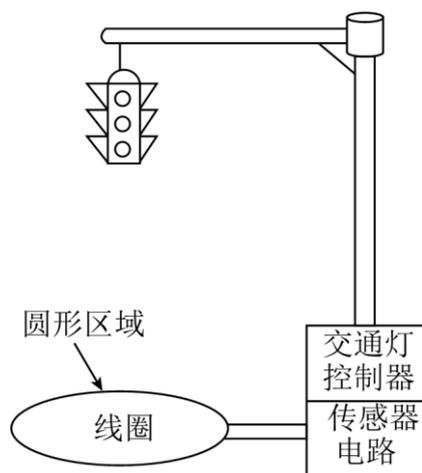


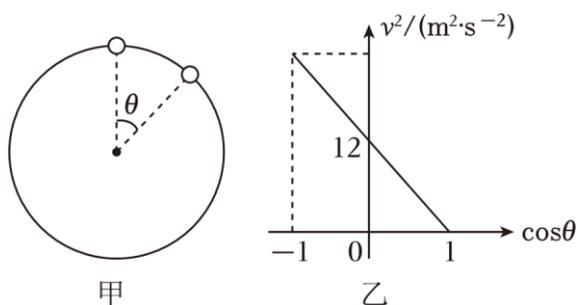
- A.  $\varphi_b < \varphi_c$
- B. 带电粒子经过 P 点和 N 点时速度相同
- C. 带电粒子从 M 点运动到 N 点电场力做的功为  $q(\varphi_b - \varphi_c)$
- D. 带电粒子在 M 点的加速度小于在 N 点的加速度

5. (2024•广西模拟) 如图，当车辆驶入或驶出圆形区域时，车辆会改变区域内通电线圈中的磁场，通过传感器电路将磁场的变化转换为交通灯的控制信号，车辆驶入图中圆形区域时，车辆引起磁场变化的原因类似于 ( )



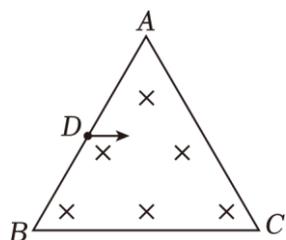
- A. 将铁芯放入通电线圈
- B. 增大通电线圈的面积
- C. 增加通电线圈的匝数
- D. 加大对通电线圈的压力

(多选) 6. (2024•绵阳模拟) 如图甲所示，质量为  $0.2\text{kg}$  的小球套在竖直固定的光滑圆环上，并在圆环最高点保持静止。受到轻微扰动后，小球由静止开始沿着圆环运动，一段时间后，小球与圆心的连线转过  $\theta$  角度时，小球的速度大小为  $v$ ， $v^2$  与  $\cos\theta$  的关系如乙图所示， $g$  取  $10\text{m/s}^2$ 。则 ( )



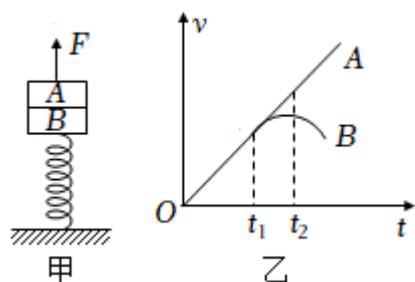
- A. 圆环半径为 0.6m
- B.  $\theta = \frac{\pi}{2}$  时，小球所受合力为 4N
- C.  $0 \leq \theta \leq \pi$  过程中，圆环对小球的作用力一直增大
- D.  $0 \leq \theta \leq \pi$  过程中，圆环对小球的作用力先减小后增大

(多选) 7. (2024·温江区校级三模) 如图所示，边长为  $2L$  的等边三角形  $ABC$  内有垂直纸面向里、磁感应强度大小为  $B_0$  的匀强磁场， $D$  是  $AB$  边的中点，一质量为  $m$ 、电荷量为  $-q$  的带电粒子从  $D$  点以不同的速率平行于  $BC$  边方向射入磁场，不计粒子重力，下列说法正确的是 ( )



- A. 粒子可能从  $B$  点射出
- B. 若粒子从  $C$  点射出，则粒子做匀速圆周运动的半径为  $\frac{\sqrt{3}}{2}L$
- C. 若粒子从  $C$  点射出，则粒子在磁场中运动的时间为  $\frac{\pi m}{3qB_0}$
- D. 若粒子从  $AB$  边射出，则粒子在磁场中运动的时间相同，且时间最长

(多选) 8. (2024·南充模拟) 如图甲所示，一轻质弹簧的下端固定在水平面上，上端叠放两个质量均为  $M$  的物体  $A$ 、 $B$  ( $B$  物体与弹簧连接)，弹簧的劲度系数为  $k$ ，初始时物体处于静止状态. 现用竖直向上的拉力  $F$  作用在物体  $A$  上，使物体  $A$  开始向上做加速度为  $a$  ( $a < g$ ) 的匀加速运动， $A$ 、 $B$  的速度随时间变化图像如图乙所示，重力加速度为  $g$ ，则下列说法正确的是 ( )



- A. 拉力  $F$  的最小值为  $2Ma$
- B. A、B 分离时，弹簧弹力恰好为零
- C. A、B 分离时，A 上升的距离为  $\frac{M(g-a)}{k}$
- D. 弹簧恢复到原长时，物体 B 的速度达到最大值

二、实验题

9. (2024•武侯区校级模拟) 某实验小组要测量一节干电池的电动势  $E$  和内阻  $r$ ，已知电流表内阻与电源内阻相差不大。

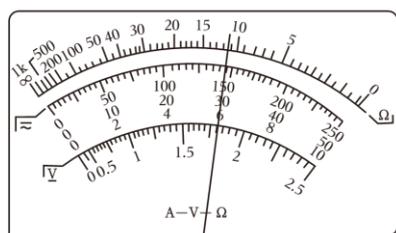


图1

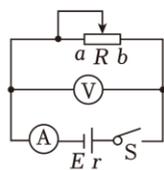


图2

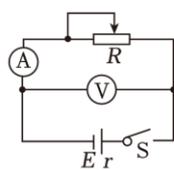


图3

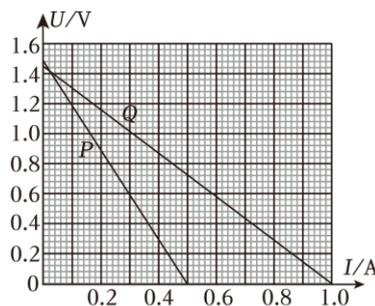


图4

(1) 先用多用电表 2.5V 量程粗测该电池的电动势，将多用电表的红表笔与电池的 \_\_\_\_\_ (填“正”或“负”) 极相连，黑表笔与电池的另一电极相连，多用电表的示数如图 1 所示，则电源电动势为  $V$  (结果保留 3 位有效数字)。

(2) 某同学设计了如图 2 所示的实验电路，连接好实验电路，闭合开关  $S$ ，改变滑片  $P$  的位置，记录多组电压表、电表示数，建立  $U - I$  坐标系，并描绘出  $U - I$  图像。

另一同学仍使用图 2 中的实验器材，设计了如图 3 所示的实验电路，实验操作步骤与前一位同学相同，在同一坐标系中分别描点作出  $U - I$  图像，图 2 对应的  $U - I$  图线是图 4 中的 \_\_\_\_\_ 线(填“P”或“Q”)。

若每次测量操作都正确，读数都准确，则由图 4 中的 P 和 Q 图线，可得电动势和内阻的真实值为  $E =$   $V$ ， $r =$   $\Omega$  (结果均保留 3 位有效数字)。

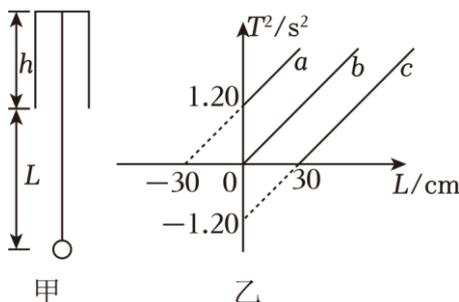
10. (2024•武侯区校级模拟) 深度为  $h$  (未知) 且开口竖直向下的小筒中悬挂如图甲所示的单摆 (单摆的下半部分露于筒外)，将摆球拉离平衡位置一个小角度后由静止释放，悬线不会碰到筒壁而同一竖直面内摆动。

测量出筒的下端口到摆球球心的距离  $L$ ，并通过改变  $L$  而测出对应的摆动周期  $T$ ，再以  $T^2$  为纵轴、 $L$  为横轴作出  $T^2 - L$  关系图像，根据上述和下面已知信息或条件，请完成：

(1) 测量单摆的周期时，某同学在摆球某次通过最低点时按下停表开始计时，同时数“1”，当摆球第二次通过最低点时数“2”，依此法往下数，当他数到“59”时，按下停表停止计时，读出这段时间  $t$ ，则该单摆的周期  $T$  为 \_\_\_\_\_；

(2) 若不考虑实验误差的影响，根据实验数据，得到的  $T^2 - L$  关系图线应该是图乙中 a、b、c 中的条（选填“a”、“b”或者“c”）。

(3) 根据图线可求得当地的重力加速度  $g =$  \_\_\_\_\_  $\text{m/s}^2$  ( $\pi$  取 3.14，结果保留 3 位有效数字)。

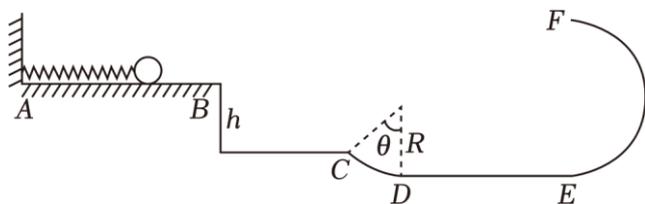


### 三、计算题

11. (2024·青羊区校级三模) 如图所示，竖直轨道 CDEF 由圆弧 CD、直线 DE 和半圆 EF 组成，圆弧和半圆半径均为  $R$ ，水平轨道  $DE = 2R$ ，各轨道之间平滑连接，轨道 CDEF 可上下左右调节。一质量为  $m$  的小球压缩弹簧到某一位置后撤去外力静止释放后沿水平轨道 AB 向右抛出。调整轨道使 BC 高度差  $h = 0.9R$ ，并使小球从 C 点沿切线进入圆弧轨道。DE 段的摩擦系数  $\mu = 0.1$ ，除 DE 段有摩擦外，其他阻力不计， $\theta = 37^\circ$ ，重力加速度为  $g$ ，求：

(1) 撤去外力瞬间，弹簧的弹性势能  $E_p$ ；

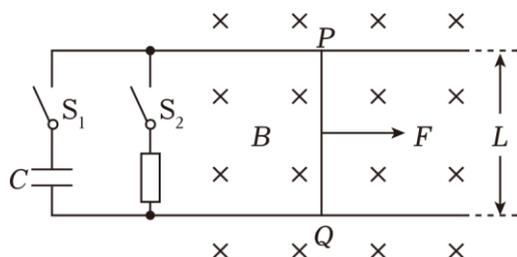
(2) 请判断小球能否到达圆轨道的最高点；如能，求出最终落点的位置；如不能，请找出到达圆轨道的最高点的位置。



12. (2024·昆明一模) 如图所示，两根相互平行且足够长的光滑长直金属导轨固定在水平绝缘桌面上，导轨间距为  $L$ ，导轨上接有电容为  $C$  的电容器和阻值为  $R$  的定值电阻。质量为  $m$  的导体棒 PQ 静止在导轨上，整个系统处于磁感应强度大小为  $B$ 、方向竖直向下的匀强磁场中。开始时，电容器不带电。 $t = 0$  时刻，对 PQ 施加水平向右大小为  $F$  的恒力。PQ 和导轨的电阻均不计，PQ 运动过程中始终与导轨垂直

且接触良好。

- (1) 若保持开关  $S_1$  断开、 $S_2$  闭合，求 PQ 的最终速度；
- (2) 若保持开关  $S_1$  闭合、 $S_2$  断开，求 PQ 的加速度大小；
- (3) 若保持开关  $S_1$ 、 $S_2$  都闭合，从  $t=0$  到  $t=t_0$  时间内 PQ 向右运动的距离为  $x$ ，求  $t=t_0$  时刻 PQ 的速度大小。



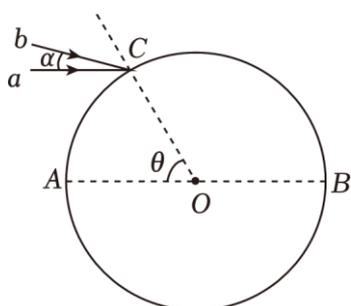
选修 3-3

13. (2024•兴宁区二模) 关于一定质量的理想气体的内能，下列说法正确的是 ( )
  - A. 气体在压缩的过程中，内能一定增大
  - B. 气体在放热的过程中，内能一定减小
  - C. 气体在等温压缩过程中，内能一定增大
  - D. 气体在等压膨胀过程中，内能一定增大
14. (2024•南宁一模) 某学校开展庆祝活动，使用气球渲染气氛。早晨，学校地表附近的气温为  $27^\circ\text{C}$ ，大气压强为  $p_0$ ，此时在地表附近的气球体积为  $V_0$ ，若气球导热良好，气球内所充的氦气可视为理想气体，气球内外气压差很小可以忽略。

- (1) 正午时大气压仍为  $p_0$ ，此时地表附近的气球体积增大了  $\frac{1}{30}$ ，求此时地表附近气温达到多少  $^\circ\text{C}$ ？
- (2) 若某高处的大气压强为  $\frac{4}{5}p_0$ ，气温为  $15^\circ\text{C}$ ，若气球悬停在这一高处时，气球体积变为多少？

选修 3-4

15. (2024•柳州模拟) 如图所示为一圆柱形玻璃砖的截面， $O$  为圆心， $AB$  为一条直径，光线  $a$ 、 $b$  均从  $C$  点射入，光线  $a$  平行于  $AB$ ，光线  $b$  与光线  $a$  的夹角  $\alpha=15^\circ$ ，两条光线的折射光线均经过  $B$  点， $\theta=60^\circ$ ，则光线  $a$ 、 $b$  在玻璃砖中传播的时间之比为 ( )

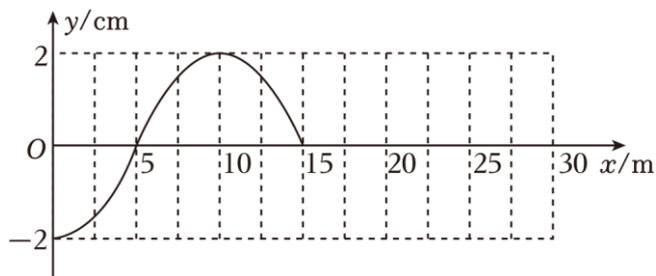


- A.  $\frac{\sqrt{6}}{3}$                       B.  $\frac{\sqrt{6}}{2}$                       C.  $\frac{\sqrt{2}}{2}$                       D.  $\frac{\sqrt{3}}{2}$

16. (2024•贵州模拟) 一简谐波的波源位于坐标原点，波源振动后  $t=0.3\text{s}$  时第一次形成如图所示的波形图。

(1) 求该波的波长和传播速度大小；

(2) 在给出的坐标图上画出波在  $t=2.0\text{s}$  时刻的波形图并写出平衡位置位于  $x=15\text{m}$  处质点的振动方程。



## 2024年05月15日组卷42的高中物理组卷

### 参考答案与试题解析

#### 一. 试题（共16小题）

1.（2024•成都模拟）一质点做匀速圆周运动，从圆周上的一点运动到另一点的过程中，下列说法一定正确的是（ ）

- A. 质点速度不变  
B. 质点加速度不变  
C. 质点动能不变  
D. 质点机械能不变

【考点】机械能守恒定律；匀速圆周运动.

【专题】定性思想；推理法；机械能守恒定律应用专题；理解能力.

【分析】质点做匀速圆周运动，从圆周上的一点运动到另一点的过程中，速度、加速度方向发生变化，根据动能与重力势能的变化分析机械能变化。

【解答】解：质点做匀速圆周运动，从圆周上的一点运动到另一点的过程中，速度、加速度方向发生变化，质点的速度大小不变，则动能不变，若质点在竖直平面做匀速圆周运动，则重力势能发生变化，机械能发生变化，故 ABD 错误，C 正确；

故选：C。

【点评】本题考查机械能守恒定律，解题关键掌握机械能的组成，注意动能与重力势能的影响因素。

2.（2024•南宁一模）医学影像诊断设备 PET/CT 是借助于示踪剂可以聚集到病变部位的特点来发现疾病的。

示踪剂常利用同位素  ${}_{6}^{11}\text{C}$  作示踪原子标记，其半衰期为 20min。小型回旋加速器输出的高速质子轰击  ${}_{7}^{14}\text{N}$  获得  ${}_{6}^{11}\text{C}$ ，同时还释放一种粒子的射线。则下列说法正确的是（ ）

- A. 用高速质子轰击  ${}_{7}^{14}\text{N}$ ，生成  ${}_{6}^{11}\text{C}$  的同时释放的粒子是中子  
B. 用高速质子轰击  ${}_{7}^{14}\text{N}$ ，生成  ${}_{6}^{11}\text{C}$  的同时释放的粒子是  $\alpha$  粒子  
C. 当  ${}_{6}^{11}\text{C}$  聚集到病变部位时，其半衰期会发生变化  
D. 用高速质子轰击  ${}_{7}^{14}\text{N}$ ，在一次核反应过程中，核反应前  ${}_{7}^{14}\text{N}$  和质子的质量之和，一定与核反应后  ${}_{6}^{11}\text{C}$

与所释放的这种粒子的质量之和完全相同

【考点】原子核的衰变及半衰期、衰变速度.

【专题】定性思想；推理法；衰变和半衰期专题；理解能力.

**【分析】**原子核在衰变过程中遵循质量数守恒和电荷数守恒；半衰期与元素所处的物理环境和化学状态无关；根据质能关系判断。

**【解答】**解：AB、根据质量数守恒和电荷数守恒知，该核反应方程中产生的粒子的质量数为  $A=1+14-11=4$ ，电荷数为  $z=1+7-6=2$ ，可知释放的粒子为  $\alpha$  粒子 ( ${}^4_2\text{He}$ )，故 A 错误，B 正确；

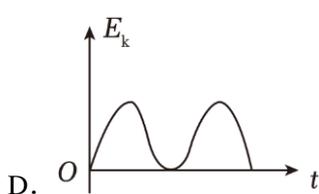
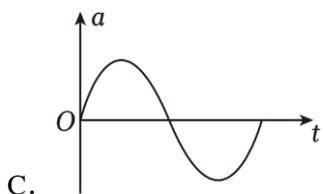
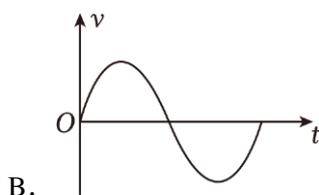
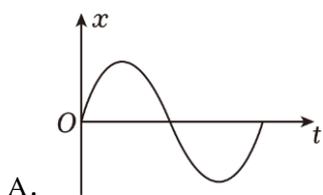
C、半衰期与元素所处的物理环境和化学状态无关，因此其半衰期不可能变化，故 C 错误；

D、核反应的过程总伴随能量的变化，所以核反应前  ${}^1_7\text{N}$  和质子的质量之和，一定与核反应后  ${}^{11}_6\text{C}$  与所释放的这种粒子的质量之和不相等，故 D 错误。

故选：B。

**【点评】**掌握核反应方程遵循质量数和电荷数守恒，理解半衰期的意义，知道影响半衰期的因素。

3. (2024•贵州模拟) 在光滑水平地面上有一可视为质点的物体，受力从静止开始运动。下列位移、速度、加速度和动能随时间的变化图像可表示其运动过程中运动方向一定保持不变的是 ( )



**【考点】**牛顿第二定律；运动学图像综合；牛顿第二定律的图像问题。

**【专题】**定性思想；推理法；运动学中的图象专题；理解能力。

**【分析】**根据位移、速度、动能随时间的变化图像分析物体运动情况，根据加速度随时间的变化图像物理意义分析判断。

**【解答】**解：位移、速度、动能随时间的变化图像表示物体的运动存在往复的情况，加速度的图像与坐标轴围成的面积代表速度，由图像可知加速度随时间的变化图像表示的运动过程中运动方向一定保持不变。

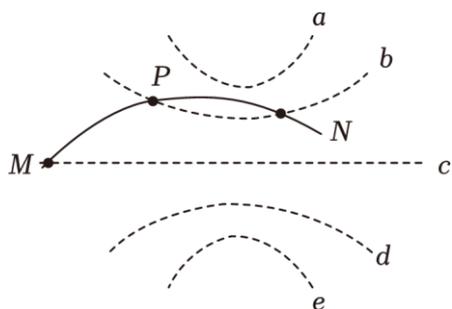
故 C 正确，ABD 错误。

故选：C。

**【点评】**本题关键掌握位移、速度、加速度、动能随时间的变化图像的物理意义。

4. (2024•五华区校级模拟) 如图所示，a、b、c、d、e 是两个等量异种点电荷形成的电场中的等差等势面，

一电荷量为  $q$  的带正电的粒子，只受该电场的作用，在该电场中运动的轨迹如图中实线  $MPN$  所示，已知电场中  $b$ 、 $c$  两等势面的电势分别为  $\varphi_b$ 、 $\varphi_c$ 。则下列说法正确的是（ ）



- A.  $\varphi_b < \varphi_c$
- B. 带电粒子经过 P 点和 N 点时速度相同
- C. 带电粒子从 M 点运动到 N 点电场力做的功为  $q(\varphi_b - \varphi_c)$
- D. 带电粒子在 M 点的加速度小于在 N 点的加速度

【考点】电场力做功；电势；等势面。

【专题】定量思想；推理法；电场力与电势的性质专题；推理能力。

【分析】根据曲线运动合力、速度与轨迹的位置关系和带电粒子的电性联立判断两个等量异种点电荷的位置，进一步判断电势高低；根据等势面的特点、功能关系、曲线运动的特点判断带电粒子经过 P 点和 N 点时速度是否相等；根据电场力做功与电势差的关系求解电场力做的功；根据等势面的疏密程度反应电场强度的强弱比较电场强度的大小，进一步判断加速度的大小。

【解答】解：A. 根据曲线运动的合外力指向轨迹的凹侧，又带电粒子带正电，故正电荷在上方，负电荷在下方，所以  $\varphi_b > \varphi_c$ ，故 A 错误；

B. P、N 两点在同一等势面上，电势能相同，动能相同，所以带电粒子经过 P 和 N 位置时速度大小相等，但曲线运动的速度方向沿轨迹切线方向，则带电粒子经过 P 和 N 位置时速度方向不同，故 B 错误；

C. 根据电场力做功与电势差的关系，则带电粒子从 M 点运动到 N 点电场力做的功为

$$W_{MN} = qU_{MN} = q(\varphi_c - \varphi_b)$$

故 C 错误；

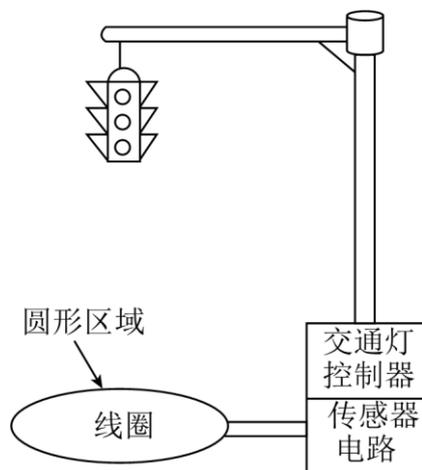
D. 等势面较密集的位置场强大，等势面稀疏的位置场强小，故 M 点场强小于 N 点场强，带电粒子在 M 点受到的电场力小于在 N 点受到的电场力，根据牛顿第二定律，带电粒子在 M 点的加速度小于在 N 点的加速度，故 D 正确。

故选：D。

【点评】本题考查静电场中基本量的计算和比较，要求学生熟练掌握静电场中电场强度、电势、电势差、

电场力做功等的计算和大小比较。

- 5.（2024•广西模拟）如图，当车辆驶入或驶出圆形区域时，车辆会改变区域内通电线圈中的磁场，通过传感器电路将磁场的变化转换为交通灯的控制信号，车辆驶入图中圆形区域时，车辆引起磁场变化的原因类似于（ ）



- A. 将铁芯放入通电线圈
- B. 增大通电线圈的面积
- C. 增加通电线圈的匝数
- D. 加大对通电线圈的压力

【考点】法拉第电磁感应定律.

【专题】定性思想；推理法；电磁感应与电路结合；分析综合能力.

