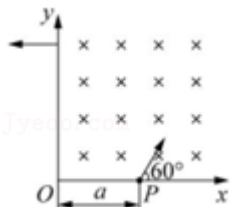


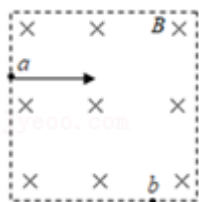
高考物理真题汇编系列--磁场--章节检测卷

一. 选择题 (共 14 小题)

1. 如图所示, 在 xOy 坐标系的第一象限内存在匀强磁场。一带电粒子在 P 点以与 x 轴正方向成 60° 的方向垂直磁场射入, 并恰好垂直于 y 轴射出磁场。已知带电粒子质量为 m 、电荷量为 q , $OP=a$ 。不计重力。根据上述信息可以得出 ()

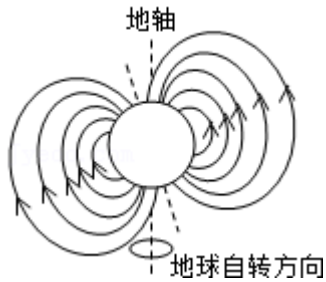


- A. 带电粒子在磁场中运动的轨迹方程
 B. 带电粒子在磁场中运动的速率
 C. 带电粒子在磁场中运动的时间
 D. 该匀强磁场的磁感应强度
2. 如图所示, 正方形区域内存在垂直纸面的匀强磁场。一带电粒子 (重力不计) 垂直磁场边界从 a 点射入, 从 b 点射出。下列说法正确的是 ()

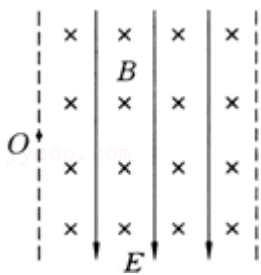


- A. 粒子带正电
 B. 粒子在 b 点速率大于在 a 点速率
 C. 若仅减小磁感应强度, 则粒子可能从 b 点右侧射出
 D. 若仅减小入射速率, 则粒子在磁场中运动时间变短
3. 某空间存在匀强磁场和匀强电场。一个带电粒子 (不计重力) 以一定初速度射入该空间后, 做匀速直线运动; 若仅撤除电场, 则该粒子做匀速圆周运动。下列因素与完成上述两类运动无关的是 ()
- A. 磁场和电场的方向
 B. 磁场和电场的强弱
 C. 粒子的电性和电量
 D. 粒子入射时的速度

4. 中国宋代科学家沈括在《梦溪笔谈》中最早记载了地磁偏角：“以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也。”进一步研究表明，地球周围地磁场的磁感线分布示意如图。结合上述材料，下列说法不正确的是（ ）

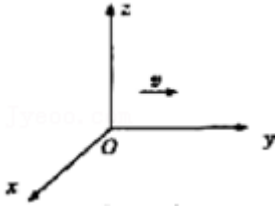


- A. 地理南、北极与地磁场的南、北极不重合
 B. 地球内部也存在磁场，地磁南极在地理北极附近
 C. 地球表面任意位置的地磁场方向都与地面平行
 D. 地磁场对射向地球赤道的带电宇宙射线粒子有力的作用
5. 处于匀强磁场中的一个带电粒子，仅在磁场力作用下做匀速圆周运动。将该粒子的运动等效为环形电流，那么此电流值（ ）
- A. 与粒子电荷量成正比
 B. 与粒子速率成正比
 C. 与粒子质量成正比
 D. 与磁感应强度成正比
6. 如图所示的虚线区域内，充满垂直于纸面向里的匀强磁场和竖直向下的匀强电场。一带电粒子 a（不计重力）以一定的初速度由左边界的 O 点射入磁场、电场区域，恰好沿直线由区域右边界的 O'（图中未标出）穿出。若撤去该区域内的磁场而保留电场不变，另一个同样的粒子 b（不计重力）仍以相同初速度由 O 点射入，从区域右边界穿出，则粒子 b（ ）

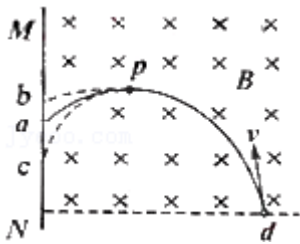


- A. 穿出位置一定在 O' 点下方
 B. 穿出位置一定在 O' 点上方
 C. 运动时，在电场中的电势能一定减小
 D. 在电场中运动时，动能一定减小

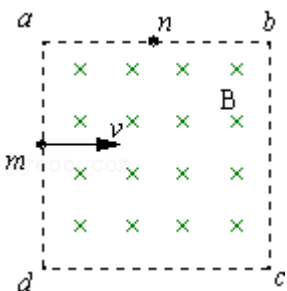
7. 在如图所示的空间中，存在场强为 E 的匀强电场，同时存在沿 x 轴负方向，磁感应强度为 B 的匀强磁场。一质子（电荷量为 e ）在该空间恰沿 y 轴正方向以速度 v 匀速运动。据此可以判断出（ ）



- A. 质子所受电场力大小等于 eE ，运动中电势能减小；沿 z 轴正方向电势升高
 B. 质子所受电场力大小等于 eE ，运动中电势能增大；沿 z 轴正方向电势降低
 C. 质子所受电场力大小等于 evB ，运动中电势能不变；沿 z 轴正方向电势升高
 D. 质子所受电场力大小等于 evB ，运动中电势能不变；沿 z 轴正方向电势降低
8. 如图所示，匀强磁场的方向垂直纸面向里，一带电微粒从磁场边界 d 点垂直于磁场方向射入，沿曲线 dpa 打到屏 MN 上的 a 点，通过 pa 段用时为 t 。若该微粒经过 p 点时，与一个静止的不带电微粒碰撞并结合为一个新微粒，最终打到屏 MN 上。两个微粒所受重力均忽略。新微粒运动的（ ）

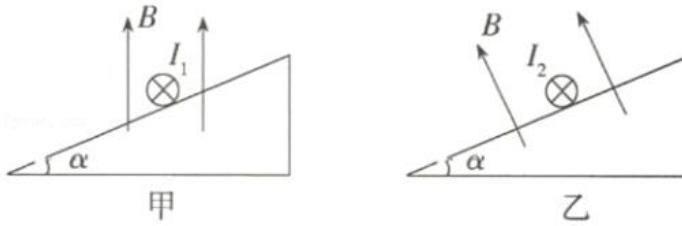


- A. 轨迹为 pb ，至屏幕的时间将小于 t
 B. 轨迹为 pc ，至屏幕的时间将大于 t
 C. 轨迹为 pb ，至屏幕的时间将等于 t
 D. 轨迹为 pa ，至屏幕的时间将大于 t
9. 如图所示，正方形区域 $abcd$ 中充满匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里。一个氢核从 ad 边的中点 m 沿着既垂直于 ad 边又垂直于磁场的方向，以一定速度射入磁场，正好从 ab 边中点 n 射出磁场。若将磁场的磁感应强度变为原来的 2 倍，其它条件不变，则这个氢核射出磁场的位置是（ ）

