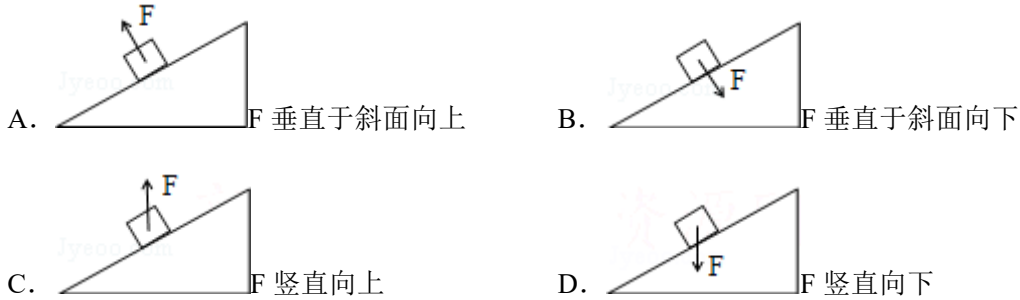


# 2009 年天津市高考物理试卷解析版

参考答案与试题解析

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）物块静止在固定的斜面上，分别按图示的方向对物块施加大小相等的力  $F$ ，施力后物块仍然静止，则物块所受的静摩擦力增大的是（ ）

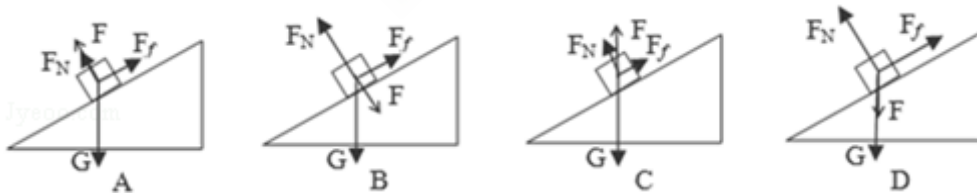


【考点】25：静摩擦力和最大静摩擦力；3C：共点力的平衡.

【专题】11：计算题.

【分析】物体施加力  $F$  前后都处于平衡状态，受的合外力为零，分析物体受到的力，然后沿斜面和垂直斜面正交分解力，在沿斜面方向上求静摩擦力，比较前后的大小变化来作出判断.

【解答】解：分析四个图中的物体施加  $F$  后的受力如图：



物体处于平衡状态，合外力为零，正交分解物体受到的力，可知沿斜面方向的合力为零。

即 A 图中  $F_{fA} = G \sin \theta$ ；

B 图中  $F_{fB} = G \sin \theta$ ；C 图中  $F_{fC} = (G - F) \sin \theta$ ；D 图中  $F_{fD} = (G + F) \sin \theta$ ，而原来都为  $G \sin \theta$ ，比较得知静摩擦力增大的为 D，所以 A、B、C、选项错误，D 选项正确。

故选：D。

【点评】知道物体的共点力平衡条件：合外力为零，会正交分解物体的受力，然后得知两互相垂直的方向上的合力为零。

2.（6 分）下列关于电磁波的说法正确的是（ ）

A. 电磁波必须依赖介质传播

- B. 电磁波可以发生衍射现象
- C. 电磁波不会发生偏振现象
- D. 电磁波无法携带信息传播

【考点】G4：电磁波的发射、传播和接收；G6：电磁波的应用。

【专题】54H：光的衍射、偏振和电磁本性专题。

【分析】电磁波既可以在真空中传播，也可以在介质中传播；所有的波都能发生衍射现象，横波能够发生偏振现象，电磁波是横波，所有波都能传递信息。

【解答】解：A、电磁波既可以在真空中传播，也可以在介质中传播，故 A 错误。

B、衍射是波特有的现象，所有的波都能发生衍射现象，故 B 正确。

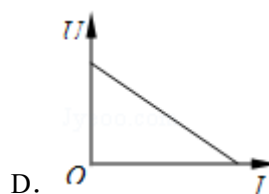
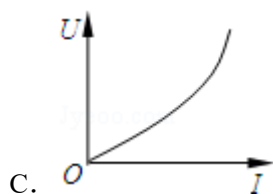
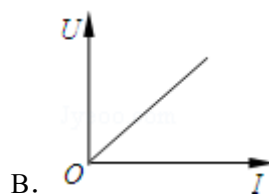
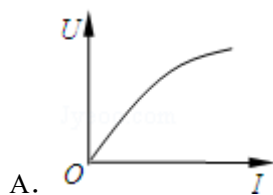
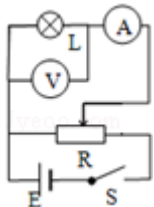
C、横波能够发生偏振现象，电磁波是横波，故电磁能发生偏振现象，故 C 错误。