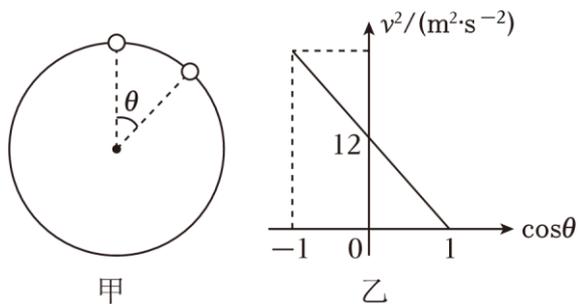
【分析】根据电磁感应现象分析出电流的变化，从而分析出线圈产生的磁场的变化原因。

【解答】解：当车辆驶入或驶出圆形区域时，车辆会改变区域内通电线圈中的磁场，从而使圆形区域线圈的磁通量发生变化，汽车上大部分是金属，汽车经过线圈时会引起汽车磁通量的变化，从而产生电磁感应现象，产生感应电流，从而改变区域内通电线圈中的磁场；此过程类似将铁芯放入通电线圈，铁芯的磁通量也会变化，也会产生感应电流，从而改变通电线圈中的磁场。故 BCD 错误，A 正确。

故选：A。

【点评】本题主要考查了电磁感应在生活中的应用，理解电磁感应现象，结合感应电流的产生条件即可完成分析。

- （多选）6.（2024•绵阳模拟）如图甲所示，质量为  $0.2\text{kg}$  的小球套在竖直固定的光滑圆环上，并在圆环最高点保持静止。受到轻微扰动后，小球由静止开始沿着圆环运动，一段时间后，小球与圆心的连线转过  $\theta$  角度时，小球的速度大小为  $v$ ， $v^2$  与  $\cos\theta$  的关系如乙图所示， $g$  取  $10\text{m/s}^2$ 。则（ ）



- A. 圆环半径为 0.6m
- B.  $\theta = \frac{\pi}{2}$  时，小球所受合力为 4N
- C.  $0 \leq \theta \leq \pi$  过程中，圆环对小球的作用力一直增大
- D.  $0 \leq \theta \leq \pi$  过程中，圆环对小球的作用力先减小后增大

【考点】向心力；牛顿第二定律。

【专题】定量思想；方程法；匀速圆周运动专题；推理能力。

【分析】小球下滑过程机械能守恒，结合  $\theta = \frac{\pi}{2}$  时，小球的速度平方为 12，可得半径； $\theta = \frac{\pi}{2}$  时，小球受到重力与轨道的支持力，由此求出合力；根据小球受到的合力提供向心力，结合牛顿第二定律即可求出。

【解答】解：A、小球下滑过程由机械能守恒定律有  $mg(R - R\cos \theta) = \frac{1}{2}mv^2$

当  $\theta = \frac{\pi}{2}$  时，小球的速度平方为  $12\text{m}^2/\text{s}^2$ ，代入公式得  $R = 0.6\text{m}$ ，故 A 正确；

B、当  $\theta = \frac{\pi}{2}$  时，小球的速度平方为  $12\text{m}^2/\text{s}^2$ ，此时是圆环对小球的弹力提供向心力，有  $N = \frac{mv^2}{R} = \frac{0.2 \times 12}{0.6} \text{N} = 4\text{N}$

小球还受竖直向下的重力，所以小球所受合力为  $F = \sqrt{N^2 + (mg)^2} = \sqrt{4^2 + (0.2 \times 10)^2} \text{N} = 2\sqrt{5}\text{N}$ ，

故 B 错误；

CD、当  $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$  时，有  $mg\cos \theta - N = m\frac{v^2}{R}$

可知随  $\theta$  的增大，同时  $v$  也增大，所以  $N$  必须减小，

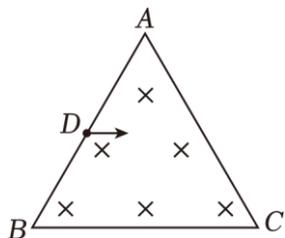
当  $\frac{\pi}{2} < \theta < \pi$  时，有  $N - mg\cos(180^\circ - \theta) = m\frac{v^2}{R}$

可知随  $\theta$  的增大，同时  $v$  也增大，所以  $N$  必须增大，所以  $0 \leq \theta \leq \pi$  过程中，圆环对小球的作用力先减小后增大，故 C 错误，D 正确。

故选：AD。

**【点评】** 本题主要考查了圆周运动向心力公式的直接应用，要求同学们能根据图象获取有效信息进行解答。

(多选) 7. (2024·温江区校级三模) 如图所示，边长为  $2L$  的等边三角形  $ABC$  内有垂直纸面向里、磁感应强度大小为  $B_0$  的匀强磁场， $D$  是  $AB$  边的中点，一质量为  $m$ 、电荷量为  $-q$  的带电粒子从  $D$  点以不同的速率平行于  $BC$  边方向射入磁场，不计粒子重力，下列说法正确的是 ( )



- A. 粒子可能从  $B$  点射出
- B. 若粒子从  $C$  点射出，则粒子做匀速圆周运动的半径为  $\frac{\sqrt{3}}{2}L$
- C. 若粒子从  $C$  点射出，则粒子在磁场中运动的时间为  $\frac{\pi m}{3qB_0}$
- D. 若粒子从  $AB$  边射出，则粒子在磁场中运动的时间相同，且时间最长

**【考点】** 带电粒子在有界磁场中的运动；牛顿第二定律；向心力；带电粒子在匀强磁场中的运动.

**【专题】** 定量思想；推理法；带电粒子在磁场中的运动专题；推理能力.

**【分析】** A. 根据粒子偏转方向结合轨迹特点分析判断；

BC. 作图，根据图中找到相应的几何关系列式求解相应的轨道半径和对应圆心角，再由时间和周期关系求解运动时间；

D. 作图，根据牛顿第二定律分析不同速率的轨迹特征解答时间。

**【解答】** 解：A. 带负电的粒子从  $D$  点以某一速度平行于  $BC$  边方向射入磁场，由左手定则可知，粒子向下偏转，由于  $BC$  边的限制，粒子不能到达  $B$  点，故 A 错误；

BC. 粒子从  $C$  点射出，如图 1 所示

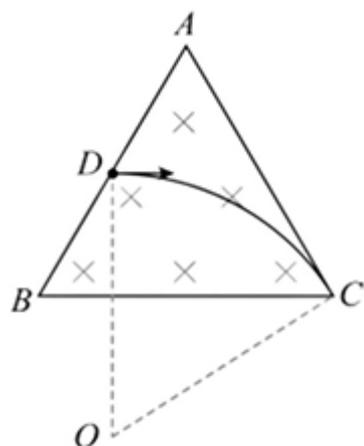


图1

根据几何关系可得

$$R^2 = (R - L\sin 60^\circ)^2 + (2L - L\cos 60^\circ)^2$$

解得  $R = \sqrt{3}L$

则粒子轨迹对应的圆心角的正弦值为  $\sin \angle DOC = \frac{2L - L\cos 60^\circ}{R} = \frac{\frac{3}{2}L}{\sqrt{3}L} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ , 所以  $\angle DOC = 60^\circ$ ,

根据粒子在磁场中运动时间和周期的关系有, 粒子在磁场中运动的时间为

$$t = \frac{60^\circ}{360^\circ} T = \frac{1}{6} \times \frac{2\pi m}{qB_0} = \frac{\pi m}{3qB_0}$$

故 B 错误, C 正确;

D. 根据牛顿第二定律,

$$qvB_0 = m \frac{v^2}{r}$$

可得  $r = \frac{mv}{qB_0}$

若粒子从 AB 边射出, 则粒子的速度越大, 轨迹半径越大, 如图 2 所示

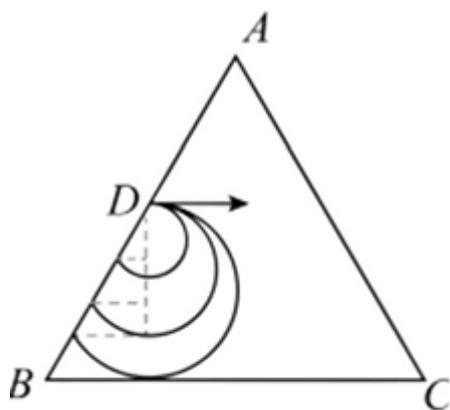


图2

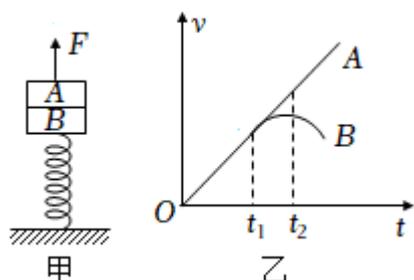
粒子从 AB 边射出时的圆心角相同且为  $180^\circ$ , 是最大的圆心角, 根据  $T = \frac{2\pi m}{qB_0}$

可知粒子在磁场中运动的周期相等，则其在磁场中运动的时间相同，且时间最长，故 D 正确。

故选：CD。

【点评】考查带电粒子在磁场中的偏转问题，会根据题意进行准确的分析和判断。

(多选) 8. (2024·南充模拟) 如图甲所示，一轻质弹簧的下端固定在水平面上，上端叠放两个质量均为  $M$  的物体 A、B (B 物体与弹簧连接)，弹簧的劲度系数为  $k$ ，初始时物体处于静止状态。现用竖直向上的拉力  $F$  作用在物体 A 上，使物体 A 开始向上做加速度为  $a$  ( $a < g$ ) 的匀加速运动，A、B 的速度随时间变化图像如图乙所示，重力加速度为  $g$ ，则下列说法正确的是 ( )



- A. 拉力  $F$  的最小值为  $2Ma$
- B. A、B 分离时，弹簧弹力恰好为零
- C. A、B 分离时，A 上升的距离为  $\frac{M(g-a)}{k}$
- D. 弹簧恢复到原长时，物体 B 的速度达到最大值

【考点】牛顿第二定律；弹力的大小、胡克定律。

【专题】定量思想；推理法；牛顿运动定律综合专题；推理能力。

【分析】A、对整体分离前进行受力分析列出牛顿第二定律方程，再结合初态的受力分析可得到力  $F$  的最小值；

B、A、B 分离时，对 B 进行受力分析列出牛顿第二定律方程可判断 A、B 分离时，弹簧弹力不为零；

C、施加  $F$  前，对物体 A、B 整体列平衡方程求出弹簧的形变量，与分离时形变量做差即可求解；

D、A、B 分离后，B 先做加速度减小的加速运动，后做减速运动，当  $F=Mg$  时，B 达到最大速度。

【解答】解：A、分离前对 A、B 整体分析有  $F - 2Mg + kx = 2Ma$ ，由于  $a$  不变， $x$  减小，则  $F$  增大，故刚开始时力  $F$  最小，初态  $2Mg = kx$ ，所以  $F$  的最小值为  $2Ma$ ，故 A 正确；

B、A、B 分离时，对 B 有  $kx_2 - Mg = Ma$ ，解得  $x_2 = \frac{M(g+a)}{k}$ ，A、B 分离时，弹簧弹力不为零，故 B 错误；

C、施加  $F$  前，物体 A、B 整体平衡，根据平衡条件有  $2Mg = kx_1$ ，解得  $x_1 = \frac{2Mg}{k}$ ，A、B 分离时，A 上

升的距离为  $x_1 - x_2 = \frac{M(g-a)}{k}$ ，故 C 正确；

D、A、B 分离后，B 先做加速度减小的加速运动，后做减速运动，当  $F=Mg$  时，B 达到最大速度，故 D 错误。

故选：AC。

**【点评】** 本题主要考查了牛顿第二定律的应用，解题关键是搞清楚不同运动过程受力情况，对分离前后列牛顿第二定律方程进行求解。

9.（2024·武侯区校级模拟）某实验小组要测量一节干电池的电动势  $E$  和内阻  $r$ ，已知电流表内阻与电源内阻相差不多。

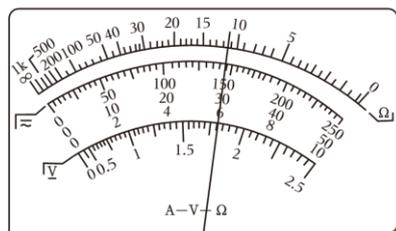


图1

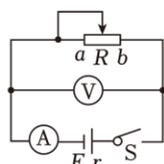


图2

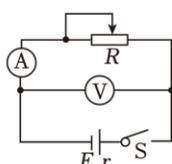


图3

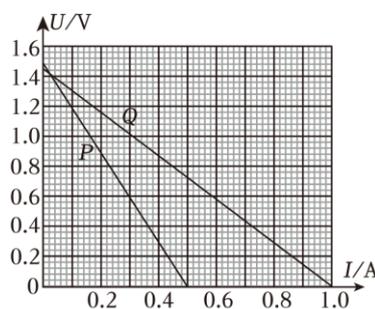


图4

(1) 先用多用电表 2.5V 量程粗测该电池的电动势，将多用电表的红表笔与电池的 正（填“正”或“负”）极相连，黑表笔与电池的另一电极相连，多用电表的示数如图 1 所示，则电源电动势为 1.45 V（结果保留 3 位有效数字）。

(2) 某同学设计了如图 2 所示的实验电路，连接好实验电路，闭合开关 S，改变滑片 P 的位置，记录多组电压表、电表示数，建立  $U - I$  坐标系，并描绘出  $U - I$  图像。

另一同学仍使用图 2 中的实验器材，设计了如图 3 所示的实验电路，实验操作步骤与前一位同学相同，在同一坐标系中分别描点作出  $U - I$  图像，图 2 对应的  $U - I$  图线是图 4 中的 P 线（填“P”或“Q”）。

若每次测量操作都正确，读数都准确，则由图 4 中的 P 和 Q 图线，可得电动势和内阻的真实值为  $E =$  1.45 V， $r =$  1.45  $\Omega$ （结果均保留 3 位有效数字）。

**【考点】** 电池电动势和内阻的测量。

**【专题】** 实验题；实验探究题；定量思想；实验分析法；恒定电流专题；实验能力。

**【分析】** (1) 多用表的红表笔插“+”插孔，电流从红表笔流入，黑表笔流出，据此分析作答；

用多用电表 2.5V 量程的电压挡，最小刻度值是 0.05V，采用“ $\frac{1}{5}$ ”估读法读数；

(2) 图 2 的误差来源于电流表分压，图 3 的误差来源于电压表分流，根据闭合电路的欧姆定律，结合  $U - I$  图像分析作答。

**【解答】**解：（1）用多用电表粗测该电池的电动势，将多用电表的红表笔与电源的正极相连，黑表笔与电池的另一电极相连。

由图 1 所示，用多用电表 2.5V 量程的电压挡，最小刻度值是 0.05V，则粗测电源电动势为 1.45V。

（2）由图 3 所示电路可知，电压表有分流作用，图 2 所示电路，电流表有分压作用，从而导致实验结果存在系统误差：

图 3 所示电路，可把电压表与电源看作一个等效电源，由闭合电路欧姆定律知  $E=U_{断}$  可知，电动势和内阻的测量值均小于真实值，作出的  $U-I$  图线是 Q 线；

图 2 所示电路，可把电流表与电源看作一个等效电源，由闭合电路欧姆定律  $E=U_{断}$  可知，电动势测量值等于真实值， $U-I$  图线应是 P 线，电动势为  $E=U_P=1.45V$

图 3 所示电路，当外电路短路时，电流的测量值等于真实值，则短路电流  $I_{短}=I_Q=1.00A$

$$\text{内阻 } r = \frac{E}{I_{短}}$$

代入数据解得  $r=1.45\Omega$ 。

故答案为：（1）正；1.45；（2）P；1.45；1.45。

**【点评】** 本题考查电动势的测量及多用电表的使用；应明确用“等效电源”法分析“测量电源电动势和内阻实验”误差的方法，明确  $U-I$  图象中纵轴截距与斜率的含义。

10.（2024•武侯区校级模拟）深度为  $h$ （未知）且开口竖直向下的小筒中悬挂如图甲所示的单摆（单摆的下半部分露于筒外），将摆球拉离平衡位置一个小角度后由静止释放，悬线不会碰到筒壁而同一竖直面内摆动。

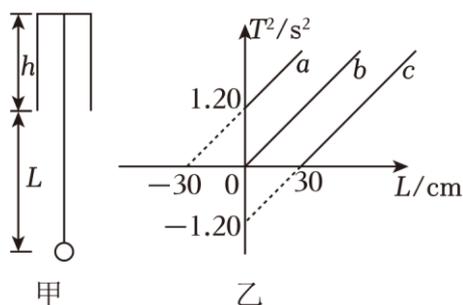
测量出筒的下端口到摆球球心的距离  $L$ ，并通过改变  $L$  而测出对应的摆动周期  $T$ ，再以  $T^2$  为纵轴、 $L$  为横轴作出  $T^2-L$  关系图像，根据上述和下面已知信息或条件，请完成：

（1）测量单摆的周期时，某同学在摆球某次通过最低点时按下停表开始计时，同时数“1”，当摆球第二次通过最低点时数“2”，依此法往下数，当他数到“59”时，按下停表停止计时，读出这段时间  $t$ ，

则该单摆的周期  $T$  为  $\frac{t}{29}$ ；

（2）若不考虑实验误差的影响，根据实验数据，得到的  $T^2-L$  关系图线应该是图乙中 a、b、c 中的 a 条（选填“a”、“b”或者“c”）。

（3）根据图线可求得当地的重力加速度  $g = \underline{9.86} \text{ m/s}^2$ （ $\pi$  取 3.14，结果保留 3 位有效数字）。



【考点】用单摆测定重力加速度.

【专题】定量思想；推理法；单摆问题；推理能力.

【分析】(1) 根据总时间和记录的全振动的次数计算单摆的周期；

(2) 根据实验原理结合单摆的周期公式推导判断图像；

(3) 根据图像的斜率的物理意义计算当地重力加速度大小。

【解答】解：(1) 单摆的摆球经过最低点后，在之后的一个周期内将两次经过最低点，则对应的全振动的次数为  $n = \frac{59-1}{2} = 29$ ，则根据题意可得，该单摆的周期

$$T = \frac{t}{n} = \frac{t}{29}$$

(2) 根据该实验的原理可得单摆的周期

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L+h}{g}}$$

$$\text{变式可得 } T^2 = \frac{4\pi^2}{g} \cdot L + \frac{4\pi^2 h}{g}$$

可知  $T^2 - L$  的图像应在纵轴上半轴有截距，故选：a。

(3) 根据函数关系可得该图像的斜率

$$k = \frac{4\pi^2}{g}$$

$$\text{根据图像可得斜率 } k = \frac{1.20}{30 \times 10^{-2}} = 4 \text{ s}^2/\text{m}$$

$$\text{解得 } g \approx 9.86 \text{ m/s}^2$$

故答案为：(1)  $\frac{t}{29}$ ；(2) a；(3) 9.86。

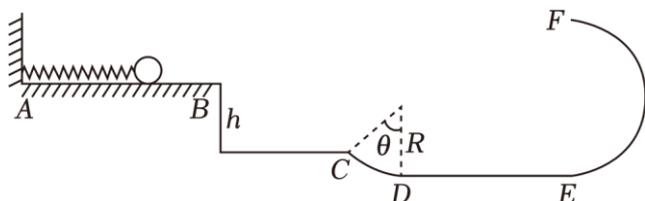
【点评】考查单摆的周期问题，会根据题意结合图像求解相应的物理量。

11. (2024·青羊区校级三模) 如图所示，竖直轨道 CDEF 由圆弧 CD、直线 DE 和半圆 EF 组成，圆弧和半圆半径均为 R，水平轨道 DE=2R，各轨道之间平滑连接，轨道 CDEF 可上下左右调节。一质量为 m 的小球压缩弹簧到某一位置后撤去外力静止释放后沿水平轨道 AB 向右抛出。调整轨道使 BC 高度差 h=

0.9R，并使小球从 C 点沿切线进入圆弧轨道。DE 段的摩擦系数  $\mu=0.1$ ，除 DE 段有摩擦外，其他阻力不计， $\theta=37^\circ$ ，重力加速度为  $g$ ，求：

(1) 撤去外力瞬间，弹簧的弹性势能  $E_p$ ；

(2) 请判断小球能否到达圆轨道的最高点；如能，求出最终落点的位置；如不能，请找出到达圆轨道的最高点的位置。



**【考点】** 动能定理；生活中的圆周运动——竖直平面内的圆周运动.

**【专题】** 计算题；定量思想；临界法；动能定理的应用专题；分析综合能力.

**【分析】** (1) 小球从 B 到 C 做平抛运动，根据平抛运动规律可求出小球到达 C 点时水平方向的分速度，再根据机械能守恒定律求撤去外力瞬间，弹簧的弹性势能  $E_p$ ；

(2) 先根据动能定理求出小球到达 C 点时的动能。假设小球能够由 C 到 F，由动能定理求出小球到达 F 点的速度，与临界速度比较即可判断小球能否到达圆轨道的最高点，结合平抛运动的规律求出最终落点的位置。

**【解答】** 解：(1) 小球从 B 到 C 做平抛运动，在竖直方向上，根据  $v_y^2=2gh$  可得小球到达 C 点时竖直速度大小为

$$v_y = \sqrt{2gh} = \sqrt{1.8gR}$$

水平速度为

$$v_x = \frac{v_y}{\tan 37^\circ} = \frac{4\sqrt{1.8gR}}{3}$$

弹簧的弹性势能为

$$E_p = \frac{1}{2}mv_x^2 = 1.6mgR$$

(2) 小球到达 C 点时的动能为

$$E_k = E_p + mgh = 1.6mgR + 0.9mgR = 2.5mgR$$

假设小球能够到达圆轨道的最高点 F，从 C 到 F，由动能定理得

$$mg(R - R\cos\theta) - \mu mg \cdot 2R - mg \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_F^2 - E_k$$

解得：  $v_F = \sqrt{gR}$

$$\text{此时向心力大小 } \frac{mv_F^2}{R} = mg$$

因此假设成立，能够恰好到达 F 点，从 F 到 D 做平抛运动，假设会落在水平面，有

$$x = v_F t$$

$$2R = \frac{1}{2} g t^2$$

联立解得：  $x = 2R$

即小球刚好落在 D 点。

答：（1）撤去外力瞬间，弹簧的弹性势能  $E_p$  为  $1.6mgR$ ；

（2）能，最终小球刚好落在 D 点。

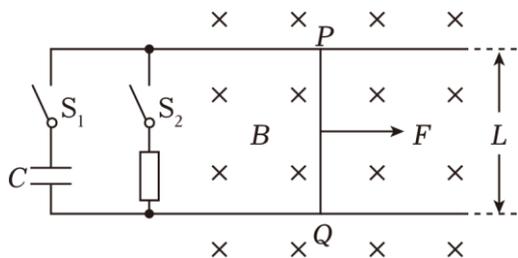
**【点评】** 本题是动能定理和平抛运动的结合，分析清楚小球每个过程运动是解体前提，对于多过程运动的物体处理通常用动能定理。

12.（2024•昆明一模）如图所示，两根相互平行且足够长的光滑长直金属导轨固定在水平绝缘桌面上，导轨间距为  $L$ ，导轨上接有电容为  $C$  的电容器和阻值为  $R$  的定值电阻。质量为  $m$  的导体棒  $PQ$  静止在导轨上，整个系统处于磁感应强度大小为  $B$ 、方向竖直向下的匀强磁场中。开始时，电容器不带电。 $t=0$  时刻，对  $PQ$  施加水平向右大小为  $F$  的恒力。 $PQ$  和导轨的电阻均不计， $PQ$  运动过程中始终与导轨垂直且接触良好。

（1）若保持开关  $S_1$  断开、 $S_2$  闭合，求  $PQ$  的最终速度；

（2）若保持开关  $S_1$  闭合、 $S_2$  断开，求  $PQ$  的加速度大小；

（3）若保持开关  $S_1$ 、 $S_2$  都闭合，从  $t=0$  到  $t=t_0$  时间内  $PQ$  向右运动的距离为  $x$ ，求  $t=t_0$  时刻  $PQ$  的速度大小。



**【考点】** 电磁感应中的动力学问题；动量定理；闭合电路的欧姆定律；导体切割磁感线时产生的感应电动势。

**【专题】** 计算题；学科综合题；定量思想；等效替代法；电磁感应中的力学问题；分析综合能力。

**【分析】**（1）若保持开关  $S_1$  断开、 $S_2$  闭合，最终  $PQ$  做匀速运动，根据  $PQ$  棒受到的安培力与外力相等求  $PQ$  的最终速度；

(2) 若保持开关  $S_1$  闭合、 $S_2$  断开，取一段极短的时间  $\Delta t$ ，PQ 速度的变化量为  $\Delta v$ ，对 PQ 根据动量定理列式，结合电流的定义式、加速度定义式求 PQ 的加速度大小；

(3) 若保持开关  $S_1$ 、 $S_2$  都闭合，对 PQ 根据动量定理列式，流过 PQ 的电荷量等于流过电阻电荷量和电容器存储的电荷量之和，结合电流的定义式和位移等于平均速度与时间的乘积求  $t=t_0$  时刻 PQ 的速度大小。

**【解答】**解：(1) 保持开关  $S_1$  断开、 $S_2$  闭合，当 PQ 棒受到的安培力与外力相等时，PQ 开始做匀速运动，根据受力平衡可得

$$F = BIL \quad (1)$$

根据闭合电路欧姆定律可得

$$I = \frac{E}{R} \quad (2)$$

导体棒切割磁感线产生感应电动势可得

$$E = BLv_1 \quad (3)$$

$$\text{联立解得：} v_1 = \frac{FR}{B^2 L^2} \quad (4)$$

(2) 保持开关  $S_1$  闭合、 $S_2$  断开，取一段极短的时间  $\Delta t$ ，PQ 速度的变化量为  $\Delta v$ ，电容器 C 上的电荷量的变化量为  $\Delta q$ ，对 PQ 根据动量定理可得

$$F \Delta t - B \bar{I}_1 L \Delta t = m \Delta v \quad (5)$$

根据电流的定义式可得

$$\bar{I}_1 = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (6)$$

电容器上电荷量的变化量为

$$\Delta q = CBL \Delta v \quad (7)$$

根据加速度的定义式可得

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (8)$$

$$\text{联立解得} \quad a = \frac{F}{m + CB^2 L^2} \quad (9)$$

(3) 对 PQ 根据动量定理可得

$$F t_0 - \bar{I}_2 B L t_0 = m v_2 \quad (10)$$

通过 PQ 的电荷量为

$$q = \bar{I}_2 t_0 \quad (11)$$

独立分析 PQ 与定值电阻 R 组成的回路可得流过定值电阻的电荷量为

$$q_1 = \frac{BL\bar{v}}{R} t_0 \quad (12)$$

$$x = \bar{v} t_0 \quad (13)$$

电容器存储的电荷量

$$q_2 = CBLv_2 \quad (14)$$

流过 PQ 的电荷量等于流过电阻电荷量和电容器存储的电荷量之和

$$q = q_1 + q_2 \quad (15)$$

联立解得 
$$v_2 = \frac{F_0 R - B^2 L^2 x}{R(m + CB^2 L^2)}$$

答：（1）PQ 的最终速度为  $\frac{FR}{B^2 L^2}$ ；

（2）PQ 的加速度大小为  $\frac{F}{m + CB^2 L^2}$ ；

（3） $t = t_0$  时刻 PQ 的速度大小为  $\frac{F_0 R - B^2 L^2 x}{R(m + CB^2 L^2)}$ 。

**【点评】**解答本题的关键是从力的角度分析导体棒的受力情况，利用动量定理求解通过导体棒的电荷量，运用牛顿第二定律分析有电容器存在的情况下导体棒的加速度，这些都是常用方法，要熟练掌握。

13.（2024•兴宁区二模）关于一定质量的理想气体的内能，下列说法正确的是（ ）

- A. 气体在压缩的过程中，内能一定增大
- B. 气体在放热的过程中，内能一定减小
- C. 气体在等温压缩过程中，内能一定增大
- D. 气体在等压膨胀过程中，内能一定增大

