

2018年普通高等学校招生全国统一考试（天津卷）物理

一、单项选择题（每小题6分，共30分。每小题给出的四个选项中，只有一个选项是正确的）

1. (6分) 国家大科学工程——中国散裂中子源(CSNS)于2017年8月28日首次打靶成功，获得中子束流，可以为诸多领域的研究和工业应用提供先进的研究平台。下列核反应中放出的粒子为中子的是()



- A. ${}_{7}^{14}\text{N}$ 俘获一个 α 粒子，产生 ${}_{8}^{17}\text{O}$ 并放出一个粒子
- B. ${}_{13}^{27}\text{Al}$ 俘获一个 α 粒子，产生 ${}_{15}^{30}\text{P}$ 并放出一个粒子
- C. ${}_{5}^{11}\text{B}$ 俘获一个质子，产生 ${}_{4}^{8}\text{Be}$ 并放出一个粒子
- D. ${}_{3}^{6}\text{Li}$ 俘获一个质子，产生 ${}_{2}^{3}\text{He}$ 并放出一个粒子

解析：A、 ${}_{7}^{14}\text{N}$ 俘获一个 α 粒子，产生 ${}_{8}^{17}\text{O}$ 后，新粒子的质量数为 $14+4-17=1$ ，电荷数为： $7+2-8=1$ ，所以粒子为质子。故 A 错误；

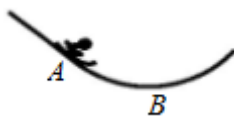
B、 ${}_{13}^{27}\text{Al}$ 俘获一个 α 粒子，产生 ${}_{15}^{30}\text{P}$ 后，粒子的质量数为 $27+4-30=1$ ，电荷数为： $13+2-15=0$ ，所以粒子为中子。故 B 正确；

C、 ${}_{5}^{11}\text{B}$ 俘获一个质子，产生 ${}_{4}^{8}\text{Be}$ 后，粒子的质量数为 $11+1-8=4$ ，电荷数为： $5+1-4=2$ ，所以粒子为 α 粒子。故 C 错误；

D、 ${}_{3}^{6}\text{Li}$ 俘获一个质子，产生 ${}_{2}^{3}\text{He}$ 后，粒子的质量数为 $6+1-3=4$ ，电荷数为： $3+1-2=2$ ，所以粒子为 α 粒子。故 D 错误。

答案：B

2. (6分) 滑雪运动深受人民群众喜爱。某滑雪运动员（可视为质点）由坡道进入竖直圆面内的圆弧形滑道 AB，从滑道的 A 点滑行到最低点 B 的过程中，由于摩擦力的存在，运动员的速率不变，则运动员沿 AB 下滑过程中()



- A. 所受合外力始终为零
- B. 所受摩擦力大小不变
- C. 合外力做功一定为零
- D. 机械能始终保持不变

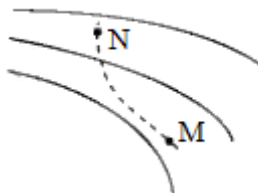
解析：A、滑雪运动员的速率不变，而速度方向是变化的，速度是变化的，运动员的加速度不为零，由牛顿第二定律可知，运动员所受合外力始终不为零。故 A 错误。

B、运动员下滑过程中受到重力、滑道的支持力与滑动摩擦力，由图可知，运动员从 A 到 B 的过程中，滑道与水平方向之间的夹角逐渐减小，则重力沿斜面向下的分力逐渐减小，运动员的速率不变，则运动员沿滑道方向的合外力始终等于 0，所以滑动摩擦力也逐渐减小。故 B 错误。

C、滑雪运动员的速率不变则动能不变，由动能定理可知，合外力对运动员做功为 0。故 C 正确。

D、运动员从 A 到 B 下滑过程中的动能不变而重力势能减小，所以机械能减小。故 D 错误。
 答案：C

3. (6 分) 如图所示，实线表示某电场的电场线（方向未标出），虚线是一带负电的粒子只在电场力作用下的运动轨迹，设 M 点和 N 点的电势分别为 φ_M 、 φ_N ，粒子在 M 和 N 时加速度大小分别为 a_M 、 a_N ，速度大小分别为 v_M 、 v_N ，电势能分别为 E_{PM} 、 E_{PN} 。下列判断正确的是()



