨道接触良好。轨道和导体棒的电阻均不计。

(1) 如图 1，若轨道左端 MP 间接一阻值为 R 的电阻，导体棒在拉力 F 的作用下以速度 v 沿轨道做匀速运动，请通过公式推导证明：在任意一段时间 Δt 内，拉力 F 所做的功与电路获取的电能相等；

(2) 如图 2，若轨道左端接一电动势为 E 、内阻为 r 的电源和一阻值未知的电阻。闭合开关 S ，导体棒从静止开始运动，经过一段时间后，导体棒达到最大速度 v_m ，求此时电源的输出功率。

(3) 如图 3，若轨道左端接一电容器，电容器的电容为 C ，导体棒在水平拉力的作用下从静止开始向右运动。电容器两极板电势差随时间变化的图象如图 4 所示，已知 t_1 时刻电容器两极板间的电势差为 U_1 。求导体棒运动过程中受到的水平拉力大小。

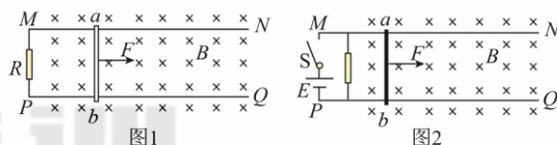


图 1

图 2

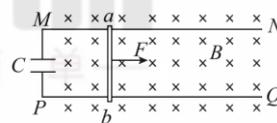


图 3

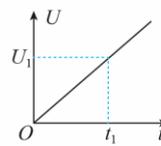


图 4

3. 磁流体推进船的动力来源于电流与磁场间的相互作用。图 1 是在平静海面上某实验船的示意图，磁流体推进器由磁体、电极和矩形通道（简称通道）组成。如图 2 所示，通道尺寸 $a=2.0\text{m}$ 、 $b=0.15\text{m}$ 、 $c=0.10\text{m}$ 。工作时，在通道内沿 z 轴正方向加 $B=8.0\text{T}$ 的匀强磁场；沿 x 轴负方向加匀强电场，使两金属板间的电压 $U=99.6\text{V}$ ；海水沿 y 轴方向流过通道。已知海水的电阻率 $\rho=0.20\Omega\cdot\text{m}$ 。

(1) 船静止时，求电源接通瞬间推进器对海水推力的大小和方向；

(2) 船以 $v_s=5.0\text{m/s}$ 的速度匀速前进。若以船为参照物，海水以 5.0m/s 的速率涌入进水口，由于通道的截面积小于进水口的截面积，在通道内海水速率增加到 $v_d=8.0\text{m/s}$ 。求此时两金属板间的感应电动势 U 感；

(3) 船行驶时，通道中海水两侧的电压按 $U'=U-U$ 感计算，海水受到电磁力的 80% 可以转化为对船的推力。当船以 $v_s=5.0\text{m/s}$ 的速度匀速前进时，求海水推力的功率。

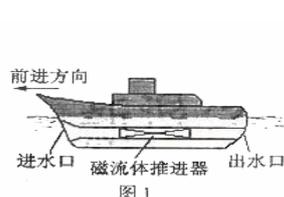


图 1

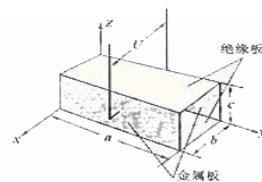


图 2

4. 磁流体推进船的动力来源于电流与磁场间的相互作用，如图 a 所示是在平静海面上某实验船的示意图，磁流体推进器由磁体、电极和矩形通道（简称通道）组成。如图 b 所示，通道是尺寸为 $a\times b\times c$ 的长方体，工作时，在通道内沿 z 轴正方向加磁感应强度为 B 的匀强磁场。海水沿 y 轴方向流过通道，已知海水的电阻率 ρ 。

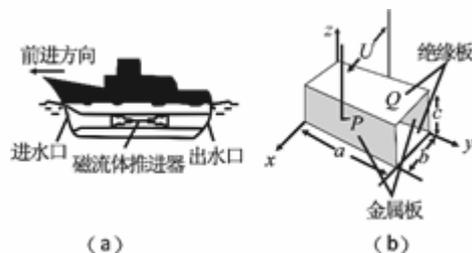
(1) 若推进船静止不动，在 P、Q 间连接一电阻不计的导线，海水以 v_0 速度沿着 y 轴运动，试求此时通过连接导线的电流强度。