**【考点】**热力学第一定律及其应用；气体的等压变化及盖 - 吕萨克定律。

**【专题】**定性思想；推理法；热力学定律专题；理解能力。

**【分析】**A、气体被压缩的过程时外界对气体做功的过程，有放热的可能；

B、气体在放热的过程中，可能外界对气体做功；

C、内能和温度有关，等温压缩不改变内能；

D、等压膨胀，温度升高，内能和温度有关。

**【解答】**解：A、气体在压缩过程中外界对气体做功，可能放热，内能不一定增大，故 A 错误；

B、同理，气体在放热的过程中，可能外界对气体做功，内能不一定增大，故 B 错误；

C、一定质量的理想气体的内能只和温度有关，等温压缩过程中，内能保持不变，故 C 错误；

D、等压膨胀过程中，温度升高，内能一定增大，故 D 正确。

故选：D。

【点评】 本题考查了对热学第一定律的理解，注意内能的变化与温度变化有关即为解题关键。

14.（2024•南宁一模）某学校开展庆祝活动，使用气球渲染气氛。早晨，学校地表附近的气温为  $27^{\circ}\text{C}$ ，大气压强为  $p_0$ ，此时在地表附近的气球体积为  $V_0$ ，若气球导热良好，气球内所充的氦气可视为理想气体，气球内外气压差很小可以忽略。

（1）正午时大气压仍为  $p_0$ ，此时地表附近的气球体积增大了  $\frac{1}{30}$ ，求此时地表附近气温达到多少  $^{\circ}\text{C}$ ？

（2）若某高处的大气压强为  $\frac{4}{5}p_0$ ，气温为  $15^{\circ}\text{C}$ ，若气球悬停在这一高处时，气球体积变为多少？

【考点】 理想气体及理想气体的状态方程；压强及封闭气体压强的计算。

【专题】 计算题；定量思想；推理法；理想气体状态方程专题；推理能力。

【分析】（1）根据盖—吕萨克定律求解此时的热力学温度，根据热力学温度与摄氏温度的关系求解此时地表附近的气温；

（2）根据理想气体状态方程求解气球悬停在这一高处时气球的体积。

【解答】解：（1）由题意可知此过程为等压变化过程，由盖—吕萨克定律知

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T}$$

其中

$$T_0 = 300\text{K}, \quad V = \frac{31}{30}V_0$$

联立解得

$$T = 310\text{K}$$

根据热力学温度和摄氏温度的关系可知

$$T = t + 273\text{K}$$

解得

$$t = 37^{\circ}\text{C};$$

（2）根据理想气体状态方程有

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_0 V_0}{T_0}$$

其中

$$P_1 = \frac{4}{5}P_0, T_1 = 288K$$

联立解得

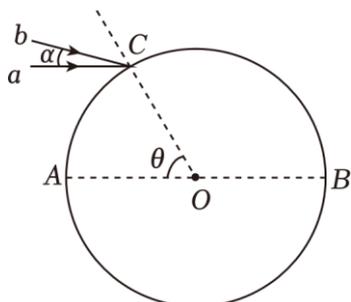
$$V_1 = 1.2V_0.$$

答：（1）正午时大气压仍为  $P_0$ ，此时地表附近的气球体积增大了  $\frac{1}{30}$ ，则此时地表附近气温达到  $37^\circ\text{C}$ ；

（2）若某高处的大气压强为  $\frac{4}{5}P_0$ ，气温为  $15^\circ\text{C}$ ，若气球悬停在这一高处时，则气球体积变为  $1.2V_0$ 。

**【点评】** 本题考查理想气体状态方程，要求学生能正确选择研究对象，分析变化过程，熟练掌握理想气体状态方程并应用于解题。

- 15.（2024•柳州模拟）如图所示为一圆柱形玻璃砖的截面，O 为圆心，AB 为一条直径，光线 a、b 均从 C 点射入，光线 a 平行于 AB，光线 b 与光线 a 的夹角  $\alpha = 15^\circ$ ，两条光线的折射光线均经过 B 点， $\theta = 60^\circ$ ，则光线 a、b 在玻璃砖中传播的时间之比为（ ）



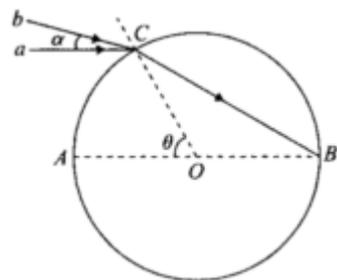
- A.  $\frac{\sqrt{6}}{3}$       B.  $\frac{\sqrt{6}}{2}$       C.  $\frac{\sqrt{2}}{2}$       D.  $\frac{\sqrt{3}}{2}$

**【考点】** 光的折射及折射定律.

**【专题】** 定量思想；推理法；光的折射专题；推理能力.

**【分析】** 根据光的折射结合折射定律解得折射率的关系，根据  $v = \frac{c}{n}$  可知 a、b 光的速度之比，根据路程相等解得时间之比。

**【解答】** 解：画出光线的折射如图



结合几何关系可知光线 a 在 C 点的入射角  $i_a = 60^\circ$ ，折射角  $r_a = 30^\circ$

则折射率为  $n_a = \frac{\sin i_a}{\sin r_a}$

解得  $n_a = \sqrt{3}$

光线 b 在 C 点的入射角  $i_b = 45^\circ$ ，折射角  $r_b = 30^\circ$

则折射率为  $n_b = \frac{\sin i_b}{\sin r_b}$

解得  $n_b = \sqrt{2}$

光在介质中的传播速度为  $v = \frac{c}{n}$

由于路程相同  $t = \frac{s}{v}$

解得光线 a、b 在玻璃砖中传播的时间之比为  $\frac{\sqrt{6}}{2}$ ，故 B 正确，ACD 错误；

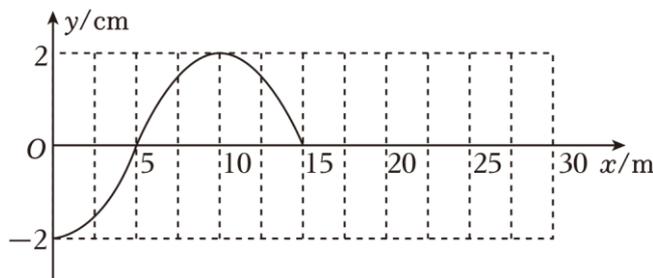
故选：B。

**【点评】** 本题考查的重点为光的折射的计算，关键找到对应的几何关系进而找到入射角、折射角，从而分析折射率。

16. (2024•贵州模拟) 一简谐波的波源位于坐标原点，波源振动后  $t=0.3s$  时第一次形成如图所示的波形图。

(1) 求该波的波长和传播速度大小；

(2) 在给出的坐标图上画出波在  $t=2.0s$  时刻的波形图并写出平衡位置位于  $x=15m$  处质点的振动方程。



**【考点】** 波长、频率和波速的关系；横波的图像。

**【专题】** 计算题；定量思想；图析法；振动图象与波动图象专题；分析综合能力。

**【分析】** (1) 由图读出波长，根据公式  $v = \frac{x}{t}$  求波的传播速度大小。

(2) 根据波形平移法画出波在  $t=2.0s$  时刻的波形图。在波传到  $x=15m$  处质点不振动。波传到该质点后，判断起振方向，再写出振动方程。

**【解答】** 解：(1) 由图可知： $\frac{3}{4}\lambda = 15m$

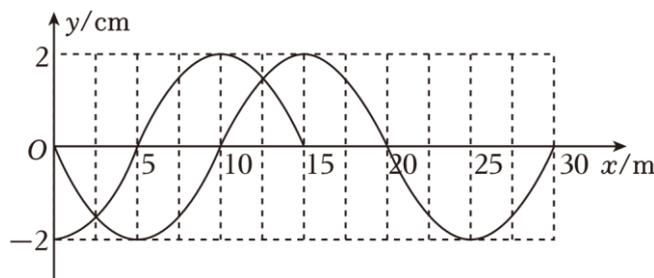
解得： $\lambda=20\text{m}$

波速为： $v=\frac{x}{t}=\frac{15}{0.3}\text{m/s}=50\text{m/s}$

(2) 由 $\frac{3}{4}T=0.3\text{s}$ 得： $T=0.4\text{s}$

从 $t=0.3\text{s}$ 到 $t=2.0\text{s}$ 的时间间隔 $\Delta t=2.0\text{s}-0.3\text{s}=1.7\text{s}$

因 $n=\frac{\Delta t}{T}=\frac{2.0-0.3}{0.4}=4\frac{1}{4}$ ，结合波形平移法可得 $t=2.0\text{s}$ 时刻的波形图如图所示。



$\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{0.4}\text{rad/s}=5\pi\text{rad/s}$

由于波源起振方向向上，所以波源的振动方程为

$$y=A\sin\omega t=2\sin(5\pi t)\text{cm}$$

则 $x=15\text{m}$ 处质点的振动方程为

$$\begin{cases} y=0, & 0 \leq t < 0.3\text{s} \\ y=2\sin(5\pi t - \frac{3}{2}\pi)\text{cm}, & t \geq 0.3\text{s} \end{cases}$$

答：(1) 该波的波长和传播速度大小分别为 $20\text{m}$ ， $50\text{m/s}$ ；

(2) 波在 $t=2.0\text{s}$ 时刻的波形图见解析，平衡位置位于 $x=15\text{m}$ 处质点的振动方程为

$$\begin{cases} y=0, & 0 \leq t < 0.3\text{s} \\ y=2\sin(5\pi t - \frac{3}{2}\pi)\text{cm}, & t \geq 0.3\text{s} \end{cases}$$

**【点评】** 本题读出振幅、周期和波长是基本功，关键是利用波形的平移法作图，要学会应用。

## 考点卡片

### 1. 运动学图像综合

#### 【知识点的认识】

1.图像是解决物理学问题的工具。除了常见位移—时间图像（ $x-t$  图像），速度—时间图像（ $v-t$  图像），还有加速度—时间图像（ $a-t$  图像），速度—位移图像（ $v-x$  图像）等等。我们以  $a-t$ 、 $v-x$  图像为例进行说明。

① $a-t$  图像：加速度—时间图像

### 2. 弹力的大小、胡克定律

#### 【知识点的认识】

#### 1. 弹力

（1）定义：发生弹性形变的物体，由于要恢复原状，对跟它接触的物体产生的力叫弹力。

（2）弹力的产生条件：①弹力的产生条件是两个物体直接接触，②并发生弹性形变。

（3）弹力的方向：力垂直于两物体的接触面。

①支撑面的弹力：支持力的方向总是垂直于支撑面，指向被支持的物体；压力总是垂直于支撑面指向被压的物体。

点与面接触时弹力的方向：过接触点垂直于接触面。

球与面接触时弹力的方向：在接触点与球心的连线上。

球与球相接触的弹力方向：垂直于过接触点的公切面。

②弹簧两端的弹力方向：与弹簧中心轴线重合，指向弹簧恢复原状的方向。其弹力可为拉力，可为压力。

③轻绳对物体的弹力方向：沿绳指向绳收缩的方向，即只为拉力。

#### 2. 胡克定律

弹簧受到外力作用发生弹性形变，从而产生弹力。在弹性限度内，弹簧弹力  $F$  的大小与弹簧伸长（或缩短）的长度  $x$  成正比。即  $F=kx$ ，

其中，劲度系数  $k$  的意义是弹簧每伸长（或缩短）单位长度产生的弹力，其单位为  $N/m$ 。它的大小由制作弹簧的材料、弹簧的长短和弹簧丝的粗细决定。 $x$  则是指形变量，应为形变（包括拉伸形变和压缩形变）后弹簧的长度与弹簧原长的差值。

注意：胡克定律在弹簧的弹性限度内适用。

### 3. 胡克定律的应用

#### (1) 胡克定律推论

在弹性限度内，由  $F=kx$ ，得  $F_1=kx_1$ ， $F_2=kx_2$ ，即  $F_2 - F_1 = k(x_2 - x_1)$ ，即： $\Delta F = k\Delta x$

即：弹簧弹力的变化量与弹簧形变量的变化量（即长度的变化量）成正比。

#### (2) 确定弹簧状态

对于弹簧问题首先应明确弹簧处于“拉伸”、“压缩”还是“原长”状态，并且确定形变量的大小，从而确定弹簧弹力的方向和大小。如果只告诉弹簧弹力的大小，必须全面分析问题，可能是拉伸产生的，也可能是压缩产生的，通常有两个解。

#### (3) 利用胡克定律的推论确定弹簧的长度变化和物体位移的关系

如果涉及弹簧由拉伸（压缩）形变到压缩（拉伸）形变的转化，运用胡克定律的推论  $\Delta F = k\Delta x$  可直接求出弹簧长度的改变量  $\Delta x$  的大小，从而确定物体的位移，再由运动学公式和动力学公式求相关量。

#### 【命题方向】

##### (1) 第一类常考题型是考查胡克定律：

一个弹簧挂 30N 的重物时，弹簧伸长 1.2cm，若改挂 100N 的重物时，弹簧总长为 20cm，则弹簧的原长为（ ）

A. 12cm B. 14cm C. 15cm D. 16cm

分析：根据胡克定律两次列式后联立求解即可。

解：一个弹簧挂 30N 的重物时，弹簧伸长 1.2cm，根据胡克定律，有： $F_1 = kx_1$ ；

若改挂 100N 的重物时，根据胡克定律，有： $F_2 = kx_2$ ；

$$\text{联立解得：} k = \frac{F_1}{x_1} = \frac{30\text{N}}{0.012\text{m}} = 2500\text{N/m};$$

$$x_2 = \frac{100\text{N}}{2500\text{N/m}} = 0.04\text{m} = 4\text{cm};$$

故弹簧的原长为： $x_0 = x - x_2 = 20\text{cm} - 4\text{cm} = 16\text{cm}$ ；

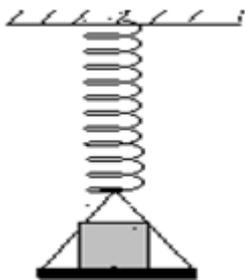
故选 D。

点评：本题关键是根据胡克定律列式后联立求解，要记住胡克定律公式中  $F = k \cdot \Delta x$  的  $\Delta x$  为行变量。

##### (2) 第二类常考题型是考查胡克定律与其他知识点的结合：

如图所示，一根轻质弹簧上端固定，下端挂一个质量为  $m_0$  的平盘，盘中有一物体，质量为  $m$ ，当盘静止

时，弹簧的长度比其自然长度伸长了 $l$ ，今向下拉盘，使弹簧再伸长 $\Delta l$ 后停止，然后松手，设弹簧总处在弹性限度内，则刚松手时盘对物体的支持力等于（ ）



- A.  $(1 + \frac{\Delta l}{l}) mg$  B.  $(1 + \frac{\Delta l}{l}) (m + m_0) g$  C.  $\frac{\Delta l}{l} mg$  D.  $\frac{\Delta l}{l} (m + m_0) g$

分析：根据胡克定律求出刚松手时手的拉力，确定盘和物体所受的合力，根据牛顿第二定律求出刚松手时，整体的加速度。再隔离物体研究，用牛顿第二定律求解盘对物体的支持力。

解：当盘静止时，由胡克定律得  $(m + m_0) g = kl$  ①

设使弹簧再伸长 $\Delta l$ 时手的拉力大小为 $F$

再由胡克定律得  $F = k\Delta l$  ②

由①②联立得  $F = \frac{\Delta l}{l} (m + m_0) g$

刚松手瞬时弹簧的弹力没有变化，则以盘和物体整体为研究对象，所受合力大小等于 $F$ ，方向竖直向上。

设刚松手时，加速度大小为 $a$ ，

根据牛顿第二定律得  $a = \frac{F}{m + m_0} = \frac{\Delta l}{l} g$

对物体研究： $F_N - mg = ma$

解得  $F_N = (1 + \frac{\Delta l}{l}) mg$

故选 A。

点评：点评：本题考查应用牛顿第二定律分析和解决瞬时问题的能力，这类问题往往先分析平衡状态时物体的受力情况，再分析非平衡状态时物体的受力情况，根据牛顿第二定律求解瞬时加速度。

### 【解题方法点拨】

这部分知识难度中等、也有难题，在平时的练习中、阶段性考试中会单独出现，选择、填空、计算等等出题形式多种多样，在高考中不会以综合题的形式考查的，但是会做为题目的一个隐含条件考查。弹力的有无及方向判断比较复杂，因此在确定其大小和方向时，不能想当然，应根据具体的条件或计算来确定。

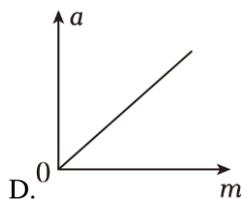
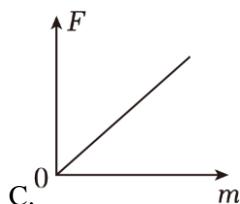
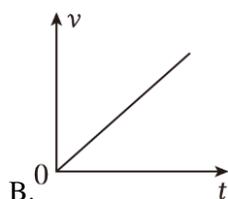
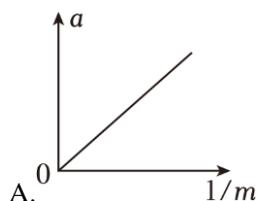
## 3. 牛顿第二定律的图像问题

### 【知识点的认识】

1. 物体质量一定时，受力越大，加速度越大，即  $a \propto F$ ，所以物体的  $F - a$  图象是一条直线。
2. 物体受力一定时，它的质量越大，加速度越小，即  $a \propto \frac{1}{m}$ ，所以物体的  $\frac{1}{m} - a$  图象是一条直线。

【命题方向】

下列图象能反映牛顿第二定律的是（ ）



分析：根据牛顿第二定律可知，物体的加速度与合外力成正比，与质量成反比，根据牛顿第二定律分析各个图象。

解答：AD、根据牛顿第二定律可知， $a = \frac{F}{m}$ ，当合外力  $F$  恒定时， $a - \frac{1}{m}$  图象为过原点的倾斜直线， $a - m$  图象为曲线，故 A 正确，D 错误。

B、 $v - t$  图象反映的是速度随时间变化的关系，斜率表示加速度，与牛顿第二定律无关，故 B 错误。

C、根据牛顿第二定律可知， $F = ma$ ，质量增大，合外力  $F$  不变， $F - m$  图象为平行于横轴的图象，故 C 错误。

故选：A。

点评：本题考查了加速度与力的关系图象，解题的关键是明确牛顿第二定律的公式，对比分析图象。

【解题思路点拨】

图像问题的本质是对牛顿第二定律的理解与应用，从  $F=ma$  出发，根据控制变量法找出各物理量之间的关系，从而得出相应函数图像的性质。

#### 4. 牛顿第二定律

##### 【知识点的认识】

1. 内容：物体的加速度跟物体所受的合外力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向跟合外力的方向相同。

2. 表达式： $F_{\text{合}}=ma$ 。该表达式只能在国际单位制中成立。因为  $F_{\text{合}}=k\cdot ma$ ，只有在国际单位制中才有  $k=1$ 。力的单位的定义：使质量为  $1\text{kg}$  的物体，获得  $1\text{m/s}^2$  的加速度的力，叫做  $1\text{N}$ ，即  $1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$ 。

3. 适用范围：

- (1) 牛顿第二定律只适用于惯性参考系（相对地面静止或匀速直线运动的参考系）。
- (2) 牛顿第二定律只适用于宏观物体（相对于分子、原子）、低速运动（远小于光速）的情况。

4. 对牛顿第二定律的进一步理解

牛顿第二定律是动力学的核心内容，我们要从不同的角度，多层次、系统化地理解其内涵： $F$  量化了迫使物体运动状态发生变化的外部作用， $m$  量化了物体“不愿改变运动状态”的基本特性（惯性），而  $a$  则描述了物体的运动状态（ $v$ ）变化的快慢。明确了上述三个量的物理意义，就不难理解如下的关系了： $a\propto F$ ， $a\propto\frac{1}{m}$ 。

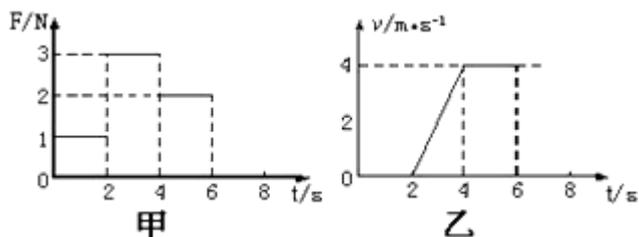
另外，牛顿第二定律给出的  $F$ 、 $m$ 、 $a$  三者之间的瞬时关系，也是由力的作用效果的瞬时性特征所决定的。

- (1) 矢量性：加速度  $a$  与合外力  $F_{\text{合}}$  都是矢量，且方向总是相同。
- (2) 瞬时性：加速度  $a$  与合外力  $F_{\text{合}}$  同时产生、同时变化、同时消失，是瞬时对应的。
- (3) 同体性：加速度  $a$  与合外力  $F_{\text{合}}$  是对同一物体而言的两个物理量。
- (4) 独立性：作用于物体上的每个力各自产生的加速度都遵循牛顿第二定律，而物体的合加速度则是每个力产生的加速度的矢量和，合加速度总是与合外力相对应。
- (5) 相对性：物体的加速度是对相对地面静止或相对地面做匀速运动的物体而言的。

##### 【命题方向】

题型一：对牛顿第二定律的进一步理解的考查

例子：放在水平地面上的一物块，受到方向不变的水平推力  $F$  的作用， $F$  的大小与时间  $t$  的关系如图甲所示，物块速度  $v$  与时间  $t$  的关系如图乙所示。取重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。由此两图线可以得出（ ）



- A. 物块的质量为 1.5kg
- B. 物块与地面之间的滑动摩擦力为 2N
- C.  $t=3s$  时刻物块的速度为 3m/s
- D.  $t=3s$  时刻物块的加速度为  $2m/s^2$

分析：根据  $v-t$  图和  $F-t$  图象可知，在  $4\sim 6s$ ，物块匀速运动，处于受力平衡状态，所以拉力和摩擦力相等，由此可以求得物体受到的摩擦力的大小，在根据在  $2\sim 4s$  内物块做匀加速运动，由牛顿第二定律可以求得物体的质量的大小。根据速度时间图线求出  $3s$  时的速度和加速度。

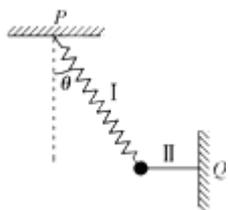
解答：  $4\sim 6s$  做匀速直线运动，则  $f=F=2N$ 。  $2\sim 4s$  内做匀加速直线运动，加速度  $a=\frac{4}{2}=2m/s^2$ ，根据牛顿第二定律得，  $F-f=ma$ ，即  $3-2=2m$ ，解得  $m=0.5kg$ 。由速度 - 时间图线可知，  $3s$  时刻的速度为  $2m/s$ 。故 B、D 正确， A、C 错误。

故选：BD。

点评： 本题考查学生对于图象的解读能力，根据两个图象对比可以确定物体的运动的状态，再由牛顿第二定律来求解。

题型二：对牛顿第二定律瞬时性的理解

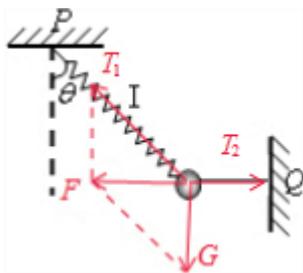
例子： 如图所示，质量为  $m$  的球与弹簧 I 和水平细线 II 相连， I、II 的另一端分别固定于 P、Q。球静止时， I 中拉力大小为  $F_1$ ， II 中拉力大小为  $F_2$ ，当剪断 II 瞬间时，球的加速度  $a$  应是（ ）



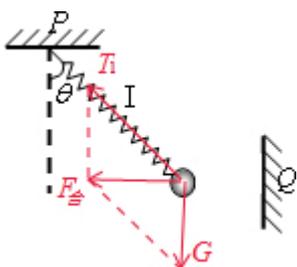
- A. 则  $a=g$ ，方向竖直向下
- B. 则  $a=g$ ，方向竖直向上
- C. 则  $a=\frac{F_1}{m}$ ，方向沿 I 的延长线
- D. 则  $a=\frac{F_2}{m}$ ，方向水平向左

分析：先研究原来静止的状态，由平衡条件求出弹簧和细线的拉力。刚剪短细绳时，弹簧来不及形变，故弹簧弹力不能突变；细绳的形变是微小形变，在刚剪短弹簧的瞬间，细绳弹力可突变！根据牛顿第二定律求解瞬间的加速度。

解答：II 未断时，受力如图所示，由共点力平衡条件得， $F_2 = mg \tan \theta$ ， $F_1 = \frac{mg}{\cos \theta}$ 。



刚剪断 II 的瞬间，弹簧弹力和重力不变，受力如图：



由几何关系， $F_{\text{合}} = F_1 \sin \theta = F_2 = ma$ ，由牛顿第二定律得：

$$a = \frac{F_1 \sin \theta}{m} = \frac{F_2}{m}$$

，方向水平向左，故 ABC 错误，D 正确；

故选：D。

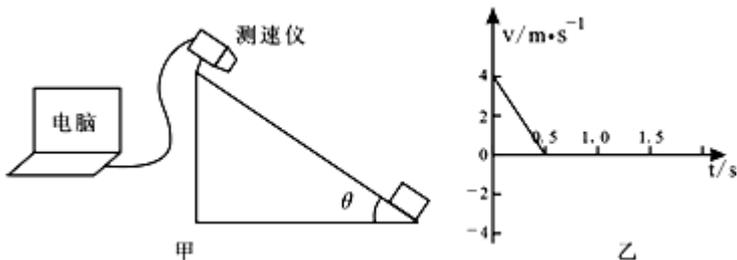
点评：本题考查了求小球的加速度，正确受力分析、应用平衡条件与牛顿第二定律即可正确解题，知道弹簧的弹力不能突变是正确解题的关键。

题型三：动力学中的两类基本问题：①已知受力情况求物体的运动情况；②已知运动情况求物体的受力情况。

加速度是联系运动和受力的重要“桥梁”，将运动学规律和牛顿第二定律相结合是解决问题的基本思路。

例子：某同学为了测定木块与斜面间的动摩擦因数，他用测速仪研究木块在斜面上的运动情况，装置如图甲所示。他使木块以初速度  $v_0 = 4\text{m/s}$  的速度沿倾角  $\theta = 30^\circ$  的斜面上滑紧接着下滑至出发点，并同时开始记录数据，结果电脑只绘出了木块从开始上滑至最高点的  $v - t$  图线如图乙所示。g 取  $10\text{m/s}^2$ 。求：

- (1) 上滑过程中的加速度的大小  $a_1$ ；
- (2) 木块与斜面间的动摩擦因数  $\mu$ ；
- (3) 木块回到出发点时的速度大小  $v$ 。



分析：（1）由  $v - t$  图象可以求出上滑过程的加速度.

