

# 2013 年天津市高考物理试卷解析版

参考答案与试题解析

## 一、选择题

1. (3 分) 下列说法正确的是 ( )

- A. 原子核发生衰变时要遵守电荷守恒和质量守恒的规律
- B.  $\alpha$  射线、 $\beta$  射线、 $\gamma$  射线都是高速运动的带电粒子流
- C. 氢原子从激发态向基态跃迁只能辐射特定频率的光子
- D. 发生光电效应时光电子的动能只与入射光的强度有关

**【考点】**J4: 氢原子的能级公式和跃迁.

**【专题】**54N: 原子的能级结构专题.

**【分析】**原子核衰变时电荷数守恒, 质量数守恒;  $\alpha$  射线和  $\beta$  射线分别是带正电的氦核流和带负电的电子流, 而  $\gamma$  射线不带电; 能级间跃迁辐射的光子能量等于两能级间的能级差; 根据光电效应方程得出光电子的最大初动能与什么因素有关.

**【解答】**解: A、原子核发生衰变时, 电荷守恒, 但会有质量亏损, 遵循的是爱因斯坦的质能方程而非质量守恒规律; 故 A 错误.

B、 $\alpha$  射线和  $\beta$  射线分别是带正电的氦核流和带负电的电子流, 而  $\gamma$  射线不带电; 故 B 错误.

C、根据玻尔氢原子模型的相关理论, 电子轨道和能量都是量子化的, 而在“跃迁”过程中要遵循  $h\nu = E_m - E_n$ , 故只能辐射特定频率的光子. 故 C 正确.

D、由光电效应的方程  $E_k = h\nu - W_0$  可知, 光电子的动能由入射光频率决定. 故 D 错误.

故选: C.

**【点评】**本题主要考查原子结构和原子核的相关知识. 选项的迷惑性大, 关键要熟悉教材, 牢记这些基本的知识点, 以及加强训练.

2. (3 分) 我国女子短道速滑队在今年世锦赛上实现女子 3000m 接力三连冠. 观察发现, “接棒”的运动员甲提前站在“交棒”的运动员乙前面, 并且开始向前滑行, 待乙追上甲时, 乙猛推甲一把, 使甲获得更大的速度向前冲出. 在乙推甲的过程中, 忽略运动员与冰面间在水平方向上的相互作用, 则 ( )



- A. 甲对乙的冲量一定等于乙对甲的冲量
- B. 甲、乙的动量变化一定大小相等方向相反
- C. 甲的动能增加量一定等于乙的动能减少量
- D. 甲对乙做多少负功，乙对甲就一定做多少正功

**【考点】** 52: 动量定理; 53: 动量守恒定律.

**【分析】** 本题主要考查能量(做功正负判断)、动量(动量定理、动量守恒)相关知识, 结合弹性碰撞和非弹性碰撞的动量和能量关系展开讨论.

**【解答】** 解: A、因为冲量是矢量, 甲对乙的作用力与乙对甲的作用力大小相等方向相反, 故冲量大小相等方向相反, 故 A 错误.

BCD、设甲乙两运动员的质量分别为  $m_{甲}$ 、 $m_{乙}$ , 追上之前的瞬间甲、乙两运动员的速度分别是  $v_{甲}$ 、 $v_{乙}$ , 根据题意整个交接棒过程可以分为两部分:

①完全非弹性碰撞过程 → “交棒”:  $m_{甲}v_{甲} + m_{乙}v_{乙} = (m_{甲} + m_{乙})v_{共}$

②向前推出(人船模型) → “接棒”:  $(m_{甲} + m_{乙})v_{共} = m_{甲}v'_{甲} + m_{乙}v'_{乙}$

由上面两个方程联立可以解得:  $m_{甲}\Delta v_{甲} = -m_{乙}\Delta v_{乙}$ , 即 B 选项正确. 经历了中间的完全非弹性碰撞过程 会有动能损失, C、D 选项错误.

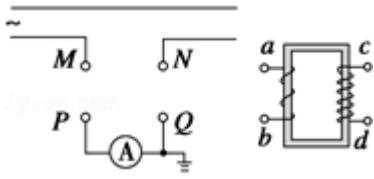
故选: B.