- A. $v_M < v_N$, $a_M < a_N$
- B. $v_M < v_N$, $\varphi_M < \varphi_N$
- C. $\varphi_M < \varphi_N$, $E_{PM} < E_{PN}$
- D. $a_M < a_N$, $E_{PM} < E_{PN}$

解析：带电粒子所受电场力指向轨迹弯曲的内侧，根据带负电粒子受力情况可知，电场线方向斜向左上方，又沿着电场线方向，电势逐渐降低，故 $\varphi_M > \varphi_N$ ①；

若粒子从 M 到 N 过程，电场力做负功，动能减小，电势能增加，故带电粒子通过 M 点时的速度比通过 N 点时的速度大，即 $v_M > v_N$ ②，

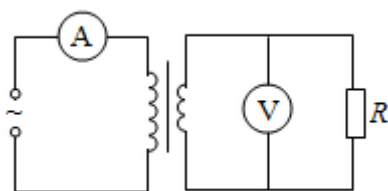
在 M 点具有的电势能比在 N 点具有的电势能小，即 $E_{PM} < E_{PN}$ ③；

根据电场线疏密可知， $E_M < E_N$ ，根据 $F = Eq$ 和牛顿第二定律可知， $a_M < a_N$ ④；

- A、由②④可知，A 错误；
- B、由①②可知，B 错误；
- C、由①③可知，C 错误；
- D、由③④可知，D 正确。

答案：D

4. (6 分) 教学用发电机能够产生正弦式交变电流。利用该发电机（内阻可忽略）通过理想变压器向定值电阻 R 供电，电路如图所示，理想交流电流表 A、理想交流电压表 V 的读数分别为 I、U，R 消耗的功率为 P。若发电机线圈的转速变为原来的 $\frac{1}{2}$ ，则()



- A. R 消耗的功率变为 $\frac{1}{2}P$
- B. 电压表 V 的读数变为 $\frac{1}{2}U$
- C. 电流表 A 的读数变为 $2I$
- D. 通过 R 的交变电流频率不变

解析：A、B、线圈在匀强磁场中匀速转动，设线圈的最大横截面积为 S，磁场的磁感应强度为 B，线圈转动的角速度为 ω ，则产生的最大电动势为：

$$E_m = nBS\omega$$

原线圈两端的电压等于电动势的有效值，为：
$$U_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} E_m = \frac{\sqrt{2}}{2} nBS\omega$$

设原副线圈的匝数比为 k ，则副线圈两端的电压为： $U = U_2 = \frac{1}{k}U_1 = \frac{\sqrt{2}}{2k}nBS\omega \cdots \textcircled{1}$

当发电机线圈的转速变为原来的 $\frac{1}{2}$ 时，有： $E_m' = nBS\omega' = \frac{1}{2}nBS\omega = \frac{1}{2}E_m \cdots \textcircled{2}$

副线圈两端的电压为： $U' = \frac{\sqrt{2}}{4k}nBS\omega \cdots \textcircled{3}$

联立①③可知， $\frac{U'}{U} = \frac{1}{2}$ ，即电压表的读数变为 $\frac{1}{2}U$ ；

由： $P = \frac{U^2}{R}$

R 消耗的电功率： $\frac{P'}{P} = \frac{U'^2}{U^2} = \frac{1}{4}$ ，即 R 消耗的功率变为 $\frac{1}{4}P$ ；故 A 错误，B 正确；

C、由变压器的特点可知，副线圈消耗的功率为原来的 $\frac{1}{4}$ ，则发电机产生的电功率变成原来

的 $\frac{1}{4}$ ；由②可知，线圈产生的电动势是原来的 $\frac{1}{2}$ ，由 $P=UI$ 可知，电流表的读数变成原来的

$\frac{1}{2}$ 。故 C 错误；

D、发电机线圈的转速变为原来的 $\frac{1}{2}$ ，则原线圈中电流的频率变成原来的 $\frac{1}{2}$ ，所以副线圈中，

通过 R 的频率变成原来的 $\frac{1}{2}$ 。故 D 错误。

答案：B

5. (6分) 氢原子光谱在可见光区域内有四条谱线 H_α 、 H_β 、 H_γ 和 H_δ ，都是氢原子中电子从量子数 $n > 2$ 的能级跃迁到 $n=2$ 的能级时发出的光，它们在真空中的波长由长到短，可以判定()