（2）由牛顿第二定律可以得到摩擦因数.

（3）由运动学可得上滑距离，上下距离相等，由牛顿第二定律可得下滑的加速度，再由运动学可得下滑至出发点的速度.

解答：（1）由题图乙可知，木块经 0.5s 滑至最高点，由加速度定义式  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  有：

上滑过程中加速度的大小：

$$a_1 = \frac{v_0}{\Delta t_1} = \frac{4}{0.5} \text{ m/s}^2 = 8 \text{ m/s}^2$$

（2）上滑过程中沿斜面向下受重力的分力，摩擦力，由牛顿第二定律  $F = ma$  得上滑过程中有：

$$mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta = ma_1$$

代入数据得：  $\mu = 0.35$ .

（3）下滑的距离等于上滑的距离：

$$x = \frac{v_0^2}{2a_1} = \frac{4^2}{2 \times 8} \text{ m} = 1 \text{ m}$$

下滑摩擦力方向变为向上，由牛顿第二定律  $F = ma$  得：

$$\text{下滑过程中： } mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma_2$$

$$\text{解得： } a_2 = g \sin \theta - \mu g \cos \theta = 10 \times \frac{1}{2} - 0.35 \times 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 2 \text{ m/s}^2$$

下滑至出发点的速度大小为：  $v = \sqrt{2a_2x}$

联立解得：  $v = 2 \text{ m/s}$

答：（1）上滑过程中的加速度的大小  $a_1 = 8 \text{ m/s}^2$ ；

（2）木块与斜面间的动摩擦因数  $\mu = 0.35$ ；

（3）木块回到出发点时的速度大小  $v = 2 \text{ m/s}$ .

点评：解决本题的关键能够正确地受力分析，运用牛顿第二定律和运动学公式联合求解.

**【解题方法点拨】**

1. 根据牛顿第二定律知，加速度与合外力存在瞬时对应关系。对于分析瞬时对应关系时应注意两个基本模型特点的区别：

- (1) 轻绳、轻杆模型：①轻绳、轻杆产生弹力时的形变量很小，②轻绳、轻杆的拉力可突变；
- (2) 轻弹簧模型：①弹力的大小为  $F=kx$ ，其中  $k$  是弹簧的劲度系数， $x$  为弹簧的形变量，②弹力突变。

2. 应用牛顿第二定律解答动力学问题时，首先要对物体的受力情况及运动情况进行分析，确定题目属于动力学中的哪类问题，不论是由受力情况求运动情况，还是由运动情况求受力情况，都需用牛顿第二定律列方程。

应用牛顿第二定律的解题步骤

- (1) 通过审题灵活地选取研究对象，明确物理过程。
- (2) 分析研究对象的受力情况和运动情况，必要时画好受力示意图和运动过程示意图，规定正方向。
- (3) 根据牛顿第二定律和运动公式列方程求解。（列牛顿第二定律方程时可把力进行分解或合成处理，再列方程）
- (4) 检查答案是否完整、合理，必要时需进行讨论。

**5. 匀速圆周运动**

**【知识点的认识】**

圆周运动

一、描述圆周运动的物理量

描述圆周运动的基本参量有：半径、线速度、角速度、周期、频率、转速、向心加速度等。

物理量	物理意义	定义和公式	方向和单位
线速度	描述物体做圆周运动的快慢	物体沿圆周通过的弧长与所用时间的比值， $v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$	方向：沿圆弧切线方向。 单位：m/s
角速度	描述物体与圆心连线扫过角度的快慢	运动物体与圆心连线扫过的角的弧度数与所用时间的比值， $\omega =$	单位：rad/s

		$\frac{\Delta \theta}{\Delta t}$	
周期和转速	描述物体做圆周运动的快慢	周期 T: 物体沿圆周运动一周所用的时间。 转速 n: 物体单位时间内转过的圈数	周期单位: s 转速单位: r/s 或 r/min
向心加速度	描述线速度方向变化的快慢	$a_n = \frac{v^2}{r}$	方向: 总是沿半径指向圆心, 与线速度方向垂直。 单位: m/s <sup>2</sup>
v、 $\omega$ 、T、 $a_n$ 间的关系	$v = \omega r = \frac{2\pi r}{T}$ $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \frac{4\pi^2}{T^2} R$		

## 二、向心力

1. 作用效果: 产生向心加速度, 只改变速度的方向, 不改变速度的大小。

2. 大小:  $F_n = ma_n = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ 。

3. 方向: 总是沿半径方向指向圆心, 时刻在改变, 即向心力是一个变力。

4. 来源: 向心力可以由一个力提供, 也可以由几个力的合力提供, 甚至可以由一个力的分力提供, 因此向心力的来源要根据物体受力的实际情况判定。

注意: 向心力是一种效果力, 受力分析时, 切不可在物体的相互作用力以外再添加一个向心力。

## 三、匀速圆周运动和非匀速圆周运动

### 1. 匀速圆周运动

(1) 定义: 角速度大小不变的圆周运动。

(2) 性质: 向心加速度大小不变, 方向始终指向圆心的变加速曲线运动。

(3) 质点做匀速圆周运动的条件: 合力大小不变, 方向始终与速度方向垂直且指向圆心。

### 2. 非匀速圆周运动

(1) 定义：线速度大小不断变化的圆周运动。

(2) 合力的作用

①合力沿速度方向的分量  $F_t$  产生切向加速度， $F_t = ma_t$ ，它只改变速度的大小。

②合力沿半径方向的分量  $F_n$  产生向心加速度， $F_n = ma_n$ ，它只改变速度的方向。

#### 四、离心运动和向心运动

##### 1. 离心运动

(1) 定义：做圆周运动的物体，在所受合外力突然消失或不足以提供圆周运动所需向心力的情况下，就做逐渐远离圆心的运动。

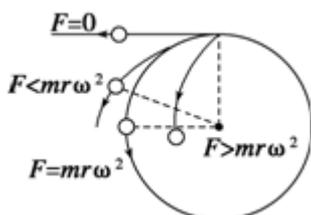
(2) 本质：做圆周运动的物体，由于本身的惯性，总有沿着圆周切线方向飞出去的倾向。

(3) 受力特点：

当  $F = mr\omega^2$  时，物体做匀速圆周运动；

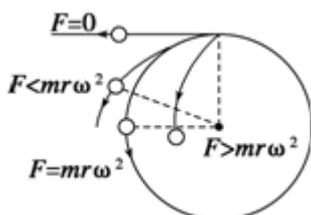
当  $F = 0$  时，物体沿切线方向飞出；

当  $F < mr\omega^2$  时，物体逐渐远离圆心， $F$  为实际提供的向心力。如图所示：



##### 2. 向心运动

当提供向心力的合外力大于做圆周运动所需向心力时，即  $F > mr\omega^2$ ，物体渐渐向圆心靠近。如图所示：



注意：物体做离心运动不是物体受到所谓离心力作用，而是物体惯性的表现，物体做离心运动时，并非沿半径方向飞出，而是运动半径越来越大或沿切线方向飞出。

#### 【重要知识点分析】

##### 1. 圆周运动中的运动学分析

(1) 对公式  $v = \omega r$  的理解

当  $r$  一定时， $v$  与  $\omega$  成正比。

当  $\omega$  一定时， $v$  与  $r$  成正比。

当  $v$  一定时， $\omega$  与  $r$  成反比。

(2) 对  $a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \omega v$  的理解

在  $v$  一定时， $a$  与  $r$  成反比；在  $\omega$  一定时， $a$  与  $r$  成正比。

## 2. 匀速圆周运动和非匀速圆周运动的比较

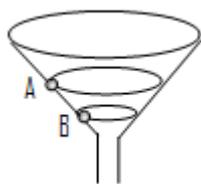
项目	匀速圆周运动	非匀速圆周运动
运动性质	是速度大小不变，方向时刻变化的变速曲线运动，是加速度大小不变而方向时刻变化的变加速曲线运动	是速度大小和方向都变化的变速曲线运动，是加速度大小和方向都变化的变加速曲线运动
加速度	加速度方向与线速度方向垂直。即只存在向心加速度，没有切向加速度	由于速度的大小、方向均变，所以不仅存在向心加速度且存在切向加速度，合加速度的方向不断改变
向心力	$F_{\text{合}} = F_{\text{向}} = \begin{cases} m \frac{v^2}{r} \\ m r \omega^2 \\ m r \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \\ m r (2\pi f)^2 \end{cases}$	$F_{\text{合}} \begin{cases} \text{沿半径的分力} \\ F_x = m a_{\text{向}} \\ \text{沿切向的分力} \\ F_y = m a_{\text{切}} \end{cases}$

【命题方向】

【命题方向】

(1) 第一类常考题型是对圆周运动中的传动问题分析：

一个内壁光滑的圆锥形筒的轴线垂直水平面，圆锥筒固定，有质量相等的小球 A 和 B 沿着筒的内壁在水平面内做匀速圆周运动，A 的运动半径较大，则 ( )



A. 球 A 的线速度等于球 B 的线速度

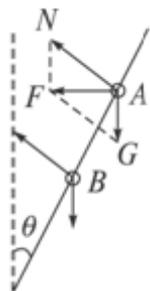
B. 球 A 的角速度等于球 B 的角速度

C. 球 A 的运动周期等于球 B 的运动周期

D. 球 A 对筒壁的压力等于球 B 对筒壁的压力

分析：对 AB 受力分析，可以发现它们都是重力和斜面的支持力的合力作为向心力，并且它们的质量相等，所以向心力的大小也相等，再根据线速度、加速度和周期的公式可以做出判断。

解：A、如图所示，小球 A 和 B 紧贴着内壁分别在水平面内做匀速圆周运动。



由于 A 和 B 的质量相同，小球 A 和 B 在两处的合力相同，即它们做圆周运动时的向心力是相同的。

由向心力的计算公式  $F = m \frac{v^2}{r}$ ，由于球 A 运动的半径大于 B 球的半径，F 和 m 相同时，半径大的线速度大，所以 A 错误。

B、又由公式  $F = m \omega^2 r$ ，由于球 A 运动的半径大于 B 球的半径，F 和 m 相同时，半径大的角速度小，所以 B 错误。

C、由周期公式  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ，所以球 A 的运动周期大于球 B 的运动周期，故 C 错误。

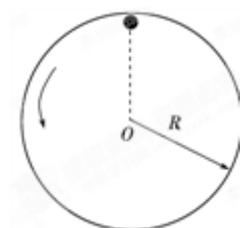
D、球 A 对筒壁的压力等于球 B 对筒壁的压力，所以 D 正确。

故选 D。

点评：对物体受力分析是解题的关键，通过对 AB 的受力分析可以找到 AB 的内在的关系，它们的质量相同，向心力的大小也相同，本题能很好的考查学生分析问题的能力，是道好题。

（2）第二类常考题型是对圆周运动中的动力学问题分析：

如图所示，质量为 m 的小球在竖直平面内的光滑圆轨道上做圆周运动。圆半径为 R，小球经过圆环最高点时刚好不脱离圆轨。则其通过最高点时（ ）



A. 小球对圆环的压力大小等于 mg

B. 小球受到的向心力等于重力

C. 小球的线速度大小等于 $\sqrt{Rg}$

D. 小球的向心加速度大小等于  $g$

分析：小球经过圆环最高点时刚好不脱离圆环，知轨道对小球的弹力为零，靠重力提供向心力，根据牛顿第二定律求出小球的速度。

解：A、因为小球刚好在最高点不脱离圆环，则轨道对球的弹力为零，所以小球对圆环的压力为零。故 A 错误。

B、根据牛顿第二定律得， $mg = m\frac{v^2}{R} = ma$ ，知向心力不为零，线速度  $v = \sqrt{gR}$ ，向心加速度  $a = g$ 。故 B、

C、D 正确。

故选 BCD。

点评：解决本题的关键知道在最高点的临界情况，运用牛顿第二定律进行求解。

（3）第二类常考题型是对圆周运动的绳模型与杆模型分析：

如图，质量为  $0.5\text{kg}$  的小杯里盛有  $1\text{kg}$  的水，用绳子系住小杯在竖直平面内做“水流星”表演，转动半径为  $1\text{m}$ ，小杯通过最高点的速度为  $4\text{m/s}$ ， $g$  取  $10\text{m/s}^2$ 。求：



（1）在最高点时，绳的拉力？

（2）在最高点时水对小杯底的压力？

（3）为使小杯经过最高点时水不流出，在最高点时最小速率是多少？

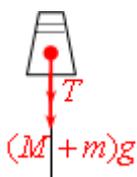
分析：（1）受力分析，确定圆周运动所需要的向心力是由哪个力提供的；

（2）水对小杯底的压力与杯子对水的支持力是作用力与反作用力，只要求出杯子对水的支持力的大小就可以了，它们的大小相等，方向相反；

（3）物体恰好能过最高点，此时的受力的条件是只有物体的重力作为向心力。

解：（1）小杯质量  $m = 0.5\text{kg}$ ，水的质量  $M = 1\text{kg}$ ，在最高点时，

杯和水的受重力和拉力作用，如图所示，



合力  $F_{\text{合}} = (M+m)g + T$  ----- ①

圆周半径为  $R$ ，则  $F_{\text{向}} = (M+m) \frac{v^2}{R}$  ----- ②

$F_{\text{合}}$  提供向心力，有  $(M+m)g + T = (M+m) \frac{v^2}{R}$

所以细绳拉力  $T = (M+m) \left( \frac{v^2}{R} - g \right) = (1+0.5) \left( \frac{4^2}{1} - 10 \right) = 9\text{N}$ ;

(2) 在最高点时，水受重力  $Mg$  和杯的压力  $F$  作用，如图所示，



合力  $F_{\text{合}} = Mg + F$

圆周半径为  $R$ ，则  $F_{\text{向}} = M \frac{v^2}{R}$

$F_{\text{合}}$  提供向心力，有  $Mg + F = M \frac{v^2}{R}$

所以杯对水的压力  $F = M \left( \frac{v^2}{R} - g \right) = 1 \times \left( \frac{4^2}{1} - 10 \right) = 6\text{N}$ ;

根据牛顿第三定律，水对小杯底的压力为  $6\text{N}$ ，方向竖直向上。

(3) 小杯经过最高点时水恰好不流出时，此时杯对水的压力为零，只有水的重力作为向心力，由(2)得：

$$Mg = M \frac{v^2}{R}$$

解得  $v = \sqrt{gR} = \sqrt{10 \times 1} \text{ m/s} = \sqrt{10} \text{ m/s}$ 。

答：(1) 在最高点时，绳的拉力为  $9\text{N}$ ；(2) 在最高点时水对小杯底的压力为  $6\text{N}$ ；(3) 在最高点时最小速率为  $\sqrt{10} \text{ m/s}$ 。

点评：水桶在竖直面内做圆周运动时向心力的来源是解决题目的重点，分析清楚哪一个力做为向心力，再利用向心力的公式可以求出来，必须要明确的是当水桶恰好能过最高点时，只有水的重力作为向心力，此时水恰好流不出来。

### 【解题方法点拨】

#### 1. 圆周运动中的运动学规律总结

在分析传动装置中的各物理量时，要抓住不等量和相等量的关系，具体有：

(1) 同一转轴的轮上各点角速度  $\omega$  相同，而线速度  $v = \omega r$  与半径  $r$  成正比。

(2) 当皮带（或链条、齿轮）不打滑时，传动皮带上各点以及用皮带连接的两轮边沿上的各点线速度大小相等，而角速度  $\omega = \frac{v}{r}$  与半径  $r$  成反比。

(3) 齿轮传动时，两轮的齿数与半径成正比，角速度与齿数成反比。

## 2. 圆周运动中的动力学问题分析

(1) 向心力的确定

①确定圆周运动的轨道所在的平面及圆心的位置。

②分析物体的受力情况，找出所有的力沿半径方向指向圆心的合力，该力就是向心力。

(2) 向心力的来源

向心力是按力的作用效果命名的，可以是重力、弹力、摩擦力等各种力，也可以是几个力的合力或某个力的分力，因此在受力分析中要避免再另外添加向心力。

(3) 解决圆周运动问题步骤

①审清题意，确定研究对象；

②分析物体的运动情况，即物体的线速度、角速度、周期、轨道平面、圆心、半径等；

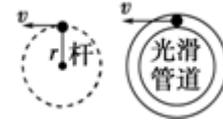
③分析物体的受力情况，画出受力示意图，确定向心力的来源；

④根据牛顿运动定律及向心力公式列方程。

## 3. 竖直平面内圆周运动的绳模型与杆模型

(1) 在竖直平面内做圆周运动的物体，按运动到轨道最高点时的受力情况可分为两类：一是无支撑（如球与绳连接、沿内轨道运动的过山车等），称为“绳（环）约束模型”，二是有支撑（如球与杆连接、在弯管内的运动等），称为“杆（管道）约束模型”。

(2) 绳、杆模型涉及的临界问题。

	绳模型	杆模型
常见类型	 <p>均是没有支撑的小球</p>	 <p>均是有支撑的小球</p>
过最高点的临界条件	由 $mg = m\frac{v^2}{r}$ 得 $v_{\text{临}} = \sqrt{gr}$	由小球恰能做圆周运动得 $v_{\text{临}} = 0$
讨论分析	<p>(1) 过最高点时，<math>v \geq \sqrt{gr}</math>，<math>F_N + mg = m\frac{v^2}{r}</math>，绳、轨道对球产生弹力 <math>F_N</math>；</p> <p>(2) 不能过最高点时，<math>v &lt; \sqrt{gr}</math>，在到达最高点前小球已经脱离了圆轨道；</p>	<p>(1) 当 <math>v = 0</math> 时，<math>F_N = mg</math>，<math>F_N</math> 为支持力，沿半径背离圆心；</p> <p>(2) 当 <math>0 &lt; v &lt; \sqrt{gr}</math> 时，<math>-F_N + mg = m\frac{v^2}{r}</math>，<math>F_N</math> 背向圆心，随 <math>v</math> 的增大而减</p>

		<p>小；</p> <p>(3) 当 <math>v = \sqrt{gr}</math> 时, <math>F_N = 0</math>;</p> <p>(4) 当 <math>v &gt; \sqrt{gr}</math> 时, <math>F_N + mg = m \frac{v^2}{r}</math>,</p> <p><math>F_N</math> 指向圆心并随 <math>v</math> 的增大而增大;</p>
--	--	---

## 6. 向心力

### 【知识点的认识】

#### 一：向心力

1. 作用效果：产生向心加速度，只改变速度的方向，不改变速度的大小。

2. 大小：
$$F_n = ma_n = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r.$$

3. 方向：总是沿半径方向指向圆心，时刻在改变，即向心力是一个变力。

4. 来源：向心力可以由一个力提供，也可以由几个力的合力提供，甚至可以由一个力的分力提供，因此向心力的来源要根据物体受力的实际情况判定。

注意：向心力是一种效果力，受力分析时，切不可在物体的相互作用力以外再添加一个向心力。

#### 二、离心运动和向心运动

##### 1. 离心运动

(1) 定义：做圆周运动的物体，在所受合外力突然消失或不足以提供圆周运动所需向心力的情况下，就做逐渐远离圆心的运动。

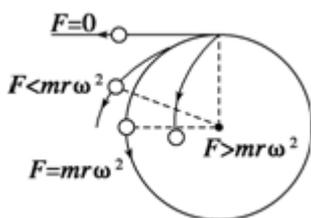
(2) 本质：做圆周运动的物体，由于本身的惯性，总有沿着圆周切线方向飞出去的倾向。

(3) 受力特点：

当  $F = mr\omega^2$  时，物体做匀速圆周运动；

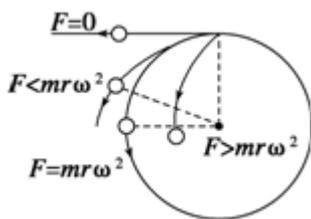
当  $F = 0$  时，物体沿切线方向飞出；

当  $F < mr\omega^2$  时，物体逐渐远离圆心， $F$  为实际提供的向心力。如图所示。



##### 2. 向心运动

当提供向心力的合外力大于做圆周运动所需向心力时，即  $F > mr\omega^2$ ，物体渐渐向圆心靠近。如图所示。



注意：物体做离心运动不是物体受到所谓离心力作用，而是物体惯性的表现，物体做离心运动时，并非沿半径方向飞出，而是运动半径越来越大或沿切线方向飞出。

**【重要知识点分析】**

1. 圆周运动中的运动学分析

(1) 对公式  $v = \omega r$  的理解

当  $r$  一定时， $v$  与  $\omega$  成正比。

当  $\omega$  一定时， $v$  与  $r$  成正比。

当  $v$  一定时， $\omega$  与  $r$  成反比。

(2) 对  $a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \omega v$  的理解

在  $v$  一定时， $a$  与  $r$  成反比；在  $\omega$  一定时， $a$  与  $r$  成正比。

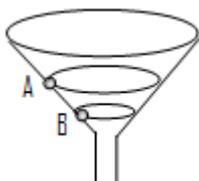
2. 匀速圆周运动和非匀速圆周运动的比较

项目	匀速圆周运动	非匀速圆周运动
运动性质	是速度大小不变，方向时刻变化的变速曲线运动，是加速度大小不变而方向时刻变化的变加速曲线运动	是速度大小和方向都变化的变速曲线运动，是加速度大小和方向都变化的变加速曲线运动
加速度	加速度方向与线速度方向垂直，即只存在向心加速度，没有切向加速度	由于速度的大小、方向均变，所以不仅存在向心加速度且存在切向加速度，合加速度的方向不断改变
向心力	$F_{\text{合}} = F_{\text{向}} = \begin{cases} \frac{mv^2}{r} \\ mr\omega^2 \\ mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \\ mr(2\pi f)^2 \end{cases}$	$F_{\text{合}} \begin{cases} \text{沿半径的分力} \\ F_x = ma_{\text{向}} \\ \text{沿切向的分力} \\ F_y = ma_{\text{切}} \end{cases}$

**【命题方向】**

(1) 第一类常考题型是对圆周运动中的传动问题分析：

一个内壁光滑的圆锥形筒的轴线垂直水平面，圆锥筒固定，有质量相等的小球 A 和 B 沿着筒的内壁在水平面内做匀速圆周运动，A 的运动半径较大，则（ ）

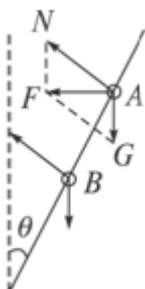


- A. 球 A 的线速度等于球 B 的线速度
- B. 球 A 的角速度等于球 B 的角速度
- C. 球 A 的运动周期等于球 B 的运动周期
- D. 球 A 对筒壁的压力等于球 B 对筒壁的压力

分析：对 AB 受力分析，可以发现它们都是重力和斜面的支持力的合力作为向心力，并且它们的质量相等，所以向心力的大小也相等，再根据线速度、加速度和周期的公式可以做出判断。

解：

A、如图所示，小球 A 和 B 紧贴着内壁分别在水平面内做匀速圆周运动。



由于 A 和 B 的质量相同，小球 A 和 B 在两处的合力相同，即它们做圆周运动时的向心力是相同的。

由向心力的计算公式  $F = m \frac{v^2}{r}$ ，由于球 A 运动的半径大于 B 球的半径，F 和 m 相同时，半径大的线速度大，所以 A 错误。