(2) 假若海水开始静止，在 P、Q 面间加可以自动调节的电压，可使流过通道内海水的电流保持恒定值 I 。回答以下问题：

① 要使磁流体推进船沿着负 y 轴方向运动，图 b 中 P、Q 哪点电势高？

② 若船保持静止，通道内海水以 v_0 速度匀速运动，求推进器对海水推力的功率；

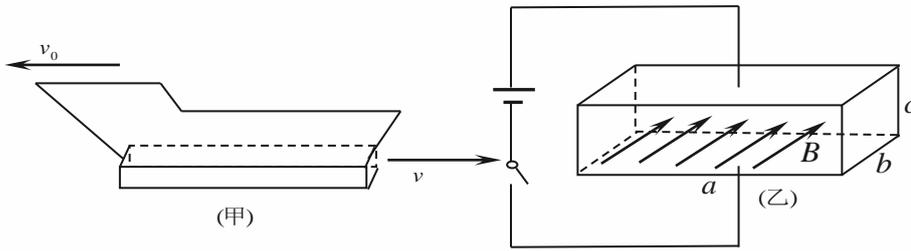
③ 若船以 v_s 的速度匀速前进，在通道内海水的速率增加到 v_d 。试求磁流体推进器消耗的功率。



(a)

(b)

5. 磁流体推进船是利用电磁力作为推进力的新型船只，相比传统的螺旋桨动力船只，它具有噪声小，效率高的优势。如图甲所示，一条磁流体推进船模型底部有矩形截面的管道，海水可以相对管道从左侧进入从右侧流出。管道细节尺寸由图乙所示，长度为 a ，宽度为 b ，高度为 c 。管道上下表面由不计电阻的金属板制成，前后表面为绝缘材料。垂直于前表面后有超导线圈形成的匀强磁场，磁感应强度为 B ，可认为磁场固结在船体上，可随船体运动。上下表面和电动势为 E ，内阻为 r 的电源相连，上板接正极，下板接负极。管道内充满了电阻率为 ρ 的海水，海水密度为 ρ_0 ，海水可认为平静。不计管道外海水的影响。



(1) 当船静止在海面时，求接通电源瞬间管道内海水获得的推进力？

(2) 接通电源后，当船只匀速 v_0 向左行驶时，海水在管道内以相对船的速度 v 向右流出，此时管道内海水会形成感应电动势 U ，试求出 U 的大小，把海水受到的电磁力当做船只受到的推进力，求推力对船做功的功率 P_1 。

(3) 在 (2) 问的前提下，求此时推进装置对海水做功的平均输出功率 P_2 。

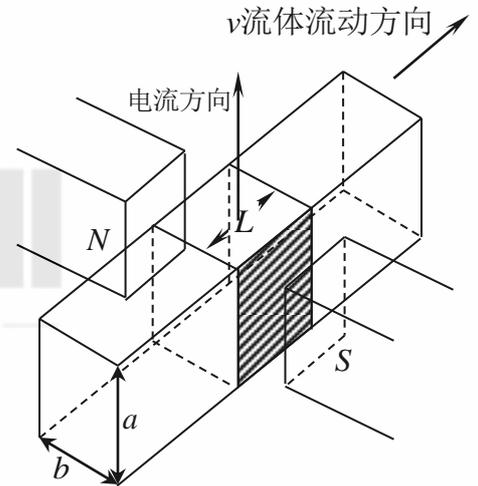
6. 在原子反应堆中抽动液态金属或在医疗器械中抽动血液等导电液体时，常使用电磁泵。某种电磁泵的结构如图所示，把装有液态钠的矩形截面导管水平放置于匀强磁场中，磁场的磁感应强度为 B ，方向与导管垂直。让电流按如图方向横穿过液态钠且电流方向与 B 垂直。供电电源电动势为 E ，内阻为 r 。设导管截面高为 a ，宽为 b ，导管有长为 L 的一部分置于磁场中。由于磁场对液态钠的作用力使液态钠获得驱动力而不断沿管子向前推进。整个系统是完全密封的。只有金属钠本身在其中流动。