D、所有波都能传递信息，故电磁波能够携带信息，故 D 错误。

故选：B。

【点评】通过多读教材，加强对基础知识的积累是解决此类题目的唯一途径。

3. (6分) 为探究小灯泡 L 的伏安特性，连好图示的电路后闭合开关，通过移动变阻器的滑片，使小灯泡中的电流由零开始逐渐增大，直到小灯泡正常发光。由电流表和电压表得到的多组读数描绘出的 U - I 图象应是 ( )



【考点】B8：电阻率与温度的关系；BE：伏安法测电阻；N5：描绘小电珠的伏安特性曲线。

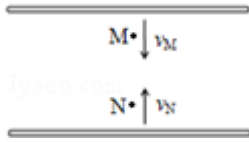
【专题】535：恒定电流专题。

【分析】解答本题的关键是理解电阻的 U - I 图象的物理意义以及温度对电阻的影响。



等于物体动能的增量，哪些力对物体做功，分析时不能遗漏。

5. (6分) 如图所示，带等量异号电荷的两平行金属板在真空中水平放置，M、N为板间同一电场线上的两点，一带电粒子(不计重力)以速度 $v_M$ 经过M点在电场线上向下运动，且未与下板接触，一段时间后，粒子以速度 $v_N$ 折回N点。则( )



- A. 粒子受电场力的方向一定由M指向N  
B. 粒子在M点的速度一定比在N点的大  
C. 粒子在M点的电势能一定比在N点的大  
D. 电场中M点的电势一定高于N点的电势

**【考点】** AC: 电势; AE: 电势能与电场力做功; AK: 带电粒子在匀强电场中的运动。

**【专题】** 16: 压轴题。

**【分析】** 由粒子的运动情景可得出粒子受到的电场力的方向，由电场力做功的性质可得出电势能及动能的变化；由电势与电势能的关系可判断电势。

**【解答】** 解：A、由于带电粒子未与下板接触，可知粒子向下做的是减速运动，故电场力向上，A 错误；

B、粒子由M到N电场力做负功，电势能增加，动能减少，故速度减小，故M点的速度大于N点的速度，故B正确，C错误；

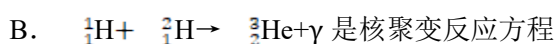
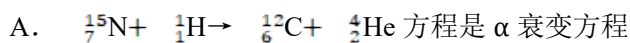
D、由于粒子和两极板所带电荷的电性未知，故不能判断M、N点电势的高低，D错误。

**【点评】** 本题应明确：(1) 电场力做正功则电势能减小，电场力做负功则电势能增加；

(2) 电场力做功要注意电荷的正负极性，极性不同则做功不同。

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，有的只有一个选项正确，有的有多个选项正确。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) 下列说法正确的是( )



C.  ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$  是核裂变反应方程

D.  ${}_2^4\text{He} + {}_{13}^{27}\text{Al} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$  是核人工转变

**【考点】**JA：原子核衰变及半衰期、衰变速度；JF：原子核的人工转变；JJ：裂变反应和聚变反应。

**【分析】**解决本题的关键是理解： $\alpha$ 衰变是原子核自发放射 $\alpha$ 粒子的核衰变过程；由轻原子核生成较重的原子核，同时释放出巨大能量的核反应叫核聚变；核裂变是指较重的原子核分裂成两个中等质量的新核；用人工的方法使原子核发生转变的过程叫做原子核的人工转变。