B、又由公式  $F = m\omega^2 r$ ，由于球 A 运动的半径大于 B 球的半径，F 和 m 相同时，半径大的角速度小，所以 B 错误。

C、由周期公式  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ，所以球 A 的运动周期大于球 B 的运动周期，故 C 错误。

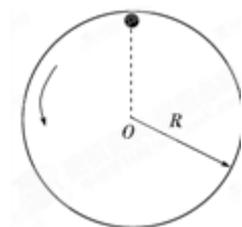
D、球 A 对筒壁的压力等于球 B 对筒壁的压力，所以 D 正确。

故选 D。

点评：对物体受力分析是解题的关键，通过对 AB 的受力分析可以找到 AB 的内在的关系，它们的质量相同，向心力的大小也相同，本题能很好的考查学生分析问题的能力，是道好题。

(2) 第二类常考题型是对圆周运动中的动力学问题分析：

如图所示，质量为  $m$  的小球在竖直平面内的光滑圆轨道上做圆周运动。圆半径为  $R$ ，小球经过圆环最高点时刚好不脱离圆轨。则其通过最高点时（ ）



- A. 小球对圆环的压力大小等于  $mg$
- B. 小球受到的向心力等于重力
- C. 小球的线速度大小等于  $\sqrt{Rg}$
- D. 小球的向心加速度大小等于  $g$

分析：小球经过圆环最高点时刚好不脱离圆环，知轨道对小球的弹力为零，靠重力提供向心力，根据牛顿第二定律求出小球的速度。

解：A、因为小球刚好在最高点不脱离圆环，则轨道对球的弹力为零，所以小球对圆环的压力为零。故 A 错误。

B、根据牛顿第二定律得， $mg = m\frac{v^2}{R} = ma$ ，知向心力不为零，线速度  $v = \sqrt{gR}$ ，向心加速度  $a = g$ 。故 B、C、D 正确。

故选 BCD。

点评：解决本题的关键知道在最高点的临界情况，运用牛顿第二定律进行求解。

(3) 第二类常考题型是对圆周运动的绳模型与杆模型分析：

如图，质量为  $0.5\text{kg}$  的小杯里盛有  $1\text{kg}$  的水，用绳子系住小杯在竖直平面内做“水流星”表演，转动半径为  $1\text{m}$ ，小杯通过最高点的速度为  $4\text{m/s}$ ， $g$  取  $10\text{m/s}^2$ 。求：



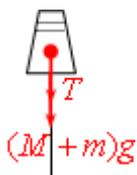
- (1) 在最高点时，绳的拉力？
- (2) 在最高点时水对小杯底的压力？
- (3) 为使小杯经过最高点时水不流出，在最高点时最小速率是多少？

分析：(1) 受力分析，确定圆周运动所需要的向心力是由哪个力提供的；

(2) 水对小杯底的压力与杯子对水的支持力是作用力与反作用力，只要求出杯子对水的支持力的大小就可以了，它们的大小相等，方向相反；

(3) 物体恰好能过最高点，此时的受力的条件是只有物体的重力作为向心力。

解：(1) 小杯质量  $m=0.5\text{kg}$ ，水的质量  $M=1\text{kg}$ ，在最高点时，杯和水的受重力和拉力作用，如图所示，



$$\text{合力 } F_{\text{合}} = (M+m)g + T \text{ ----- ①}$$

$$\text{圆周半径为 } R, \text{ 则 } F_{\text{向}} = (M+m) \frac{v^2}{R} \text{ ----- ②}$$

$$F_{\text{合}} \text{ 提供向心力, 有 } (M+m)g + T = (M+m) \frac{v^2}{R}$$

$$\text{所以细绳拉力 } T = (M+m) \left( \frac{v^2}{R} - g \right) = (1+0.5) \left( \frac{4^2}{1} - 10 \right) = 9\text{N};$$

(2) 在最高点时，水受重力  $Mg$  和杯的压力  $F$  作用，如图所示，



$$\text{合力 } F_{\text{合}} = Mg + F$$

$$\text{圆周半径为 } R, \text{ 则 } F_{\text{向}} = M \frac{v^2}{R}$$

$$F_{\text{合}} \text{ 提供向心力, 有 } Mg + F = M \frac{v^2}{R}$$

$$\text{所以杯对水的压力 } F = M \left( \frac{v^2}{R} - g \right) = 1 \times \left( \frac{4^2}{1} - 10 \right) = 6\text{N};$$

根据牛顿第三定律，水对小杯底的压力为  $6\text{N}$ ，方向竖直向上。

(3) 小杯经过最高点时水恰好不流出时，此时杯对水的压力为零，只有水的重力作为向心力，由(2)得：

$$Mg = M \frac{v^2}{R}$$

$$\text{解得 } v = \sqrt{gR} = \sqrt{10 \times 1} \text{ m/s} = \sqrt{10} \text{ m/s}.$$

答：(1) 在最高点时，绳的拉力为  $9\text{N}$ ；(2) 在最高点时水对小杯底的压力为  $6\text{N}$ ；(3) 在最高点时最小速率为  $\sqrt{10} \text{ m/s}$ 。

点评：水桶在竖直面内做圆周运动时向心力的来源是解决题目的重点，分析清楚哪一个力做为向心力，再利用向心力的公式可以求出来，必须要明确的是当水桶恰好能过最高点时，只有水的重力作为向心力，此

时水恰好流不出来。

**【解题方法点拨】**

1. 圆周运动中的运动学规律总结

在分析传动装置中的各物理量时，要抓住不等量和相等量的关系，具体有：

- (1) 同一转轴的轮上各点角速度  $\omega$  相同，而线速度  $v = \omega r$  与半径  $r$  成正比。
- (2) 当皮带（或链条、齿轮）不打滑时，传动皮带上各点以及用皮带连接的两轮边沿上的各点线速度大小相等，而角速度  $\omega = \frac{v}{r}$  与半径  $r$  成反比。
- (3) 齿轮传动时，两轮的齿数与半径成正比，角速度与齿数成反比。

2. 圆周运动中的动力学问题分析

(1) 向心力的确定

- ①确定圆周运动的轨道所在的平面及圆心的位置。
- ②分析物体的受力情况，找出所有的力沿半径方向指向圆心的合力，该力就是向心力。

(2) 向心力的来源

向心力是按力的作用效果命名的，可以是重力、弹力、摩擦力等各种力，也可以是几个力的合力或某个力的分力，因此在受力分析中要避免再另外添加向心力。

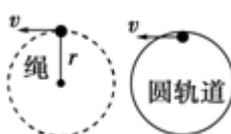
(3) 解决圆周运动问题步骤

- ①审清题意，确定研究对象；
- ②分析物体的运动情况，即物体的线速度、角速度、周期、轨道平面、圆心、半径等；
- ③分析物体的受力情况，画出受力示意图，确定向心力的来源；
- ④根据牛顿运动定律及向心力公式列方程。

3. 竖直平面内圆周运动的绳模型与杆模型

(1) 在竖直平面内做圆周运动的物体，按运动到轨道最高点时的受力情况可分为两类：一是无支撑（如球与绳连接、沿内轨道运动的过山车等），称为“绳（环）约束模型”，二是有支撑（如球与杆连接、在弯管内的运动等），称为“杆（管道）约束模型”。

(2) 绳、杆模型涉及的临界问题。

	绳模型	杆模型
常见类型		

	均是没有支撑的小球	
过最高点的临界条件	由 $mg = m\frac{v^2}{r}$ 得 $v_{\text{临}} = \sqrt{gr}$	由小球恰能做圆周运动得 $v_{\text{临}} = 0$
讨论分析	<p>(1) 过最高点时, <math>v \geq \sqrt{gr}</math>, <math>F_N + mg = m\frac{v^2}{r}</math>, 绳、轨道对球产生弹力 <math>F_N</math>;</p> <p>(2) 不能过最高点时, <math>v &lt; \sqrt{gr}</math>, 在到达最高点前小球已经脱离了圆轨道;</p>	<p>(1) 当 <math>v = 0</math> 时, <math>F_N = mg</math>, <math>F_N</math> 为支持力, 沿半径背离圆心;</p> <p>(2) 当 <math>0 &lt; v &lt; \sqrt{gr}</math> 时, <math>-F_N + mg = m\frac{v^2}{r}</math>, <math>F_N</math> 背向圆心, 随 <math>v</math> 的增大而减小;</p> <p>(3) 当 <math>v = \sqrt{gr}</math> 时, <math>F_N = 0</math>;</p> <p>(4) 当 <math>v &gt; \sqrt{gr}</math> 时, <math>F_N + mg = m\frac{v^2}{r}</math>, <math>F_N</math> 指向圆心并随 <math>v</math> 的增大而增大;</p>

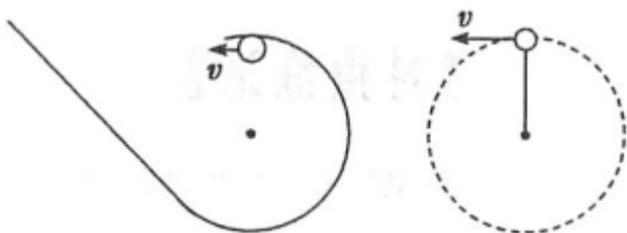
## 7. 生活中的圆周运动——竖直平面内的圆周运动

### 【知识点的认识】

#### 1. 模型建立

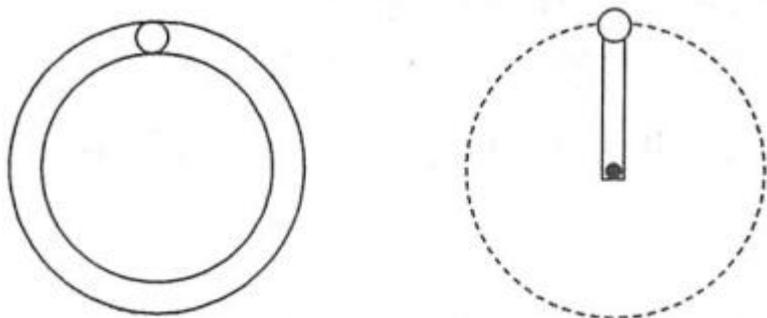
##### (1) 轻绳模型

小球沿竖直光滑轨道内侧做圆周运动, 小球在细绳的作用下在竖直平面内做圆周运动, 都是轻绳模型, 如图所示。

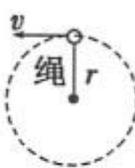
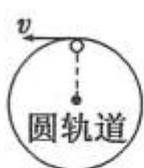


##### (2) 轻杆模型

小球在竖直放置的光滑细管内做圆周运动, 小球被一轻杆拉着在竖直平面内做圆周运动, 都是轻杆模型, 如图所示。



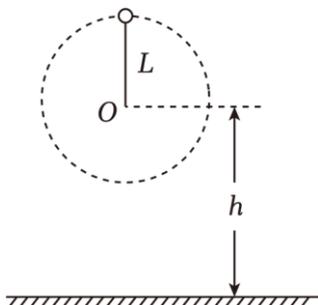
2.模型分析

比较项目	轻绳模型	轻杆模型
常见类型	 	 
过最高点的临界条件	小球恰能做圆周运动时，由 $mg = m \frac{v_{\text{临}}^2}{r}$ 得 $v_{\text{临}} = \sqrt{gr}$	小球恰能做圆周运动时， $v_{\text{临}} = 0$
讨论分析	(1) 过最高点时， $v \geq \sqrt{gr}$ ， $F + mg = m \frac{v^2}{r}$ ，绳、轨道对球产生弹力 $F$ (2) 若计算得到 $v < \sqrt{gr}$ ，不能过最高点，在到达最高点前小球已经脱离了圆轨道	(1) 当 $v = 0$ 时， $F_N = mg$ ， $F_N$ 为支持力，方向沿半径背离心心 (2) 当 $0 < v < \sqrt{gr}$ 时， $mg - F_N = m \frac{v^2}{r}$ ， $F_N$ 背离圆心，随 $v$ 的增大而减小 (3) 当 $v = \sqrt{gr}$ 时， $F_N = 0$ (4) 当 $v > \sqrt{gr}$ 时， $F_N + mg = m \frac{v^2}{r}$ ， $F_N$ 指向圆心并随 $v$ 的增大而增大

【命题方向】

例 1：如图所示，被长为  $L$  的细绳系着的小球，能绕  $O$  点在竖直平面内做圆周运动。已知  $O$  点离地面的竖直高度为  $h=3L$ ，绳受到的拉力等于小球所受重力的 5 倍时就会断裂。试求：

- (1) 如果小球运动到最高点时绳恰好断裂，则对应的速度为多大？
- (2) 小球飞出后落地点距  $O$  点的水平距离为多少？



分析：(1) 小球运动到最高点时绳恰好断裂时，绳的拉力等于小球重力的 5 倍。重力和拉力的合力提供向心力，根据牛顿第二定律求出速度。

(2) 绳断后小球做平抛运动，此时小球离地高度为  $4L$ ，竖直方向做自由落体运动，由高度求出时间，小球水平方向做匀速直线运动，由初速度和时间求出小球飞出后落地点距  $O$  点的水平距离。

解答：(1) 当运动到最高点时，据牛顿第二定律得

$$mg+T=m\frac{v^2}{L}$$

当绳的拉力达到  $5mg$  时绳断裂，即  $T_m=5mg$

$$\text{则 } mg+T_m=m\frac{v_m^2}{L}$$

解得速度  $v_m=\sqrt{6gL}$

(2) 绳断后小球做平抛运动

$$H=\frac{1}{2}gt^2$$

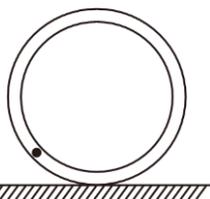
$$\text{又 } H=L+h \text{ 得 } t=\sqrt{\frac{2(h+L)}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 4L}{g}}=2\sqrt{\frac{2L}{g}}$$

$$\text{小球飞出后落地点距 } O \text{ 点的水平距离 } x=v\cdot t=\sqrt{6gL}\times 2\sqrt{\frac{2L}{g}}=4\sqrt{3}L$$

答：(1) 如果小球运动到最高点时绳恰好断裂，对应的速度为  $\sqrt{6gL}$ ；(2) 小球飞出后落地点距  $O$  点的水平距离为  $4\sqrt{3}L$ 。

点评：本题是牛顿第二定律、向心力和平抛运动的综合，抓住绳子刚断时的临界条件是：绳子拉力达到最大值。

例 2：如图所示，一个固定在竖直平面上的光滑圆形管道，管道里有一个直径略小于管道内径的小球，小



球在管道内做圆周运动，下列说法中正确的是（ ）

- A. 小球通过管道最低点时，小球对管道的压力向下
- B. 小球通过管道最低点时，小球对管道可能无压力
- C. 小球通过管道最高点时，小球对管道的压力可能向上
- D. 小球通过管道最高点时，小球对管道可能无压力

分析：小球沿管道做圆周运动，需要向心力。根据牛顿第二定律分析小球通过管道最低点时，管道对小球的作用力方向，再由牛顿第三定律分析小球对管道的作用力方向。

解答：AB、小球通过管道最低点时，具有向上的向心加速度，根据牛顿第二定律得知，合力向上，则管道对小球的支持力向上，由牛顿第三定律得到，小球对管道的压力向下。故 A 正确，B 错误。

CD、设管道的半径为  $R$ ，小球的质量为  $m$ ，小球通过最高点时速度大小为  $v$ ，管道对小球有向上作用力，大小为  $N$ ，根据牛顿第二定律得： $mg - N = m\frac{v^2}{R}$ ，当  $v = \sqrt{gR}$  时， $N = 0$ ，说明管道对小球无压力；当  $v > \sqrt{gR}$  时， $N < 0$ ，说明管道对小球的作用力向下，则小球对管道的压力向上。故 CD 正确。

故选：ACD。

点评：本题运用牛顿第二定律分析管道对小球的作用力方向，与轻杆模型类似。小球经过最高点时，管道对小球的作用力方向、大小与小球的速度有关。

### 【解题思路点拨】

根据不同模型的特点，抓住临界点，求出临界状态下的速度，再分类讨论即可。

## 8. 动能定理

### 【知识点的认识】

1. 内容：合外力在一个过程中对物体所做的功等于物体在这个过程中动能的变化。
2. 表达式： $W = E_{K2} - E_{K1}$ 。
3. 物理意义：动能定理指出了外力对物体所做的总功与物体动能变化之间的关系，即合力的功是物体动能变化的量度。
4. 动能定理的适用条件

(1) 动能定理既适用于直线运动，也适用于曲线运动。

(2) 既适用于恒力做功，也适用于变力做功。

(3) 力可以是各种性质的力，既可以同时作用，也可以不同时作用。

### 5. 对动能定理的理解

(1) 一个物体的动能变化 $\Delta E_k$ 与合外力对物体所做功 $W$ 具有等量代换关系。

①若 $\Delta E_k > 0$ ，表示物体的动能增加，其增加量等于合外力对物体所做的正功。

②若 $\Delta E_k < 0$ ，表示物体的动能减少，其减少量等于合外力对物体所做的负功的绝对值。

③若 $\Delta E_k = 0$ ，表示合外力对物体所做的功等于零。反之亦然。这种等量代换关系提供了一种计算变力做功的简便方法。

(2) 动能定理公式中等号的意义：等号表明合力做功与物体动能的变化间的三个关系：

①数量关系：即合外力所做的功与物体动能的变化具有等量代换关系。可以通过计算物体动能的变化，求合力的功，进而求得某一力的功。

②单位相同：国际单位都是焦耳。

③因果关系：合外力的功是物体动能变化的原因。

(3) 动能定理中涉及的物理量有 $F$ 、 $x$ 、 $m$ 、 $v$ 、 $W$ 、 $E_k$ 等，在处理含有上述物理量的力学问题时，可以考虑使用动能定理。由于只需要从力在整个位移内所做的功和这段位移始末两状态的动能变化去考虑，无需注意其中运动状态变化的细节，同时动能和功都是标量，无方向性，所以无论是直线运动还是曲线运动，计算都会特别方便。

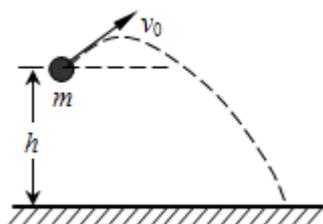
(4) 动能定理中的位移和速度必须是相对于同一个参考系的，一般以地面为参考系。

注意：功和动能都是标量，动能定理表达式是一个标量式，不能在某一个方向上应用动能定理，但牛顿第二定律是矢量方程，可以在互相垂直的方向上分别使用分量方程。

### 【命题方向】

题型一：对动能定理表达式的直接考核

如图所示，某人将质量为 $m$ 的石块从距地面 $h$ 高处斜向上方抛出，石块抛出时的速度大小为 $v_0$ ，不计空气阻力，石块落地时的动能为（ ）



A.  $mgh$  B.  $\frac{1}{2}mv_0^2$  C.  $\frac{1}{2}mv_0^2 - mgh$  D.  $\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh$

分析：根据动能定理求出石块落地时的动能大小。

解答：根据动能定理得， $mgh = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ ，解得石块落地时的动能  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2$ 。故 D

正确，A、B、C 错误。

故选：D。

点评：运用动能定理解题首先要确定研究对象和研究过程，分析有哪些力做功，根据动能定理列出表达式进行求解。

### 【解题方法点拨】

#### 1. 应用动能定理的一般步骤

(1) 选取研究对象，明确并分析运动过程。

(2) 分析受力及各力做功的情况

①受哪些力？

②每个力是否做功？

③在哪段位移哪段过程中做功？

④做正功还是负功？

⑤做多少功？求出代数和。

(3) 明确过程始末状态的动能  $E_{k1}$  及  $E_{k2}$ 。

(4) 列方程  $W_{\text{总}} = E_{k2} - E_{k1}$ ，必要时注意分析题目潜在的条件，补充方程进行求解。

注意：

①在研究某一物体受到力的持续作用而发生状态改变时，如涉及位移和速度而不涉及时间时应首先考虑应用动能定理，而后考虑牛顿定律、运动学公式，如涉及加速度时，先考虑牛顿第二定律。

②用动能定理解题，关键是对研究对象进行准确的受力分析及运动过程分析，并画出物体运动过程的草图，以便更准确地理解物理过程和各物理量的关系。有些力在物体运动全过程中不是始终存在的，在计算外力做功时更应引起注意。

## 9. 机械能守恒定律

### 【知识点的认识】

1. 机械能：势能和动能统称为机械能，即  $E = E_k + E_p$ ，其中势能包括重力势能和弹性势能。

2. 机械能守恒定律

（1）内容：在只有重力（或弹簧弹力）做功的物体系统内，动能与势能可以相互转化，而总的机械能保持不变。

（2）表达式：

观点	表达式
守恒观点	$E_1 = E_2, E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$ （要选零势能参考平面）
转化观点	$\Delta E_K = - \Delta E_P$ （不用选零势能参考平面）
转移观点	$\Delta E_A = - \Delta E_B$ （不用选零势能参考平面）

**【命题方向】**

题型一：机械能是否守恒的判断

例 1：关于机械能是否守恒的叙述中正确的是（ ）

- A. 只要重力对物体做了功，物体的机械能一定守恒
- B. 做匀速直线运动的物体，机械能一定守恒
- C. 外力对物体做的功为零时，物体的机械能一定守恒
- D. 只有重力对物体做功时，物体的机械能一定守恒

分析：机械能守恒的条件：只有重力或弹力做功的物体系统，其他力不做功，理解如下：

- ①只受重力作用，例如各种抛体运动。
- ②受到其它外力，但是这些力是不做功的。例如：绳子的一端固定在天花板上，另一端系一个小球，让它从某一高度静止释放，下摆过程中受到绳子的拉力，但是拉力的方向始终与速度方向垂直，拉力不做功，只有重力做功，小球的机械能是守恒的。
- ③受到其它外力，且都在做功，但是它们的代数和为 0，此时只有重力做功，机械能也是守恒的。

解：A、机械能守恒条件是只有重力做功，故 A 错误；

B、匀速运动，动能不变，但重力势能可能变化，故 B 错误；

C、外力对物体做的功为零时，不一定只有重力做功，当其它力与重力做的功的和为 0 时，机械能不守恒，故 C 错误；

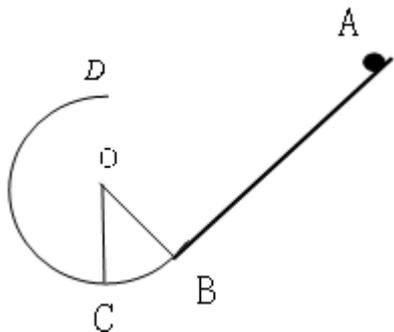
D、机械能守恒的条件是只有重力或弹力做功，故 D 正确。

故选：D。

点评：本题关键是如何判断机械能守恒，可以看能量的转化情况，也可以看是否只有重力做功。

题型二：机械能守恒定律的应用

例 2：如图，竖直放置的斜面下端与光滑的圆弧轨道 BCD 的 B 端相切，圆弧半径为 R， $\angle COB = \theta$ ，斜面倾角也为  $\theta$ ，现有一质量为 m 的小物体从斜面上的 A 点无初速滑下，且恰能通过光滑圆形轨道的最高点 D。已知小物体与斜面间的动摩擦因数为  $\mu$ ，



求：（1）AB 长度 l 应该多大。

（2）小物体第一次通过 C 点时对轨道的压力多大。

分析：

（1）根据牛顿第二定律列出重力提供向心力的表达式，再由动能定理结合几何关系即可求解；

（2）由机械能守恒定律与牛顿第二定律联合即可求解。

解：（1）因恰能过最高点 D，则有  $mg = m \frac{v^2}{R}$

又因  $f = \mu N = \mu mg \cos \theta$ ，

物体从 A 运动到 D 全程，由动能定理

$$\text{可得：} mg(l \sin \theta - R - R \cos \theta) - fl = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

$$\text{联立求得：} l = \frac{\frac{3}{2}R + R \cos \theta}{\sin \theta - \mu \cos \theta}$$

（2）物体从 C 运动到 D 的过程，设 C 点速度为  $v_c$ ，由机械能守恒定律： $\frac{1}{2}mv_c^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mg2R$

$$\text{物体在 C 点时：} N - mg = \frac{mv_c^2}{R}$$

联合求得： $N = 6mg$

$$\text{答：（1）AB 长度得：} l = \frac{\frac{3}{2}R + R \cos \theta}{\sin \theta - \mu \cos \theta}。$$

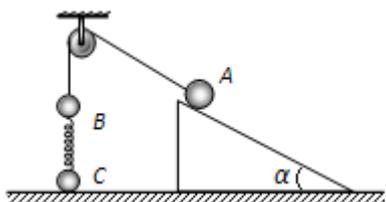
（2）小物体第一次通过 C 点时对轨道的压力  $6mg$ 。

点评：本题是动能定理与牛顿运动定律的综合应用，关键是分析物体的运动过程，抓住滑动摩擦力做功与

路程有关这一特点。

题型三：多物体组成的系统机械能守恒问题

例 3：如图所示，A、B 两小球由绕过轻质定滑轮的细线相连，A 放在固定的光滑斜面上，B、C 两小球在竖直方向上通过劲度系数为  $k$  的轻质弹簧相连，C 球放在水平地面上。现用手控制住 A，并使细线刚刚拉直但无拉力作用，并保证滑轮左侧细线竖直、右侧细线与斜面平行。已知 A 的质量为  $4m$ ，B、C 的质量均为  $m$ ，重力加速度为  $g$ ，细线与滑轮之间的摩擦不计，开始时整个系统处于静止状态。释放 A 后，A 沿斜面下滑至速度最大时 C 恰好离开地面。下列说法正确的是（ ）