金属钠电阻率为 ρ ，密度为 ρ_0 其余的部件都是固定不动电阻不计的。

(1) 假定在液态钠不流动的条件下，求导管横截面上由磁场驱动力所形成的附加压强 p 与上述各量的关系式；

(2) 假设液态钠的流动速度为 v ，则此时驱动力为多少？

(3) 如果液态钠的流动阻力 f 和流速成正比，比例系数为常数 k 。求流动稳定时，该电磁泵的输出功率为多少？

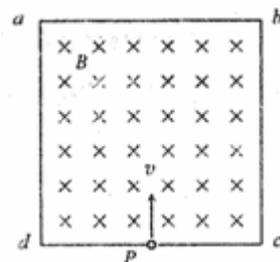


二. 撞板问题

1. 弹性挡板围成边长为 $L = 10\text{cm}$ 的正方形 $abcd$. 固定在光滑的水平面上, 匀强磁场垂直纸面向内, 磁感应强度为 $B = 0.5\text{T}$, 如图所示. 质量为 $m = 2 \times 10^{-4}\text{kg}$ 、带电量为 $q = 4 \times 10^{-3}\text{C}$ 的小球, 从 cd 边中点的小孔 P 处以某一速度 v 垂直于 cd 边和磁场方向射入, 以后小球与挡板的碰撞过程中没有任何损失.

(1) 为使小球在最短的时间内从 P 点垂直于 dc 射出来, 小球入射的速度 v_1 是多少?

(2) 若小球以 $v_2 = 0.1\text{m/s}$ 的速度入射, 则需经过多少时间才能由 P 点出来?

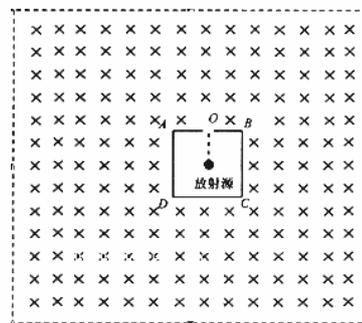


2. 居里夫人是世界最伟大的科学家之一, 在放射性的研究方面取得了卓越的成就. 居里夫妇处理了数十吨沥青矿残渣, 历时 4 年才提取到 ^{210}Po 氯化镭. 居里夫人后来获得了 1903 年诺贝尔物理学奖和 1911 年的化学奖. 为纪念自己的祖国波兰, 她命名所发现的放射性元素之一为钋 (原子核符号为 $^{210}_{84}\text{Po}$). 钋在放射时放出某种粒子 X 后, 形成新的原子核 $^{206}_{82}\text{Pb}$. 如果该放射源放在一个正方形 $ABCD$ 的带有小孔 O 的容器内, 容器的边长为 L . 如图所示, 粒子以不同的速度从 AB 边的中点 O 处的小孔沿垂直于 AB 方向射出, 进入一个磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 磁场区域足够大, 容器内无磁场. 当粒子从 O 点射出的速度为 v_0 时, 未与容器碰撞直接打在 A 点处. 求:

(1) 试写出该核反应方程, 并说明是何种衰变

(2) 如果有 α 粒子恰好直接打在 D 点, 则该粒子从 O 点射出的速度 v_1 是多少?

(3) 如果粒子碰撞到 $ABCD$ 各边上时不损失机械能, 且粒子所带电量不变化, 则从小孔 O 中射出的粒子能够回到 O 点, 粒子从小孔射出时的速度应满足什么条件? 从小孔 O 中射出的粒子回到 O 点的最短时间是多少?

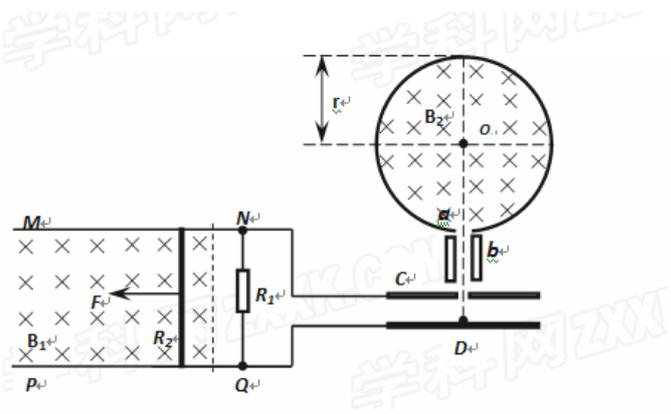


简学特训
—学习原本很简单—

3. 如图所示（俯视），MN 和 PQ 是两根固定在同一水平面上的足够长且电阻不计的平行金属导轨. 两导轨间距为 $L=0.2\text{m}$ ，其间有一个方向垂直水平面竖直向下的匀强磁场 $B_1=5.0\text{T}$. 导轨上 NQ 之间接一电阻 $R_1=0.40\ \Omega$ ，阻值为 $R_2=0.10\ \Omega$ 的金属杆垂直导轨放置并与导轨始终保持良好接触. 两导轨右端通过金属导线分别与电容器 C 的两极相连. 电容器 C 紧靠准直装置 b，b 紧挨着带小孔 a（只能容一个粒子通过）的固定绝缘弹性圆筒. 圆筒壁光滑，筒内有垂直水平面竖直向下的匀强磁场 B_2 ，O 是圆筒的圆心，圆筒的内半径 $r=0.40\text{m}$.