A. H_α 对应的前后能级之差最小

B. 同一介质对 H_α 的折射率最大

C. 同一介质中 H_δ 的传播速度最大

D. 用 H_γ 照射某一金属能发生光电效应，则 H_β 也一定能

解析：A、四条谱线 H_α 、 H_β 、 H_γ 和 H_δ ，在真空中的波长由长到短，根据 $\gamma = \frac{c}{\lambda}$ ，可知，四

条谱线 H_α 、 H_β 、 H_γ 和 H_δ ，的频率是由低到高；那么它们的能量也是由小到大，

而 $\Delta E = E_m - E_n = h\nu$ ，则 H_α 对应的前后能级之差最小，故 A 正确；

B、当在同一介质，由于 H_δ ，能量最大，那么其的折射率也最大，而对 H_α 的折射率最小，故 B 错误；

C、在同一介质中， H_δ 的折射率最大，由 $v = \frac{c}{n}$ ，可知，其传播速度最小，故 C 错误；

D、若用 H_γ 照射某一金属能发生光电效应，由于 H_β 的能量小于 H_γ ，即 H_β 的频率小于 H_γ ，依据光电效应发生条件，其入射频率不小于极限频率则 H_β 不一定能，故 D 错误。

答案：A

二、不定项选择题（每小题 6 分，共 18 分。每小题给出的四个选项中，都有多个选项是正确的。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，选错或不答的得 0 分）

6. (6分) 2018 年 2 月 2 日，我国成功将电磁监测试验卫星“张衡一号”发射升空，标志我

国成为世界上少数拥有在轨运行高精度地球物理场探测卫星的国家之一。通过观测可以得到卫星绕地球运动的周期，并已知地球的半径和地球表面处的重力加速度。若将卫星绕地球的运动看作是匀速圆周运动，且不考虑地球自转的影响，根据以上数据可以计算出卫星的 ()



- A. 密度
- B. 向心力的大小
- C. 离地高度
- D. 线速度的大小

解析：A、设观测可以得到卫星绕地球运动的周期为 T ，地球的半径为 R ，地球表面的重力加速度为 g ；

地球表面的重力由万有引力提供，所以： $mg = \frac{GMm}{R^2}$

所以地球的质量： $M = \frac{gR^2}{G}$ ，没有告诉万有引力常量，所以不能求出地球的质量，就不能求出地球的密度。故 A 错误；

B、题目中没有告诉卫星的质量，不能求出卫星受到的向心力。故 B 错误；

C、根据万有引力提供向心力，由牛顿第二定律得： $\frac{GMm}{(R+h)^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 (R+h)$

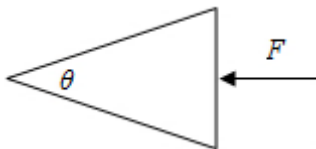
解得： $h = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} - R = \sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}} - R$ 可以求出卫星的高度。故 C 正确；

D、由牛顿第二定律得： $\frac{GMm}{(R+h)^2} = \frac{mv^2}{R+h}$

解得： $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} = \sqrt{\frac{3gR^2}{\sqrt{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}}}}$ ，可知可以求出卫星的线速度。故 D 正确。

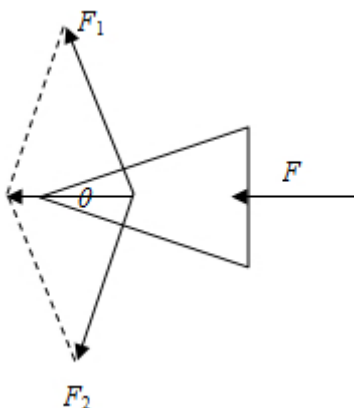
答案：CD

7. (6分) 明朝谢肇淛的《五杂俎》中记载：“明姑苏虎丘寺塔倾侧，议欲正之，非万缗不可。一游僧见之曰：无烦也，我能正之。”游僧每天将木楔从塔身倾斜一侧的砖缝间敲进去，经月余扶正了塔身。假设所用的木楔为等腰三角形，木楔的顶角为 θ ，现在木楔背上加一力 F ，方向如图所示，木楔两侧产生推力 F_N ，则 ()