**【点评】** 掌握碰撞的分类: 弹性碰撞和非弹性碰撞的相关知识是解决本题的关键.

3. (3分) 如图所示, 纸面内有一矩形导体闭合线框动  $abcd$ .  $ab$  边长大于  $bc$  边长, 置于垂直纸面向里、边界为  $MN$  的匀强磁场外, 线框两次匀速地完全进入磁场, 两次速度大小相同, 方向均垂直于  $MN$ . 第一次  $ab$  边平行  $MN$  进入磁场. 线框上产生的热量为  $Q_1$ , 通过线框导体横截面的电荷量为  $q_1$ ; 第二次  $bc$  边平行  $MN$  进入磁场. 线框上产生的热量为  $Q_2$ , 通过线框导体横截面的电荷量为  $q_2$ , 则 ( )



匝数较多，工作时电流为  $I_{cd}$ ，为了使电流表能正常工作，则 ( )



- A. ab 接 MN、cd 接 PQ,  $I_{ab} < I_{cd}$
- B. ab 接 MN、cd 接 PQ,  $I_{ab} > I_{cd}$
- C. ab 接 PQ、cd 接 MN,  $I_{ab} < I_{cd}$
- D. ab 接 PQ、cd 接 MN,  $I_{ab} > I_{cd}$

【考点】E8: 变压器的构造和原理.

【专题】53A: 交流电专题.

【分析】电流互感器的作用是使大电流变成小电流，然后利用变压器工作原理： $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$

即可确定接哪一端。

【解答】解：电流互感器的作用是使大电流变成小电流，所以  $I_{ab} > I_{cd}$ ，所以 AC 错误；

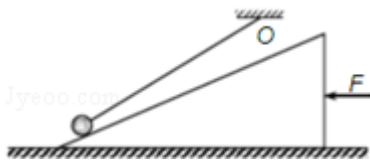
利用变压器工作原理  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ ，所以输入端 ab 接 MN，输出端 cd 接 PQ，所以 B 对，D

项错；

故选：B。

【点评】本题考查远距离输电和理想变压器的基础知识，熟练掌握电压、电流等关系是解决此类题目的关键。

5. (3 分) 如图所示，小球用细绳系住，绳的另一端固定于 O 点。现用水平力 F 缓慢推动斜面体，小球在斜面上无摩擦地滑动，细绳始终处于直线状态，当小球升到接近斜面顶端时细绳接近水平，此过程中斜面对小球的支持力  $F_N$  以及绳对小球的拉力  $F_T$  的变化情况是 ( )



- A.  $F_N$  保持不变,  $F_T$  不断增大
- B.  $F_N$  不断增大,  $F_T$  不断减小
- C.  $F_N$  保持不变,  $F_T$  先增大后减小

D.  $F_N$  不断增大,  $F_T$  先减小后增大

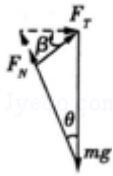
【考点】2G: 力的合成与分解的运用; 3C: 共点力的平衡.

【专题】527: 共点力作用下物体平衡专题.

【分析】对小球进行受力分析, 重力、支持力、拉力组成一个矢量三角形, 由于重力不变、支持力方向不变, 又缓慢推动, 故受力平衡, 只需变动拉力即可, 根据它角度的变化, 你可以明显的看到各力的变化。

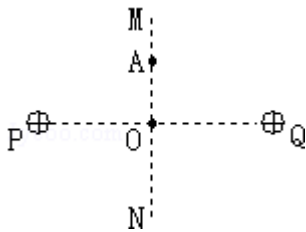
【解答】解: 先对小球进行受力分析, 重力、支持力  $F_N$ 、拉力  $F_T$  组成一个闭合的矢量三角形, 由于重力不变、支持力  $F_N$  方向不变, 斜面向左移动的过程中, 拉力  $F_T$  与水平方向的夹角  $\beta$  减小, 当  $\beta = \theta$  时,  $F_T \perp F_N$ , 细绳的拉力  $F_T$  最小, 由图可知, 随  $\beta$  的减小, 斜面的支持力  $F_N$  不断增大,  $F_T$  先减小后增大。故 D 正确。ABC 错误。

故选: D。



【点评】本题是动态变化分析问题, 容易产生的错误是不能准确把握小球的受力特征, 特别是  $F_N$  与  $F_T$  组夹角的变化, 认为拉力  $F_T$  与水平方向的夹角  $\beta$  减小, 拉力减小而错选 B。

6. (3 分) 两个带等量正电的点电荷, 固定在图中 P、Q 两点, MN 为 PQ 连线的中垂线, 交 PQ 于 O 点, A 点为 MN 上的一点. 一带负电的试探电荷 q, 从 A 点由静止释放, 只在静电力作用下运动. 取无限远处的电势为零, 则 ( )



- A. q 由 A 向 O 的运动是匀加速直线运动
- B. q 由 A 向 O 运动的过程电势能逐渐减小
- C. q 运动到 O 点时的动能最大
- D. q 运动到 O 点时电势能为零

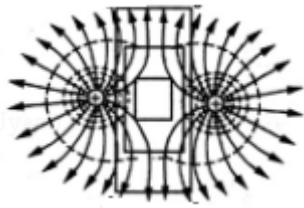
【考点】A7: 电场线; AA: 电场的叠加; AE: 电势能与电场力做功.