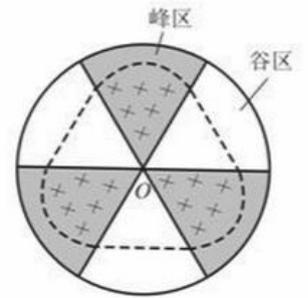
（1）用一个方向平行于 MN 水平向左且功率恒定为 $P=80\text{W}$ 的外力 F 拉金属杆，使杆从静止开始向左运动. 已知杆受到的摩擦阻力大小恒为 $F_f=6\text{N}$ ，求：当金属杆最终匀速运动时杆的速度大小及电阻 R_1 消耗的电功率？

（2）当金属杆处于（1）问中的匀速运动状态时，电容器 C 内紧靠极板的 D 处的一个带正电的粒子经 C 加速、b 准直后从 a 孔垂直磁场 B_2 并正对着圆心 O 进入筒中，该带电粒子与圆筒壁碰撞四次后恰好又从小孔 a 射出圆筒. 已知该带电粒子每次与筒壁发生碰撞时电量和能量都不损失，不计粒子的初速度、重力和空气阻力，粒子的荷质比 $q/m=5\times 10^7\text{C/kg}$ ，则磁感应强度 B_2 多大（结果允许含有三角函数式）？



三. 单方向动量定理

1. 为了进一步提高回旋加速器的能量，科学家建造了“扇形聚焦回旋加速器”。在扇形聚焦过程中，离子能以不变的速率在闭合平衡轨道上周期性旋转。扇形聚焦磁场分布的简化图如图所示，圆心为 O 的圆形区域等分成六个扇形区域，其中三个为峰区，三个为谷区，峰区和谷区相间分布。峰区内存在方向垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B ，谷区内没有磁场。质量为 m ，电荷量为 q 的正离子，以不变的速率 v 旋转，其闭合平衡轨道如图中虚线所示。



- (1) 求闭合平衡轨道在峰区内圆弧的半径 r ，并判断离子旋转的方向是顺时针还是逆时针；
- (2) 求轨道在一个峰区内圆弧的圆心角 θ ，及离子绕闭合平衡轨道旋转的周期 T ；
- (3) 在谷区也施加垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B' ，新的闭合平衡轨道在一个峰区内的圆心角 θ 变为 90° ，求 B' 和 B 的关系。已知：

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta,$$

$$\cos\alpha = 1 - 2\sin^2\frac{\alpha}{2}$$

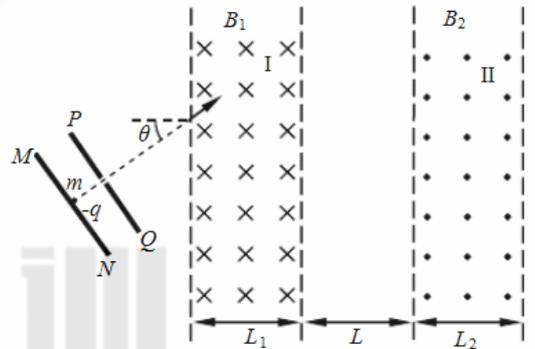
2. 扭摆器是同步辐射装置中的插入件，能使粒子的运动轨迹发生扭摆。其简化模型如图 I、II 两处的条形均强磁场区边界竖直，相距为 L ，磁场方向相反且垂直于纸面。一质量为 m 、电量为 $-q$ 、重力不计的粒子，从靠近平行板电容器 MN 板处由静止释放，极板间电压为 U ，粒子经电场加速后平行于纸面射入 I 区，射入时速度与水平和方向夹角 $\theta = 30^\circ$

(1) 当 I 区宽度 $L_1=L$ 、磁感应强度大小 $B_1=B_0$ 时，粒子从 I 区右边界射出时速度与水平方向夹角也为 30° ，求 B_0 及粒子在 I 区运动的时间 t_0

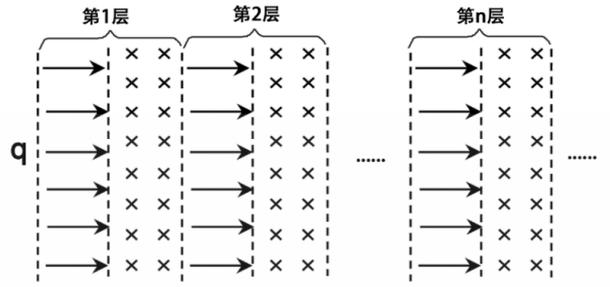
(2) 若 II 区宽度 $L_2=L_1=L$ 磁感应强度大小 $B_2=B_1=B_0$ ，求粒子在 I 区的最高点与 II 区的最低点之间的高度差 h