**【解答】**解：A、用人工的方法使原子核发生转变的过程叫做原子核的人工转变。 ${}_{7}^{15}\text{N}$ 在质子的轰击下发生的核反应，属于人工转变。故A错误。

B、由轻原子核生成较重的原子核，同时释放出巨大能量的核反应叫核聚变。故B正确。

C、 $\alpha$ 衰变是原子核自发放射 $\alpha$ 粒子的核衰变过程，故该反应是 $\alpha$ 衰变。故C错误。

D、用 $\alpha$ 粒子轰击 ${}_{13}^{27}\text{Al}$ 产生 ${}_{15}^{30}\text{P}$ 和 ${}_0^1\text{n}$ ，是在人为的作用下发生的故该反应是人工转变。故D正确。

故选：BD。

**【点评】**加强对基本知识、基本概念的积累，是解决概念题的唯一的法宝。

7. (6分) 已知某玻璃对蓝光的折射率比对红光的折射率大，则两种光 ( )

A. 在该玻璃中传播时，蓝光的速度较大

B. 以相同的入射角从空气斜射入该玻璃中，蓝光折射角较大

C. 从该玻璃中射入空气发生反射时，红光临界角较大

D. 用同一装置进行双缝干涉实验，蓝光的相邻条纹间距较大

**【考点】**H3：光的折射定律；H9：光的干涉。

**【专题】**16：压轴题；54D：光的折射专题。

**【分析】**根据题目中的蓝光的折射率比红光的折射率大，可以判断这两种光在该玻璃中的波速大小，以及波长、临界角等大小情况，然后以及相关物理知识即可解答。

**【解答】**解：A、由 $v = \frac{c}{n}$ 可知，蓝光在玻璃中的折射率大，蓝光的速度较小，故A错误；

B、以相同的入射角从空气中斜射入玻璃中，蓝光的折射率大，向法线靠拢偏折得多，折

射角应较小，故 B 错误；

C、从玻璃射入空气发生全反射时的临界角由公式 $\sin C = \frac{1}{n}$ 可知，红光的折射率小，临界

角大，故 C 正确；

D、用同一装置进行双缝干涉实验，由公式 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知蓝光的波长短，相邻条纹间距

小，故 D 错误。

故选：C。

**【点评】** 折射率大的频率高、波长短、临界角小、光子能量高等这些规律要明确，并能正确应用。

8. (6分) 某质点做简谐运动，其位移随时间变化的关系式为  $x = A \sin \frac{\pi}{4} t$ ，则质点 ( )

A. 第 1s 末与第 3s 末的位移相同

B. 第 1s 末与第 3s 末的速度相同

C. 3s 末至 5s 末的位移方向都相同

D. 3s 末至 5s 末的速度方向都相同

**【考点】** 73：简谐运动的振动图象。

**【专题】** 16：压轴题；51B：简谐运动专题。

**【分析】** 通过简谐运动的表达式可以知道角速度、周期、振幅。结合简谐运动的图象可以分析出各个时刻的位移方向和速度方向。

**【解答】** 解：A、由关系式可知，将  $t=1s$  和  $t=3s$  代入关系式中求得两时刻位移相同。

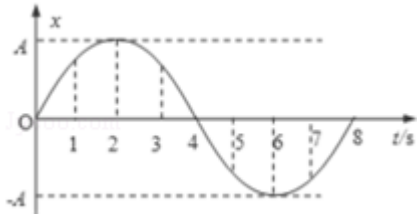
故 A 正确。

B、画出对应的位移 - 时间图象，由图象可以看出，第 1s 末和第 3s 末的速度方向不同。故 B 错误。

C、由图象可知，3s 末至 5s 末的位移先是为正，后为负，位移方向不相同。故 C 错误。

D、由图象可知，3s 末至 5s 末的速度都是沿着负方向，方向相同。故 D 正确。

故选：AD。



【点评】解决本题的关键是能从简谐运动的表达式中获取信息，并会画简谐运动的位移时间图象，结合图象分析问题。

### 三、实验题

9. (18分) (1) 如图 1 所示，单匝矩形闭合导线框  $abcd$  全部处于磁感应强度为  $B$  的水平匀强磁场中，线框面积为  $S$ ，电阻为  $R$ 。线框绕与  $cd$  边重合的竖直固定转轴以角速度  $\omega$  匀

