

# 2018年普通高等学校招生全国统一考试（天津卷）理科综合物理部分

## 一、单项选择题（每小题给出的四个选项中，只有一个选项是正确的）

1. 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.  ${}^{14}_7\text{N}$  俘获一个  $\alpha$  粒子，产生  ${}^{17}_8\text{O}$  并放出一个粒子
- B.  ${}^{27}_{13}\text{Al}$  俘获一个  $\alpha$  粒子，产生  ${}^{30}_{15}\text{P}$  并放出一个粒子
- C.  ${}^{11}_5\text{B}$  俘获一个质子，产生  ${}^8_4\text{Be}$  并放出一个粒子
- D.  ${}^6_3\text{Li}$  俘获一个质子，产生  ${}^3_2\text{He}$  并放出一个粒子

【答案】B

【解析】

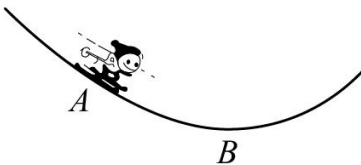
【详解】根据质量数和电荷数守恒可知四个核反应方程分别为  ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$ 、

${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$ 、 ${}^{11}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + {}^3_1\text{Li}$ ， ${}^6_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^7_3\text{Li}$ ，故只有 B 选项符合题意；

【点睛】核反应过程中，质量数与核电荷数守恒，应用质量数与核电荷数守恒即可写出核反应方程式。

2. 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

( )



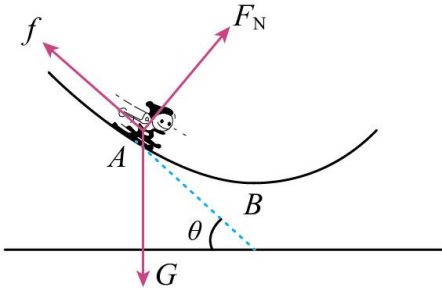
- A. 合外力做功一定大于零
- B. 所受摩擦力大小不变
- C. 合外力始终与速度垂直
- D. 机械能始终保持不变

【答案】C

【解析】

【详解】A. 运动员运动过程中速率不变，质量不变，即动能不变，动能变化量为零，根据动能定理可知合力做功为零。故 A 错误；

B. 运动员受力如图所示



运动过程中速率恒定，且  $\theta$  在减小，由

$$f = mg \sin \theta$$

可知摩擦力越来越小。B 错误；

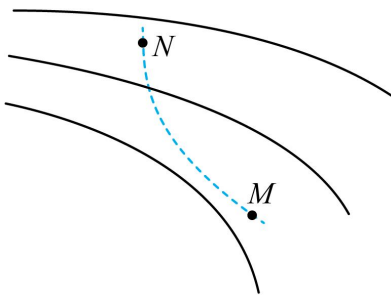
C. 运动员运动过程中速率不变，做匀速圆周运动，合外力提供向心力，始终与速度垂直。故 C 正确；

D. 因为克服摩擦力做功，所以机械能不守恒。故 D 错误。

故选 C。

3. 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  $\varphi_M$ 、 $\varphi_N$ ，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.  $v_M < v_N$ ， $\varphi_M < \varphi_N$

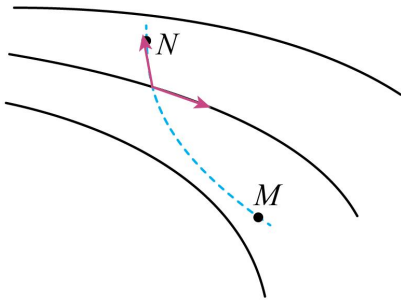
C.  $\varphi_M < \varphi_N$ ， $E_{PM} < E_{PN}$