- A. 若 F 一定， θ 大时 F_N 大
- B. 若 F 一定， θ 小时 F_N 大
- C. 若 θ 一定， F 大时 F_N 大
- D. 若 θ 一定， F 小时 F_N 大

解析：选木楔为研究对象，木楔受到的力有：水平向左的 F 、和两侧给它的与木楔的斜面垂直的弹力，由于木楔处于平衡状态，所以侧给它的与木楔的斜面垂直的弹力与 F 沿两侧分解的分力是相等的，力 F 的分解如图：



$$\text{则： } F = F_1 \cos(90^\circ - \frac{\theta}{2}) + F_2 \cos(90^\circ - \frac{\theta}{2}) = 2F_1 \cos(90^\circ - \frac{\theta}{2}) = 2F_1 \sin \frac{\theta}{2}$$

$$\text{所以： } F_1 = \frac{F}{2 \sin \frac{\theta}{2}}$$

由公式可知，当 F 一定， θ 小时 F_N 大；当 θ 一定， F 大时 F_N 大。故 AD 错误，BC 正确。

答案：BC

8. (6分) 一振子沿 x 轴做简谐运动，平衡位置在坐标原点。 $t=0$ 时振子的位移为 -0.1m ， $t=1\text{s}$ 时位移为 0.1m ， 则()

A. 若振幅为 0.1m ， 振子的周期可能为 $\frac{2}{3}\text{s}$

B. 若振幅为 0.1m ， 振子的周期可能为 $\frac{4}{5}\text{s}$

C. 若振幅为 0.2m ， 振子的周期可能为 4s

D. 若振幅为 0.2m ， 振子的周期可能为 6s

解析：A、B、 $t=0$ 时刻振子的位移 $x = -0.1\text{m}$ ， $t=1\text{s}$ 时刻 $x=0.1\text{m}$ ， 如果振幅为 0.1m ， 则： $(n + \frac{1}{2})T = t$

$$\frac{1}{2})T = t$$

$$\text{解得： } T = \frac{2t}{2n+1} = \frac{2}{2n+1}$$

当 $n=0$ 时， $T=2\text{s}$ ；

当 $n=1$ 时， $T = \frac{2}{3}\text{s}$ ；

当 $n=2$ 时， $T = \frac{2}{5}\text{s}$

故 A 正确， B 错误；

C、D、 $t=0$ 时刻振子的位移 $x = -0.1\text{m}$ ， $t=4\text{s}$ 时刻 $x=0.1\text{m}$ ， 如果振幅为 0.2m ， 结合位移时间关系图象， 有：

$$t = \frac{T}{2} + nT \quad \text{①}$$

$$\text{或者 } t = \frac{5}{6}T + nT \quad \text{②}$$

或者 $t = \frac{T}{6} + nT$ ③

对于①式，当 $n=0$ 时， $T=2s$ ；

对于①式，当 $n=1$ 时， $T = \frac{2}{3} s$ ；

对于②式，当 $n=0$ 时， $T = \frac{6}{5} s$ ；

对于②式，当 $n=1$ 时， $T = \frac{6}{11} s$ ；

对于③式，当 $n=0$ 时， $T=6s$ ；

对于③式，当 $n=1$ 时， $T = \frac{6}{7} s$ ；

故 C 错误，D 正确。

答案：AD

三、非选择题。本题共 4 题，共 72 分。

9. (4 分) 质量为 0.45kg 的木块静止在光滑水平面上，一质量为 0.05kg 的子弹以 200m/s 的水平速度击中木块，并留在其中，整个木块沿子弹原方向运动，则木块最终速度的大小是 m/s。若子弹在木块中运动时受到的平均阻力为 $4.5 \times 10^3 N$ ，则子弹射入木块的深度为 _____ m。