速转动，线框中感应电流的有效值  $I = \frac{\sqrt{2}BS\omega}{2R}$ 。线框从中性面开始转过  $\frac{\pi}{2}$  的过程中，

通过导线横截面的电荷量  $q = \frac{BS}{R}$ 。

(2) 图 2 为简单欧姆表原理示意图，其中电流表的满偏电流  $I_R = 300\mu\text{A}$ ，内阻  $R_g = 100\Omega$ ，可变电阻  $R$  的最大阻值为  $10\text{k}\Omega$ ，电池的电动势  $E = 1.5\text{V}$ ，内阻  $r = 0.5\Omega$ ，图中与接线柱 A 相连的表笔颜色应是 红 色，接正确使用方法测量电阻  $R_x$  的阻值时，指针指在刻度盘的正中央，则  $R_x = \underline{5}$   $\text{k}\Omega$ 。若该欧姆表使用一段时间后，电池电动势变小，内阻变大，但此表仍能调零，按正确使用方法再测上述  $R_x$  其测量结果与原结果相比较 变大 (填“变大”、“变小”或“不变”)。

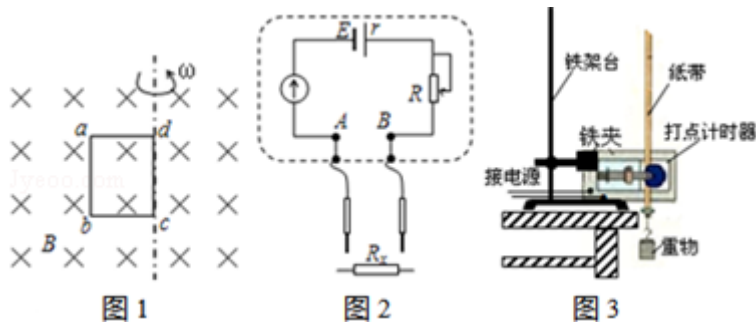
(3) 如图 3 所示，将打点计时器固定在铁架台上，使重物带动纸带从静止开始自由下落，利用此装置可以测定重力和速度。

① 所需器材有打点计时器 (带导线)、纸带、复写纸、带铁夹的铁架台和带夹子的重物，此外还需 D (填字母代号) 中的器材。

- A. 直流电源、天平及砝码      B. 直流电源、毫米刻度尺  
C. 交流电源、天平及砝码      D. 交流电源、毫米刻度尺

② 通过作图象的方法可以剔除偶然误差较大的数据，提高实验的准确程度。为使图线的

斜率等于重力加速度，除作  $v-t$  图象外，还可作  $\frac{v^2}{2} - h$  图象，其纵轴表示的是 速度平方的二分之一，横轴表示的是 重物下落的高度。



**【考点】** B4: 多用电表的原理及其使用; E5: 交流的峰值、有效值以及它们的关系;  
M1: 用打点计时器测速度.

**【专题】** 16: 压轴题.

**【分析】** (1) 根据交变电流的产生和最大值、有效值、平均值的关系可以求得电流的有效值, 交变电流中电荷量可以根据库仑定律来计算.

(2) 根据欧姆表的结构, 由闭合电路欧姆定律可以判断读数, 以及电池电动势变小, 内阻变大时测量结果的变化.

(3) 根据用打点计时器测重力加速度的原理, 和实验的步骤可以判断遗漏的器材, 用图象法处理实验的数据比较简单直观.

**【解答】** 解: (1)

电动势的最大值为  $E_m = BS\omega$ , 电动势的有效值为  $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ ,

所以电流的有效值  $I = \frac{E}{R} = \frac{\sqrt{2}BS\omega}{2R}$ ;

电荷量为  $q = \bar{I} \Delta t = \frac{\bar{E}}{R} \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{R \Delta t} \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{R} = \frac{BS}{R}$

(2)

欧姆表是电流表改装的, 必须满足电流的方向“+”进“-”出, 即回路中电流从标有“+”标志的红表笔进去, 所以与 A 相连的表笔颜色是红色;