D.  $a_M < a_N$ ， $E_{PM} < E_{PN}$

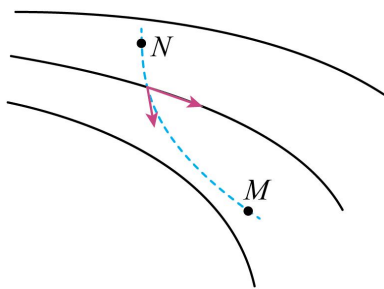
【答案】D

【解析】

【详解】试题分析：将粒子的运动分情况讨论：从  $M$  运动到  $N$ ；从  $N$  运动到  $M$ ，根据电场的性质依次判断；电场线越密，电场强度越大，同一个粒子受到的电场力越大，根据牛顿第二定律可知其加速度越大，故有  $a_M < a_N$ ；若粒子从  $M$  运动到  $N$  点，则根据带电粒子所受电场力指向轨迹弯曲的内侧，可知在某点的电场力方向和速度方向如图所示，故电场力做负功，电势能增大，动能减小，即  $v_M > v_N$ ， $E_{pM} < E_{pN}$ ，负电荷在低电势处电势能大，故  $\varphi_M > \varphi_N$ ；



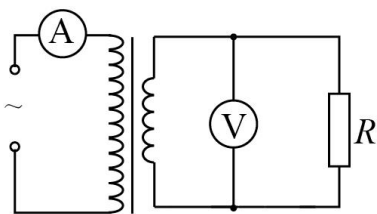
若粒子从  $N$  运动到  $M$ ，则根据带电粒子所受电场力指向轨迹弯曲的内侧，可知在某点的电场力方向和速度方向如图所示，故电场力做正功，电势能减小，动能增大，即  $v_M > v_N$ ， $E_{pM} < E_{pN}$ ，负电荷在低电势处电势能大，故  $\varphi_M > \varphi_N$ ；



综上所述，D 正确；

【点睛】考查了带电粒子在非匀强电场中的运动；本题的突破口是根据粒子做曲线运动时受到的合力指向轨迹的内侧，从而判断出电场力方向与速度方向的夹角关系，进而判断出电场力做功情况。

4. 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

【答案】B

【解析】

【分析】根据公式  $E_m = NBS\omega$  分析电动机产生的交流电的最大值以及有效值、频率的变化情况；

根据  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$  判断原副线圈中电流电压的变化情况，根据副线圈中功率的变化判断原线圈中功率的变化；

化；

【详解】AB. 根据  $\omega = 2\pi n$  可知转速变为原来的  $\frac{1}{2}$ ，则角速度变为原来的  $\frac{1}{2}$ ，根据  $E_m = nBS\omega$  可知电动机产生的最大电动势为原来的  $\frac{1}{2}$ ，根据  $U = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$  可知发电机的输出电压有效值变为原来的  $\frac{1}{2}$ ，即原线圈的输出电压变为原来的  $\frac{1}{2}$ ，根据  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$  可知副线圈的输入电压变为原来的  $\frac{1}{2}$ ，即电压表示数变为原来的  $\frac{1}{2}$ ，

根据  $P = \frac{U^2}{R}$  可知  $R$  消耗的电功率变为  $\frac{1}{4}P$ ，A 错误 B 正确；

根据  $P = \frac{U^2}{R}$  可知  $R$  消耗的电功率变为  $\frac{1}{4}P$ ，A 错误 B 正确；

C. 副线圈中的电流为  $I_2 = \frac{1}{2} \frac{U}{R}$ ，即变为原来的  $\frac{1}{2}$ ，根据  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$  可知原线圈中的电流也变为原来的  $\frac{1}{2}$ ，C 错误；

D. 转速减小为原来的  $\frac{1}{2}$ ，则频率变为原来的  $\frac{1}{2}$ ，D 错误。

【点睛】本题考查了交流电最大值，有效值，频率，变压器等；需要知道交流电路中电表的示数为有效值，

在理想变压器中，恒有  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$ ，副线圈消耗的功率决定了原线圈的输入功率。

5. 氢原子光谱在可见光区域内有四条谱线  $H_\alpha$ 、 $H_\beta$ 、 $H_\gamma$ 、 $H_\delta$ ，都是氢原子中电子从量子数  $n>2$  的能级跃迁到  $n=2$  的能级发出的光，它们在真空中的波长由长到短，可以判定