(3) 若 $L_2=L_1=L$ 、 $B_1=B_0$ ，为使粒子能返回 I 区，求 B_2 应满足的条件

(4) 若 $B_1 \neq B_2, L_1 \neq L_2$ ，且已保证了粒子能从 II 区右边界射出。为使粒子从 II 区右边界射出的方向与从 I 区左边界射出的方向总相同，求 B_1 、 B_2 、 L_1 、 L_2 之间应满足的关系式。



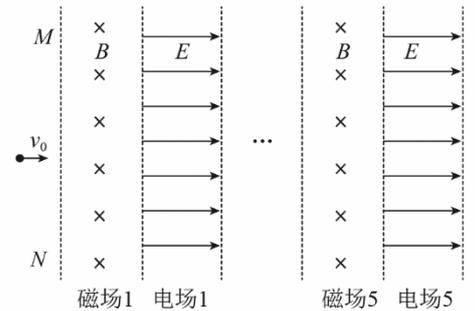
3. 现代科学仪器常利用电场、磁场控制带电粒子的运动。真空中存在着如图所示的多层紧密相邻的匀强电场和匀强磁场，电场与磁场的宽度均为 d 。电场强度为 E ，方向水平向右；磁感应强度为 B ，方向垂直纸面向里。电场、磁场的边界互相平行且与电场方向垂直。一个质量为 m ，电荷量为 q 的带正电粒子在第 1 层电场左侧边界某处由静止释放，粒子始终在电场、磁场中运动，不计粒子重力及运动时的电磁辐射，



求：(1) 粒子在第 2 层磁场中的运动时速度 v_2 的大小与轨迹半径 r_2 ；

(2) 粒子从第 n 层磁场右侧边界穿出时，速度的方向与水平方向的夹角为 θ_n ，试求 $\sin \theta_n$ ；(3) 若粒子恰好不能从第 n 层磁场右侧边界穿出，试问在其他条件不变的情况下，也进入第 n 层磁场，但比荷较该粒子大的粒子能否穿出该层磁场右侧边界，请简要推理说明之

4. 如图所示， MN 右侧有多个紧密相邻的匀强磁场和匀强电场，磁场与电场的宽度均为 d ，长度足够长，磁感应强度大小相同，方向垂直纸面向里；电场强度大小相同，方向水平向右。一质量为 m 、电量为 $+q$ 的带电粒子以速度 v_0 垂直于 MN 进入磁场 1，当带电粒子从第一个磁场区域穿出时，速度方向偏转了 30° 角，设电场、磁场均有理想边界，粒子重力不计求：

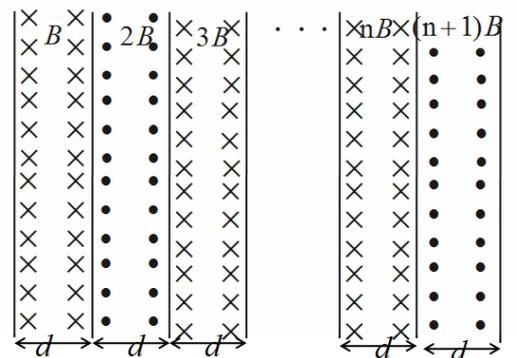


(1) 磁感应强度 B ；

(2) 若粒子的速度范围为 $0 < v \leq \sqrt{2}v_0$ ，写出粒子穿出第一个磁场区域时速度方向与磁场边界夹角 θ 的余弦值 $\cos \theta$ 与 v 之间的函数关系式；

(3) 在 (2) 问的条件下，若要粒子不穿出第 5 个磁场的右边界，求电场强度的最大值。

5. 如图所示相邻的多条竖直磁场，磁场水平宽度均为 d ，竖直方向磁场范围无穷大。第一条磁场的磁感应强度为 B ，方向垂直纸面向里；第二条为 $2B$ ，方向垂直纸面向外。... 第 n 条为 nB ，方向垂直纸面向里，第 $n+1$ 条为 $(n+1)B$ ，方向垂直纸面向外。一个粒子不计重力，质量为 m ，电量为 $+q$ ，从第一条区域左边界 O 点水平方向射入第一条磁场。