【专题】532：电场力与电势的性质专题.

【分析】本题要根据等量同种点电荷电场线的分布情况，抓住对称性，分析试探电荷的受力情况，分析其运动情况，根据电场力做功情况，分析其电势能的变化情况.

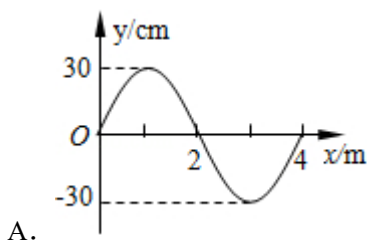
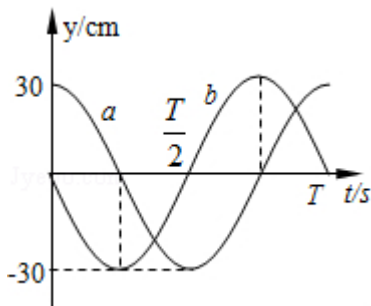
【解答】解：A、两等量正电荷周围部分电场线如右图所示，其中 P、Q 连线的中垂线 MN 上，从无穷远到 O 过程中电场强度先增大后减小，且方向始终指向无穷远方向。故试探电荷所受的电场力是变化的，q 由 A 向 O 的运动做非匀加速直线运动，故 A 错误。  
B、电场力方向与 AO 方向一致，电场力做正功，电势能逐渐减小；故 B 正确。  
C、从 A 到 O 过程，电场力做正功，动能增大，从 O 到 N 过程中，电场力做负功，动能减小，故在 O 点试探电荷的动能最大，速度最大，故 C 正确。  
D、取无限远处的电势为零，从无穷远到 O 点，电场力做正功，电势能减小，则 q 运动到 O 点时电势能为负值。故 D 错误。

故选：BC。

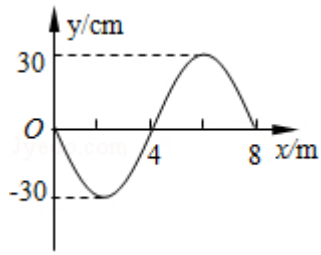


【点评】本题考查静电场的基本概念。关键要了解等量同种点电荷电场线的分布情况，运用动能定理进行分析。

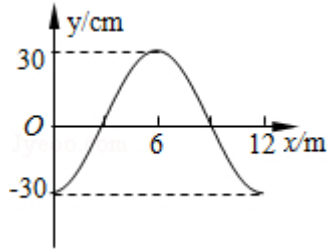
7. (3分) 一列简谐横波沿直线传播，该直线上平衡位置相距 9m 的 a、b 两质点的振动图象如图所示。下列描述该波的图象可能正确的是 ( )



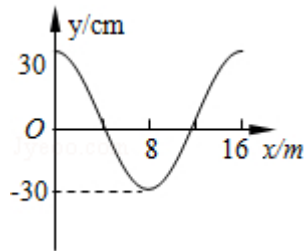
A.



B.



C.



D.

**【考点】** F4: 横波的图象; F5: 波长、频率和波速的关系.

**【专题】** 16: 压轴题; 51D: 振动图像与波动图像专题.

**【分析】** 根据同一时刻两个质点的振动状态, 画出可能的波形, 得到距离  $9\text{m}$  与波长的关系式, 求得波长的通项, 得到波长的特殊值, 即可进行选择.

**【解答】** 解: 由振动图象可知, 在  $t=0$  时刻,  $a$  位于波峰,  $b$  经过平衡位置向下运动.

若波从  $a$  传到  $b$ , 如图  $a$ 、 $b$  两点之间的波形图“余数”如红线所示, 则有  $(n + \frac{3}{4})\lambda =$

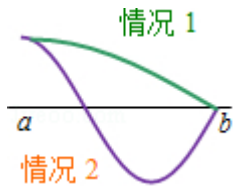
$$9\text{m}, n=0, 1, 2, \dots, \text{得 } \lambda = \frac{36}{4n+3}$$

若波从  $b$  传到  $a$ , 如图  $a$ 、 $b$  两点之间的波形图“余数”如蓝线所示, 则有  $(n + \frac{1}{4})\lambda =$

$$9\text{m}, n=0, 1, 2, \dots, \text{得 } \lambda = \frac{36}{4n+1}\text{m}$$

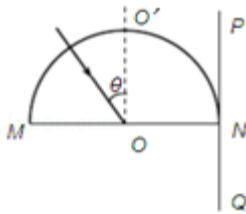
代入自然数可知,  $\lambda=4\text{m}$ 、 $12\text{m}$ , 得 AC 正确.