A.  $H_\alpha$  对应的前后能级之差最小

B. 同一介质对  $H_\alpha$  的折射率最大

C. 同一介质中  $H_\delta$  的传播速度最大

D. 用  $H_\gamma$  照射某一金属能发生光电效应，则  $H_\beta$  也一定能

【答案】A

【解析】

【详解】试题分析：根据  $h\nu = E_m - E_n$  分析前后能级差的大小；根据折射率与频率的关系分析折射率的大小；根据  $v = \frac{c}{n}$  判断传播速度的大小；根据发生光电效应现象的条件是入射光的频率大于该光的极限频率判断是否会发生光电效应。

波长越大，频率越小，故  $H_\alpha$  的频率最小，根据  $E = h\nu$  可知  $H_\alpha$  对应的能量最小，根据  $h\nu = E_m - E_n$  可知  $H_\alpha$  对应的前后能级之差最小，A 正确； $H_\alpha$  的频率最小，同一介质对应的折射率最小，根据  $v = \frac{c}{n}$  可知  $H_\alpha$  的传播速度最大，BC 错误； $H_\gamma$  的波长小于  $H_\beta$  的波长，故  $H_\gamma$  的频率大于  $H_\beta$  的频率，若用  $H_\gamma$  照射某一金属能发生光电效应，则  $H_\beta$  不一定能，D 错误。

【点睛】光的波长越大，频率越小，同一介质对其的折射率越小，光子的能量越小。

## 二、不定项选择题（每小题给出的四个选项中，都有多个选项是正确的）

6. 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

【答案】CD

【解析】

【分析】

【详解】AB. 根据题意，已知卫星运动的周期  $T$ ，地球的半径  $R$ ，地球表面的重力加速度  $g$ ，卫星受到的外力充当向心力，故有

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

卫星的质量被抵消，则不能计算卫星的密度，更不能计算卫星的向心力大小，AB 错误；

C. 由

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r, \quad G \frac{Mm}{r^2} = mg$$

解得

$$r = \frac{gT^2}{4\pi^2}$$

而

$$r = R + h$$

故可计算卫星距离地球表面的高度，C 正确；

D. 根据公式

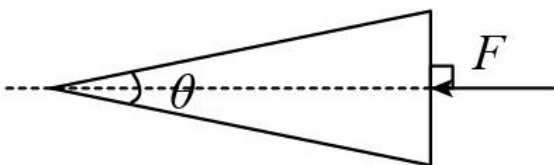
$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

由选项 C 可知，轨道半径可以求出，周期已知，故可以计算出卫星绕地球运动的线速度，D 正确。

故选 CD。

【点睛】解决本题的关键掌握万有引力定律的两个重要理论：1. 万有引力等于重力（忽略自转），2. 万有引力提供向心力，并能灵活运用。

7. 明朝谢肇淛的《五杂俎》中记载：“明姑苏虎丘寺庙倾侧，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 $\theta$ ，现在木楔背上加一力 $F$ ，方向如图所示，木楔两侧产生推力 $N$ ，则（ ）



A. 若 $F$ 一定， $\theta$ 大时 $N$ 大

B. 若 $F$ 一定， $\theta$ 小时 $N$ 大

C. 若 $\theta$ 一定， $F$ 大时 $N$ 大

D. 若 $\theta$ 一定， $F$ 小时 $N$ 大

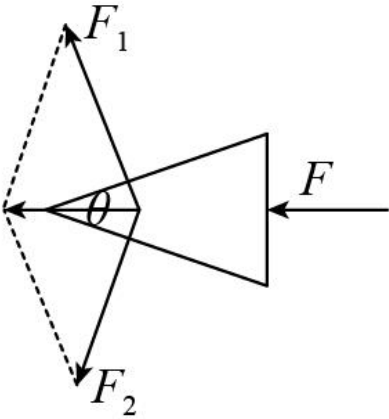
【答案】BC

【解析】

【分析】

【详解】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



则

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

所以

$$F_1 = \frac{F}{2 \sin \frac{\theta}{2}}$$

由公式可知，当  $F$  一定， $\theta$  小时  $F_N$  大，当  $\theta$  一定， $F$  大时  $F_N$  大，AD 错误，BC 正确；