解析：木块的质量 $M=0.45kg$ ，子弹的质量为 $m=0.05kg$ ，初速度为 $v_0=200m/s$ ，二者组成的系统水平方向动量守恒，设子弹初速度方向为正方向，根据动量守恒定律可得：
 $mv_0 = (m+M)v$

解得木块最终速度的大小 $v = \frac{mv_0}{m+M} = \frac{0.05}{0.05+0.45} \times 200 m/s = 20m/s$ ；

设子弹射入木块的深度为 d ，根据能量守恒定律可得：

$$fd = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(m+M)v^2,$$

解得： $d=0.2m$ 。

答案：20；0.2。

10. (4 分) 某研究小组做“验证力的平行四边形定则”实验，所有器材有：方木板一块，白纸，量程为 5N 的弹簧测力计两个，橡皮条（带两个较长的细绳套），刻度尺，图钉（若干个）。

(1) 具体操作前，同学们提出了如下关于实验操作的建议，其中正确的有 _____。

- A. 橡皮条应和两绳套夹角的角平分线在一条直线上
- B. 重复实验再次进行验证时，结点 O 的位置可以与前一次不同
- C. 使用测力计时，施力方向应沿测力计轴线；读数时视线应正对测力计刻度
- D. 用两个测力计互成角度拉橡皮条时的拉力必须都小于只用一个测力计时的拉力

解析：A、 F_1 、 F_2 方向间夹角大小适当即可，不一定要橡皮条应和两绳套夹角的角平分线在一条直线上，故 A 错误；

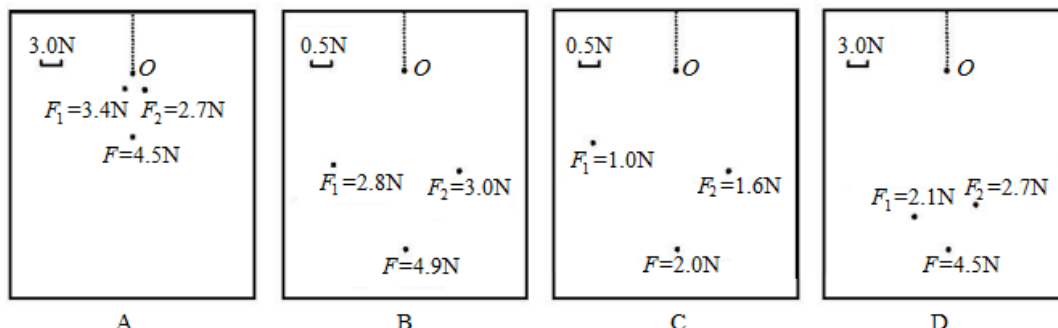
B、合力与分力的关系为等效替代的关系，效果是相同的，所以在同一次实验时，需要让两个力拉橡皮条和一个力拉橡皮条产生的作用效果相同，则必定结点 O 的位置要相同；而在重复实验再次进行验证时，结点 O 的位置可以与前一次不同。故 B 正确；

C、使用测力计时，施力方向应沿测力计轴线，可以减小引摩擦产生的误差；读数时视线应正对测力计刻度，可以减小偶然误差。故 C 正确；

D、用两个测力计互成角度拉橡皮条时的拉力不一定必须都小于只用一个测力计时的拉力，

故 D 错误。
答案：BC

(2) 该小组的同学用同一套器材做了四次实验，白纸上留下的标注信息有结点位置 O、力的标度、分力和合力的大小及表示力的作用线的点，如下图所示。其中对于提高实验精度最有利的是_____。



解析：A、为了便于确定拉力的方向，拉橡皮条的细绳要稍长一些，同时在纸上描点时，所描的点不要太靠近结点，该图中所描的点太靠近结点。故 A 错误；
B、该图中所描的点到结点的距离适中，力的大小适中，而且两个力的角度的大小也适中。故 B 正确；
C、实验要方便、准确，两分力适当大点，读数时相对误差小，但不宜太大，该图中的读数都太小，故 C 错误；
D、该图中两个分力之间的夹角太小，这样误差容易大，故 D 错误。