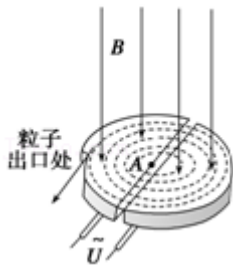


- A. 在 b 、 a 之间某点
 B. 在 n 、 a 之间某点
 C. a 点
 D. 在 a 、 m 之间某点

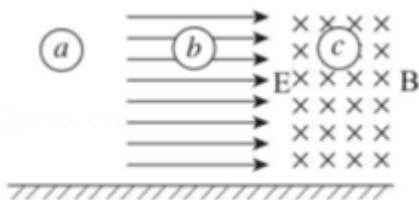
10. 在两个倾角均为 α 的光滑斜面上，放有两个相同的金属棒，分别通有电流 I_1 和 I_2 ，磁场的磁感应强度大小相同，方向分别为竖直向上和垂直于斜面向上，如图甲、乙所示，两金属棒均处于平衡状态。则两种情况下的电流之比 $I_1: I_2$ 为 ()



- A. $\sin\alpha: 1$ B. $1: \sin\alpha$ C. $\cos\alpha: 1$ D. $1: \cos\alpha$
11. 劳伦斯和利文斯设计出回旋加速器，工作原理示意图如图所示。置于高真空中的 D 形金属盒半径为 R ，两盒间的狭缝很小，带电粒子穿过的时间可忽略。磁感应强度为 B 的匀强磁场与盒面垂直，高频交流电频率为 f ，加速电压为 U 。若 A 处粒子源产生的质子质量为 m 、电荷量为 $+q$ ，在加速器中被加速，且加速过程中不考虑相对论效应和重力的影响。则下列说法正确的是 ()

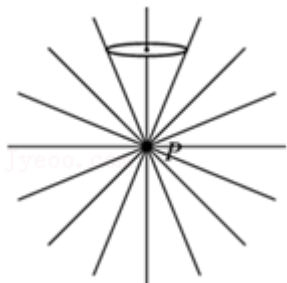


- A. 质子被加速后的最大速度不可能超过 $2\pi Rf$
- B. 质子离开回旋加速器时的最大动能与加速电压 U 成正比
- C. 质子第 2 次和第 1 次经过两 D 形盒间狭缝后轨道半径之比为 $1: \sqrt{2}$
- D. 不改变磁感应强度 B 和交流电频率 f ，该回旋加速器也能加速 α 粒子
12. 如图所示，三个完全相同的带负电的小球，b 处于水平向右的匀强电场中，c 处于垂直于纸面向里的匀强磁场中。不计空气阻力，三小球从同一高度静止落下，设它们落地前瞬间的速度大小分别为 v_a 、 v_b 、 v_c ，则 ()



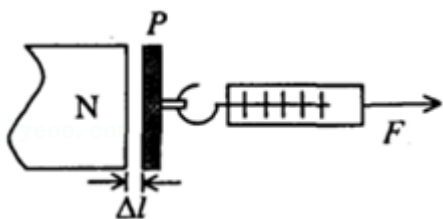
- A. b 小球在空中做匀变速曲线运动，轨迹是一条抛物线
- B. 三小球在落地前动量变化率恒定不变
- C. $v_a < v_b = v_c$
- D. $v_a = v_c < v_b$

13. 科学家们曾设想存在磁单极子，即一些仅带有 N 极或 S 极单一磁极的磁性物质。假设在 P 点有一个固定的磁单极子，在其周围形成均匀辐射磁场，磁感线如图所示。当质量为 m、半径为 R 的导体圆环通有恒定的电流时，恰好能静止在该磁单极子正上方，环心与 P 点的距离为 H，且圆环平面恰好沿水平方向。已知距磁单极子 r 处的磁感应强度大小为 $B = \frac{k}{r^2}$ ，其中 k 为已知常量，重力加速度为 g。下列选项正确的是 ()



- A. 圆环静止时磁场对环的安培力使其有沿半径方向扩张的趋势
- B. 圆环静止时可由题中条件求出环中电流的大小
- C. 若将圆环竖直向上平移一小段距离后由静止释放，下落过程中环中电流不受影响
- D. 若将圆环竖直向上平移一小段距离后由静止释放，下落过程中环的加速度先增大后减小

14. 磁场具有能量，磁场中单位体积所具有的能量叫作能量密度，其值为 $B^2/2\mu$ ，式中 B 是磁感应强度， μ 是磁导率，在空气中 μ 为一已知常数。为了近似测得条形磁铁磁极端面附近的磁感应强度 B，一学生用一根端面面积为 A 的条形磁铁吸住一相同面积的铁片 P，再用力将铁片与磁铁拉开一段微小距离 Δl ，并测出拉力 F，如图所示。因为 F 所做的功等于间隙中磁场的能量，所以由此可得磁感应强度 B 与 F、A 之间的关系为 ()



- A. $B = \sqrt{\frac{2\mu F}{A}}$
- B. $B = \sqrt{\frac{2\mu F \Delta l}{A}}$
- C. $B = \sqrt{\frac{2F \Delta l}{\mu A}}$
- D. $B = \sqrt{\frac{2\mu F}{A \Delta l}}$

二. 实验题 (共 2 小题)

15. 某同学用图中所给器材进行与安培力有关的实验。两根金属导轨 ab 和 a_1b_1 固定在同一水平面内且相互平行，足够大的电磁铁（未画出）的 N 极位于两导轨的正上方， S 极位于两导轨的正下方，一金属棒置于导轨上且与两导轨垂直。（不计金属导轨的电阻和摩擦）

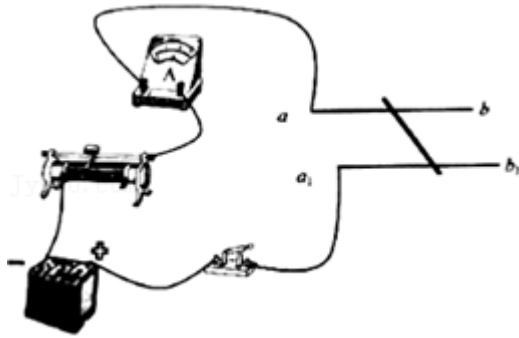
(1) 在开关闭合后，金属棒向_____（选填“左侧”或“右侧”）移动。

(2) 为使金属棒在离开导轨时具有更大的速度，有人提出以下建议：

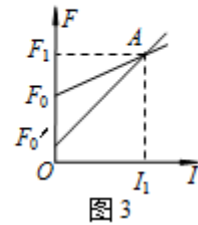
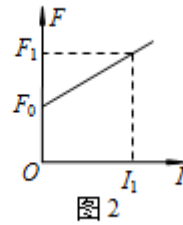
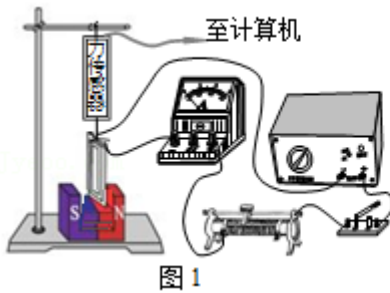
- A. 适当增加两导轨间的距离
- B. 保持两个导轨间距不变，换一根更长的金属棒
- C. 将滑动变阻器滑片向左移动
- D. 把磁铁换成磁性更强的足够大的钕铁硼磁铁