故选 BC。

【点睛】对力进行分解时，一定要分清力的实际作用效果的方向如何，再根据平行四边形定则或三角形定则进行分解即可。

8. 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  $-0.1\text{ m}$ ， $t=1\text{ s}$  时位移为  $0.1\text{ m}$ ，则

( )

- A. 若振幅为  $0.1\text{ m}$ ，振子的周期可能为  $\frac{2}{3}\text{ s}$
- B. 若振幅为  $0.1\text{ m}$ ，振子的周期可能为  $\frac{4}{5}\text{ s}$
- C. 若振幅为  $0.2\text{ m}$ ，振子的周期可能为  $4\text{ s}$
- D. 若振幅为  $0.2\text{ m}$ ，振子的周期可能为  $6\text{ s}$

【答案】AD

【解析】

【详解】试题分析： $t=0$  时刻振子的位移  $x=-0.1\text{ m}$ ， $t=1\text{ s}$  时刻  $x=0.1\text{ m}$ ，关于平衡位置对称；如果振幅为  $0.1\text{ m}$ ，则  $1\text{ s}$  为半周期的奇数倍；如果振幅为  $0.2\text{ m}$ ，分靠近平衡位置和远离平衡位置分析。

若振幅为  $0.1\text{ m}$ ，根据题意可知从  $t=0\text{ s}$  到  $t=1\text{ s}$  振子经历的周期为  $(n + \frac{1}{2})T$ ，则  $(n + \frac{1}{2})T = 1\text{ s}$ ， $(n = 0.1.2.3....)$ ，

解得  $T = \frac{2}{2n+1}s$ , ( $n=0.1.2.3\dots$ ), 当  $n=1$  时  $T = \frac{2}{3}s$ , 无论  $n$  为何值,  $T$  都不会等于  $\frac{4}{5}s$ , A 正确 B 错误;

如果振幅为  $0.2m$ , 结合位移时间关系图象, 有  $1s = \frac{T}{2} + nT$  ①, 或者  $1s = \frac{5}{6}T + nT$  ②, 或者  $1s = \frac{T}{6} + nT$  ③,

对于①式, 只有当  $n=0$  时,  $T=2s$ , 为整数; 对于②式,  $T$  不为整数; 对于③式, 当  $n=0$  时,  $T=6s$ , 之后只会大于  $6s$ , 故 C 错误 D 正确

【点睛】 $t=0$  时刻振子的位移  $x=-0.1m$ ,  $t=1s$  时刻  $x=0.1m$ , 关于平衡位置对称; 如果振幅为  $0.1m$ , 则  $1s$  为半周期的奇数倍; 如果振幅为  $0.2m$ , 分靠近平衡位置和远离平衡位置分析.

### 三、非选择题

9. 质量为  $0.45\text{ kg}$  的木块静止在光滑水平面上, 一质量为  $0.05\text{ kg}$  的子弹以  $200\text{ m/s}$  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 \_\_\_\_\_  $\text{m/s}$ . 若子弹在木块中运动时受到的平均阻力为  $4.5 \times 10^3\text{ N}$ , 则子弹射入木块的深度为 \_\_\_\_\_  $\text{m}$ .

【答案】 ①. 20 ②. 0.2

【解析】

【详解】试题分析: 根据系统动量守恒求解两木块最终速度的大小; 根据能量守恒定律求出子弹射入木块的深度;

根据动量守恒定律可得  $mv_0 = (M + m)v$ , 解得  $v = \frac{mv_0}{(M + m)} = \frac{0.05 \times 200}{0.45 + 0.05} = 20\text{ m/s}$ ; 系统减小的动能转

化为克服阻力产生的内能, 故有  $fd = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(M + m)v^2$ , 解得  $d = \frac{\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(M + m)v^2}{f} = 0.2\text{ m}$ ;

【点睛】本题综合考查了动量守恒定律、能量守恒定律, 综合性较强, 对学生能力要求较高.