当两表笔短接 (即  $R_x = 0$ ) 时, 电流表应调至满偏电流  $I_g$ , 设此时欧姆表的内阻为  $R_{内}$  此

时有关系  $I_g = \frac{E}{R_{内}}$  得  $R_{内} = \frac{E}{I_g} = 5k\Omega$ ;

当指针指在刻度盘的正中央时  $I = \frac{I_g}{2}$ , 有  $\frac{I_g}{2} = \frac{E}{R_{内} + R_x}$ , 代入数据可得  $R_x = R_{内} = 5k\Omega$ ;

当电池电动势变小、内阻变大时，欧姆得重新调零，由于满偏电流  $I_g$  不变，由公式

$$I_g = \frac{E}{R_{内}}, \text{ 欧姆表内阻 } R_{内} \text{ 得调小,}$$

待测电阻的测量值是通过电流表的示数体现出来的，

$$\text{由 } I = \frac{E}{R_{内} + R_x} = \frac{I_g R_{内}}{R_{内} + R_x} = \frac{I_g}{1 + \frac{R_x}{R_{内}}},$$

可知当  $R_{内}$  变小时， $I$  变小，指针跟原来的位置相比偏左了，欧姆表的示数变大了。

(3)

①打点计时器需接交流电源。重力加速度与物体的质量无关，所以不要天平和砝码。计算速度需要测相邻计数的距离，需要刻度尺，选 D。

②由公式  $v^2 = 2gh$ ，如绘出  $\frac{v^2}{2} - h$  图象，其斜率也等于重力加速度。

故答案为：(1)  $\frac{\sqrt{2}BS\omega}{2R}$ ,  $\frac{BS}{R}$ ;

(2) 红，5，变大；

(3) D,  $\frac{v^2}{2} - h$ ，速度平方的二分之一，重物下落的高度。

**【点评】**(1) 知道交变电流的最大值和有效值之间的关系，计算电荷量时要注意电流要用平均电流来计算。

(2) 本小题了考查欧姆表的结构、测量原理，同时还要注意测量误差应如何来分析。

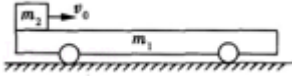
(3) 根据用打点计时器测重力加速度的实验原理，可以判断实验需要的器材，同时还要知道利用图象处理数据可以使实验结果简单直观的展现出来。

#### 四、简答题

10. (16分) 如图所示，质量  $m_1 = 0.3\text{kg}$  的小车静止在光滑的水平面上，车长  $L = 1.5\text{m}$ ，现有质量  $m_2 = 0.2\text{kg}$  可视为质点的物块，以水平向右的速度  $v_0 = 2\text{m/s}$  从左端滑上小车，最后在车面上某处与小车保持相对静止。物块与车面间的动摩擦因数  $\mu = 0.5$ ，取  $g = 10\text{m/s}^2$ ，求

(1) 物块在车面上滑行的时间  $t$ ；

(2) 要使命物块不从小车右端滑出，物块滑上小车的左端的速度  $v'_0$  不超过多少？



【考点】52：动量定理；53：动量守恒定律；6B：功能关系.

【专题】16：压轴题.

【分析】本题考查摩擦拖动类的动量和能量问题，涉及动量守恒定律、动量定理、功能关系、牛顿第二定律和运动学公式这些物理规律的运用。

(1) 根据动量守恒定律、动量定理物块在车面上滑行的时间  $t$ ，首先判断动量是否守恒，再选取正方向列式求解，也可运用运动学公式和牛顿第二定律求解，对  $m_2$  进行受力分析，求出加速，结合运动学公式  $v=v_0+at$  可解出结果。

(2) 根据动量守恒定律、能量守恒求解。也可运用牛顿第二定律求出物体和小车的加速度，由相对运动表示出物块和小车的相对位移  $L$ ，再结合运动学公式  $v_t^2 - v_0^2 = 2as$  可解出结果。