其中正确的是_____（填入正确选项前的字母）。

(3) 如果将电路中电流方向反向，磁场也反向，金属棒将会向_____（选填“左侧”或“右侧”）移动。



16. (1) 小明同学在探究通电直导线受到的安培力 F 和电流强度 I 的关系的过程中, 设计了如图 1 所示的实验装置。将匝数为 N 、底边长度为 L_1 的线圈与电流表、电源和滑动变阻器及开关组成一闭合回路, 把线圈用轻细绳挂在力传感器的下端, 使线圈处在由磁铁产生的磁场中, 保持线框底边与磁场方向垂直, 磁铁磁极与线框平面平行方向的宽度为 L_2 , 且 $L_1 > L_2$ 。接通电路, 适当调节滑动变阻器, 当电流表的示数为 I 时, 观察并记录力传感器此时的读数 F 。经多次重复上述操作, 可测出在滑动变阻器接入电路的不同阻值下所对应的多组 I 和 F 的数据, 用描点法画出 $F - I$ 图象如图 2 所示, 其中的 F_0 、 F_1 和 I_1 均为已知量。由图象可以判定线框所受安培力方向_____ (选填“竖直向上”或者“竖直向下”); 通过线框底边电流方向_____ (选填“指向纸内”或者“指向纸外”); 线框所受重力的大小为_____; 若认为两磁极间的磁场为匀强磁场, 且在两磁极之间正对位置以外区域的磁场可忽略不计, 则此匀强磁场的磁感应强度为_____。



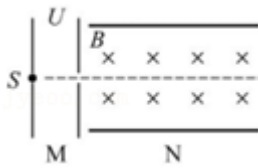
(2) 如果小刚同学也用了同样的方法进行实验, 只是所使用的器材不完全相同。他将据所测数据画出的 $F - I$ 图象与小明的图象进行对比, 发现在同一坐标系下两图线并不重合, 如图 3 所示, 小刚的图象的纵轴截距为 F_0' , 两图线在 A 点相交, 图中的 F_0 、 F_0' 、 F_1 和 I_1 均为已知量。对两人的实验器材进行比较, 根据图象可知_____。(选填选项前面的字母)

- A. 所使用线圈的质量一定不同
- B. 所使用的磁铁一定不同
- C. 所使用电源的电动势一定不同
- D. 所使用线圈的匝数一定不同。

三. 计算题 (共 2 小题)

17. 如图所示, M 为粒子加速器; N 为速度选择器, 两平行导体板之间有方向相互垂直的匀强电场和匀强磁场, 磁场的方向垂直纸面向里, 磁感应强度为 B 。从 S 点释放一初速度为 0、质量为 m 、电荷量为 q 的带正电粒子, 经 M 加速后恰能以速度 v 沿直线 (图中平行于导体板的虚线) 通过 N。不计重力。

- (1) 求粒子加速器 M 的加速电压 U ;
- (2) 求速度选择器 N 两板间的电场强度 E 的大小和方向;
- (3) 仍从 S 点释放另一初速度为 0、质量为 $2m$ 、电荷量为 q 的带正电粒子, 离开 N 时粒子偏离图中虚线的距离为 d , 求该粒子离开 N 时的动能 E_k 。



18. 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，一个静止的放射性原子核发生了一次 α 衰变。放射出的 α 粒子 (${}^4_2\text{He}$) 在与磁场垂直的平面内做圆周运动，其轨道半径为 R 。以 m 、 q 分别表示 α 粒子的质量和电荷量。

(1) 放射性原子核用 ${}^A_Z\text{X}$ 表示，新核的元素符号用 Y 表示，写出该 α 衰变的核反应方程。

(2) α 粒子的圆周运动可以等效成一个环形电流，求圆周运动的周期和环形电流大小。

(3) 设该衰变过程释放的核能都转化为 α 粒子和新核的动能，新核的质量为 M ，求衰变过程的质量亏损 Δm 。

四. 解答题 (共 2 小题)

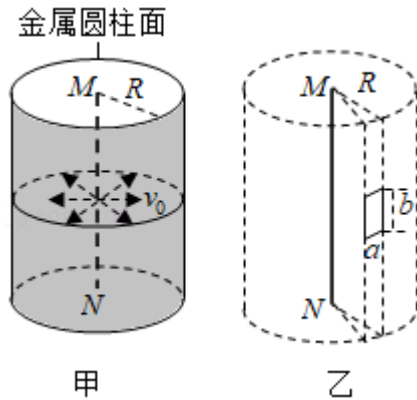
19. 如图甲所示, 真空中有一长直细金属导线 MN, 与导线同轴放置一半径为 R 的金属圆柱面。假设导线沿径向均匀射出速率相同的电子, 已知电子质量为 m , 电荷量为 e 。不考虑出射电子间的相互作用。

(1) 可以用以下两种实验方案测量出射电子的初速度:

- a. 在柱面和导线之间, 只加恒定电压;
- b. 在柱面内, 只加与 MN 平行的匀强磁场。

当电压为 U_0 或磁感应强度为 B_0 时, 刚好没有电子到达柱面。分别计算出射电子的初速度 v_0 。

(2) 撤去柱面, 沿柱面原位置放置一个弧长为 a 、长度为 b 的金属片, 如图乙所示。在该金属片上检测到出射电子形成的电流为 I , 电子流对该金属片的压强为 p 。求单位长度导线单位时间内出射电子的总动能。

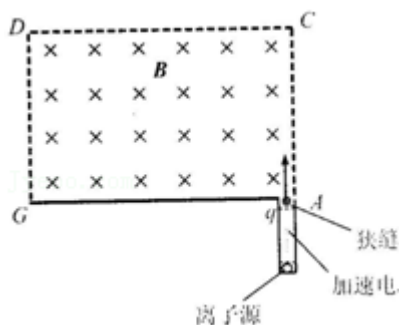


20. 利用电场和磁场, 可以将比荷不同的离子分开, 这种方法在化学分析和原子核技术等领域有重要的应用. 如图所示的矩形区域 $ACDG$ (AC 边足够长) 中存在垂直于纸面的匀强磁场, A 处有一狭缝. 离子源产生的离子, 经静电场加速后穿过狭缝沿垂直于 GA 边且垂直于磁场的方向射入磁场, 运动到 GA 边, 被相应的收集器收集. 整个装置内部为真空. 已知被加速的两种正离子的质量分别是 m_1 和 m_2 ($m_1 > m_2$), 电荷量均为 q . 加速电场的电势差为 U , 离子进入电场时的初速度可以忽略. 不计重力, 也不考虑离子间的相互作用.

(1) 求质量为 m_1 的离子进入磁场时的速率 v_1 ;

(2) 当磁感应强度的大小为 B 时, 求两种离子在 GA 边落点的间距 s ;

(3) 在前面的讨论中忽略了狭缝宽度的影响, 实际装置中狭缝具有一定宽度. 若狭缝过宽, 可能使两束离子在 GA 边上的落点区域交叠, 导致两种离子无法完全分离. 设磁感应强度大小可调, GA 边长为定值 L , 狭缝宽度为 d , 狭缝右边缘在 A 处. 离子可以从狭缝各处射入磁场, 入射方向仍垂直于 GA 边且垂直于磁场. 为保证上述两种离子能落在 GA 边上并被完全分离, 求狭缝的最大宽度.