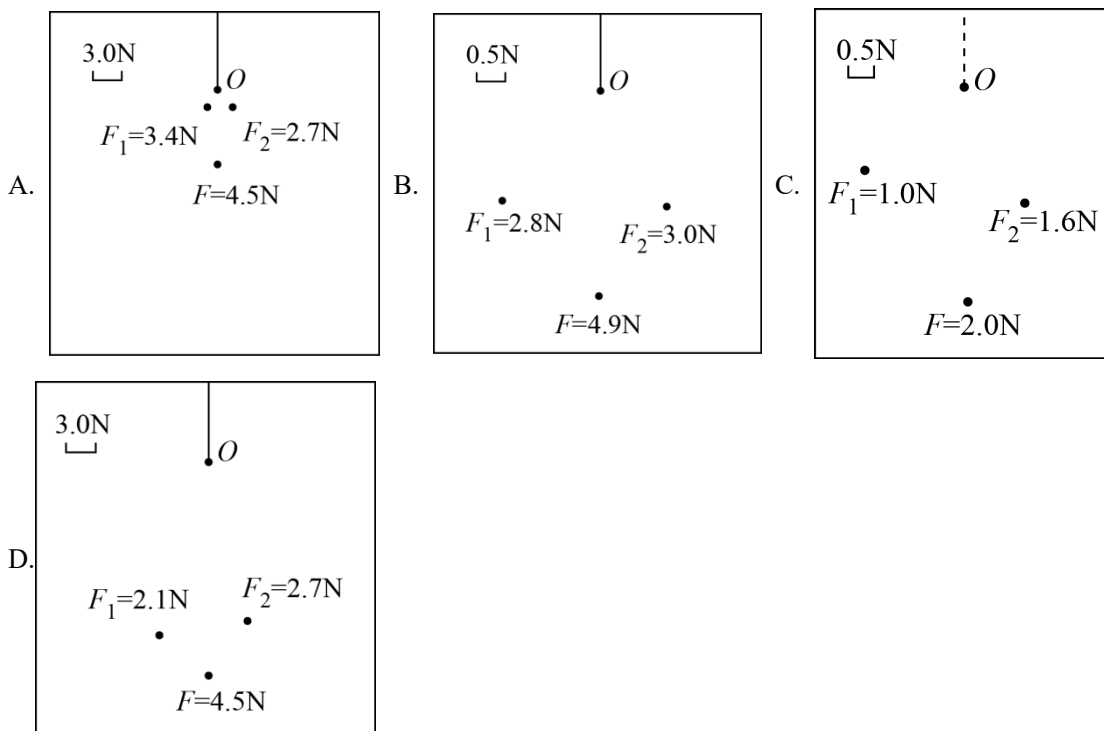
10. 某研究小组做“验证力的平行四边形定则”实验, 所用器材有: 方木板一块, 白纸, 量程为  $5\text{ N}$  的弹簧测力计两个, 橡皮条 (带两个较长的细绳套), 刻度尺, 图钉 (若干个).

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

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 \_\_\_\_\_.





【答案】 ①. BC ②. B

【解析】

【详解】①A、 $F_1$ 、 $F_2$ 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的拉力，故D错误。

②A、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。

点睛：在“验证力的平行四边形定则”实验中，我们要知道分力和合力的效果是等同的，这要求同学们对于基础知识要熟练掌握并能正确应用，加强对基础实验理解，同时要理解会给实验带来误差的因素。

11. 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

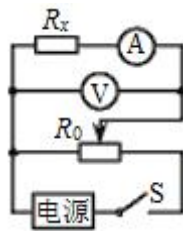
用:

- A.电压表 (量程 0~1V, 内阻约 10kΩ)
- B.电压表 (量程 0~10V, 内阻约 100kΩ)
- C.电流表 (量程 0~1mA, 内阻约 30Ω)
- D.电流表 (量程 0~0.6A, 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 0~10Ω, 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);