【解答】解：

解法一：

(1) 由题意知动量守恒，设物块与小车的共同速度为  $v$ ，以水平向右为正方向（如图所示），根据动量守恒定律有

$$m_2 v_0 = (m_1 + m_2) v \cdots \textcircled{1}$$

设物块与车面间的滑动摩擦力为  $F$ ，对物块应用动量定理有

$$-Ft = m_2 v - m_2 v_0 \cdots \textcircled{2}$$

$$\text{其中 } F = \mu m_2 g \cdots \textcircled{3}$$

$$\text{解得 } t = \frac{m_1 v_0}{\mu(m_1 + m_2)g}$$

$$\text{代入数据得 } t = 0.24\text{s} \cdots \textcircled{4}$$

(2) 要使物块恰好不从车厢滑出，须物块到车面右端时与小车有共同的速度  $v'$ ，则

$$m_2 v_0 = (m_1 + m_2) v' \cdots \textcircled{5}$$

$$\text{由功能关系有 } \frac{1}{2} m_2 v_0^2 = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v'^2 + \mu m_2 g L \cdots \textcircled{6}$$

$$\textcircled{5}\textcircled{6} \text{ 联立并代入数据解得： } v_0' = 5\text{m/s}$$

故要使物块不从小车右端滑出，物块滑上小车的速度  $v_0'$  不能超过  $5\text{m/s}$ 。

解法二：

(1) 选物块原来的方向为正,

$$\text{对小车有 } a_1 = \frac{\mu m_2 g}{m_1} = \frac{10}{3} \text{m/s}^2, \dots \textcircled{1}$$

$$\text{对物块 } a_2 = \frac{-\mu m_2 g}{m_2} = -5 \text{m/s}^2 \dots \textcircled{2}$$

由于物块在车面上某处与小车保持相对静止, 物块和车具有共同速度。

$$\text{所以有 } v_0 + a_2 t = a_1 t \dots \textcircled{3}$$

$$\textcircled{1} \textcircled{2} \text{式代入} \textcircled{3} \text{式解得 } t = 0.24 \text{s}$$

(2) 要使物块恰好不从车厢滑出, 须物块到车面最右端时与小车有共同的速度  $v'$  设小车的位移为  $s_1$ , 物块的位移为  $s_2$ , 物块原来的速度为  $v_0'$

$$\text{对小车有: } v'^2 - 0 = 2a_1 s_1 \dots \textcircled{4}$$

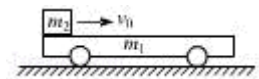
$$\text{对物块有: } v'^2 - v_0'^2 = 2a_2 s_2 \dots \textcircled{5}$$

$$s_2 - s_1 = L \dots \textcircled{6}$$

$$\textcircled{1} \textcircled{2} \textcircled{4} \textcircled{5} \textcircled{6} \text{联立解得 } v_0' = 5 \text{m/s}$$

答: (1) 物块在车面上滑行的时间为 0.24s

(2) 要使物块不从小车右端滑出, 物块滑上小车上左端的速度  $v_0'$  不超过 5m/s。

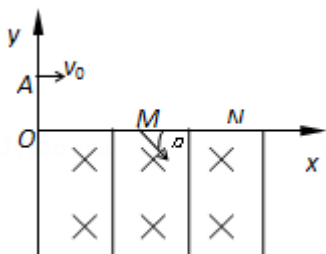


**【点评】** 从以上两种解法中可以看出, 按照第一种解法, 本题是考查学生对摩擦拖动类的动量和能量问题的认识, 涉及动量守恒定律、动量定理和功能关系这些物理规律的运用。而按照第二种解法, 学生掌握相对运动和基本的牛顿定律就能顺利解出。通常解决此类问题的关键是掌握动量和能量的观点, 该观点始终贯穿从力学到原子物理的整个高中物理学, 动量和能量的观点是继牛顿定律解决力学问题的另一条方法, 它往往可以忽略力作用的中间过程, 只需关注始、末状态, 用全局的观点和整体的观点使得解题的思路更加简捷。

11. (18分) 如图所示, 直角坐标系  $xOy$  位于竖直平面内, 在水平的  $x$  轴下方存在匀强磁场和匀强电场, 磁场的磁感应为  $B$ , 方向垂直  $xOy$  平面向里, 电场线平行于  $y$  轴。一质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  的带正电的小球, 从  $y$  轴上的  $A$  点水平向右抛出, 经  $x$  轴上的  $M$  点进入电场和磁场, 恰能做匀速圆周运动, 从  $x$  轴上的  $N$  点第一次离开电场和磁场,  $MN$  之间的距离为  $L$ , 小球过  $M$  点时的速度方向与  $x$  轴的方向夹角为  $\theta$ 。不计空气阻力, 重力