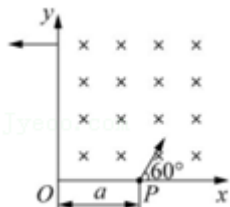


高考物理真题汇编系列--磁场--章节检测卷

参考答案与试题解析

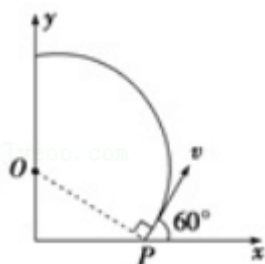
一. 选择题（共 14 小题）

1. 如图所示，在 xOy 坐标系的第一象限内存在匀强磁场。一带电粒子在 P 点以与 x 轴正方向成 60° 的方向垂直磁场射入，并恰好垂直于 y 轴射出磁场。已知带电粒子质量为 m 、电荷量为 q ， $OP=a$ 。不计重力。根据上述信息可以得出（ ）



- A. 带电粒子在磁场中运动的轨迹方程
- B. 带电粒子在磁场中运动的速率
- C. 带电粒子在磁场中运动的时间
- D. 该匀强磁场的磁感应强度

【解答】解：利用左手定则画出初末位置的洛伦兹力的方向，由此判断出圆心的所在位置：



根据几何关系可得： $\cos 30^\circ = \frac{a}{r}$ ，所以 $r = \frac{2\sqrt{3}}{3}a$ 。

在磁场中，由洛伦兹力提供向心力，即： $qBv = m\frac{v^2}{r}$ ，同时： $T = \frac{2\pi r}{v}$ ，化简得： $r = \frac{mv}{qB}$ ，

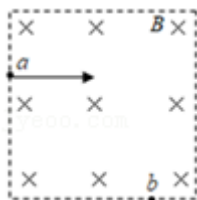
$$T = \frac{2\pi m}{qB}。$$

由此可知，带电粒子在磁场中的运动轨迹是唯一确定且可求的，故 A 正确；

因为 v 和 B 都未知，所以带电粒子在磁场中的运动时间也无法确定，故 BCD 错误。

故选：A。

2. 如图所示，正方形区域内存在垂直纸面的匀强磁场。一带电粒子（重力不计）垂直磁场边界从 a 点射入，从 b 点射出。下列说法正确的是（ ）



- A. 粒子带正电
 B. 粒子在 b 点速率大于在 a 点速率
 C. 若仅减小磁感应强度，则粒子可能从 b 点右侧射出
 D. 若仅减小入射速率，则粒子在磁场中运动时间变短

【解答】解：A、粒子向下偏转，根据左手定则可得粒子带负电，故 A 错误；

B、粒子在磁场中运动时洛伦兹力不做功，粒子在 b 点速率等于在 a 点速率，故 B 错误；

C、根据 $R = \frac{mv}{Bq}$ 可知，若仅减小磁感应强度，则粒子运动的半径增大，粒子可能从 b 点右侧射出，故 C 正确；

D、若仅减小入射速率，则粒子在磁场中运动半径减小，粒子轨迹对应的圆心角有可能增大，根据 $t = \frac{\theta}{2\pi} T$ 可知粒子运动时间可能增加，故 D 错误。

故选：C。

3. 某空间存在匀强磁场和匀强电场。一个带电粒子（不计重力）以一定初速度射入该空间后，做匀速直线运动；若仅撤除电场，则该粒子做匀速圆周运动。下列因素与完成上述两类运动无关的是（ ）
- A. 磁场和电场的方向
 B. 磁场和电场的强弱
 C. 粒子的电性和电量
 D. 粒子入射时的速度

【解答】解：带电粒子在电场中一定会受到电场力的作用；一个带电粒子进入电场、磁场共存的区域后做匀速圆周运动，所以带电粒子受到的洛伦兹力与电场力大小相等，方向相反，即： $qvB = qE$

可知粒子的速度大小： $v = \frac{E}{B}$ 是必须的条件，同时磁场的强弱与电场的强弱必须满足 $v = \frac{E}{B}$ ；

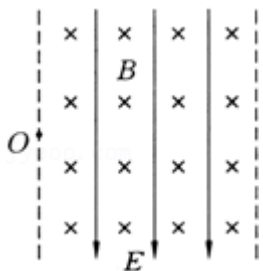
同时，由左手定则可知，洛伦兹力的方向与粒子速度的方向、磁场的方向垂直，而电场力的方向与电场的方向平行，所以磁场的方向必定与电场的方向垂直；

由于带电粒子在磁场中做匀速直线运动，结合洛伦兹力产生的条件可知，速度的方向必须与磁场的方向垂直，同时由平衡条件可知，洛伦兹力的方向与电场力的方向相反，则二者的方向必定也要满足特定的条件；

而且由公式 $v = \frac{E}{B}$ 可知，粒子满足前面的两个条件时，与粒子的带电量以及粒子的电性都无关。

故 C 符合题意，ABD 不符合题意。

另一个同样的粒子 b (不计重力) 仍以相同初速度由 O 点射入, 从区域右边界穿出, 则粒子 b ()



- A. 穿出位置一定在 O' 点下方
- B. 穿出位置一定在 O' 点上方
- C. 运动时, 在电场中的电势能一定减小
- D. 在电场中运动时, 动能一定减小

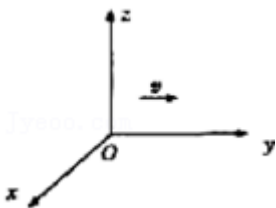
【解答】解:

a 粒子要在电场、磁场的复合场区内做直线运动, 则该粒子一定做匀速直线运动, 故对粒子 a 有: $Bqv = Eq$ 即只要满足 $E = Bv$ 无论粒子带正电还是负电, 粒子都可以沿直线穿出复合场区, 当撤去磁场只保留电场时, 粒子 b 由于电性不确定, 故无法判断从 O' 点的上方或下方穿出, 故 AB 错误;

粒子 b 在穿过电场区的过程中必然受到电场力的作用而做类似于平抛的运动, 电场力做正功, 其电势能减小, 动能增大, 故 C 项正确 D 项错误。

故选: C。

7. 在如图所示的空间中, 存在场强为 E 的匀强电场, 同时存在沿 x 轴负方向, 磁感应强度为 B 的匀强磁场. 一质子 (电荷量为 e) 在该空间恰沿 y 轴正方向以速度 v 匀速运动. 据此可以判断出 ()



- A. 质子所受电场力大小等于 eE , 运动中电势能减小; 沿 z 轴正方向电势升高
- B. 质子所受电场力大小等于 eE , 运动中电势能增大; 沿 z 轴正方向电势降低
- C. 质子所受电场力大小等于 evB , 运动中电势能不变; 沿 z 轴正方向电势升高
- D. 质子所受电场力大小等于 evB , 运动中电势能不变; 沿 z 轴正方向电势降低

【解答】解: 质子受到电场力 $F = qE$ 与洛伦兹力 $f = qvB$ 作用而做匀速直线运动, 处于平衡状态,

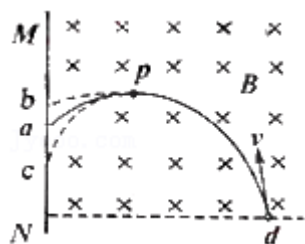
由平衡条件可得: $qE = qvB$, 电场力与洛伦兹力方向相反;

由左手定则可知, 质子所受洛伦兹力竖直向上, 则电场力竖直向下,

由于质子带正电，所受电场力的方向与电场强度 E 的方向相同，
 则电场强度 E 方向沿 z 轴竖直向下，则沿 z 轴正方向电势升高；
 质子在运动过程中，电场力不做功，因此质子的电势能不变，
 故 ABD 错误，C 正确；

故选：C。

8. 如图所示，匀强磁场的方向垂直纸面向里，一带电微粒从磁场边界 d 点垂直于磁场方向射入，沿曲线 dpa 打到屏 MN 上的 a 点，通过 pa 段用时为 t 。若该微粒经过 p 点时，与一个静止的不带电微粒碰撞并结合为一个新微粒，最终打到屏 MN 上。两个微粒所受重力均忽略。新微粒运动的（ ）



- A. 轨迹为 pb ，至屏幕的时间将小于 t
- B. 轨迹为 pc ，至屏幕的时间将大于 t
- C. 轨迹为 pb ，至屏幕的时间将等于 t
- D. 轨迹为 pa ，至屏幕的时间将大于 t