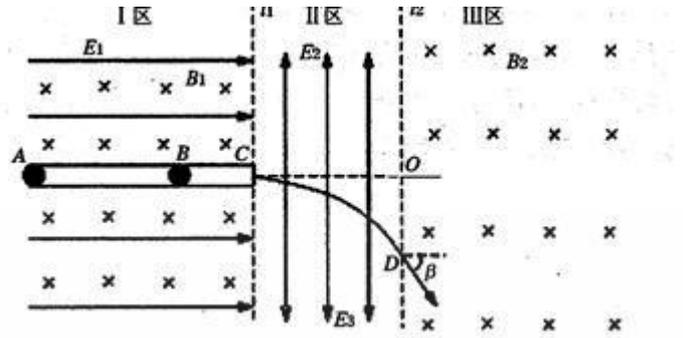


(1) 如果粒子离开第一个磁场时速度偏转角为 30° ，求粒子初速 v_0 大小？粒子在第二个磁场中的飞行时间？

(2) 粒子最多能到达第几条磁场？

(3) 粒子入射初速变为 $2v_0$ 则粒子从第三条磁场中飞出时速度和水平方向交角？粒子最多能穿过几条磁场？

6. 如图所示, 虚线 L_1 、 L_2 将无重力场的空间分成三个区域, I 区内存在水平向右的匀强电场 E_1 和垂直纸面向里的匀强磁场 B_1 , II 区内以水平线 CO 为分界, 上方存在着竖直向上的匀强电场 E_2 , 下方存在着竖直向下的匀强电场 E_3 , III 区内存在以 L_2 为左边界、右边无界的垂直纸面向里的匀强磁场 B_2 , 在 I 区内有一段粗糙、长为 L 的水平放置塑料直管道 AC , 一可视为质点的带正电小球 (直径比管内径略小) 的质量为 m 、带电量为 q , 现将小球从管道内 A 处由静止释放, 运动至管道内离 A 点距离为 L_0 的 B 点处时达到稳定速度 v_0 , 后进入 II 区向下偏转, 从边界 L_2 上的 D 点进入 III 区, 此时速度方向与水平方向的夹角为 β , 最后小球恰能无碰撞的从 C 处进入管道。



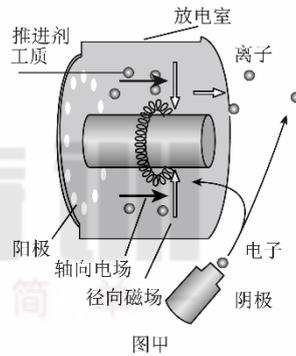
$\frac{q}{m}$

已知 $m=0.01\text{kg}$, $E_1=100\text{N/C}$, $E_2=E_3=300\text{N/C}$, $\beta=60^\circ$, $B_1=10^3\text{T}$, $L=5\text{m}$, $L_0=4\text{m}$, 小球与管道间动摩擦因素为 $\mu=0.1$, 求:

- (1) 小球在管道内运动的稳定速度 v_0 值;
- (2) III 区内匀强磁场 B_2 的值;
- (3) 从 A 处开始至从 C 处进入管道的过程中, 小球的运动时间 t 。

7. 2021 年 4 月我国空间站天和核心舱成功发射, 核心舱首次使用了一种全新的推进装置——霍尔推力器。其工作原理简化如下: 如图甲所示, 推力器右侧阴极逸出 (初速度极小) 的一部分电子进入放电室中, 放电室内由沿圆柱体轴向的电场和环形径向磁场组成, 电子在洛伦兹力和电场力的共同作用下运动, 最终大多数电子被束缚在一定的区域内, 与进入放电室的中性推进剂工质 (氙原子) 发生碰撞使其电离; 电离后的氙离子在磁场中的偏转角度很小, 其运动可视为在轴向电场力作用下的直线运动, 飞出放电室后与阴极导出的另一部分电子中和并被高速喷出, 霍尔推力器由于反冲获得推进动力。设某次核心舱进行姿态调整, 开启霍尔推力器, 电离后的氙离子初速度为 0, 经电压为 U 的电场加速后高速喷出, 氙离子所形成的等效电流为 I 。已知一个氙离子质量为 m , 电荷量为 q , 忽略离子间的相互作用力和电子能量的影响, 求:

- (1) 单位时间内喷出氙离子的数目 N ;
- (2) 霍尔推力器获得的平均推力大小 F ;
- (3) 放电室中的电场和磁场很复杂, 为简化研究, 将图甲中磁场和电场在小范围内看做匀强磁场和匀强电场, 俯视图如图乙所示, 设磁感应强度为 B , 电场强度为 E 。选取从阴极逸出的某电子为研究对象, 初速度可视为 0, 在小范围内运动的轨迹如图, 已知电子质量为 m_e , 电荷量为 e , 忽略电子间, 电子与离子间的相互作用力, 求电子在沿轴向方向运动的最大距离 H 。