加速度为  $g$ ，求

- (1) 电场强度  $E$  的大小和方向；
- (2) 小球从  $A$  点抛出时初速度  $v_0$  的大小；
- (3)  $A$  点到  $x$  轴的高度  $h$ 。



**【考点】** AK: 带电粒子在匀强电场中的运动; CI: 带电粒子在匀强磁场中的运动.

**【专题】** 11: 计算题; 31: 定性思想; 4B: 图析法; 4C: 方程法; 537: 带电粒子在复合场中的运动专题.

**【分析】** (1) 带电小球在受到重力、电场力、洛伦兹力共同作用下做匀速圆周运动，可得知电场力与重力是一对平衡力，从而可得知电场的方向；由二力平衡可求出电场的大小。

(2) 先由几何关系表示出小球在复合场中做圆周运动的半径，结合半径公式和速度的分解，便可求出小球抛出时的初速度。

(3) 小球在电场中做类平抛运动，应用类平抛运动规律可以求出  $h$  大小。

**【解答】** 解：(1) 小球在电场、磁场中恰能做匀速圆周运动，说明电场力和重力平衡（恒力不能充当圆周运动的向心力），有： $qE=mg$ ，

$$\text{解得：} E = \frac{mg}{q}；$$

重力的方向竖直向下，电场力方向只能向上，

由于小球带正电，所以电场强度方向竖直向上。

(2) 小球做匀速圆周运动， $O'$  为圆心， $MN$  为弦长，

$$\angle MO'P = \theta，\text{ 如图所示。设半径为 } r，\text{ 由几何关系知：} \sin\theta = \frac{L}{2r}，$$

小球做匀速圆周运动的向心力由洛伦兹力提供，设小球做圆周运动的速率为  $v$ ，

由牛顿第二定律得： $qvB = m\frac{v^2}{r}$ ,

由速度的合成与分解知： $\cos\theta = \frac{v_0}{v}$ ,

解得： $v_0 = \frac{qBL\cot\theta}{2m}$ ;

(3) 设小球到 M 点时的竖直分速度为  $v_y$ ,

它与水平分速度的关系为： $v_y = v_0 \tan\theta$ ,

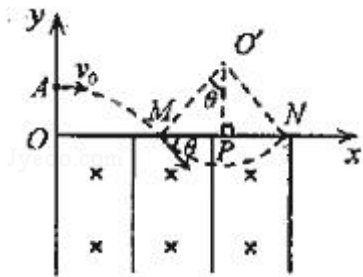
由匀变速直线运动规律得： $v_y^2 = 2gh$ ,

解得： $h = \frac{q^2 B^2 L^2}{8m^2 g}$ ;

答：(1) 电场强度 E 的大小为： $\frac{mg}{q}$ ，方向：竖直向上；

(2) 小球从 A 点抛出时初速度  $v_0$  的大小为  $\frac{qBL\cot\theta}{2m}$ ;

(3) A 点到 x 轴的高度 h 为  $\frac{q^2 B^2 L^2}{8m^2 g}$ 。



**【点评】** 该题考查到了复合场的问题，即在同一区域内同时存在电场、磁场和重力场三者中的任何两个，或三者都存在。此类问题看似简单，受力不复杂，但仔细分析其运动往往比较难以把握。

常用的处理方法：

- 1、建立带电粒子在复合场中运动的物理情景。
- 2、物理情（图）景与解析几何知识有机结合，将物理问题化归为数学问题。

思想方法：数理结合，建模和化归的思想方法。

解题思维流程：题给文字信息→建立物理图景→化归为几何问题→还原为物理结论（构

建物理图景（模型）是关键、化归为几何问题是手段）。

12.（20分）2008年12月，天文学家们通过观测的数据确认了银河系中央的黑洞“人马座A\*”的质量与太阳质量的倍数关系。研究发现，有一星体S2绕人马座A\*做椭圆运动，其轨道半长轴为 $9.50 \times 10^2$ 天文单位（地球公转轨道的半径为一个天文单位），人马座A\*就处在该椭圆的一个焦点上。观测得到S2星的运行周期为15.2年。