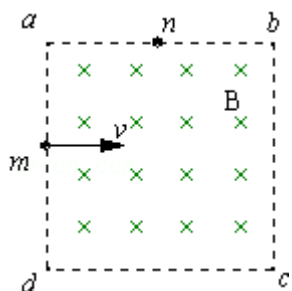
【解答】解：带电粒子和不带电粒子相碰，动量守恒故总动量不变；而总电量保持不变，

则由 $Bqv = m \frac{v^2}{R}$ 可得 R 保持不变，故轨迹应为 pa ；

因周期 $T = \frac{2\pi m}{Bq}$ 可知，因 m 增大，故周期增大，因所对应的弧线不变，圆心角不变，故 pa 所用的时间将大于 t ；

故选：D。

9. 如图所示，正方形区域 $abcd$ 中充满匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里。一个氢核从 ad 边的中点 m 沿着既垂直于 ad 边又垂直于磁场的方向，以一定速度射入磁场，正好从 ab 边中点 n 射出磁场。若将磁场的磁感应强度变为原来的 2 倍，其它条件不变，则这个氢核射出磁场的位置是（ ）



- A. 在 b 、 a 之间某点
- B. 在 n 、 a 之间某点
- C. a 点
- D. 在 a 、 m 之间某点

【解答】解：设边长为 a ，则从 n 点射出的粒子其半径恰好为 $\frac{a}{2}$ ；

由牛顿第二定律可得：

$$Bqv = m \frac{v^2}{\frac{a}{2}}$$

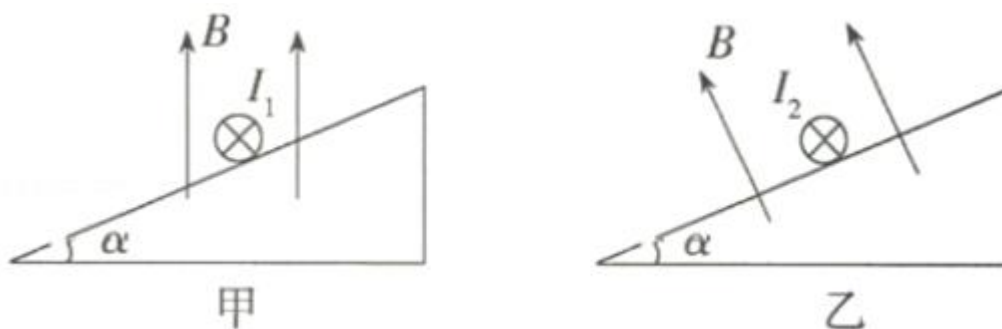
当磁感应强度变为原来的 2 倍时，由 $2Bqv = m \frac{v^2}{R}$ 得

$$R = \frac{a}{4}$$

故粒子应从 a 点穿出；

故选：C。

10. 在两个倾角均为 α 的光滑斜面上，放有两个相同的金属棒，分别通有电流 I_1 和 I_2 ，磁场的磁感应强度大小相同，方向分别为竖直向上和垂直于斜面向上，如图甲、乙所示，两金属棒均处于平衡状态。则两种情况下的电流之比 $I_1 : I_2$ 为 ()



- A. $\sin\alpha : 1$ B. $1 : \sin\alpha$ C. $\cos\alpha : 1$ D. $1 : \cos\alpha$

【解答】解：导体棒受力如图，根据共点力平衡得，

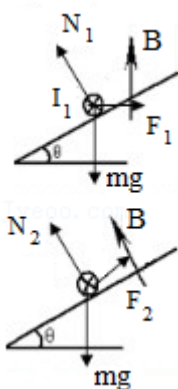
$$F_1 = mg \tan\alpha$$

$$F_2 = mg \sin\alpha$$

所以导体棒所受的安培力之比 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{\tan\alpha}{\sin\alpha} = 1 : \cos\alpha$

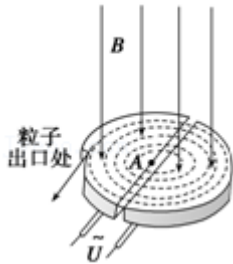
因为 $F = BIL$ ，所以 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{F_1}{F_2} = 1 : \cos\alpha$ ，故 D 正确，ABC 错误。

故选：D。



11. 劳伦斯和利文斯设计出回旋加速器，工作原理示意图如图所示。置于高真空中的 D 形

金属盒半径为 R ，两盒间的狭缝很小，带电粒子穿过的时间可忽略。磁感应强度为 B 的匀强磁场与盒面垂直，高频交流电频率为 f ，加速电压为 U 。若 A 处粒子源产生的质子质量为 m 、电荷量为 $+q$ ，在加速器中被加速，且加速过程中不考虑相对论效应和重力的影响。则下列说法正确的是（ ）



- A. 质子被加速后的最大速度不可能超过 $2\pi Rf$
- B. 质子离开回旋加速器时的最大动能与加速电压 U 成正比
- C. 质子第 2 次和第 1 次经过两 D 形盒间狭缝后轨道半径之比为 $1: \sqrt{2}$
- D. 不改变磁感应强度 B 和交流电频率 f ，该回旋加速器也能加速 α 粒子

【解答】解：A、质子出回旋加速器的速度最大，此时的半径为 R ，则 $v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rf$ 。

所以最大速度不超过 $2\pi Rf$ ，故 A 正确；

B、根据 $qvB = m\frac{v^2}{R}$ ，知 $v = \frac{qBR}{m}$ ，则最大动能 $E_{km} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2B^2R^2}{2m}$ ，与加速的电压无关。

故 B 错误；

C、粒子在加速电场中做匀加速运动，在磁场中做匀速圆周运动，根据动能定理 $nqU = \frac{1}{2}mv^2$ ，

知： $v = \sqrt{n} \sqrt{\frac{2qU}{m}}$ ，质子第 1 次和第 2 次经过 D 形盒狭缝的速度比为 $1: \sqrt{2}$ ， $qvB = m\frac{v^2}{R}$ ，

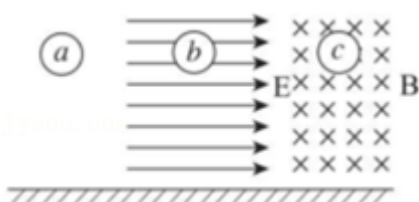
可知， $R = \frac{mv}{qB}$ ，则半径比为 $1: \sqrt{2}$ 。故 C 错误；

D、根据 $qvB = m\frac{v^2}{R}$ ，和 $v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rf$ ，知 $T = \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{1}{f}$ ， f 与比荷有关，粒子比荷一定

相同，故不可以加速，故 D 错误。

故选：A。

12. 如图所示，三个完全相同的带负电的小球， b 处于水平向右的匀强电场中， c 处于垂直于纸面向里的匀强磁场中。不计空气阻力，三小球从同一高度静止落下，设它们落地前瞬间的速度大小分别为 v_a 、 v_b 、 v_c ，则（ ）



- A. b 小球在空中做匀变速曲线运动，轨迹是一条抛物线

B. 三小球在落地前动量变化率恒定不变

C. $v_a < v_b = v_c$

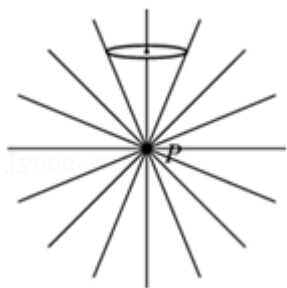
D. $v_a = v_c < v_b$

【解答】解：A、b 小球受到竖直向下的重力和水平向左的电场力，两个力都是恒力，其合力为恒力，则 b 小球由静止释放后，沿重力和电场力的合力方向做匀加速直线运动，故 A 错误；