故选: AC.



**【点评】** 本题考查机械波的图象及多解性。a、b 两点之间的波形图“余数”可以为解析图中蓝色和红色两种形式。

8. (3分) 固定的半圆形玻璃砖的横截面如图。O 点为圆心，OO' 为直径 MN 的垂线。足够大的光屏 PQ 紧靠玻璃砖右侧且垂直于 MN。由 A、B 两种单色光组成的一束光沿半径方向射向 O 点，入射光线与 OO' 夹角  $\theta$  较小时，光屏 NQ 区域出现两个光斑，逐渐增大  $\theta$  角。当  $\theta = \alpha$  时，光屏 NQ 区域 A 光的光斑消失，继续增大  $\theta$  角，当  $\theta = \beta$  时，光屏 NQ 区域 B 光的光斑消失，则。



- A. 玻璃砖对 A 光的折射率比对 B 光的大
- B. A 光在玻璃砖中传播速度比 B 光的大
- C.  $\alpha < \theta < \beta$  时，光屏上只有 1 个光斑
- D.  $\beta < \theta < \frac{\pi}{2}$  时，光屏上只有 1 个光斑

**【考点】** H3：光的折射定律。

**【专题】** 16：压轴题；54D：光的折射专题。

**【分析】** 由题，当光斑在光屏上消失时，是由于光线发生了全反射，A 光先消失，说明 A 光的临界角较小，根据临界角公式  $\sin C = \frac{1}{n}$ ，即可确定玻璃对两种光折射率的大小；由

$v = \frac{c}{n}$ ，判断光在玻璃中传播速度的大小；对照全反射的条件，当光线从玻璃射入空气，

入射光大于临界角时光线将发生全反射进行分析。

**【解答】** 解：A、根据题干描述“当  $\theta = \alpha$  时，光屏 NQ 区域 A 光的光斑消失，继续增大  $\theta$  角，当  $\theta = \beta$  时，光屏 NQ 区域 B 光的光斑消失”，说明 A 光先发生了全反射，A 光的

临界角小于 B 光的临界角，而发生全反射的临界角 C 满足  $\sin C = \frac{1}{n}$ ，可知，玻璃砖对 A 光的折射率比对 B 光的大，故 A 正确；

B、玻璃砖对 A 光的折射率比对 B 光的大，由  $n = \frac{c}{v}$  知，A 光在玻璃砖中传播速度比 B 光的小。故 B 错误。

C、当  $\alpha < \theta < \beta$  时，B 光尚未发生全反射现象，故光屏上应该看到 2 个亮斑，其中包含 NP 侧的反射光斑（A、B 重合）以及 NQ 一侧的 B 光的折射光线形成的光斑。故 C 错误。

D、当  $\beta < \theta < \frac{1}{2}\pi$  时，A、B 两光均发生了全反射，故仅能看到 NP 侧的反射光斑（A、B 重合）。故 D 正确。

故选：AD。

**【点评】** 本题主要考查几何光学和物理光学的基础知识应用，关键要掌握全反射的条件及临界角公式进行分析。

## 二、解答题（满分 54 分）

9. “嫦娥一号”和“嫦娥二号”卫星相继完成了对月球的环月飞行，标志着我国探月工程的第一阶段已经完成。设“嫦娥二号”卫星环绕月球的运动为匀速圆周运动，它距月球表面的高度为  $h$ ，已知月球的质量为  $M$ 、半径为  $R$ ，引力常量为  $G$ ，则卫星绕月球运动的

向心加速度  $a = \frac{GM}{(R+h)^2}$ ，线速度  $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ 。

**【考点】** 4F：万有引力定律及其应用；4H：人造卫星。

**【专题】** 52A：人造卫星问题。

**【分析】** 万有引力提供圆周运动的向心力，注意引力计算中  $r$  是与月球球心间距离。

**【解答】** 解：万有引力提供卫星绕月球圆周运动的向心力，所以有：

(1)  $G \frac{mM}{r^2} = ma$  得嫦娥二号的向心加速度

$$a = \frac{GM}{r^2} = \frac{GM}{(R+h)^2}$$

(2)  $G \frac{mM}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$  得嫦娥二号的线速度

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

故答案为： $a = \frac{GM}{(R+h)^2}$ ， $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ 。

**【点评】**抓住万有引力提供向心力，根据给出的不同物理量求解。

10. 某实验小组利用图 1 的装置探究加速度与力、质量的关系。

①下列做法正确的是 AD (填字母代号)

- A. 调节滑轮的高度，使牵引木块的细绳与长木板保持平行
- B. 在调节木板倾斜度平衡木块受到的滑动摩擦力时，将装有砝码的砝码桶通过定滑轮拴在木块上
- C. 实验时，先放开木块再接通打点计时器的电源
- D. 通过增减木块上的砝码改变质量时，不需要重新调节木板倾斜度