（1）若将S2星的运行轨道视为半径 $r=9.50 \times 10^2$ 天文单位的圆轨道，试估算人马座A\*的质量 $M_A$ 是太阳质量 $M_S$ 的多少倍（结果保留一位有效数字）；

（2）黑洞的第二宇宙速度极大，处于黑洞表面的粒子即使以光速运动，其具有的动能也不足以克服黑洞对它的引力束缚。由于引力的作用，黑洞表面处质量为 $m$ 的粒子具有势能

能为 $E_p = -G \frac{Mm}{R}$ （设粒子在离黑洞无限远处的势能为零），式中 $M$ 、 $R$ 分别表示黑洞的质量和半径。

已知引力常量 $G=6.7 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ，光速 $c=3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ ，太阳质量 $M_S=2.0 \times 10^{30} \text{kg}$ ，太阳半径 $R_S=7.0 \times 10^8 \text{m}$ ，不考虑相对论效应，利用上问结果，在经典力学范围内求人马座A\*的半径 $R_A$ 与太阳半径 $R_S$ 之比应小于多少（结果按四舍五入保留整数）。

【考点】4F：万有引力定律及其应用。

【专题】11：计算题；16：压轴题；21：信息给予题。

【分析】研究S2星绕人马座A\*做圆周运动，根据万有引力提供向心力，列出等式求出人马座A\*的质量。

研究地球绕太阳做圆周运动，根据万有引力提供向心力，列出等式求出太阳的质量。

根据题目提供的信息，筛选出有用的信息，结合功能关系，求出问题。

【解答】解：（1）S2星绕人马座A\*做圆周运动的向心力由人马座A\*对S2星的万有引力提供，设S2星的质量为 $m_{S2}$ ，角速度为 $\omega$ ，周期为 $T$ ，则 $G \frac{M_A m_{S2}}{r^2} = m_{S2} \omega^2 r$  ①

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ ②}$$

设地球质量为 $m_E$ ，公转轨道半径为 $r_E$ ，周期为 $T_E$ ，研究地球绕太阳做圆周运动，根据万有引力提供向心力则

$$G \frac{M_S m_E}{r_E^2} = m_E \omega^2 r_E \text{ ③}$$

综合上述三式得  $\frac{M_A}{M_S} = \left(\frac{r}{r_E}\right)^3 \left(\frac{T_E}{T}\right)^2$

式中  $T_E=1$  年,  $r_E=1$  天文单位,

代入数据可得  $\frac{M_A}{M_S} = 4 \times 10^6$

(2) 引力对粒子作用不到的地方即为无限远, 此时粒子的势能为零. “处于黑洞表面的粒子即使以光速运动, 其具有的动能也不足以克服黑洞对它的引力束缚”, 说明了黑洞表面处以光速运动的粒子在远离黑洞的过程中克服引力做功, 粒子在到达无限远之前, 其动能便减小为零, 此时势能仍为负值, 则其能量总和小于零, 则有  $\frac{1}{2}mc^2 - G\frac{Mm}{R} < 0$  ④

依题意可知  $R=R_A$ ,  $M=M_A$

可得  $R_A < \frac{2GM_A}{c^2}$  ⑤

代入数据得  $R_A < 1.2 \times 10^{10}$  m

所以:  $\frac{R_A}{R_S} < 17$

答: (1) 人马座 A\* 的质量  $M_A$  是太阳质量  $M_S$  的  $4 \times 10^6$  倍,

(2) 在经典力学范围内求人马座 A\* 的半径  $R_A$  与太阳半径  $R_g$  之比应小于 17.

**【点评】** 本题考查天体运动的知识. 其中第 2 小题为信息题, 如“黑洞”“引力势能”等陌生的知识都在题目中给出, 考查学生提取信息, 处理信息的能力, 体现了能力立意. 求一个物理量之比, 我们可以把这个物理量先用已知的物理量表示出来, 再进行之比.