B、根据动量定理得： $\Delta p = F_{\text{合}} t$ ，则 $\frac{\Delta p}{t} = F_{\text{合}}$ ，即小球动量变化率等于合外力，则 a、b 两球在落地前动量变化率恒定不变，c 小球在落地前动量变化率是变化的，故 B 错误；

CD、对于 a 小球，只有重力做功。对于 b 小球，重力和电场力都做正功。小球 c 受到的洛伦兹力不做功，只有重力做功，根据动能定理可知： $v_a = v_c < v_b$ ，故 C 错误，D 正确。故选：D。

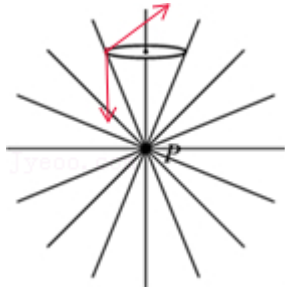
13. 科学家们曾设想存在磁单极子，即一些仅带有 N 极或 S 极单一磁极的磁性物质。假设在 P 点有一个固定的磁单极子，在其周围形成均匀辐射磁场，磁感线如图所示。当质量为 m、半径为 R 的导体圆环通有恒定的电流时，恰好能静止在该磁单极子正上方，环心与 P 点的距离为 H，且圆环平面恰好沿水平方向。已知距磁单极子 r 处的磁感应强度大小为 $B = \frac{k}{r^2}$ ，其中 k 为已知常量，重力加速度为 g。下列选项正确的是（ ）



- A. 圆环静止时磁场对环的安培力使其有沿半径方向扩张的趋势
- B. 圆环静止时可由题中条件求出环中电流的大小
- C. 若将圆环竖直向上平移一小段距离后由静止释放，下落过程中环中电流不受影响
- D. 若将圆环竖直向上平移一小段距离后由静止释放，下落过程中环的加速度先增大后减小

【解答】解：A、圆环静止时磁场对环有安培力作用，根据受力平衡可知，在竖直方向上安培力的分力与重力平衡，由左手定则可知，安培力与磁感线方向垂直，故圆环要想静止，受到的安培力方向只能斜向上，所以环有收缩的趋势，故 A 错误；

B、对环的某一部分进行受力分析如图：



在水平方向，根据安培力的对称性可知，整个的环在水平方向的合力为0，竖直方向的合力与重力大小相等，由于在圆环处各点电流的方向与磁场的方向都垂直，所以整体受到的安培力： $F=BI \cdot 2\pi R$

由几何关系： $F\cos\theta=mg$

$$\cos\theta = \frac{H}{\sqrt{H^2+R^2}}$$

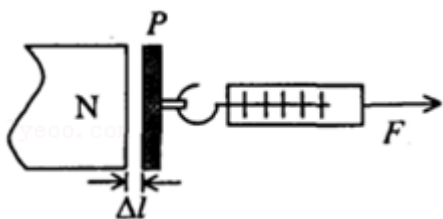
$$\text{由题：} B = \frac{k}{\sqrt{H^2+R^2}}$$

$$\text{联立得：} I = \frac{mg(H^2+R^2)^{\frac{3}{2}}}{2\pi kR^2} \text{。故 B 正确；}$$

CD、结合以上的受力分析可知，若将圆环向上平移一小段距离后环受到的安培力将减小；由静止释放，重力开始时大于安培力，所以环加速下落，向下的过程中安培力增大，所以合外力减小，加速度先减小。故 CD 错误。

故选：B。

14. 磁场具有能量，磁场中单位体积所具有的能量叫作能量密度，其值为 $B^2/2\mu$ ，式中 B 是磁感应强度， μ 是磁导率，在空气中 μ 为一已知常数。为了近似测得条形磁铁磁极端面附近的磁感应强度 B ，一学生用一根端面面积为 A 的条形磁铁吸住一相同面积的铁片 P ，再用力将铁片与磁铁拉开一段微小距离 Δl ，并测出拉力 F ，如图所示。因为 F 所做的功等于间隙中磁场的能量，所以由此可得磁感应强度 B 与 F 、 A 之间的关系为（ ）



- A. $B = \sqrt{\frac{2\mu F}{A}}$ B. $B = \sqrt{\frac{2\mu F \Delta l}{A}}$ C. $B = \sqrt{\frac{2F \Delta l}{\mu A}}$ D. $B = \sqrt{\frac{2\mu F}{A \Delta l}}$

【解答】解：由题意，磁场中单位体积所具有的能量叫作能量密度，其值为 $\frac{B^2}{2\mu}$

条形磁铁与铁片 P 之间的磁场具有的能量等于拉力 F 做的功，故有：

$$E = F \cdot \Delta l \dots \text{①}$$

量密度为磁场中单位体积所具有的能量，故有：

$$\frac{B^2}{2\mu} = \frac{E}{\Delta l \cdot A} \dots \text{②}$$

由①②可解得： $B = \sqrt{\frac{2\mu F}{A}}$ 。故 A 正确，BCD 错误

故选：A。

二. 实验题（共 2 小题）

15. 某同学用图中所给器材进行与安培力有关的实验。两根金属导轨 ab 和 a_1b_1 固定在同一水平面内且相互平行，足够大的电磁铁（未画出）的 N 极位于两导轨的正上方，S 极位于两导轨的正下方，一金属棒置于导轨上且与两导轨垂直。（不计金属导轨的电阻和摩擦）

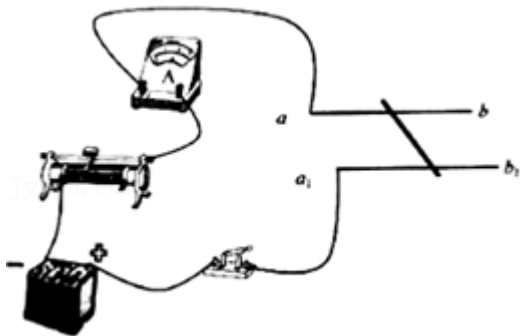
（1）在开关闭合后，金属棒向 左侧（选填“左侧”或“右侧”）移动。

（2）为使金属棒在离开导轨时具有更大的速度，有人提出以下建议：

- A. 适当增加两导轨间的距离
- B. 保持两个导轨间距不变，换一根更长的金属棒
- C. 将滑动变阻器滑片向左移动
- D. 把磁铁换成磁性更强的足够大的钕铁硼磁铁

其中正确的是 ACD（填入正确选项前的字母）。

（3）如果将电路中电流方向反向，磁场也反向，金属棒将会向 左侧（选填“左侧”或“右侧”）移动。



【解答】解：（1）根据左手定则可判定金属棒所受的安培力水平向左，故闭合开关后金属棒向左侧运动；

（2）根据公式 $F = BIL$ 可得，根据动能定理得， $Fs = \frac{1}{2}mv^2$ ，则金属棒离开导轨时的动能变大，即离开导轨时的速度变大，