②画出测量  $R_x$  阻值的实验电路图\_\_\_\_\_。

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\_\_\_\_\_。



**【答案】** ①. B ②. C ③. F ④.

⑤. 大于 ⑥. 电压表的读数大于待测

电阻两端实际电压

**【解析】**

**【分析】** ①由于本题的被测电阻达到 10kΩ, 所以电源要选择电动势大的, 然后根据电路电流选择电流表, 电压表;

②若采用限流接法, 则电路中电流和电压变化不明显, 故采用滑动变阻器的分压接法, 根据  $\frac{R_V}{R_x}$  和  $\frac{R_x}{R_A}$  的关

系分析电流表的接法;

③根据电流表的接法判断实验误差所在;

**【详解】** ①[1][3]若选用电源 1.5V, 由于被测电阻很大, 电路中电流非常小, 不利于实验, 即电源选用 12V 的, 即 F; 则电压表就应该选取 B;

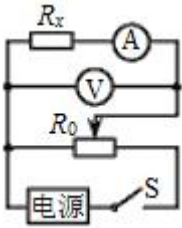
[2]电路中的最大电流为

$$I = \frac{12}{10000} \text{ A} = 1.2 \text{ mA}$$

故选用电流表 C。

②[4]因为给的滑动变阻器的最大阻值只有  $10\Omega$ ，若采用限流接法，则电路中电流和电压变化不明显，故采

用滑动变阻器的分压接法，由于  $\frac{R_V}{R_x} < \frac{R_x}{R_A}$ ，所以采用电流表内接法，电路图如图所示



③[5][6]由于电流表的分压，导致电压测量值偏大，而电流准确，根据  $R_x = \frac{U}{I}$  可知测量值偏大；

【点睛】滑动变阻器的分压和限流接法的区别和选用原则：

区别：(1)限流接法线路结构简单，耗能少；

(2)分压接法电压调整范围大，可以从 0 到路端电压之间连续调节；

选用原则：(1)优先限流接法，因为它电路结构简单，耗能较少；

(2)下列情况之一者，须采用分压接法：

①当测量电路的电阻远大于滑动变阻器阻值，采用限流法不能满足要求时（本题就是该例子）；

②当实验要求多测几组数据（电压变化范围大），或要求电压从零开始调节；

③电源电动势比电压表量程大得多，限流法滑动变阻器调到最大仍超过电压表量程时。

电流表内接和外接的选用：

当  $R_x \gg R_A$  时，宜采用内接法，即大电阻用内接法；

当  $R_x \ll R_V$  时，宜采用外接法，即小电阻用外接法；可记忆为“大内，小外”。

12. 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：



(1) 飞机滑跑过程中加速度  $a$  的大小；

(2) 飞机滑跑过程中牵引力的平均功率  $P$ 。

【答案】(1)  $a=2\text{ m/s}^2$  (2)  $P=8.4\times 10^6\text{ W}$

【解析】

【详解】试题分析：飞机滑跑过程中做初速度为零的匀加速直线运动，结合速度位移公式求解加速度；对飞机受力分析，结合牛顿第二定律，以及  $P=Fv$  求解牵引力的平均功率；

(1) 飞机滑跑过程中做初速度为零的匀加速直线运动，有  $v^2=2ax$ ①，解得  $a=2\text{m/s}^2$ ②

(2) 设飞机滑跑受到的阻力为  $F_{\text{阻}}$ ，依题意可得  $F_{\text{阻}}=0.1mg$ ③

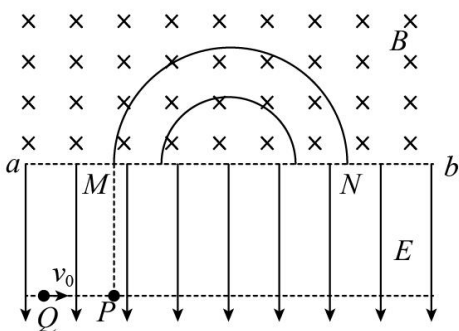
设发动机的牵引力为  $F$ ，根据牛顿第二定律有  $F-F_{\text{阻}}=ma$  ④；