- A. 斜面倾角  $\alpha=30^\circ$
- B. A 获得最大速度为  $2g\sqrt{\frac{m}{5k}}$
- C. C 刚离开地面时，B 的加速度最大
- D. 从释放 A 到 C 刚离开地面的过程中，A、B 两小球组成的系统机械能守恒

分析：C 球刚离开地面时，弹簧的弹力等于 C 的重力，根据牛顿第二定律知 B 的加速度为零，B、C 加速度相同，分别对 B、A 受力分析，列出平衡方程，求出斜面的倾角。

A、B、C 组成的系统机械能守恒，初始位置弹簧处于压缩状态，当 B 具有最大速度时，弹簧处于伸长状态，根据受力知，压缩量与伸长量相等。在整个过程中弹性势能变化为零，根据系统机械能守恒求出 B 的最大速度，A 的最大速度与 B 相等；

解：A、C 刚离开地面时，对 C 有： $kx_2=mg$

此时 B 有最大速度，即  $a_B=a_C=0$

则对 B 有： $T - kx_2 - mg=0$

对 A 有： $4mgsin\alpha - T=0$

以上方程联立可解得： $sin\alpha=\frac{1}{2}$ ， $\alpha=30^\circ$ ，故 A 正确；

B、初始系统静止，且线上无拉力，对 B 有： $kx_1=mg$

由上问知  $x_1=x_2=\frac{mg}{k}$ ，则从释放至 C 刚离开地面过程中，弹性势能变化量为零；

此过程中 A、B、C 组成的系统机械能守恒，即：

$$4mg(x_1+x_2)\sin\alpha = mg(x_1+x_2) + \frac{1}{2}(4m+m)v_{Bm}^2$$

以上方程联立可解得： $v_{Bm} = 2g\sqrt{\frac{m}{5k}}$

所以 A 获得最大速度为  $2g\sqrt{\frac{m}{5k}}$ ，

故 B 正确；

C、对 B 球进行受力分析可知，C 刚离开地面时，B 的速度最大，加速度为零。故 C 错误；

D、从释放 A 到 C 刚离开地面的过程中，A、B、C 及弹簧组成的系统机械能守恒，故 D 错误。

故选：AB。

点评：本题关键是对三个小球进行受力分析，确定出它们的运动状态，再结合平衡条件和系统的机械能守恒进行分析。

### 【解题方法点拨】

#### 1. 判断机械能是否守恒的方法

(1) 利用机械能的定义判断：分析动能与势能的和是否变化。如：匀速下落的物体动能不变，重力势能减少，物体的机械能必减少。

(2) 用做功判断：若物体或系统只有重力（或弹簧的弹力）做功，或有其他力做功，但其他力做功的代数和为零，机械能守恒。

(3) 用能量转化来判断：若系统中只有动能和势能的相互转化，而无机械能与其他形式的能的转化，则系统的机械能守恒。

(4) 对一些绳子突然绷紧、物体间非弹性碰撞等问题机械能一般不守恒，除非题中有特别说明或暗示。

#### 2. 应用机械能守恒定律解题的基本思路

(1) 选取研究对象 - - 物体或系统。

(2) 根据研究对象所经历的物理过程，进行受力、做功分析，判断机械能是否守恒。

(3) 恰当地选取参考平面，确定研究对象在过程的初、末态时的机械能。

(4) 选取方便的机械能守恒定律的方程形式 ( $E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$ 、 $\Delta E_k = -\Delta E_p$  或  $\Delta E_A = -\Delta E_B$ ) 进行求解。

注：机械能守恒定律的应用往往与曲线运动综合起来，其联系点主要在初末状态的速度与圆周运动的动力学问题有关、与平抛运动的初速度有关。

3. 对于系统机械能守恒问题，应抓住以下几个关键：

- (1) 分析清楚运动过程中各物体的能量变化；
- (2) 哪几个物体构成的系统机械能守恒；
- (3) 各物体的速度之间的联系。

### 10. 动量定理

#### 【知识点的认识】

1. 内容：物体在一个过程始末的动量变化量等于它在这个过程中所受力的冲量。

2. 表达式： $p' - p = I$  或  $mv - mv_0 = Ft$ 。

3. 用动量概念表示牛顿第二定律：由  $mv - mv_0 = Ft$ ，得到  $F = \frac{mv - mv_0}{t} = \frac{\Delta p}{t} = m \frac{v - v_0}{t} = ma$ ，所以物体动量的变化率等于它受到的力，即  $F = \frac{\Delta p}{t}$ ，这是牛顿第二定律的动量表述。

#### 【命题方向】

题型一：动量定理的应用

例子：一质量为  $m$  的铁锤，以速度  $v$  竖直打在木桩上，经过  $\Delta t$  时间而停止，则在打击时间内，铁锤对木桩的平均冲力的大小是（ ）

- A.  $mg\Delta t$     B.  $\frac{mv}{\Delta t}$     C.  $\frac{mv}{\Delta t} + mg$     D.  $\frac{mv}{\Delta t} - mg$

分析：由题意可知，铁锤的初末动量，由动量定理可求得其对木桩的平均冲力。

解答：对铁锤分析可知，其受重力与木桩的作用力；设向下为正方向，则有：

$$(mg - F)t = 0 - mv$$

得： $F = mg + \frac{mv}{\Delta t}$ ；

由牛顿第三定律可知，铁锤对桩的平均冲力为： $F = mg + \frac{mv}{\Delta t}$ ；

故选：C。

点评：本题考查动量定理的应用，在应用时要注意先明确正方向，然后才能列动能定理的关系式求解。

#### 【解题方法点拨】

- 1. 动量、动量的变化量、冲量、力都是矢量。解题时，先要规定正方向，与正方向相反的，要取负值。
- 2. 恒力的冲量用恒力与力的作用时间的乘积表示，变力的冲量计算，要看题目条件确定。如果力随时间均匀变化，可取平均力代入公式求出；力不随时间均匀变化，就用  $I$  表示这个力的冲量，用其它方法间接

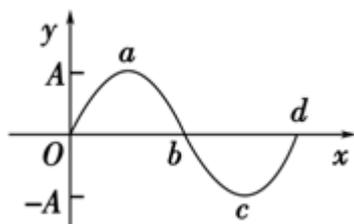
求出。

3. 只要涉及了力  $F$  和力的作用时间  $t$ ，用牛顿第二定律能解答的问题、用动量定理也能解答，而用动量定理解题，更简捷。

## 11. 横波的图像

### 【知识点的认识】

横波的图象



如图所示为一横波的图象。纵坐标表示某一时刻各个质点偏离平衡位置的位移，横坐标表示在波的传播方向上各个质点的平衡位置。它反映了在波传播的过程中，某一时刻介质中各质点的位移在空间的分布。简谐波的图象为正弦（或余弦）曲线。

### 【命题方向】

(1) 第一类常考题型：波的图象的理解与应用

如图为一列沿  $x$  轴负方向传播的简谐横波在  $t=0$  时的波形图，当  $Q$  点在  $t=0$  时的振动状态传到  $P$  点时，则  B

- A.  $1\text{cm} < x < 3\text{cm}$  范围内的质点正在向  $y$  轴的负方向运动
- B.  $Q$  处的质点此时的加速度沿  $y$  轴的正方向
- C.  $Q$  处的质点此时正在波峰位置
- D.  $Q$  处的质点此时运动到  $P$  处。

分析：由题意利用平移法可知  $Q$  点的状态传到  $P$  点时的波形图，由波形图可判断各点的振动情况。

解：当  $Q$  点在  $t=0$  时的振动状态传到  $P$  点时， $Q$  点在  $t=0$  时的波沿也向左传到  $P$  点，所以  $x=0\text{cm}$  处质点在波谷， $x=2\text{cm}$  处质元在波峰，则  $1\text{cm} < x < 2\text{cm}$  向  $y$  轴的正方向运动， $2\text{cm} < x < 3\text{cm}$  向  $y$  轴的负方向运动，A 错误；

$Q$  点振动四分之三周期后到达波谷加速度沿  $y$  轴的正方向最大，质点不能平移，B 正确，CD 错误。

故选 B。

点评：本题画波形是关键，只要画出新的波形各点的振动即可明确！

第二类常考题型：波的传播方向与质点的振动方向的判断

一列沿  $x$  轴正方向传播的简谐机械横波，波速为  $4\text{m/s}$ 。某时刻波形如图所示，下列说法正确的是（ ）

- A. 这列波的振幅为  $4\text{cm}$
- B. 这列波的周期为  $1\text{s}$
- C. 此时  $x=4\text{m}$  处质点沿  $y$  轴负方向运动
- D. 此时  $x=4\text{m}$  处质点的加速度为  $0$

分析：由波的图象读出振幅和波长，由波速公式  $v = \frac{\lambda}{T}$  算出周期。由波的传播方向判断质点的振动方向，根据质点的位置分析质点的加速度。

解：A、振幅等于  $y$  的最大值，故这列波的振幅为  $A=2\text{cm}$ 。故 A 错误。

B、由图知，波长  $\lambda=8\text{m}$ ，由波速公式  $v = \frac{\lambda}{T}$ ，得周期  $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{8}{4}\text{s} = 2\text{s}$ 。故 B 错误。

C、简谐机械横波沿  $x$  轴正方向传播，由波形平移法得知，此时  $x=4\text{m}$  处质点沿  $y$  轴正方向运动。故 C 错误。

D、此时  $x=4\text{m}$  处质点沿处于平衡位置，加速度为零。故 D 正确。

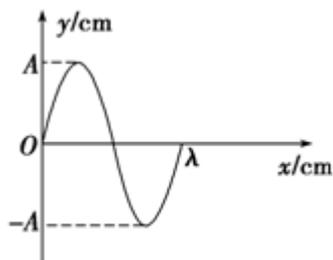
故选：D。

点评：根据波的图象读出振幅、波长、速度方向及大小变化情况，加速度方向及大小变化情况等，是应具备的基本能力。

### 【解题方法点拨】

波的图象的理解与应用

1. 波的图象反映了在某时刻介质中的质点离开平衡位置的位移情况，图象的横轴表示各质点的平衡位置，纵轴表示该时刻各质点的位移，如图：

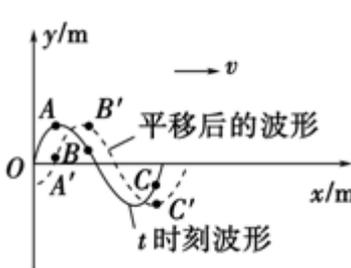
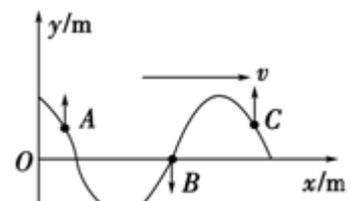
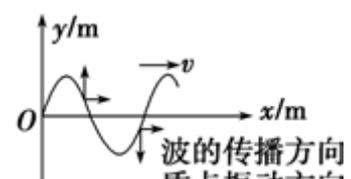


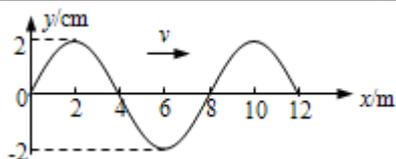
图象的应用：

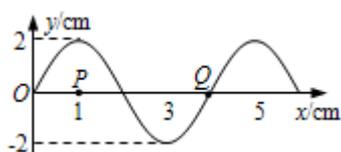
- (1) 直接读取振幅  $A$  和波长  $\lambda$ ，以及该时刻各质点的位移。

- (2) 确定某时刻各质点加速度的方向，并能比较其大小。
- (3) 结合波的传播方向可确定各质点的振动方向或由各质点的振动方向确定波的传播方向。
2. 在波的传播方向上，当两质点平衡位置间的距离为  $n\lambda$  时 ( $n=1, 2, 3\cdots$ )，它们的振动步调总相同；当两质点平衡位置间的距离为  $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$  ( $n=0, 1, 2, 3\cdots$ ) 时，它们的振动步调总相反。
3. 波源质点的起振方向决定了它后面的质点的起振方向，各质点的起振方向与波源的起振方向相同。

波的传播方向与质点的振动方向的判断方法

图象	方法
	<p>(1) 微平移法：沿波的传播方向将波的图象进行一微小平移，然后由两条波形曲线来判断。</p> <p>例如：波沿 x 轴正向传播，t 时刻波形曲线如左图中实线所示。将其沿 v 的方向移动一微小距离 <math>\Delta x</math>，获得如左图中虚线所示的图线。可以判定：t 时刻质点 A 振动方向向下，质点 B 振动方向向上，质点 C 振动方向向下。</p>
	<p>(2) “上、下坡”法：沿着波的传播方向看，上坡的点向下振动，下坡的点向上振动，即“上坡下，下坡上”。</p> <p>例如：左图中，A 点向上振动，B 点向下振动，C 点向上振动。</p>
	<p>(3) 同侧法：质点在振动方向与波的传播方向在波的图象的同一侧。如左图所示。</p>





## 12. 波长、频率和波速的关系

### 【知识点的认识】

描述机械波的物理量

(1) 波长  $\lambda$ : 两个相邻的、在振动过程中对平衡位置的位移总是相同的质点间的距离叫波长.

在横波中, 两个相邻波峰 (或波谷) 间的距离等于波长. 在纵波中, 两个相邻密部 (或疏部) 间的距离等于波长.

(2) 频率  $f$ : 波的频率由波源决定, 无论在什么介质中传播, 波的频率都不变.

(3) 波速  $v$ : 单位时间内振动向外传播的距离. 波速的大小由介质决定.

(4) 波速与波长和频率的关系:  $v = \lambda f$ .

### 【命题方向】

常考题型:

如图所示是一列简谐波在  $t=0$  时的波形图象, 波速为  $v=10\text{m/s}$ , 此时波恰好传到 I 点, 下列说法中正确的是 ( )

- A. 此列波的周期为  $T=0.4\text{s}$
- B. 质点 B、F 在振动过程中位移总是相等
- C. 质点 I 的起振方向沿  $y$  轴负方向
- D. 当  $t=5.1\text{s}$  时,  $x=10\text{m}$  的质点处于平衡位置处
- E. 质点 A、C、E、G、I 在振动过程中位移总是相同

【分析】由波形图可以直接得出波的波长, 根据  $v = \frac{\lambda}{T}$  求解周期, 根据波形图来确定 I 处的起振方向, 当质点间的距离为波长的整数倍时, 振动情况完全相同, 当质点间的距离为半波长的奇数倍时, 振动情况相反.

解: A、由波形图可知, 波长  $\lambda=4\text{m}$ , 则  $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{4}{10} = 0.4\text{s}$ , 故 A 正确;

B、质点 B、F 之间的距离正好是一个波长, 振动情况完全相同, 所以质点 B、F 在振动过程中位移总是相等, 故 B 正确;

C、由图可知, I 刚开始振动时的方向沿  $y$  轴负方向, 故 C 正确;

D、波传到  $x=10\text{m}$  的质点的时间  $t' = \frac{x}{v} = \frac{10}{10} = 1\text{s}$ ， $t=5.1\text{s}$  时， $x=10\text{m}$  的质点已经振动  $4.1\text{s} = 10 \frac{1}{4}T$ ，所

以此时处于波谷处，故 D 错误；

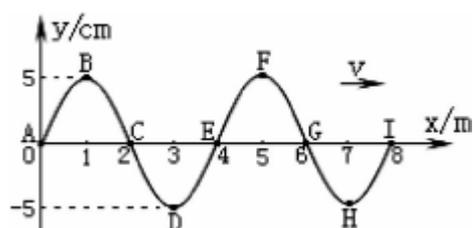
E、质点 A、C 间的距离为半个波长，振动情况相反，所以位移的方向不同，故 D 错误；

故选：ABC

【点评】本题考察了根据波动图象得出振动图象是一重点知识，其关键是理解振动和波动的区别。

### 【解题方法点拨】

牢记机械振动的有关公式，熟练的进行公式之间的转化与计算。



## 13. 电场力做功

### 【知识点的认识】

1. 静电力做功的特点：在匀强电场中移动电荷时，静电力所做的功与电荷的起始位置和终止位置有关，与电荷经过的路径无关。

2. 静电力做功的公式： $W=qEl$ ，其中  $l$  为电荷沿电场线移动的位移。

## 14. 电势

### 【知识点的认识】

1. 定义：检验电荷在电场中某点 A 具有的电势能  $E_{PA}$  与它所带的电荷量  $q$  成正比，其比值定义为电场中

A 点的电势，用  $\varphi_A$  表示，则表达式为： $\varphi_A = \frac{E_{PA}}{q}$ 。

单位：伏，符号是 V。

2. 物理意义：是描述电场能性质的物理量，只与电场本身有关，与检验电荷的情况（带电种类、带电多少以及受力大小）无关，在数值上等于单位正电荷在场点具有的电势能。

3. 特点：

①相对性：与所选取的零点位置有关，电势零点的选取与电势能零点的选取是一致的；

②标量性：电势是标量，没有方向，但有正负之分，正负的物理含义是若  $\varphi > 0$ ，则电势比参考位置高，若  $\varphi < 0$ ，则电势比参考位置低。

(4) 电势高低的判断：顺着电场线，电势降低；逆着电场线，电势升高。

理解与注意：公式  $\varphi = \frac{E_P}{q}$  是定义式，不能据此认为  $\varphi$  与  $E_P$  成正比，与  $q$  成反比。实际上， $\varphi$  与  $E_P$ 、

$q$  无关，它是由源电荷的情况和场点的位置决定的。而把  $\varphi = \frac{E_P}{q}$  变形得到的式子  $E_{PA} = q\varphi_A$  却是关系式，

它说明电荷在电场中具有的电势能由电荷的带电情况和所在场点的电势共同决定。

### 5. 电场强度、电势、电势差、电势能的比较

电场强度、电势、电势差、电势能都是用来描述电场性质的物理量，它们之间有密切的联系，但也有很大的差别，现列表进行比较。

	电场强度	电势	电势差	电势能
意义	描述电场的力的性质	描述电场的能的性质	描述电场做功的本领	描述电荷在电场中的能量，电荷做功的本领
定义	$E = \frac{F}{q}$	若 B 点电势为 0， 则 $\varphi_A = U_{AB} = \varphi_A - 0$	$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$	$E_P = q\varphi$
矢标性	矢量：方向为正电荷的受力方向	标量：有正负，正负只表示大小	标量：有正负，正负只是比较电势的高低	正电荷在正电势位置有正电势能，简化为：正正得正，负正得负，负负得正
决定因素	由电场本身决定，与试探电荷无关	由电场本身决定，大小与参考点的选取有关，具有相对性	由电场本身的两点间差异决定，与参考点的选取无关	由电荷量和该点电势二者决定，与参考点的选取有关
相互关系	场强为零的地方电势不一定为零	电势为零的地方场强不一定为零	零场强区域两点电势差一定为零，电势差为零的区域场强不一	场强为零，电势能不一定为零，电势为零，电势能一定为零

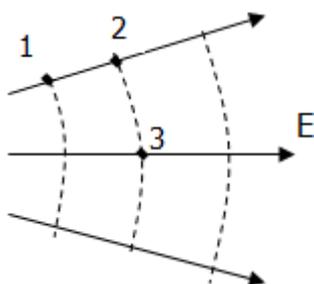
			定为零	
联系	匀强电场中 $U=Ed$ ( $d$ 为 A、B 间沿场强方向上的距离)；电势沿场强方向降低最快： $U_{AB}=\varphi_A - \varphi_B$ ； $U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$ ； $W_{AB}=E_{PA} - E_{PB}$ .			

电势、电势差、电势能、电场力的功、电荷量等物理量均为标量，它们的正负意义不全相同，要注意比较区别，而矢量的正负一定表示方向。

**【命题方向】**

题型一：电场强度、电势概念的理解

例 1：如图所示，实线表示某静电场的电场线，虚线表示该电场的等势面。下列判断正确的是（ ）



- A. 1、2 两点的场强相等
- B. 1、3 两点的场强相等
- C. 1、2 两点的电势相等
- D. 2、3 两点的电势相等

分析：根据电场线的分布特点：从正电荷或无穷远处出发到负电荷或无穷远处终止，分析该点电荷的电性；电场线越密，场强越大。顺着电场线，电势降低。利用这些知识进行判断。

解：A、电场线的疏密表示电场的强弱，由图可得，1 与 2 比较，1 处的电场线密，所以 1 处的电场强度大。故 A 错误；

B、电场线的疏密表示电场的强弱，由图可得，1 与 3 比较，1 处的电场线密，所以 1 处的电场强度大。故 B 错误；

C，顺着电场线，电势降低，所以 1 点的电势高于 2 点处的电势。故 C 错误；

D、由题目可得，2 与 3 处于同一条等势线上，所以 2 与 3 两点的电势相等。故 D 正确。

故选：D。

点评：加强基础知识的学习，掌握住电场线和等势面的特点，即可解决本题。

题型二：电势高低与电势能大小的比较

例 2: 如图所示, 在  $x$  轴上相距为  $L$  的两点固定两个等量异种点电荷  $+Q$ 、 $-Q$ , 虚线是以  $+Q$  所在点为圆心、 $\frac{L}{2}$  为半径的圆,  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  是圆上的四个点, 其中  $a$ 、 $c$  两点在  $x$  轴上,  $b$ 、 $d$  两点关于  $x$  轴对称. 下列判断正确的是 ( )

- A.  $b$ 、 $d$  两点处的电势相同
- B. 四点中  $c$  点处的电势最低
- C.  $b$ 、 $d$  两点处的电场强度相同
- D. 将一试探电荷  $+q$  沿圆周由  $a$  点移至  $c$  点,  $+q$  的电势能减小

分析: 该电场中的电势、电场强度都关于  $x$  轴对称, 所以  $bd$  两点的电势相等, 场强大小相等, 方向是对称的.  $c$  点在两个电荷连线的中点上, 也是在两个电荷连线的中垂线上, 所以它的电势和无穷远处的电势相等.

解: A: 该电场中的电势关于  $x$  轴对称, 所以  $bd$  两点的电势相等, 故 A 正确;

B:  $c$  点在两个电荷连线的中点上, 也是在两个电荷连线的中垂线上, 所以它的电势和无穷远处的电势相等. 而正电荷周围的电场的电势都比它高, 即  $c$  点的电势在四个点中是最低的. 故 B 正确;

C: 该电场中的电场强度关于  $x$  轴对称, 所以  $bd$  两点场强大小相等, 方向是对称的, 不相同的. 故 C 错误;

D:  $c$  点的电势低于  $a$  点的电势, 试探电荷  $+q$  沿圆周由  $a$  点移至  $c$  点, 电场力做正功,  $+q$  的电势能减小. 故 D 正确.

故选: ABD.

点评: 该题考查常见电场的特点, 解题的关键是  $c$  点在两个电荷连线的中点上, 也是在两个电荷连线的中垂线上, 所以它的电势和无穷远处的电势相等. 而正电荷周围的电场的电势都比它高, 负电荷周围的电场的电势都比它低. 属于基础题目.

### 【解题方法点拨】

#### 1. 比较电势高低的方法

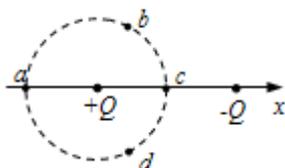
- (1) 沿电场线方向, 电势越来越低.
- (2) 判断出  $U_{AB}$  的正负, 再由  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ , 比较  $\varphi_A$ 、 $\varphi_B$  的大小, 若  $U_{AB} > 0$ , 则  $\varphi_A > \varphi_B$ , 若  $U_{AB} < 0$ , 则  $\varphi_A < \varphi_B$ .
- (3) 取无穷远处为零电势点, 正电荷周围电势为正值, 且离正电荷近处电势高; 负电荷周围电势为负值, 且离负电荷近处电势低.

## 2. 等分法计算匀强电场中的电势

(1) 在匀强电场中，沿不在同一等势面上的任意一个方向上，电势降落都是均匀的，故在同一直线上相同距离的两点间的电势差相等。如果把某两点间的距离等分为  $n$  段，则每段两端点间的电势差等于原电势差的  $\frac{1}{n}$  倍。

(2) 已知电场中几点的电势，如果要求某点的电势时，一般采用“等分法”在电场中找与待求点电势相同的等势点，等分法也常用在画电场线的问题中。

(3) 在匀强电场中，相互平行的相等长度的线段两端间的电势差相等，应用这一点可求解电势。



## 15. 等势面

### 【知识点的认识】

1. 定义：电场中电势相等的点组成的面（平面或曲面）叫做等势面。

2. 特点：

- ①等势面与电场线一定处处正交；
- ②在同一等势面上移动电荷时，电场力不做功；
- ③电场线总是从电势高的等势面指向电势低的等势面；
- ④任意两个电势不相同的等势面既不会相交，也不会相切；
- ⑤等差等势面越密的地方电场线越密。

### 【命题方向】

题型一：对等势面的理解

例 1：电场中某个面上所有点的电势都相等，但电场强度都不同，这个面可能是（ ）

- A. 等量同种电荷的中垂面
- B. 等量异种电荷的中垂面
- C. 以孤立点电荷为球心的某一球面
- D. 匀强电场中的某一等势面

分析：在电场中电场线的切向方向表示电场的方向，电场线的疏密表示电场的强弱，等势面与电场线相互垂直。

解：A、等量同种电荷的中垂面是个等势面，但电场强度相等且都为零，故 A 错误；

B、等量异种电荷的中垂面是个等势面，但以两电荷连线为对称线的中垂面上的电场强度都相等，故 B 错误；

C、以孤立点电荷为球心的某一球面上的所有点的电势都相等，但电场强度都不同，故 C 正确；

D、匀强电场中的某一等势面上的电场强度都相等，故 D 错误；

故选：C.