②为使砝码桶及桶内砝码的总重力在数值上近似等于木块运动时受到的拉力，应满足的条件是砝码桶及桶内砝码的总质量 远小于 木块和木块上砝码的总质量 (填远大于，远小于，或近似于)

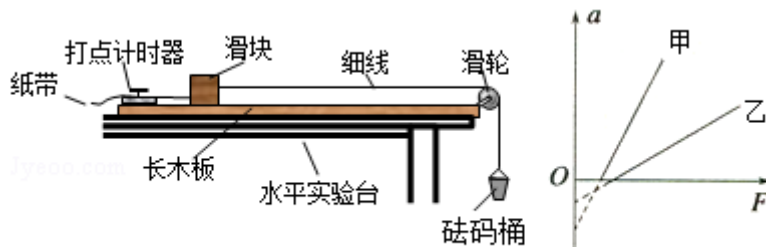


图 1

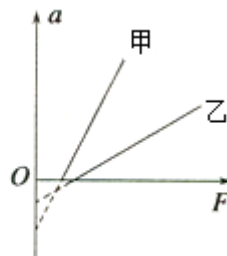


图 2

③甲、乙两同学在同一实验室，各取一套图示的装置放在水平桌面上，木块上均不放砝码，在没有平衡摩擦力的情况下，研究加速度  $a$  与拉力  $F$  的关系，分别得到图 2 中甲、乙两条直线。设甲、乙用的木块质量分别为  $m_{甲}$ 、 $m_{乙}$ ，甲、乙用的木块与木板间的动摩擦因数分别为  $\mu_{甲}$ 、 $\mu_{乙}$ ，由图可知， $m_{甲}$  小于  $m_{乙}$ ， $\mu_{甲}$  大于  $\mu_{乙}$  (填“大于”、“小于”或“等于”)

**【考点】**M8：探究加速度与物体质量、物体受力的关系。

**【专题】**13：实验题；522：牛顿运动定律综合专题。

**【分析】**①实验要保证拉力等于小车受力的合力，要平衡摩擦力，细绳与长木板平行；

②砝码桶及桶内砝码加速下降，失重，拉力小于重力，加速度越大相差越大，故需减小加速度，即减小砝码桶及桶内砝码的总质量；

③  $a - F$  图象的斜率表示加速度的倒数；求解出加速度与拉力  $F$  的表达式后结合图象分析得到动摩擦因数情况。

**【解答】**解：① A、调节滑轮的高度，使牵引木块的细绳与长木板保持平行，否则拉力不会等于合力，故 A 正确；

B、在调节木板倾斜度平衡木块受到的滑动摩擦力时，不应悬挂“重物”，故 B 选项错误

C、打点计时器要“早来晚走”即实验开始时先接通打点计时器的电源待其平稳工作后再释放木块，而当实验结束时应先控制木块停下再停止打点计时器，故 C 选项错误；

D 平衡摩擦力后，有  $mgsin\theta = \mu mgcos\theta$ ，即  $\mu = tan\theta$ ，与质量无关，故通过增减木块上的砝码改变质量时，不需要重新调节木板倾斜度，故 D 正确；

选择 AD；

② 按照教材上的理论若以砝码桶及砝码作为小木块的外力，则有  $a = \frac{mg}{M}$ ，而实际实验过程中砝码桶及砝码也与小木块一起做匀加速运动，即对砝码桶及砝码有  $mg - T = ma$ ，对

小木块有  $T = Ma$ 。综上有：小物块的实际的加速度为  $a = \frac{mg}{M+m} < \frac{mg}{M}$ ，只有当  $m \ll M$

时，才能有效的保证实验的准确性；

③ 当没有平衡摩擦力时有： $T - f = ma$ ，故  $a = \frac{1}{m}T - \mu g$ ，即图线斜率为  $\frac{1}{m}$ ，纵轴截距的大