答案：B

11. (10 分) 某同学用伏安法测定待测电阻 R_x 的阻值 (约为 $10k\Omega$)，除了 R_x 、开关 S、导线外，还有下列器材供选用：

- A. 电压表 (量程 $0\sim 1V$ ，内阻约 $10k\Omega$)
- B. 电压表 (量程 $0\sim 10V$ ，内阻约 $100k\Omega$)
- C. 电流表 (量程 $0\sim 1mA$ ，内阻约 30Ω)
- D. 电流表 (量程 $0\sim 0.6A$ ，内阻约 0.05Ω)
- E. 电源 (电动势 $1.5V$ ，额定电流 $0.5A$ ，内阻不计)
- F. 电源 (电动势 $12V$ ，额定电流 $2A$ ，内阻不计)
- G. 滑动变阻器 R_0 (阻值范围 $0\sim 10\Omega$ ，额定电流 $2A$)

(1) 为使测量尽量准确，电压表选用_____，电流表选用____，电源选用_____。(均填器材的字母代号)

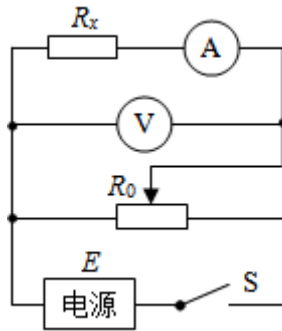
解析：因待测电阻阻值较大，为了准确测量，应采用较大的电动势，故选电动势为 $12V$ 的电源 F；电压表选择 $10V$ 的量程，最大电流 I 约为：

$$I = \frac{10}{10000} = 0.001A = 1mA, \text{ 故电流表选择 C.}$$

答案：B； C； F。

(2) 画出测量 R_x 阻值的实验电路图。

解析：因给出的滑动变阻器总阻值较小，所以应采用分压接法，同时因待测电阻较大，为了准确测量，电流表选择内接法，故电路图如图所示：



答案：如图所示。

(3) 该同学选择器材、连接电路和操作均正确，从实验原理上看，待测电阻测量值会 _____ 其真实值（填“大于”、“小于”或“等于”），原因是_____。

解析：因本实验采用电流表内接法，由于电流表分压影响，电压表测量值将大于真实值，由欧姆定律可知，电阻测量值将大于真实值。

答案：大于；电压表的读数大于待测电阻两端的实际电压。

12. (16分) 我国自行研制、具有完全自主知识产权的新一代大型喷气式客机 C919 首飞成功后，拉开了全面试验试飞的新征程。假设飞机在水平跑道上的滑跑是初速度为零的匀加速直线运动，当位移 $x=1.6 \times 10^3 \text{m}$ 时才能达到起飞所要求的速度 $v=80 \text{m/s}$ 。已知飞机质量 $m=7.0 \times 10^4 \text{kg}$ ，滑跑时受到的阻力为自身重力的 0.1 倍，重力加速度取 $g=10 \text{m/s}^2$ 。求飞机滑跑过程中：