点评：本题考查对电场线的认识，由电场线我们应能找出电场的方向、场强的大小及电势的高低.

题型二：匀强电场中等势面与电场线及电势差与场强的关系

例 2：如图所示，在匀强电场中有 A、B、C 三点，在以它们为顶点的三角形中， $\angle A=30^\circ$ ， $\angle C=90^\circ$ ，电场方向与三角形所在平面平行. 已知 A、B、C 三点的电势分别为  $(3-\sqrt{3})\text{V}$ 、 $(3+\sqrt{3})\text{V}$  和  $3\text{V}$ ，则 A、B 连线中点处的电势为 3 V，该三角形外接圆上的最高电势为 5 V.

分析：根据匀强电场电势差与距离成正比（除等势面）特点，A、B 中点的电势为 A、B 两点的等差中项.

解：由  $U=Ed$ ， $U \propto d$ （除等势面上），则 A、B 连线中点 O 的电势为 A、B 电势的平均值，即为  $3\text{V}$ .

连接 OC 线，即为一条等势线，作出过 O 的电场线 OD 和外接圆，逆着过 O 点的电场线，找出外接圆上离 O 点最远的 D 点，即为电势最高的点，根据几何知识得：

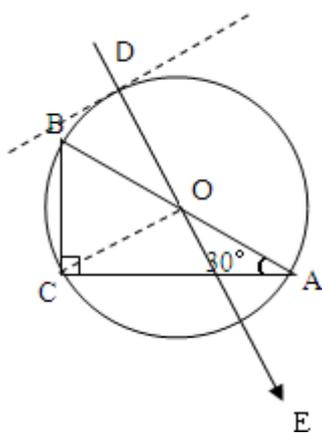
$$OD=OB,$$

$$\text{由 } U_{DO}=E \cdot OD, U_{BO}=E \cdot OB \cos 30^\circ$$

$$\text{则得 } U_{DO}=U_{BO} \cdot \frac{1}{\cos 30^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \text{V} = 2\text{V}, \text{ 所以 D 点的电势为 } 5\text{V}. \text{ 即最高电势为 } 5\text{V}.$$

故答案为：3V，5V.

点评：作等势线和电场线，并结合几何知识，是解决这类问题的关键.



## 16. 闭合电路的欧姆定律

### 【知识点的认识】

#### 1. 闭合电路欧姆定律

(1) 内容：闭合电路里的电流跟电源的电动势成正比，跟内、外电阻之和成反比。

(2) 公式：

$$\textcircled{1} I = \frac{E}{R+r} \quad (\text{只适用于纯电阻电路});$$

$$\textcircled{2} E = U_{\text{外}} + Ir \quad (\text{适用于所有电路}).$$

2. 路端电压与外电阻的关系：

一般情况	$U = IR = \frac{E}{R+r} \cdot R = \frac{E}{1 + \frac{r}{R}},$ <p>当 R 增大时，U 增大</p>
特殊情况	<p>(1) 当外电路断路时，<math>I=0</math>，<math>U=E</math></p> <p>(2) 当外电路短路时，<math>I_{\text{短}} = \frac{E}{r}</math>，<math>U=0</math></p>

**【命题方向】**

(1) 第一类常考题型是对电路的动态分析：

如图所示，电源电动势为 E，内阻为 r，当滑动变阻器的滑片 P 处于左端时，三盏灯 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub> 均发光良好。在滑片 P 从左端逐渐向右端滑动的过程中，下列说法中正确的是（ ）

- A. 小灯泡 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 变暗    B. 小灯泡 L<sub>3</sub> 变暗，L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 变亮  
 C. 电压表 V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub> 示数均变大    D. 电压表 V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub> 示数之和变大

分析：在滑片 P 从左端逐渐向右端滑动的过程中，先分析变阻器接入电路的电阻如何变化，分析外电路总电阻的变化，由闭合电路欧姆定律分析干路电流的变化，即可由欧姆定律判断 L<sub>2</sub> 两端电压的变化，从而知道灯泡 L<sub>2</sub> 亮度的变化和电压表 V<sub>2</sub> 示数的变化。再根据路端电压的变化，分析灯泡 L<sub>3</sub> 亮度的变化和电压表 V<sub>1</sub> 示数的变化；根据干路电流与 L<sub>3</sub> 电流的变化，分析 L<sub>1</sub> 电流的变化，即可判断灯泡 L<sub>1</sub> 亮度的变化。根据路端电压的变化，判断两电压表示数之和的变化。

解：B、滑片 P 向右滑动的过程中，滑动变阻器接入电路的电阻变大，整个闭合回路的总电阻变大，根据闭合欧姆定律可得干路电流  $I = \frac{E}{R_{\text{外总}} + r}$  变小，灯泡 L<sub>2</sub> 变暗，故 B 错误。

C、灯泡 L<sub>2</sub> 两端电压  $U_2 = IR_2$  变小，即电压表 V<sub>2</sub> 示数变小，电压表 V<sub>1</sub> 的读数为  $U_1 = E - I(r + R_2)$ ，变大，故 C 错误。

A、小灯泡 L<sub>3</sub> 变亮，根据串、并联电路的特点  $I = I_1 + I_3$ ，I 减小， $I_3 = \frac{U_1}{R_3}$  变大，则通过小灯泡 L<sub>1</sub> 的电流 I<sub>1</sub>

减小，小灯泡 L<sub>1</sub> 变暗，故 A 正确。

D、电压表  $V_1$ 、 $V_2$  示数之和为  $U=E - Ir$ ， $I$  减小， $U$  增大，故 D 正确。

故选 AD。

点评：本题首先要搞清电路的连接方式，搞懂电压表测量哪部分电路的电压，其次按“局部→整体→局部”的思路进行分析。

总结：

分析此类问题要注意以下三点：

- ①闭合电路欧姆定律  $E=U+Ir$  ( $E$ 、 $r$  不变) 和部分电路欧姆定律  $U=IR$  联合使用。
- ②局部电阻增则总电阻增，反之总电阻减；支路数量增则总电阻减，反之总电阻增。
- ③两个关系：外电压等于外电路上串联各分电压之和；总电流等于各支路电流之和。

(2) 第二类常考题型是闭合电路欧姆定律的应用及电源的功率：

如图所示，电源电动势  $E=12V$ ，内阻  $r=3\Omega$ ，甲图中  $R_0=1\Omega$ ，乙图中直流电动机内阻  $R_0'=1\Omega$ ，当调节滑动变阻器  $R_1$  时可使甲电路输出功率最大，同样，调节  $R_2$  时可使乙电路输出功率最大，且此时电动机刚好正常工作（额定输出功率为  $P_0=2W$ ），则  $R_1$  和  $R_2$  的值为（ ）

- A.  $2\Omega$ ， $2\Omega$  B.  $2\Omega$ ， $1.5\Omega$  C.  $1.5\Omega$ ， $1.5\Omega$  D.  $1.5\Omega$ ， $2\Omega$

分析：对于甲图，当电路的内阻和外阻相等时，电路的输出功率最大，由此可以求得甲图中的最大的功率；对于乙图，求出最大输出的功率的表达式，利用数学知识求乙图中的电阻的大小。

解：据  $P_{\text{输出}} = \frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R} + 4r}$  可知：

当电路的外电阻等于内阻时，电路的输出功率最大，所以甲图  $R_1=r - R_0=3\Omega - 1\Omega=2\Omega$

对于乙图，输出的功率最大时，电动机的额定功率  $P_0=2W$ ，电路中电流为  $I$ ，

所以  $P_{\text{输出max}}=2W+I^2R_0'+I^2R_2 \dots \textcircled{1}$

又因为  $U_{R_2}=12V - 3I - \frac{2+I^2}{I}$

所以  $I = \frac{12-3I - \frac{2+I^2}{I}}{R_2} \dots \textcircled{2}$

联立①②利用数学关系求得当  $R_2=1.5\Omega$  时，乙电路的输出功率最大为  $12W$ ，故 ACD 错误，B 正确。

故选：B。

点评：对于电功率的计算，一定要分析清楚是不是纯电阻电路，对于非纯电阻电路，总功率和发热功率的

计算公式是不一样的。

总结：

对闭合电路功率的两点认识

①闭合电路是一个能量转化系统，电源将其他形式的能转化为电能。内外电路将电能转化为其他形式的能，

$EI = P_{\text{内}} + P_{\text{外}}$  就是能量守恒定律在闭合电路中的体现。

②外电阻的阻值向接近内阻的阻值方向变化时，电源的输出功率变大。

(3) 第三类常考题型是电源的  $U - I$  图象的应用

如图，直线 A 为电源的  $U - I$  图线，直线 B 和 C 分别为电阻  $R_1$  和  $R_2$  的  $U - I$  图线，用该电源分别与  $R_1$ 、 $R_2$  组成闭合电路时，电源的输出功率分别为  $P_1$ 、 $P_2$ ，电源的效率分别为  $\eta_1$ 、 $\eta_2$ ，则 ( )

A.  $P_1 > P_2$  B.  $P_1 = P_2$  C.  $\eta_1 > \eta_2$  D.  $\eta_1 < \eta_2$

分析：电源的效率等于电源输出功率与电源总功率的百分比，根据效率的定义，找出效率与电源路端电压的关系，由图读出路端电压，就能求出效率；电源与电阻的  $U - I$  图线的交点，表示电阻接在电源上时的工作状态，可读出电压、电流，算出电源的输出功率，进而比较大小。

解：AB、由图线的交点读出，B 接在电源上时，电源的输出输出功率  $P_1 = UI = 8W$

C 接在电源上时，电源的输出输出功率  $P_2 = UI = 8W$  故 A 错误，B 正确。

CD、电源的效率  $\eta = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{总}}} = \frac{UI}{EI} = \frac{U}{E}$ ，效率与路端电压成正比，B 接在电源上时路端电压大，效率高， $\eta_1$

$> \eta_2$ 。故 C 正确，D 错误。

故选：BC。

点评：本题首先要知道效率与功率的区别，电源的效率高，输出功率不一定大。其次，会读图。电源与电阻的伏安特性曲线交点表示电阻接在该电源上时的工作状态。

总结：

$U - I$  图象的一般分析思路

- ①明确纵、横坐标的物理意义。
- ②明确图象的截距、斜率及交点的意义。
- ③找出图线上对应状态的参量或关系式。
- ④结合相关概念或规律进行分析、计算。

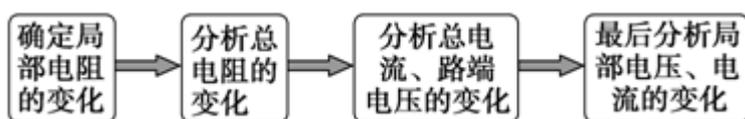
【解题方法点拨】

## 一、电路的动态分析

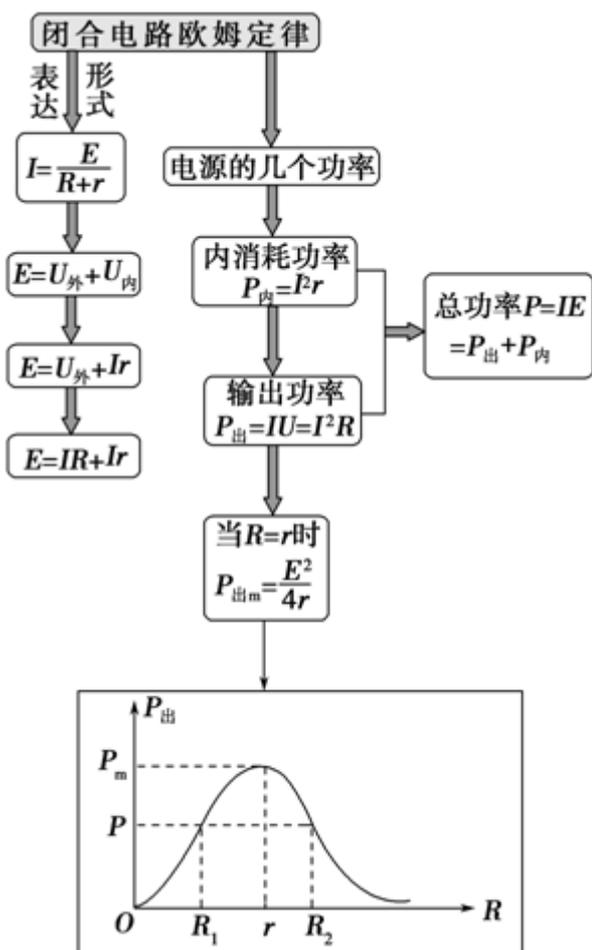
### 1. 判定总电阻变化情况的规律

- (1) 当外电路的任何一个电阻增大（或减小）时，电路的总电阻一定增大（或减小）。
- (2) 若开关的通、断使串联的用电器增多时，电路的总电阻增大；若开关的通、断使并联的支路增多时，电路的总电阻减小。
- (3) 在如图所示分压电路中，滑动变阻器可视为由两段电阻构成，其中一段  $R_{\#}$  与用电器并联，另一段  $R_{\#}$  与并联部分串联。A、B 两端的总电阻与  $R_{\#}$  的变化趋势一致。

### 2. 分析思路。



## 二、闭合电路欧姆定律的应用及电源的功率。



## 三、电源的 U - I 图象的应用

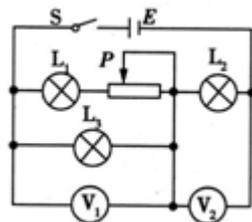
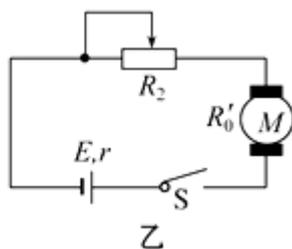
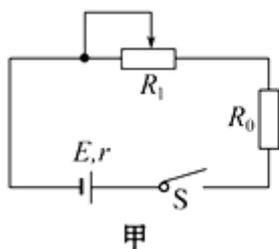
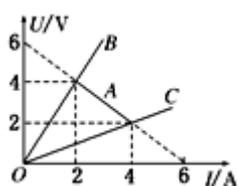
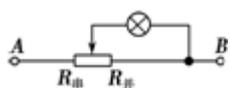
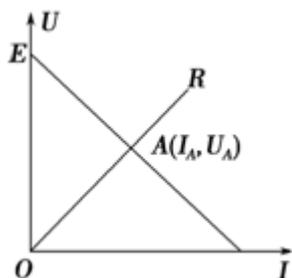
1. 根据  $U = E - Ir$  可知，电源的  $U - I$  图线是如图所示的一条倾斜的直线。

(1) 直线斜率的绝对值表示电源的电阻  $r$ ，纵轴的截距为电源电动势  $E$ 。

(2) 直线上任何一点  $A$  与原点  $O$  的连线的斜率表示对应的外电路电阻  $R$ 。

(3) 图线上每一点的坐标的乘积为对应情况下电源的输出功率，对于图中的  $A$  点有  $P_A = U_A I_A$ 。

2. 对于  $U - I$  图线中纵坐标 ( $U$ ) 不从零开始的情况，图线与横坐标的交点坐标小于短路电流，但直线斜率的绝对值仍等于电源的内阻。



## 17. 带电粒子在匀强磁场中的运动

### 【知识点的认识】

带电粒子在匀强磁场中的运动

1. 若  $v \parallel B$ ，带电粒子不受洛伦兹力，在匀强磁场中做匀速直线运动。

2. 若  $v \perp B$ ，带电粒子仅受洛伦兹力作用，在垂直于磁感线的平面内以入射速度  $v$  做匀速圆周运动。

3. 半径和周期公式：( $v \perp B$ )

<p><b>基本公式：</b></p> $qvB = m \frac{v^2}{R}$	$\rightarrow$	<p><b>导出公式：</b> 半径 <math>R = \frac{mv}{Bq}</math></p> <p>周期 <math>T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}</math></p>
---	---------------	---

**【命题方向】**

常考题型：带电粒子在匀强磁场中的匀速圆周运动

如图，半径为  $R$  的圆柱形匀强磁场区域的横截面（纸面），磁感应强度大小为  $B$ ，方向垂直于纸面向外。一电荷量为  $q$  ( $q > 0$ )、质量为  $m$  的粒子沿平行于直径  $ab$  的方向射入磁场区域，射入点与  $ab$  的距离为  $\frac{R}{2}$ 。已知粒子射出磁场与射入磁场时运动方向间的夹角为  $60^\circ$ ，则粒子的速率为（不计重力）（ ）

- A.  $\frac{qBR}{2m}$  B.  $\frac{qBR}{m}$  C.  $\frac{3qBR}{2m}$  D.  $\frac{2qBR}{m}$

**【分析】** 由题意利用几何关系可得出粒子的转动半径，由洛伦兹力充当向心力可得出粒子速度的大小；

解：由题，射入点与  $ab$  的距离为  $\frac{R}{2}$ ，则射入点与圆心的连线和竖直方向之间的夹角是  $30^\circ$ ，

粒子的偏转角是  $60^\circ$ ，即它的轨迹圆弧对应的圆心角是  $60^\circ$ ，所以入射点、出射点和圆心构成等边三角形，所以，它的轨迹的半径与圆形磁场的半径相等，即  $r = R$ 。轨迹如图：

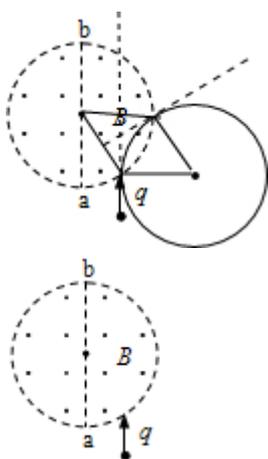
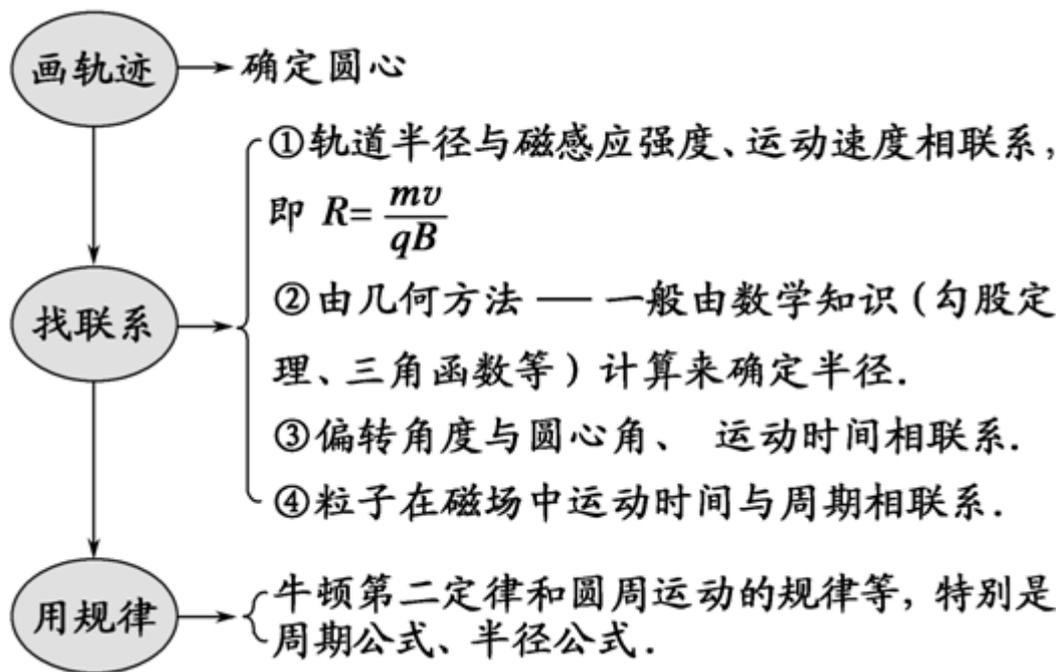
洛伦兹力提供向心力： $qvB = \frac{mv^2}{R}$ ，变形得： $v = \frac{qBR}{m}$ 。故正确的答案是 B。

故选：B。

**【点评】** 在磁场中做圆周运动，确定圆心和半径为解题的关键。

**【解题方法点拨】**

带电粒子在匀强磁场中的匀速圆周运动的分析方法。

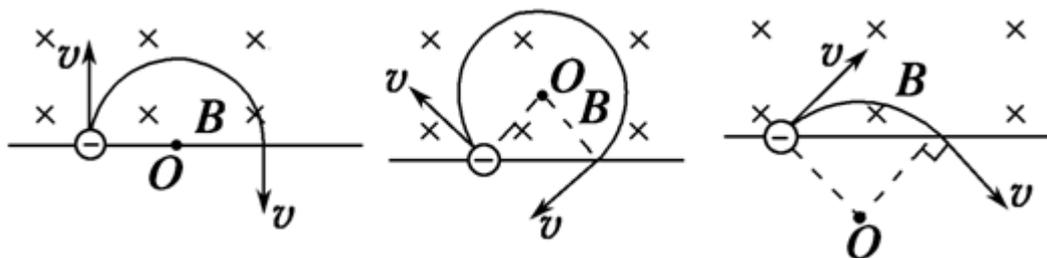


### 18. 带电粒子在有界磁场中的运动

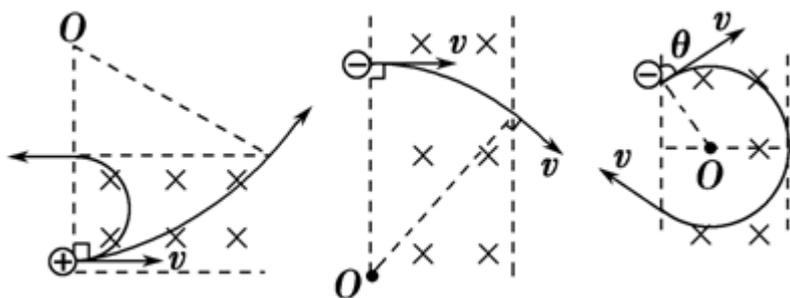
【知识点的认识】

一、带电粒子在有界磁场中的运动的几种情形

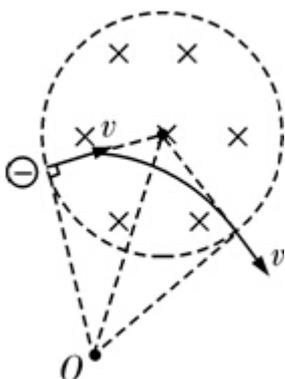
① 直线边界



② 平分边界



③圆形边界



④还有三角形边界、矩形边界等不再列举。

二.带电粒子在有界磁场中的常用几何关系

(1) 四个点：分别是入射点、出射点、轨迹圆心和入射速度直线与出射速度直线的交点。

(2) 三个角：速度偏转角、圆心角、弦切角，其中偏转角等于圆心角，也等于弦切角的 2 倍。

三.常见的解题思路

(1) 如何确定“圆心”

①由两点和两线确定圆心，画出带电粒子在匀强磁场中的运动轨迹。确定带电粒子运动轨迹上的两个特殊点（一般是射入和射出磁场时的两点），过这两点作带电粒子运动方向的垂线（这两垂线即为粒子在这两点所受洛伦兹力的方向），则两垂线的交点就是圆心，如图（a）所示。

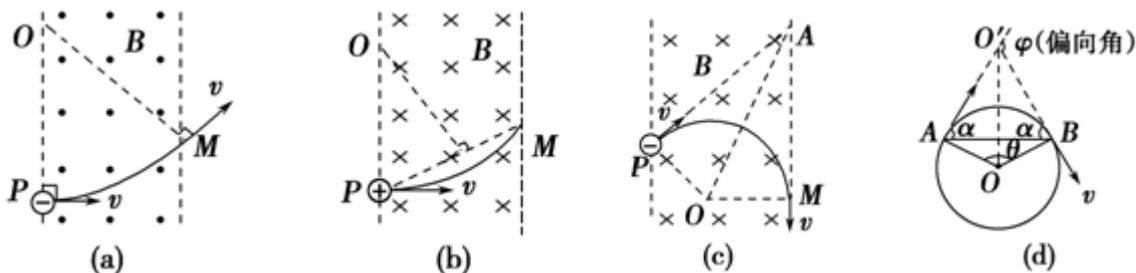
②若只已知过其中一个点的粒子运动方向，则除过已知运动方向的该点作垂线外，还要将这两点相连作弦，再作弦的中

垂线，两垂线交点就是圆心，如图（b）所示。

③若只已知一个点及运动方向，也知另外某时刻的速度方向，但不确定该速度方向所在的点，如图（c）

所示，此时要将其中一速度的延长线与另一速度的反向延长线相交成一角（ $\angle PAM$ ），画出该角的角平分线，它与已知点的速度的垂线

交于一点 O，该点就是圆心。



(2) 如何确定“半径”

方法一：由物理方程求：半径  $R = \frac{mv}{qB}$ ;

方法二：由几何方程求：一般由数学知识（勾股定理、三角函数等）计算来确定。

(3) 如何确定“圆心角与时间”

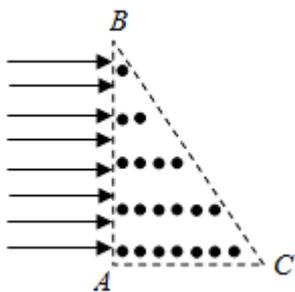
①速度的偏向角  $\varphi =$  圆弧所对应的圆心角（回旋角） $\theta = 2$  倍的弦切角  $\alpha$ ，如图（d）所示。

②时间的计算方法。

方法一：由圆心角求， $t = \frac{\theta}{2\pi} \cdot T$ ；方法二：由弧长求， $t = \frac{s}{v}$ 。

**【命题方向】**

如图所示，在直角三角形 ABC 内存在垂直纸面向外的匀强磁场， $AC = d$ ， $\angle B = 30^\circ$ 。现垂直 AB 边射入一群质量均为  $m$ 、电荷量均为  $q$ 、速度大小均为  $v$  的带正电粒子，已知垂直 AC 边射出的粒子在磁场中运动的时间为  $t$ ，而在磁场中运动的最长时间为  $\frac{4}{3}t$ （不计重力和粒子间的相互作用）。下列判断正确的是（ ）