小为  $\mu g$ 。

观察图线可知  $m_{甲}$  小于  $m_{乙}$ ， $\mu_{甲}$  大于  $\mu_{乙}$ ；

故答案为：① AD； ② 远小于； ③ 小于，大于。

**【点评】**本题主要考查“验证牛顿第二定律”的实验，要明确实验原理，特别是要明确系统误差的来源，知道减小系统误差的方法。

11. 要测绘一个标有“3V，0.6W”小灯泡的伏安特性曲线，灯泡两端的电压需要由零逐渐增加到 3V，并便于操作。已选用的器材有：

电池组（电动势为 4.5V，内阻约  $1\Omega$ ）；

电流表（量程为 0~250mA，内阻约  $5\Omega$ ）；

电压表（量程为 0~3V，内阻约  $3k\Omega$ ）；

电键一个、导线若干。

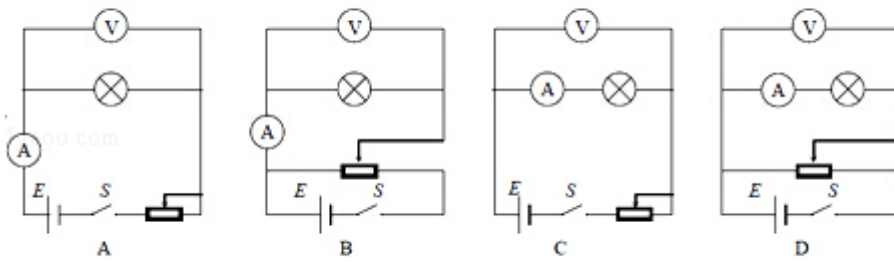


图1

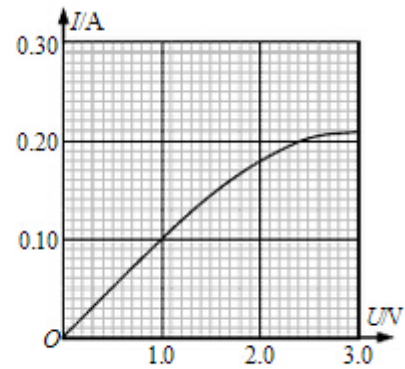


图2

①实验中所用的滑动变阻器应选下列中的 A (填字母代号)。

A. 滑动变阻器 (最大阻值  $20\Omega$ , 额定电流  $1A$ )

B. 滑动变阻器 (最大阻值  $1750\Omega$ , 额定电流  $0.3A$ )

②实验的电路图应选用图 1 中 B (填字母代号)。

③实验得到小灯泡的伏安特性曲线如图 2 所示. 如果将这个灯泡接到电动势为  $1.5V$ , 内阻为  $5.0\Omega$  的电源两端, 小灯泡消耗的功率是 0.1 W.

**【考点】** N5: 描绘小电珠的伏安特性曲线.

**【专题】** 13: 实验题; 535: 恒定电流专题.

**【分析】** 滑动变阻器分压式接法中选取小电阻的变阻器节约能源;

求出小灯泡电阻后判断小灯泡是小电阻还是大电阻, 从而选择电流表内接还是外接;

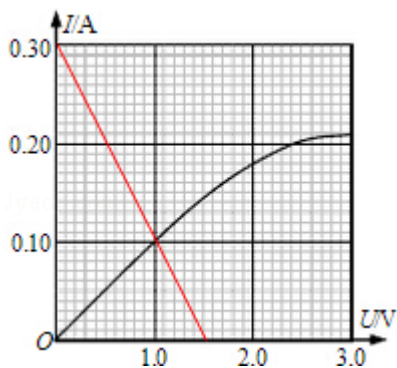
结合曲线算出小灯泡的电阻, 然后根据功率的公式计算小灯泡的实际功率.

**【解答】** 解: ①因实验要求电流从零调, 所以滑动变阻器应用分压式接法, 应选全电阻最小的变阻器 A.

②因小灯泡电阻为  $R = \frac{U^2}{P} = \frac{9}{0.6} = 15\Omega$ ,  $\frac{R_V}{R} > \frac{R}{R_A}$ , 故电流表应用外接法, 又变阻器用分

压式, 故电路图应选 B.

③电源与小灯泡直接串联, 那么路端电压等于小灯泡两端的电压, 画出内阻为  $5\Omega$ , 电动势为  $1.5V$  的电源的路端电压与干路电流的关系图线和小灯泡的伏安特性曲线的交点即表示小灯泡与该电源直接串联;



根据交点坐标 (1.0V, 0.1A) 可以计算出小灯泡消耗的功率为:  $P = UI = 1 \times 0.1 = 0.1\text{W}$ .

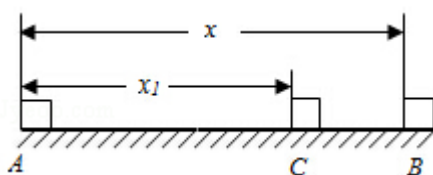
故答案为: ①A; ②B; ③0.1.