A、适当增加导轨间的距离可增大金属棒受到的安培力，从而增加金属棒的离轨速度，故 A 正确；

B、若换用一根更长的金属棒，但金属棒切割磁感线的有效长度即导轨间的宽度不变，安培力 F 不变，棒的质量变大，速度变小，故 B 错误；

C、将滑动变阻器滑片向左移动，回路电阻减小，电流增大，安培力增大，导体棒的速度增大，故 C 正确；

D、把磁铁换成磁性更强的足够大的钕铁硼磁铁，磁感应强度增大，安培力增大，导体棒

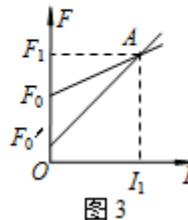
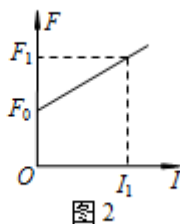
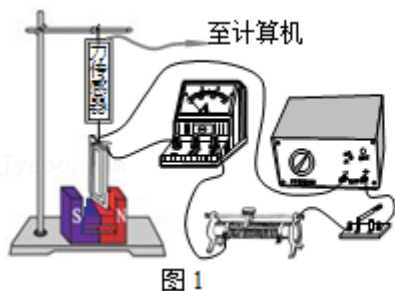
的速度增大，故 D 正确；

故选：ACD。

(3)同时改变电流方向和磁场方向，金属棒所受安培力方向不变，金属棒仍向左侧运动。

故答案为：(1) 左侧；(2) ACD；(3) 左侧。

16. (1) 小明同学在探究通电直导线受到的安培力 F 和电流强度 I 的关系的过程中，设计了如图 1 所示的实验装置。将匝数为 N 、底边长度为 L_1 的线圈与电流表、电源和滑动变阻器及开关组成一闭合回路，把线圈用轻细绳挂在力传感器的下端，使线圈处在由磁铁产生的磁场中，保持线框底边与磁场方向垂直，磁铁磁极与线框平面平行方向的宽度为 L_2 ，且 $L_1 > L_2$ 。接通电路，适当调节滑动变阻器，当电流表的示数为 I 时，观察并记录力传感器此时的读数 F 。经多次重复上述操作，可测出在滑动变阻器接入电路的不同阻值下所对应的多组 I 和 F 的数据，用描点法画出 $F - I$ 图象如图 2 所示，其中的 F_0 、 F_1 和 I_1 均为已知量。由图象可以判定线框所受安培力方向 竖直向下 (选填“竖直向上”或者“竖直向下”)；通过线框底边电流方向 指向纸外 (选填“指向纸内”或者“指向纸外”)；线框所受重力的大小为 F_0 ；若认为两磁极间的磁场为匀强磁场，且在两磁极之间正对位置以外区域的磁场可忽略不计，则此匀强磁场的磁感应强度为 $\frac{F_1 - F_0}{NI_1L_2}$ 。



- (2) 如果小刚同学也用了同样的方法进行实验，只是所使用的器材不完全相同。他将据所测数据画出的 $F - I$ 图象与小明的图象进行对比，发现在同一坐标系下两图线并不重合，如图 3 所示，小刚的图象的纵轴截距为 F_0' ，两图线在 A 点相交，图中的 F_0 、 F_0' 、 F_1 和 I_1 均为已知量。对两人的实验器材进行比较，根据图象可知 A。(选填选项前面的字母)

- A. 所使用线圈的质量一定不同
- B. 所使用的磁铁一定不同
- C. 所使用电源的电动势一定不同
- D. 所使用线圈的匝数一定不同。

【解答】解：(1) 随电流的增大，根据 $F = BIL$ 可知，通电线框产生的安培力增大，绳子上的拉力增大，对线框分析可知，安培力竖直向下，根据左手定则可知指向纸外
由图 2 可知，当电流为零时，线框内的安培力为零，此时绳子的拉力为线框的重力，故

为 F_0 ，当电流为 I_1 时，对线框受力分析可知， $F_0 + NBI_1L_2 = F_1$ ，解得 $B = \frac{F_1 - F_0}{NI_1L_2}$

(2) 由图象可知当电流为零时，绳子的拉力等于线框的重力，重力不同，而其它条件无法判断，故 A 正确，BCD 错误；

故答案为：(1) 竖直向下；指向纸外； F_0 ； $\frac{F_1 - F_0}{NI_1L_2}$

(2) A。

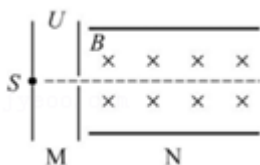
三. 计算题 (共 2 小题)

17. 如图所示，M 为粒子加速器；N 为速度选择器，两平行导体板之间有方向相互垂直的匀强电场和匀强磁场，磁场的方向垂直纸面向里，磁感应强度为 B 。从 S 点释放一初速度为 0、质量为 m 、电荷量为 q 的带正电粒子，经 M 加速后恰能以速度 v 沿直线（图中平行于导体板的虚线）通过 N。不计重力。

(1) 求粒子加速器 M 的加速电压 U ；

(2) 求速度选择器 N 两板间的电场强度 E 的大小和方向；

(3) 仍从 S 点释放另一初速度为 0、质量为 $2m$ 、电荷量为 q 的带正电粒子，离开 N 时粒子偏离图中虚线的距离为 d ，求该粒子离开 N 时的动能 E_k 。



【解答】解：(1) 根据功能关系： $qU = \frac{1}{2}mv^2$

得： $U = \frac{mv^2}{2q}$ ；

(2) 电场力与洛伦兹力平衡： $qE = qBv$

得： $E = Bv$ ；

由左手定则判定电场的方向垂直导体板向下。

(3) 电场力做正功，根据功能关系： $E_k = qU + qEd$

得： $E_k = \frac{1}{2}mv^2 + qBvd$

答：(1) 加速电压为 $\frac{mv^2}{2q}$ ；

(2) 场强 E 的方向垂直于导体板向下，大小为 Bv ；

(3) 粒子离开 N 时的动能为 $\frac{1}{2}mv^2 + qBvd$ 。

18. 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，一个静止的放射性原子核发生了一次 α 衰变。放射出的 α 粒子 (${}^4_2\text{He}$) 在与磁场垂直的平面内做圆周运动，其轨道半径为 R 。以 m 、 q 分别表示 α 粒子的质量和电荷量。

(1) 放射性原子核用 A_ZX 表示，新核的元素符号用 Y 表示，写出该 α 衰变的核反应方程。

(2) α 粒子的圆周运动可以等效成一个环形电流，求圆周运动的周期和环形电流大小。

(3) 设该衰变过程释放的核能都转化为 α 粒子和新核的动能，新核的质量为 M，求衰变过程的质量亏损 Δm 。

【解答】解：(1) 由质量数守恒及电荷守恒可得该 α 衰变的核反应方程为 ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$ ；

(2) α 粒子做圆周运动，洛伦兹力做向心力，设圆周运动的速率为 v，则有： $Bvq = \frac{mv^2}{R}$ ，
则圆周运动的周期 $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{Bq}$ ；

那么相当于环形电流在周期 T 内通过的电量为 q，则等效环形电流大小 $I = \frac{q}{T} = \frac{Bq^2}{2\pi m}$ ；

(3) 因为衰变时间极短，且衰变时内力远远大于外力，故认为在衰变过程中外力可忽略，则有动量守恒，设新核的速度为 v' ，则有： $mv + Mv' = 0$ ；

由(2)可得： $v = \frac{BqR}{m}$ ，所以， $v' = -\frac{BqR}{M}$ ，则衰变过程使两粒子获得动能 $E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Mv'^2 = \frac{(BqR)^2}{2m} + \frac{(BqR)^2}{2M} = (\frac{1}{m} + \frac{1}{M}) \frac{(BqR)^2}{2}$ ；

由于衰变过程，质量亏损产生的核能全部转化为粒子的动能，故衰变过程的质量亏损 $\Delta m = \frac{E}{c^2} = (\frac{1}{m} + \frac{1}{M}) \frac{(BqR)^2}{2c^2}$ ；