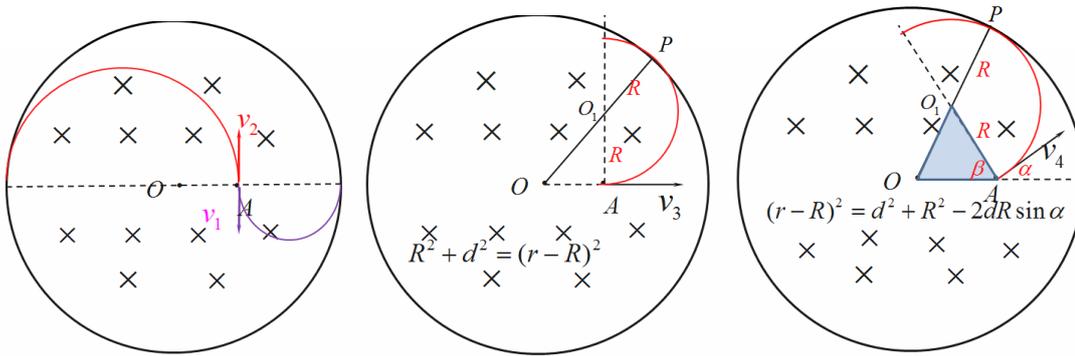


图甲

图乙

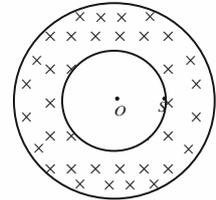
四. 托卡马克装置 (环状磁场)

磁场半径为 r , 粒子源 A 和磁场圆心 O 距离为 d , 粒子恰好不飞出磁场



1. 据有关资料介绍, 受控核聚变装置中有极高的温度, 因而带电粒子将没有通常意义上的“容器”可装, 而是由磁场约束带电粒子运动使之束缚在某个区域内。该装置称为托卡马克装置。现按下面的简化条件来讨论这个问题: 如图图所示是一个截面为内径 R 、外径 $2R$ 的环状区域, 区域内有垂直于截面向里的匀强磁场, 磁场强度为 B 。粒子源 S 向各方向射出质量为 m 电量为 $+q$ 的粒子,

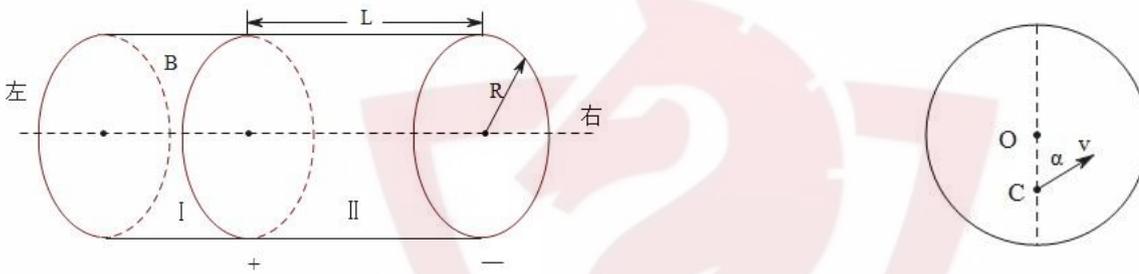
- (1) 为了使所有粒子都不能飞出磁场区域, 粒子的最大速度?
- (2) 为了使沿着 OS 连线射出的粒子恰好不飞出磁场区域, 粒子速度大小?
- (3) 如果粒子速度方向和 OS 连线延长线成 60° , 为了使粒子不飞出磁场, 粒子速度满足什么条件?



简学特训
—学习原本很简单—

2. 离子推进器是航空飞行器常用的动力系统，某种推进器的简化原理如左图所示，截面半径为 R 的圆柱腔分为两个工作区。Ⅰ为电离区，将氙气电离获得 1 价正离子；Ⅱ为加速区，长度为 L ，两端加有电压，形成轴向的匀强电场。Ⅰ区产生的正离子以接近 0 的初速度进入Ⅱ区，被加速后，以速度 v_M 从右侧喷出。Ⅰ区内有轴向的匀强磁场，磁感应强度大小为 B ，在离轴线 $R/2$ 处的 C 点持续射出一定速率范围的电子。假设射出的电子仅在垂直于轴线的截面上运动，截面如图 2 所示（从左向右看）。电子的初速度方向与中心 O 点和 C 点的连线成 α 角（ $0 < \alpha \leq 90^\circ$ ）。推进器工作时，向Ⅰ区注入稀薄的氙气。电子使氙气电离的最小速率为 v_0 ，电子在Ⅰ区不与容器相碰且能达到的区域越大，电离效果越好。已知离子质量为 M ；电子质量为 m ，电量为 e 。（电子碰到容器壁即被吸收，不考虑电子间的碰撞）