**【点评】**对电学实验要明确以下情况, 滑动变阻器必须用分压式接法: ①要求电流从零调; ②变阻器的全电阻远小于待测电阻; ③用限流接法时通过电流表的电流大于电流表的量程.

12. (16分) 质量为  $m=4\text{kg}$  的小物块静止于水平地面上的 A 点, 现用  $F=10\text{N}$  的水平恒力拉动物块一段时间后撤去, 物块继续滑动一段位移停在 B 点, A、B 两点相距  $x=20\text{m}$ , 物块与地面间的动摩擦因数  $\mu=0.2$ ,  $g$  取  $10\text{m/s}^2$ , 求:

(1) 物块在力  $F$  作用过程发生位移  $x_1$  的大小;

(2) 撤去力  $F$  后物块继续滑动的的时间  $t$ .



**【考点】**1E: 匀变速直线运动的位移与时间的关系; 37: 牛顿第二定律; 65: 动能定理.

**【专题】**522: 牛顿运动定律综合专题.

**【分析】**(1) 对 A 到 B 的整个过程运用动能定理列式求解即可;

(2) 先对 A 到 B 过程运用动能定理列式求解出 C 点速度, 然后对 C 到 B 过程根据牛顿第二定律求解加速度, 最后对 C 到 B 过程运用平均速度公式列式求解时间.

**【解答】**解: (1) 整个运动过程的示意图如图所示

取小物块为研究对象, 从 A 到 B 过程, 根据动能定理, 有:

$$Fx_1 - fx = 0$$

其中：  $f = \mu mg$

联立解得

$$x_1 = 16\text{m};$$

(2) 对 A 到 C 过程运用动能定理，有：  $Fx_1 - \mu mgx_1 = \frac{1}{2}mv^2$ ;

解得：  $v = 4\text{m/s}$

C 到 B 过程，根据牛顿第二定律，有：  $\mu mg = ma'$ ，

解得  $a' = \mu g = 2\text{m/s}^2$ ;

根据平均速度公式，有：  $x_{CB} = \frac{v}{2} \times t_{CB}$ ,

$$\text{解得 } t_{CB} = \frac{2x_{CB}}{v} = \frac{2 \times 4}{4} = 2\text{s};$$

答：(1) 物块在力 F 作用过程发生位移  $x_1$  的大小为 16m;

(2) 撤去力 F 后物块继续滑动的的时间 t 为 2s.

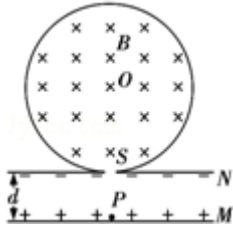
**【点评】** 本题关键灵活地选择运动过程运用动能定理列式求解，求解时间要根据运动学公式或者动量定理列式求解.

13. (18 分) 一圆筒的横截面如图所示，其圆心为 O. 筒内有垂直于纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B. 圆筒下面有相距为 d 的平行金属板 M、N，其中 M 板带正电荷，N 板带等量负电荷. 质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子自 M 板边缘的 P 处由静止释放，经 N 板的小孔 S 以速度 v 沿半径 SO 方向射入磁场中. 粒子与圆筒发生两次碰撞后仍从 S 孔射出，设粒子与圆筒碰撞过程中没有动能损失，且电荷量保持不变，在不计重力的情况下，求：

(1) M、N 间电场强度 E 的大小；

(2) 圆筒的半径 R；

(3) 保持 M、N 间电场强度 E 不变，仅将 M 板向上平移  $\frac{2}{3}d$ ，粒子仍从 M 板边缘的 P 处由静止释放，粒子自进入圆筒至从 S 孔射出期间，与圆筒的碰撞次数 n.



【考点】65：动能定理；CI：带电粒子在匀强磁场中的运动；CM：带电粒子在混合场中的运动。

【专题】537：带电粒子在复合场中的运动专题。

【分析】（1）粒子在匀强电场中在加速运动，电场力做功等于粒子动能的增加；

（2）使用洛伦兹力提供向心力。求出粒子的运动半径，再根据题意，正确画出粒子运动的轨迹，根据几何关系写出粒子的半径与磁场的半径的关系，从而求出磁场的半径；

（3）使用动能定理求出粒子的速度，再求出运动的半径，最后判定与圆筒的碰撞次数  $n$ 。

【解答】解：（1）粒子从开始运动到射入磁场的过程，电场力做功。由动能定理：

$$qU = \frac{1}{2}mv^2$$

匀强电场中有：  $U = Ed$

$$\text{联立上式，得： } E = \frac{mv^2}{2qd}$$

（2）粒子进入磁场后又从 S 点射出，关键几何关系可知，两碰撞点和 S 将圆筒三等分。

设粒子在磁场中运动的轨道半径为  $r$ ，由洛伦兹力提供向心力，得：

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

根据几何关系：  $r = \sqrt{3}R$

$$\text{联立上式，解得： } R = \frac{\sqrt{3}mv}{3qB}$$

（3）保持 MN 之间的电场强度不变，仅将 M 板向上平移  $\frac{2}{3}d$  后，  $U' = \frac{U}{3}$

$$qU' = \frac{1}{2}mv'^2$$

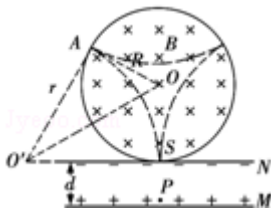
$$\text{于是: } v' = \frac{\sqrt{3}}{3}v, r' = \frac{\sqrt{3}}{3}r = R$$