设飞机滑跑过程中的平均速度为  $\bar{v}$ ，有  $\bar{v}=\frac{v}{2}$  ⑤

在滑跑阶段，牵引力的平均功率  $P=F\bar{v}$ ⑥，联立②③④⑤⑥式得  $P=8.4\times 10^6\text{W}$ 。

【点睛】考查牛顿第二定律，匀变速直线运动，功率的求解，加速度是连接力和运动的桥梁，本题较易，注意在使用公式  $P=Fv$  求解功率时，如果  $v$  对应的是瞬时速度，则求解出来的为瞬时功率，如果  $v$  为平均速度，则求解出来的为平均功率。

13. 如图所示，在水平线  $ab$  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  $q$  的带负电粒子在电场中  $P$  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  $t$ ；

(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。

【答案】(1)  $t=\frac{\sqrt{3}RB}{E}$  (2)  $v_0=\frac{qBR}{m}$

【解析】

【详解】试题分析：粒子在磁场中以洛伦兹力为向心力做圆周运动，在电场中做初速度为零的匀加速直线

运动，据此分析运动时间；粒子进入匀强磁场后做匀速圆周运动，当轨迹与内圆相切时，所有的时间最短，粒子从  $Q$  射出后在电场中做类平抛运动，在电场方向上的分运动和从  $P$  释放后的运动情况相同，所以粒子进入磁场时沿竖直方向的速度同样为  $v$ ，结合几何知识求解。

(1) 设粒子在磁场中运动的速度大小为  $v$ ，所受洛伦兹力提供向心力，有  $qvB = m \frac{v^2}{\sqrt{3}R}$  ①

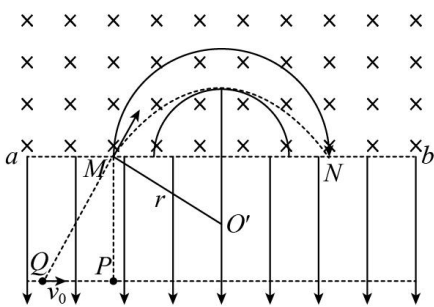
设粒子在电场中运动所受电场力为  $F$ ，有  $F=qE$ ②；

设粒子在电场中运动的加速度为  $a$ ，根据牛顿第二定律有  $F=ma$ ③；

粒子在电场中做初速度为零的匀加速直线运动，有  $v=at$ ④；联立①②③④式得  $t = \frac{\sqrt{3}RB}{E}$  ⑤；

(2) 粒子进入匀强磁场后做匀速圆周运动，其周期与速度、半径无关，运动时间只由粒子所通过的圆弧所对的圆心角的大小决定，故当轨迹与内圆相切时，所有的时间最短，设粒子在磁场中的轨迹半径为  $r'$ ，由

几何关系可得  $(r'-R)^2 + (\sqrt{3}R)^2 = r'^2$  ⑥



设粒子进入磁场时速度方向与  $ab$  的夹角为  $\theta$ ，即圆弧所对圆心角的一半，由几何关系知  $\tan \theta = \frac{\sqrt{3}R}{r'-R}$  ⑦；

粒子从  $Q$  射出后在电场中做类平抛运动，在电场方向上的分运动和从  $P$  释放后的运动情况相同，所以粒子进入磁场时沿竖直方向的速度同样为  $v$ ，在垂直于电场方向的分速度等于为  $v_0$ ，由运动的合成和分解可得

$\tan \theta = \frac{v}{v_0}$  ⑧

联立①⑥⑦⑧式得  $v_0 = \frac{qBR}{m}$  ⑨。

**【点睛】**带电粒子在组合场中的运动问题，首先要运用动力学方法分析清楚粒子的运动情况，再选择合适方法处理。对于匀变速曲线运动，常常运用运动的分解法，将其分解为两个直线的合成，由牛顿第二定律和运动学公式结合求解；对于磁场中圆周运动，要正确画出轨迹，由几何知识求解半径。