(1) 加速度 a 的大小；

解析：根据速度位移公式得， $v^2=2as$

代入数据得 $a=2 \text{m/s}^2$ 。

答案：飞机滑行过程中加速度大小 a 是 2m/s^2 。

(2) 牵引力的平均功率 P 。

解析：由 $v=at$ 得：

$$t = \frac{v}{a} = \frac{80}{2} = 40 \text{ s}$$

飞机受到的阻力： $F_{\text{阻}}=0.1mg$

设牵引力做的功为 W ，则由动能定理可得： $W - F_{\text{阻}} \cdot x = \frac{1}{2}mv^2$

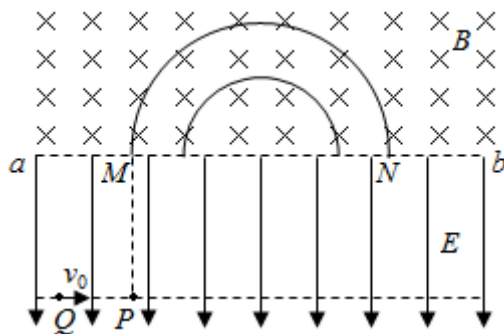
$$\text{牵引力的平均功率： } P = \frac{W}{t}$$

代入数据联立可得： $P=8.4 \times 10^6 \text{W}$ 。

答案：牵引力的平均功率是 $8.4 \times 10^6 \text{W}$ 。

13. (18分) 如图所示，在水平线 ab 的下方有一匀强电场，电场强度为 E ，方向竖直向下，

ab 的上方存在匀强磁场，磁感应强度为 B，方向垂直纸面向里。磁场中有一内、外半径分别为 R、 $\sqrt{3}R$ 的半圆环形区域，外圆与 ab 的交点分别为 M、N。一质量为 m、电荷量为 q 的带负电子在电场中 P 点静止释放，由 M 进入磁场，从 N 射出。不计粒子重力。



(1) 求粒子从 P 到 M 所用的时间 t；

解析：设粒子第一次在磁场中运动的速度为 v，粒子在磁场中受到的洛伦兹力提供向心力，可得：

$$qvB = \frac{mv^2}{\sqrt{3}R}$$

可得： $v = \frac{\sqrt{3}qBR}{m}$

粒子在电场中受到的电场力为 qE，设运动的时间为 t，则：

$$qEt = mv - 0$$

联立可得： $t = \frac{\sqrt{3}BR}{E}$ 。

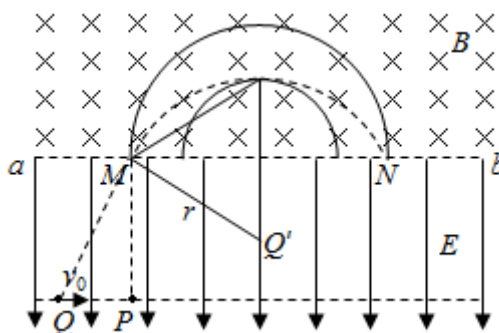
答案：粒子从 P 到 M 所用的时间是 $\frac{\sqrt{3}BR}{E}$ 。

(2) 若粒子从与 P 同一水平线上的 Q 点水平射出，同样能由 M 进入磁场，从 N 射出。粒子从 M 到 N 的过程中，始终在环形区域中运动，且所用的时间最少，求粒子在 Q 时速度 v_0 的大小。

解析：粒子在磁场中做匀速圆周运动的过程中，其周期： $T = \frac{2\pi m}{qB}$ ，可知粒子在磁场中运动的周期与其速度、半径都无关；

根据： $\frac{t_0}{T} = \frac{\theta}{2\pi}$

可知粒子在磁场中运动的时间由轨迹的圆弧对应的圆心角有关，圆心角越小，则时间越短；所以当轨迹与内圆相切时，所用的时间最短，设粒子此时的半径为 r，如图：



由几何关系可得： $(r - R)^2 + (\sqrt{3}R)^2 = r^2$

设粒子进入磁场时速度的方向与 ab 的夹角为 θ ，则圆弧所对的圆心角为 2θ ，由几何关系可得：

$$\tan\theta = \frac{\sqrt{3}R}{r - R}$$

粒子从 Q 点抛出后做类平抛运动，在电场方向向上的分运动与从 P 释放后的情况相同，所以粒子进入磁场时，沿竖直方向的分速度同样也为 v ，在垂直于电场方向的分速度始终为 v_0 ，则：

$$\tan\theta = \frac{v}{v_0}$$

联立可得： $v_0 = \frac{qBR}{m}$ 。

答案：所用的时间最少时，粒子在 Q 时速度 v_0 的大小是 $\frac{qBR}{m}$ 。

14. (20 分) 真空管道超高速列车的动力系统是一种将电能直接转换成平动动能的装置。图 1 是某种动力系统的简化模型，图中粗实线表示固定在水平面上间距为 1 的两条平行光滑金属导轨，电阻忽略不计。ab 和 cd 是两根与导轨垂直、长度均为 1、电阻均为 R 的金属棒，通过绝缘材料固定在列车底部，并与导轨良好接触，其间距也为 1，列车的总质量为 m。列车启动前，ab、cd 处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向垂直于导轨平面向下，如图 1 所示。为使列车启动，需在 M、N 间连接电动势为 E 的直流电源，电源内阻及导线电阻忽略不计。列车启动后电源自动关闭。