此时粒子经过 $\frac{1}{4}$ 圆后与圆筒发生碰撞，所以粒子将在于圆筒壁发生 3 次碰撞后由 S 点射出。

答：(1) M、N 间电场强度 E 的大小  $\frac{mv^2}{2qd}$ ；

$$(2) \text{圆筒的半径: } R = \frac{\sqrt{3}mv}{3qB}$$

(3) 保持 M、N 间电场强度 E 不变，仅将 M 板向上平移  $\frac{2}{3}d$ ，粒子与圆筒的碰撞 3 次



**【点评】**解决该题的关键是根据题目的要求，正确画出粒子运动的轨迹，并根据几何关系写出粒子的半径与磁场的半径的关系。该题对空间思维的能力要求比较高。

14. (20 分) 超导现象是 20 世纪人类重大发现之一，日前我国已研制出世界传输电流最大的高温超导电缆并成功示范运行。

(1) 超导体在温度特别低时电阻可以降到几乎为零，这种性质可以通过实验研究。将一个闭合超导金属圈环水平放置在匀强磁场中，磁感线垂直于圈环平面向上，逐渐降低温度使环发生由正常态到超导态的转变后突然撤去磁场，若此后环中的电流不随时间变化。则表明其电阻为零。请指出自上往下看环中电流方向，并说明理由。

(2) 为探究该圆环在超导状态的电阻率上限  $\rho$ ，研究人员测得撤去磁场后环中电流为  $I$ ，并经一年以上的时间  $t$  未检测出电流变化。实际上仪器只能检测出大于  $\Delta I$  的电流变化，其中  $\Delta I \ll I$ ，当电流的变化小于  $\Delta I$  时，仪器检测不出电流的变化，研究人员便认为电流没有变化。设环的横截面积为  $S$ ，环中定向移动电子的平均速率为  $v$ ，电子质量为  $m$ 、电荷量为  $e$ 。试用上述给出的各物理量，推导出  $\rho$  的表达式。

(3) 若仍使用上述测量仪器，实验持续时间依旧为  $t$ 。为使实验获得的该圆环在超导状态的电阻率上限  $\rho$  的准确程度更高，请提出你的建议，并简要说明实现方法。

【考点】B7：电阻定律。

【专题】16：压轴题；535：恒定电流专题。

【分析】(1) 原磁场方向向上，减小时，根据楞次定律判断感应电流的磁场方向后结合安培定则判断即可；

(2) 根据电流的微观表达式  $I=neSv$  和焦耳定律以及能量守恒定律列式后联立求解即可；

(3) 根据第二问的表达式讨论即可。

【解答】解：(1) 原磁场方向向上，故原磁通向上，减小，根据楞次定律，感应电流磁场方向也向上，故感应电流为逆时针；

(2) 设超导圆环周长为  $L$ ，电阻为  $R$ ，有：
$$R = \rho \frac{L}{S}$$

由电流的微观定义可知，超导圆环中的电流  $I=neSv$ ，而  $n$ 、 $e$ 、 $S$  均由导体材料自身决定的，不会随环境变化而变化，故当环中电流发生变化时必定是电子的定向移动的速率发生了变化，于是有  $\Delta I=neS \cdot \Delta v$ 。

设能量的损失为  $\Delta E$ ，由能量守恒定律有：

$$\Delta E = I^2 R t = \Delta E_k = nsL \left[ \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m (v - \Delta v)^2 \right], \text{ 代入数据,}$$

$$\text{由于 } \Delta I \ll I, \frac{1}{2} m (\Delta v)^2 \rightarrow 0, \text{ 整理可得: } \Delta E_k = \frac{L m v}{e} \Delta I, \rho = \frac{m v S \Delta I}{e t I^2};$$

(3) 由  $\rho = \frac{m S \cdot \Delta I}{e v^2}$  知，为增加  $\rho$ ，可以适当增加  $\Delta I$ ；

答：(1) 自上往下看环中电流方向为逆时针方向，理由如上；

(2)  $\rho$  的表达式为  $\frac{m v S \Delta I}{e t I^2}$ ；

(3) 为增加  $\rho$ ，可以适当增加  $\Delta I$ 。

【点评】本题关键第二问较难，要明确电流的能量损失的微观意义，然后根据焦耳定律、能量守恒定律列式求解。