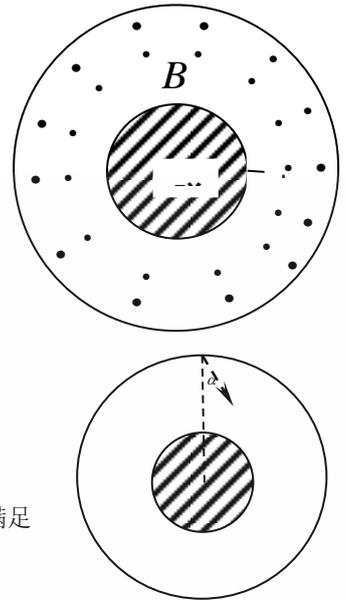
- (1) 求Ⅱ区的加速电压及离子的加速度大小；
- (2) 为取得好的电离效果，请判断Ⅰ区中的磁场方向（按图 2 说明是“垂直纸面向里”或“垂直纸面向外”）；
- (3) α 为 90° 时，要取得好的电离效果，求射出的电子速率 v 的范围；
- (4) 要取得好的电离效果，求射出的电子最大速率 v_{max} 与 α 角的关系。



简学特训

—学习原本很简单—

3. 太阳喷发大量高能带电粒子，这些粒子形成的“太阳风”接近地球时，假如没有地磁场，“太阳风”就不会受到地磁场的作用发生偏转而直射地球。在这种高能粒子的轰击下，地球的大气成份可能不是现在的样子，生命将无法存在。地磁场的作用使得带电粒子不能径直到达地面，而是被“运到”地球的南北两极，南极光和北极光就是带电粒子进入大气层的踪迹。假设太阳风主要成分质子，速度为约为 $0.1c$ (c 为真空光速)。近似认为地磁场在赤道上空为匀强环形磁场，平均强度为 $B = 5 \times 10^{-5} T$ 示意图如图所示。已知地球半径为 $r = 6400 \text{ km}$ 。质子电荷量 $q = 1.6 \times 10^{-19} C$ 质量 $m = 1.67 \times 10^{-27} \text{ Kg}$ 如太阳风在赤道面内射向地球。太阳喷发大量高能带电粒子，这些粒子形成的“太阳风”接近地球时，假如



(1) 如果太阳风中质子垂直地表指向地心方向入射，地磁场的厚度至少为多少才能使粒子不能到地表？ ($\ll 1$ 时，

$$\sqrt{1+\alpha} \approx 1 + \frac{1}{2}\alpha$$

到地表？)

(2) 如太阳风中质子的方向任意，则地磁场厚度 d 为多少时才能保证所有粒子都不能到地表。

(3) 如太阳风中粒子的入射方向和入射点和地心连线的夹角为 α 如图， $0 < \alpha < 90^\circ$ ，磁场厚度满足上一问的要求为定值 d 。电子质量为 m ，电量为 $-e$ ，则电子不能到地表的最大速度和角度 α 的关系。

4. 如图所示，半径分别为 a 、 b 的两同心虚线圆所围空间分别存在电场和磁场，中心 O 处固定一个半径很小(可忽略)的金属球，在小圆空间内存在沿半径向内的辐向电场，小圆周与金属球间电势差为 U ，两圆之间的空间存在垂直于纸面向里的匀强磁场，设有一个带负电的粒子从金属球表面沿 $+x$ 轴方向以很小的初速度逸出，粒子质量为 m ，电量为 q ，(不计粒子重力，忽略粒子初速度)求：

(1) 粒子到达小圆周上时的速度为多大？

(2) 粒子以(1)中的速度进入两圆间的磁场中，当磁感应强度超过某一临界值时，粒子将不能到达大圆周，求此最小值 B 。

(3) 若磁感应强度取(2)中最小值，且 $b = (\sqrt{2}+1)a$ ，要粒子恰好第一次沿逸出方向的反方向回到出发点，粒子需经过多少次回旋？并求粒子在磁场中运动的时间。(设粒子与金属球正碰后电量不变且能以原速率原路返回)