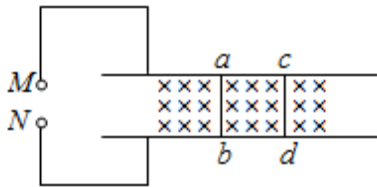


图 1

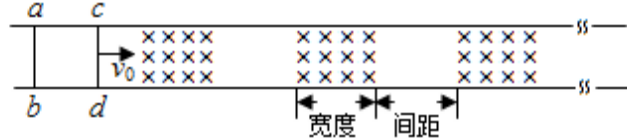


图 2

(1) 要使列车向右运行，启动时图 1 中 M、N 哪个接电源正极，并简要说明理由；

解析：M 接电压正极，列车要向右运动，安培力方向向右，根据左手定则，接通电源后，金属棒中电流方向由 a 到 b、由 c 到 d，故 M 接电源正极。

答案：要使列车向右运行，启动时图 1 中 M 接电源正极，理由见解答。

(2) 求刚接通电源时列车加速度 a 的大小；

解析：由题意，启动时 ab、cd 并联，设回路总电阻为 $R_{总}$ ，由电阻的串并联知识可得：

$$R_{总} = \frac{R}{2}$$

设回路总电流为 I，根据闭合电路欧姆定律有：

$$I = \frac{E}{R_{总}}$$

设两根金属棒所受安培力之和为 F，有：

$$F = BIl$$

根据牛顿第二定律有：

$$F = ma$$

得： $a = \frac{F}{m} = \frac{BIl}{m} = \frac{2BEI}{mR}$ 。

答案：刚接通电源时列车加速度 a 的大小为 $\frac{2BEI}{mR}$ 。

(3) 列车减速时，需在前方设置如图 2 所示的一系列磁感应强度为 B 的匀强磁场区域，磁场宽度和相邻磁场间距均大于 l 。若某时刻列车的速度为 v_0 ，此时 ab 、 cd 均在无磁场区域，试讨论：要使列车停下来，前方至少需要多少块这样的有界磁场？

解析：设列车减速时， cd 进入磁场后经 Δt 时间 ab 恰好进入磁场，此过程中穿过金属棒与导轨所围回路的磁通量的变化率为 $\Delta\phi$ ，平均感应电动势为 E_1 ，则由法拉第电磁感应定律有：

$$E_1 = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

其中 $\Delta\phi = Bl^2$

设回路中平均电流为 I' ，由闭合电路欧姆定律有：

$$I' = \frac{E_1}{2R}$$

设 cd 受到的平均安培力为 F' ，有：

$$F' = BI' l$$

以向右为正方向，设 Δt 时间内 cd 受到安培力冲量为 $I_{\text{冲}}$ ，有：

$$I_{\text{冲}} = -F' \Delta t$$

同理可知，回路出磁场时 ab 受安培力冲量仍为上述值，设回路进出一块有界磁场区域安培力冲量为 I_0 ，有：

$$I_0 = 2I_{\text{冲}}$$

设列车停下来受到的总冲量为 $I_{\text{总}}$ ，由动量定理有：

$$I_{\text{总}} = 0 - mv_0$$

联立上式解得：

$$\frac{I_{\text{总}}}{I_0} = \frac{mv_0 R}{B^2 l^3}$$

讨论：若 $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$ 恰好为整数，设其为 n ，则需设置 n 块磁场，若 $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$ 的整数部分为 N ，则需设置

$N+1$ 块磁场。

答案：列车减速时，需在前方设置如图 2 所示的一系列磁感应强度为 B 的匀强磁场区域，磁场宽度和相邻磁场间距均大于 l 。若某时刻列车的速度为 v_0 ，此时 ab 、 cd 均在无磁场区域，

试讨论：若 $\frac{mv_0 R}{B^2 l^3}$ 恰好为整数，设其为 n ，则需设置 n 块磁场，若 $\frac{mv_0 R}{B^2 l^3}$ 的整数部分为 N ，

则需设置 $N+1$ 块磁场。