14. 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  $l$  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  $l$ ，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  $l$ ，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。

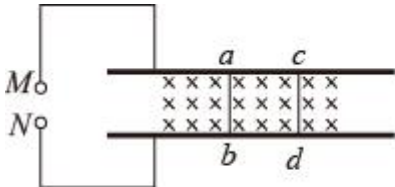


图1

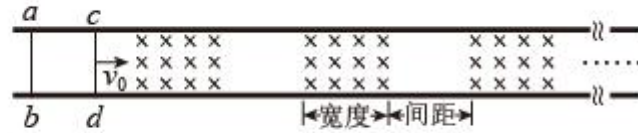


图2

- (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；
- (2) 求刚接通电源时列车加速度  $a$  的大小；
- (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？

**【答案】** (1)  $M$  接电源正极，理由见解析 (2)  $a = \frac{2BEl}{mR}$  (3) 若  $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$  恰好为整数，设其为  $n$ ，则需设置  $n$  块

有界磁场，若  $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$  不是整数，设  $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$  的整数部分为  $N$ ，则需设置  $N+1$  块有界磁场

**【解析】**

**【详解】** 试题分析：结合列车的运动方向，应用左手定则判断电流方向，从而判断哪一个接电源正极；对导体棒受力分析，根据闭合回路欧姆定律以及牛顿第二定律求解加速度；根据动量定理分析列车进入和穿出磁场时动量变化，据此分析；

(1)  $M$  接电源正极，列车要向右运动，安培力方向应向右，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。

(2) 由题意，启动时  $ab$ 、 $cd$  并联，设回路总电阻为  $R_{\text{总}}$ ，由电阻的串并联知识得  $R_{\text{总}} = \frac{R}{2}$  ①；

设回路总电流为  $I$ ，根据闭合电路欧姆定律有  $I = \frac{E}{R_{\text{总}}}$  ②

设两根金属棒所受安培力之和为  $F$ ，有  $F = BIl$  ③

根据牛顿第二定律有  $F = ma$  ④，联立①②③④式得  $a = \frac{2BEl}{mR}$  ⑤

(3) 设列车减速时， $cd$  进入磁场后经  $\Delta t$  时间  $ab$  恰好进入磁场，此过程中穿过两金属棒与导轨所围回路的

磁通量的变化为  $\Delta\Phi$ ，平均感应电动势为  $E_1$ ，由法拉第电磁感应定律有  $E_1 = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  ⑥，其中  $\Delta\Phi = Bl^2$  ⑦；

设回路中平均电流为  $I'$ ，由闭合电路欧姆定律有  $I' = \frac{E_1}{2R}$  ⑧

设  $cd$  受到的平均安培力为  $F'$ ，有  $F' = I'lB$  ⑨

以向右为正方向，设  $\Delta t$  时间内  $cd$  受安培力冲量为  $I_{\text{冲}}$ ，有  $I_{\text{冲}} = -F'\Delta t$  ⑩

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

$$I_0 = 2I_{\text{冲}} \text{ ⑪}$$

设列车停下来受到的总冲量为  $I_{\text{总}}$ ，由动量定理有  $I_{\text{总}} = 0 - mv_0$  ⑫

联立⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫式得  $\frac{I_{\text{总}}}{I_0} = \frac{mv_0 R}{B^2 l^3}$  ⑬

讨论：若  $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$  恰好为整数，设其为  $n$ ，则需设置  $n$  块有界磁场，若  $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$  不是整数，设  $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$  的整数部分为  $N$ ，则

需设置  $N+1$  块有界磁场。⑭。

**【点睛】** 如图所示，在电磁感应中，电量  $q$  与安培力的冲量之间的关系，如图所示，以电量为桥梁，直接把图中左右两边的物理量联系起来，如把导体棒的位移和速度联系起来，但由于这类问题导体棒的运动一般都不是匀变速直线运动，无法直接使用匀变速直线运动的运动学公式进行求解，所以这种方法就显得十分巧妙，这种题型难度最大。