答：(1) 放射性原子核用 A_ZX 表示，新核的元素符号用 Y 表示，则该 α 衰变的核反应方程为 ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2H$ ；

(2) α 粒子的圆周运动可以等效成一个环形电流，则圆周运动的周期为 $\frac{2\pi m}{Bq}$ ，环形电流大小为 $\frac{Bq^2}{2\pi m}$ ；

(3) 设该衰变过程释放的核能都转化为 α 粒子和新核的动能，新核的质量为 M，则衰变过程的质量亏损 Δm 为 $(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}) \frac{(BqR)^2}{2c^2}$ 。

四. 解答题 (共 2 小题)

19. 如图甲所示，真空中有一长直细金属导线 MN，与导线同轴放置一半径为 R 的金属圆柱面。假设导线沿径向均匀射出速率相同的电子，已知电子质量为 m，电荷量为 e。不考虑出射电子间的相互作用。

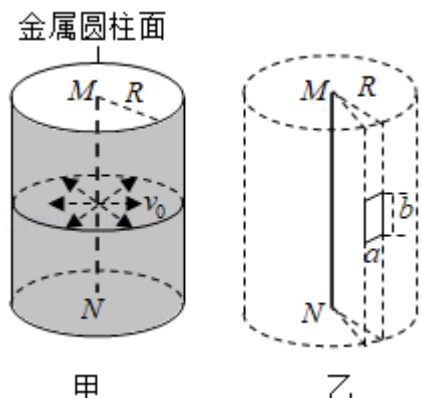
(1) 可以用以下两种实验方案测量出射电子的初速度：

- 在柱面和导线之间，只加恒定电压；
- 在柱面内，只加与 MN 平行的匀强磁场。

当电压为 U_0 或磁感应强度为 B_0 时，刚好没有电子到达柱面。分别计算出射电子的初速

度 v_0 。

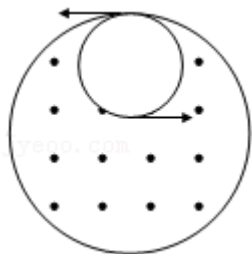
(2) 撤去柱面，沿柱面原位置放置一个弧长为 a 、长度为 b 的金属片，如图乙所示。在该金属片上检测到出射电子形成的电流为 I ，电子流对该金属片的压强为 p 。求单位长度导线单位时间内出射电子的总动能。



【解答】解：(1) a. 在柱面和导线之间，只加恒定电压 U_0 ，粒子刚好没有电子到达柱面，此时速度为零，根据动能定理得： $-eU_0=0-\frac{1}{2}mv_0^2$

解得： $v_0=\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$

b. 在柱面内，只加与 MN 平行的匀强磁场，磁感应强度为 B_0 时，刚好没有电子到达柱面，设粒子的偏转半径为 r ，粒子俯视图，如图所示：



根据几何关系有： $2r=R$

根据洛伦兹力提供向心力，得： $B_0ev_0=m\frac{v_0^2}{r}$

解得： $v_0=\frac{B_0eR}{2m}$

(2) 撤去柱面，设单位时间单位长度射出的电子数为 n ，则单位时间打在金属片的粒子数为： $N=\frac{nab}{2\pi R}$

金属片上形成电流为： $I=\frac{q}{t}=\frac{Nte}{t}=Ne$

所以： $n=\frac{2\pi RI}{eab}$

根据动量定理得金属片上的压强为： $p=\frac{F}{ab}=\frac{mvN}{ab}=\frac{mv}{ab}\cdot\frac{I}{e}$

解得： $v=\frac{eabp}{mI}$

故总动能为： $E_k = n \cdot \frac{1}{2}mv^2 = \frac{\pi Reabp^2}{mI}$

答：(1) a. 在柱面和导线之间，只加恒定电压，出射电子的初速度为 $\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$;

b. 在柱面内，只加与 MN 平行的匀强磁场，出射电子的初速度为 $\frac{B_0 eR}{2m}$;

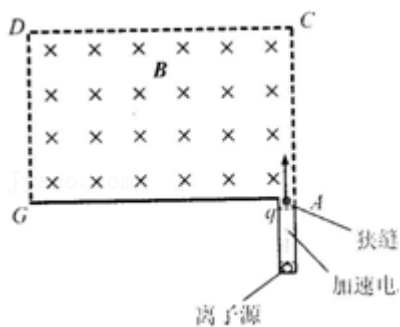
(2) 单位长度导线单位时间内出射电子的总动能为 $\frac{\pi Reabp^2}{mI}$ 。

20. 利用电场和磁场，可以将比荷不同的离子分开，这种方法在化学分析和原子核技术等领域有重要的应用。如图所示的矩形区域 ACDG (AC 边足够长) 中存在垂直于纸面的匀强磁场，A 处有一狭缝。离子源产生的离子，经静电场加速后穿过狭缝沿垂直于 GA 边且垂直于磁场的方向射入磁场，运动到 GA 边，被相应的收集器收集。整个装置内部为真空。已知被加速的两种正离子的质量分别是 m_1 和 m_2 ($m_1 > m_2$)，电荷量均为 q 。加速电场的电势差为 U ，离子进入电场时的初速度可以忽略。不计重力，也不考虑离子间的相互作用。

(1) 求质量为 m_1 的离子进入磁场时的速率 v_1 ;

(2) 当磁感应强度的大小为 B 时，求两种离子在 GA 边落点的间距 s ;

(3) 在前面的讨论中忽略了狭缝宽度的影响，实际装置中狭缝具有一定宽度。若狭缝过宽，可能使两束离子在 GA 边上的落点区域交叠，导致两种离子无法完全分离。设磁感应强度大小可调，GA 边长为定值 L ，狭缝宽度为 d ，狭缝右边缘在 A 处。离子可以从狭缝各处射入磁场，入射方向仍垂直于 GA 边且垂直于磁场。为保证上述两种离子能落在 GA 边上并被完全分离，求狭缝的最大宽度。



【解答】解：

(1) 动能定理 $Uq = \frac{1}{2}m_1v_1^2$

得： $v_1 = \sqrt{\frac{2qU}{m_1}} \dots \textcircled{1}$

(2) 由牛顿第二定律和轨道半径有：

$$qvB = \frac{mv^2}{R}, R = \frac{mv}{qB}$$

利用①式得离子在磁场中的轨道半径分别为 (如图一所示)：

$$R_1 = \sqrt{\frac{2m_1U}{qB^2}}, R_2 = \sqrt{\frac{2m_2U}{qB^2}} \dots \textcircled{2}$$

两种离子在 GA 上落点的间距 $s = 2(R_1 - R_2) = \sqrt{\frac{8U}{qB^2}}(\sqrt{m_1} - \sqrt{m_2}) \dots \textcircled{3}$

(3) 质量为 m_1 的离子，在 GA 边上的落点都在其入射点左侧 $2R_1$ 处，由于狭缝的宽度为 d ，因此落点区域的宽度也是 d （如图二中的粗线所示）。同理，质量为 m_2 的离子在 GA 边上落点区域的宽度也是 d （如图二中的细线所示）。为保证两种离子能完全分离，两个区域应无交叠，条件为 $2(R_1 - R_2) > d \dots \textcircled{4}$

利用②式，代入④式得： $2R_1(1 - \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}) > d$

R_1 的最大值满足：

$$2R_{1m} = L - d$$

得： $(L - d)(1 - \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}) > d$

求得最大值： $d_m = \frac{\sqrt{m_1} - \sqrt{m_2}}{2\sqrt{m_1} - \sqrt{m_2}} L$