A. 粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期为  $t$

B. 该匀强磁场的磁感应强度大小为  $\frac{\pi m}{2qt}$

C. 粒子在进入磁场时速度大小为  $\frac{\sqrt{3} \pi d}{5t}$

D. 粒子在磁场中运动的轨迹半径为  $\frac{2}{5}d$

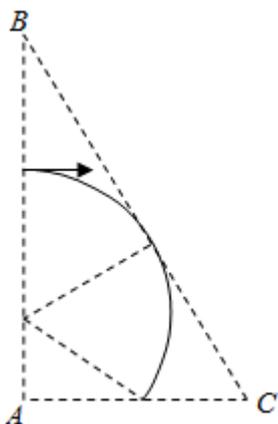
分析：带电粒子在磁场中做匀速圆周运动，垂直 AC 边射出的粒子在磁场中运动的时间是  $\frac{1}{4}$  周期，由此求

得周期；根据周期公式求出磁感应强度  $B$ ；经分析可知粒子在磁场中运动时间最长的情况是粒子垂直  $AB$  边入射后，轨迹恰好与  $BC$  边相切，画出运动时间最长的粒子在磁场中的运动轨迹，由几何知识求出轨道半径  $R$ ，根据洛伦兹力提供向心力即可求出粒子速度。

解：A、带电粒子在磁场中做匀速圆周运动，垂直  $AC$  边射出的粒子在磁场中运动的时间是  $\frac{T}{4}$ ，即为： $\frac{T}{4} = t$ ，则得周期为： $T = 4t$ ，故 A 错误；

B、由  $T = 4t$ ，根据周期公式可得  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ ，解得： $B = \frac{\pi m}{2qt}$ ，故 B 正确；

CD、由题意知粒子在磁场中运动的最长时间为  $\frac{4}{3}t$ ，则运动时间最长的粒子在磁场中运动转过的角度为  $\alpha = \frac{4}{3} \times 90^\circ = 120^\circ$ ，轨迹如图所示，



根据几何关系有： $AB = R \sin 30^\circ + \frac{R}{\sin 30^\circ} = AC \tan 60^\circ$ ，解得： $R = \frac{2\sqrt{3}d}{5}$ ；

根据粒子在磁场中运动的速度为： $v = \frac{2\pi R}{T}$ ，周期为  $T = 4t$ ，联立可得： $v = \frac{\sqrt{3}\pi d}{5t}$ ，故 C 正确、D 错误。

故选：BC。

点评：本题考查带电粒子在磁场中的运动，牢记半径公式和周期公式，解题的关键是要画出粒子轨迹过程图，确定圆心，利用几何方法求出半径。

### 【解题思路点拨】

由于带电粒子往往是在有界磁场中运动，粒子在磁场中只运动一段圆弧就飞出磁场边界，其轨迹不是完整的圆，因此，此类问题往往要根据带电粒子运动的轨迹作相关图去寻找几何关系，分析临界条件，然后应用数学知识和相应物理规律分析求解。

#### (1) 两种思路

①以定理、定律为依据，首先求出所研究问题的一般规律和一般解的形式，然后再分析、讨论临界条件下

的特殊规律和特殊解；

②直接分析、讨论临界状态，找出临界条件，从而通过临界条件求出临界值。

（2）两种方法

物理方法：

①利用临界条件求极值；

②利用问题的边界条件求极值；

③利用矢量图求极值。

数学方法：

①利用三角函数求极值；

②利用二次方程的判别式求极值；

③利用不等式的性质求极值；

④利用图象法等。

（3）从关键词中找突破口：许多临界问题，题干中常用“恰好”、“最大”、“至少”、“不相撞”、“不脱离”等词语对临界状态给以暗示。审题时，一定要抓住这些特定的词语挖掘其隐藏的规律，找出临界条件。

## 19. 法拉第电磁感应定律

【知识点的认识】

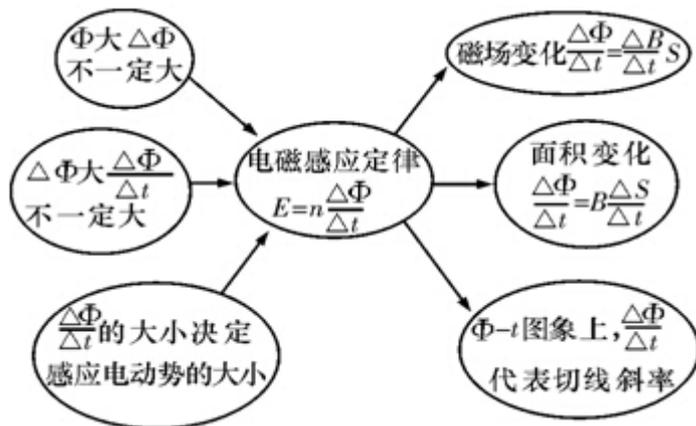
### 1. 法拉第电磁感应定律

（1）内容：电路中感应电动势的大小，跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。

（2）公式： $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。

【解题方法点拨】

### 1. 对法拉第电磁感应定律的理解



2. 计算感应电动势的公式有两个：一个是  $E=n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ ，一个是  $E=Blv\sin\theta$ ，计算时要能正确选用公式，一般求平均电动势选用  $E=n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ ，求瞬时电动势选用  $E=Blv\sin\theta$ 。

3. 电磁感应现象中通过导体横截面的电量的计算：由  $q=I\cdot\Delta t$ ， $I=\frac{E}{R_{\text{总}}}$ ， $E=n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ ，可导出电荷量  $q$

$$=n\frac{\Delta\phi}{R_{\text{总}}}.$$

## 20. 导体切割磁感线时产生的感应电动势

### 【知识点的认识】

2. 导体切割磁感线的情形以及感应电动势

(1) 一般情况：运动速度  $v$  和磁感线方向夹角为  $\theta$ ，则  $E=Blv\sin\theta$ 。

(2) 常用情况：运动速度  $v$  和磁感线方向垂直，则  $E=Blv$ 。

(3) 导体棒在磁场中转动

导体棒以端点为轴，在匀强磁场中垂直于磁感线方向匀速转动产生感应电动势  $E=Blv=\frac{1}{2}Bl^2\omega$ （平均速度等于中点位置线速度  $\frac{1}{2}l\omega$ ）。

### 【命题方向】

题型一：导体切割磁感线产生感应电动势的分析与计算

如图所示，三角形金属导轨 EOF 上放一金属杆 AB，在外力作用下使 AB 保持与 OF 垂直，以速度  $v$  从 O 点开始右移，设导轨和金属棒均为粗细相同的同种金属制成，则下列说法正确的是（ ）

- A. 电路中的感应电动势大小不变
- B. 电路中的感应电动势逐渐增大
- C. 电路中的感应电流大小不变
- D. 电路中的感应电流逐渐减小

分析：感应电动势大小根据公式  $E=BLv$ ， $L$  是有效的切割长度分析；要判断感应电流，先由电阻定律分析回路中电阻中如何变化，再根据欧姆定律分析。

解答：设导轨和金属棒单位长度的电阻为  $r$ 。  $\angle EOF=\alpha$ 。

A、B 从 O 点开始金属棒运动时间为  $t$  时，有效的切割长度  $L=vt\cdot\tan\alpha$ ，感应电动势大小  $E=BLv=Bvt\cdot\tan\alpha\cdot v\propto t$ ，则知感应电动势逐渐增大，故 A 错误，B 正确。

C、D 根据电阻定律得 t 时刻回路中总电阻为  $R = \left( vt + vt \cdot \tan \alpha + \frac{vt}{\cos \alpha} \right) r = \frac{Bv^2 t \cdot \tan \alpha}{\left( vt + vt \cdot \tan \alpha + \frac{vt}{\cos \alpha} \right) r}$

感应电流大小为  $I = \frac{E}{R} = \frac{Bv^2 t \cdot \tan \alpha}{\left( vt + vt \cdot \tan \alpha + \frac{vt}{\cos \alpha} \right) r} \cdot \frac{1}{r} = \frac{Bv^2 \tan \alpha}{\left( v + v \tan \alpha + \frac{v}{\cos \alpha} \right) r}$  与 t 无关，说明感应电

流大小不变，故 C 正确，D 错误。

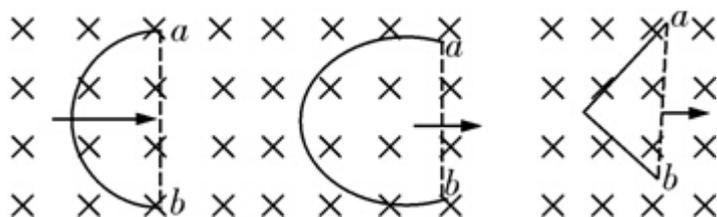
故选：BC。

点评：本题关键要抓住感应电流既与感应电动势有关，还与回路中的电阻有关，根据物理规律推导解析式，再进行分析。

**【解题方法点拨】**

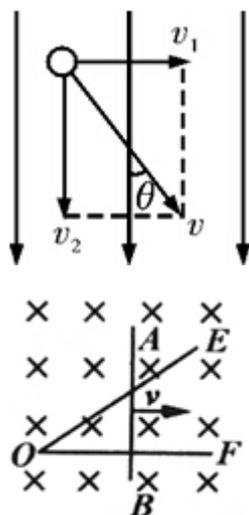
闭合或不闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动时，导体两端将产生感应电动势。如果电路闭合，电路中形成感应电流。切割磁感线运动的那部分导体相当于电路中的电源。常见的情景有以下几种：

1. 在  $E=BLv$  中（要求  $B \perp L$ 、 $B \perp v$ 、 $L \perp v$ ，即  $B$ 、 $L$ 、 $v$  三者两两垂直），式中的  $L$  应该取与  $B$ 、 $v$  均垂直的有效长度（所谓导体的有效切割长度，指的是切割导体两端点的连线在同时垂直于  $v$  和  $B$  的方向上的投影的长度，下图中的有效长度均为  $ab$  的长度）。



2. 公式  $E=BLv$  中，若速度  $v$  为平均速度，则  $E$  为平均电动势；若  $v$  为瞬时速度，则  $E$  为瞬时电动势。

3. 若导体不是垂直切割磁感线运动， $v$  与  $B$  有一夹角，如图所示，则  $E=Blv_1=Blv \sin \theta$ 。



## 21. 电磁感应中的动力学问题

### 【知识点的认识】

1.模型概述：该模型考查的是电磁感应定律与运动学的联系，一般要结合牛顿第二定律，分析物体的速度与受力情况。

2.两种状态处理

(1) 导体处于平衡态——静止或匀速直线运动状态。

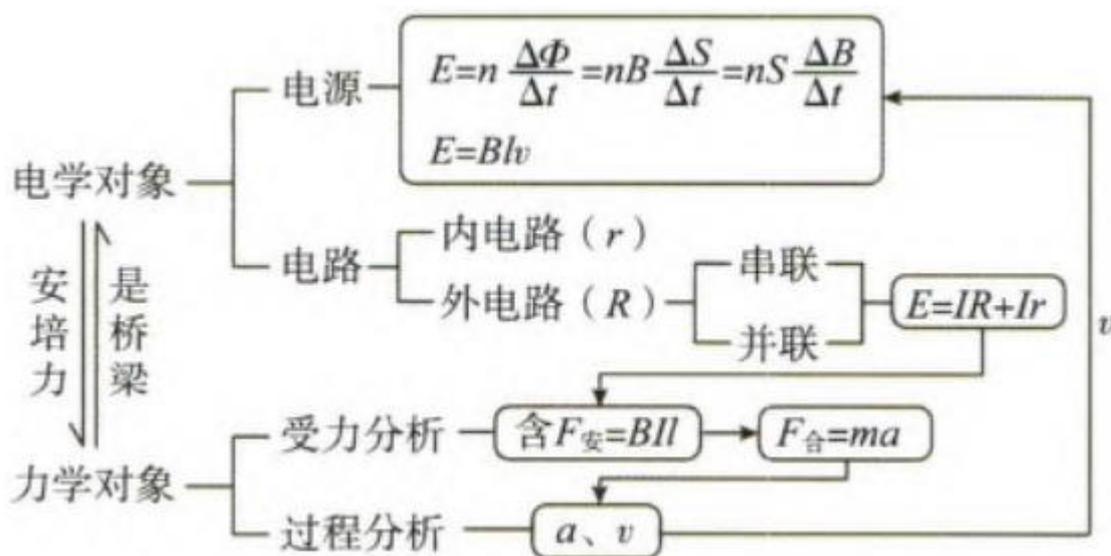
处理方法：根据平衡条件合外力等于零列式分析。

(2) 导体处于非平衡态——加速度不为零。

处理方法：根据牛顿第二定律进行动态分析，或结合功能关系分析。

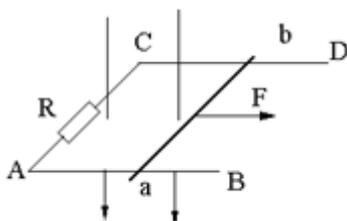
3.两大研究对象及其关系

电磁感应中导体棒既可看作电学对象（因为它相当于电源），又可看作力学对象（因为感应电流产生安培力），而感应电流  $I$  和导体棒的速度  $v$  则是联系这两大对象的纽带：



### 【命题方向】

如图所示，在竖直向下的磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中，有两根水平放置且足够长的平行金属导轨  $AB$ 、 $CD$ ，间距为  $L$ ，在导轨的  $AC$  端连接一阻值为  $R$  的电阻，一根质量为  $m$  的金属棒  $ab$ ，垂直导轨放置，导轨和金属棒的电阻不计。金属棒与导轨间的动摩擦因数为  $\mu$ ，若用恒力  $F$  沿水平向右拉导体棒运动，求金属棒的最大速度。



分析：金属棒  $ab$  从静止开始沿导轨滑动，从而产生感应电流，出现安培力，金属棒先做加速度逐渐减小的加速运动，后做匀速运动。根据  $E=BLv$ 、 $I=\frac{E}{R}$  和  $F=BIL$  推导出安培力公式，当加速度减小到 0 时，达到最大速度，由平衡条件求出最大速度。

解答：经分析知，棒向右运动时切割磁感线，产生动生电动势，由右手定则知，棒中有  $ab$  方向的电流，再由左手定则可知，安培力向左，棒受到的合力在减小，向右做加速度逐渐减小的加速运动，当安培力与摩擦力的合力增大到大小等于拉力时，则加速度减小到 0 时，达到最大速度，此时：

$$F = \mu mg + BIL$$

$$\text{又 } I = \frac{BLv}{R}$$

$$\text{解得 } v_m = \frac{(F - \mu mg) R}{B^2 L^2}$$

$$\text{答：金属棒的最大速度 } \frac{(F - \mu mg) R}{B^2 L^2}$$

点评：本题要根据牛顿定律分析金属棒的运动情况，分析和计算安培力是关键，注意另忘记棒受到摩擦力作用。

### 【命题思路点拨】

电磁感应和力学问题的综合，其联系桥梁是磁场对感应电流的安培力。这类问题中的导体一般不是做匀变速运动，而是经历一个动态变化过程再趋于一个稳定状态，故解这类问题时正确进行动态分析、确定最终状态是解题的关键。

## 22. 光的折射及折射定律

### 【知识点的认识】

#### 一、光的折射

1. 光的折射现象：光射到两种介质的分界面上时，一部分光进入到另一种介质中去，光的传播方向发生改变的现象叫做

光的折射。

2. 光的折射定律：折射光线与入射光线、法线处于同一平面内，折射光线与入射光线分别位于法线两侧，入射角的正弦与折射角的正弦成正比。

3. 在折射现象中，光路是可逆的。

4. 折射率：光从真空射入某种介质发生折射时，入射角  $\theta_1$  的正弦与折射角  $\theta_2$  的正弦之比，叫做介质的绝对折射率，简称折射率。表示为  $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ 。

实验证明，介质的折射率等于光在真空中与在该介质中的传播速度之比，即  $n = \frac{c}{v}$ 。任何介质的折射率都大于 1，两种介质相比较，折射率较大的介质叫做光密介质，折射率较小的介质叫做光疏介质。

5. 相对折射率

光从介质 I（折射率为  $n_1$ 、光在此介质中速率为  $v_1$ ）斜射入介质 II（折射率为  $n_2$ 、光在此介质中的速率为  $v_2$ ）发生折射时，入射角的正弦跟折射角的正弦之比，叫做 II 介质相对 I 介质的相对折射率。用  $n_{21}$  表示。

$$n_{21} = \frac{\sin \angle 1}{\sin \angle 2}$$

II 介质相对 I 介质的相对折射率又等于 II 介质的折射率  $n_2$  跟 I 介质的折射率  $n_1$  之比，即  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ 。

由以上两式，可得到光的折射定律的一般表达式是： $n_1 \sin \angle 1 = n_2 \sin \angle 2$  或  $n_1 v_1 = n_2 v_2$ 。

### 【命题方向】

题型一：光的折射定律的应用

如图所示，直角三棱镜 ABC 的一个侧面 BC 紧贴在平面镜上， $\angle BAC = \beta$ 。从点光源 S 发出的细光束 SO 射到棱镜的另一侧面 AC 上，适当调整入射光 SO 的方向，当 SO 与 AC 成  $\alpha$  角时，其折射光与镜面发生一次反射，从 AC 面射出后恰好与 SO 重合，则此棱镜的折射率为（ ）

分析：由题意可知从 AC 面出射的光线与入射光线 SO 恰好重合，因此根据光路可逆可知 SO 的折射光线是垂直于 BC 的，然后根据折射定律即可求解折射率。

解答：作出光路图，依题意可知光垂直 BC 反射才能从 AC 面射出后恰好与 SO 重合，则光在 AC 面的入射角为  $90^\circ - \alpha$ ，

由几何关系可知折射角为： $r = 90^\circ - \beta$ 。

根据折射定律： $n = \frac{\sin(90^\circ - \alpha)}{\sin(90^\circ - \beta)} = \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$ ，故 A 正确，BCD 错误。

故选：A。

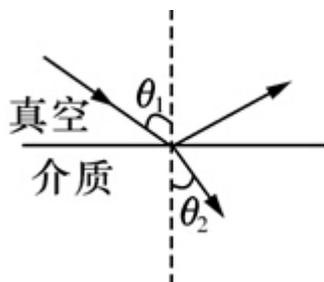
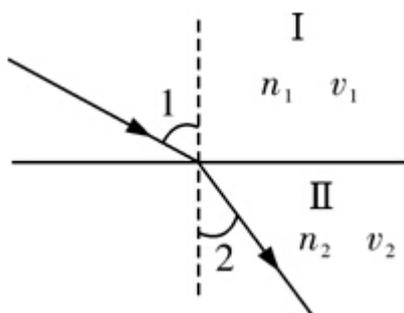
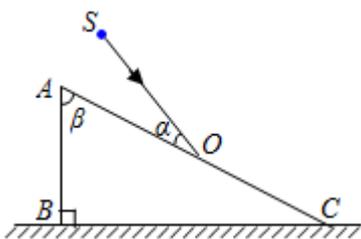
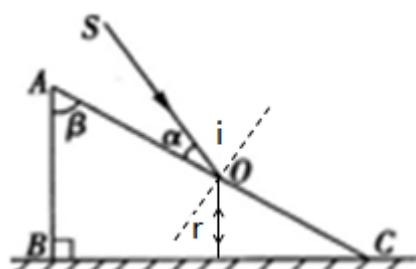
点评：解决几何光学问题的关键是根据题意正确画出光路图，然后根据几何关系以及相关物理知识求解。

**【解题方法点拨】**

光的折射问题，解题的关键在于正确画出光路图、找出几何关系。

解题的一般步骤如下：

- (1) 根据题意正确画出光路图；
- (2) 根据几何知识正确找出角度关系；
- (3) 依光的折射定律列式求解。



**23. 压强及封闭气体压强的计算**

**【知识点的认识】**

**1. 气体压强的特点**

- (1) 气体自重产生的压强一般很小，可以忽略。但大气压强  $P_0$  却是一个较大的数值（大气层重力产生），

不能忽略。

（2）密闭气体对外加压强的传递遵守帕斯卡定律，即外加压强由气体按照原来的大小向各个方向传递。

## 2. 封闭气体压强的计算

（1）理论依据

①液体压强的计算公式  $p=\rho gh$ 。

②液面与外界大气相接触。则液面下  $h$  处的压强为  $p=p_0+\rho gh$

③帕斯卡定律：加在密闭静止液体（或气体）上的压强能够大小不变地由液体（或气体）向各个方向传递

（注意：适用于密闭静止的液体或气体）

④连通器原理：在连通器中，同一种液体（中间液体不间断）的同一水平面上的压强是相等的。

（2）计算的方法步骤（液体密封气体）

①选取假想的一个液体薄片（其自重不计）为研究对象

②分析液体两侧受力情况，建立力的平衡方程，消去横截面积，得到液片两面侧的压强平衡方程

③解方程，求得气体压强

## 24. 气体的等压变化及盖-吕萨克定律

【知识点的认识】

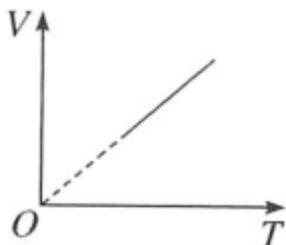
1.等压变化：一定质量的某种气体，在压强不变时，体积随温度变化的过程。

2.盖一吕萨克定律

（1）文字表述：一定质量的某种气体，在压强不变的情况下，其体积  $V$  与热力学温度  $T$  成正比。

（2）②表达式： $V=CT$ （其中  $C$  是常量），或  $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$ 。

3.图像表达



4.适用条件：气体的质量一定，压强不变且不太大（等于或小于几个大气压），温度不太低（不低于零下几十摄氏度）。

5.在摄氏温标下，盖一吕萨克定律的表述

一定质量的某种气体，在压强不变的情况下，温度每升高（或降低） $1^{\circ}\text{C}$ ，增大（或减小）的体积等于它

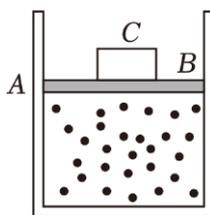
在  $0^{\circ}\text{C}$  时体积的  $\frac{1}{273}$ 。

数学表达式为  $\frac{V_t - V_0}{t} = \frac{V_0}{273}$  或  $V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273}t\right)$ 。

6.推论：一定质量的气体，从初状态（ $V$ 、 $T$ ）开始，发生等压变化，其体积变化  $\Delta V$  和温度的变化  $\Delta T$  间的关系为  $\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{V}{T}$  或  $\Delta V = \frac{\Delta T}{T} V$ 。

**【命题方向】**

如图所示，汽缸 A 中封闭有一定质量的气体，活塞 B 与 A 的接触是光滑的且不漏气，B 上放一重物 C，B 与 C 的总重力为  $G$ ，大气压为  $p_0$ 。当汽缸内气体温度是  $20^{\circ}\text{C}$  时，活塞与汽缸底部距离为  $h_1$ ；当汽缸内气



体温度是  $100^{\circ}\text{C}$  时活塞与汽缸底部的距离是多少？

分析：气缸内的发生等压变化，列出初末状态的状态参量，根据盖 - 吕萨克定律列式求解；注意公式的  $T$  为热力学温度。

解答：汽缸内气体温度发生变化时，汽缸内气体的压强保持不变，大小为  $p = p_0 + \frac{G}{S}$ ，其中  $S$  为活塞的横截面积。

以汽缸内气体为研究对象，初状态温度  $T_1 = (273 + 20) \text{ K}$ ，体积  $V_1 = h_1 S$ ；末状态温度  $T_2 = (273 + 100) \text{ K} = 373 \text{ K}$ 。

由盖 - 吕萨克定律可得  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

求得  $V_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1 = \frac{T_2}{T_1} h_1 S$

变化后活塞与汽缸底部的距离

$$h_2 = \frac{V_2}{S} = \frac{373}{293} h_1 \approx 1.3 h_1。$$

答：当汽缸内气体温度是  $100^{\circ}\text{C}$  时活塞与汽缸底部的距离是  $1.3 h_1$ 。

点评：本题考查气体实验定律的应用，关键是列出初末状态的状态参量，选择合适的实验定律，注意温度要化成热力学温度。

### 【解题思路点拨】

应用盖 - 吕萨克定律解题的一般步骤

- (1) 确定研究对象，即某被封闭气体。
- (2) 分析气体状态变化过程，明确初、末状态，确在气体状态变化过程中气体的质量和压强保持不变。
- (3) 分别找出初、末两个状态的温度和体积。
- (4) 根据盖 - 吕萨克定律列方程求解。
- (5) 分析所求结果是否合理。

## 25. 理想气体及理想气体的状态方程

### 【知识点的认识】

理想气体的状态方程

#### (1) 理想气体

①宏观上讲，理想气体是指在任何条件下始终遵守气体实验定律的气体，实际气体在压强不太大、温度不太低的条件下，可视为理想气体。

②微观上讲，理想气体的分子间除碰撞外无其他作用力，分子本身没有体积，即它所占据的空间认为都是可以压缩的空间。

#### (2) 理想气体的状态方程

一定质量的理想气体状态方程： $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$  或  $\frac{pV}{T} = C$ 。

气体实验定律可看作一定质量理想气体状态方程的特例。

### 【命题方向】

题型一：气体实验定律和理想气体状态方程的应用

如图，两个侧壁绝热、顶部和底部都导热的相同气缸直立放置，气缸底部和顶部均有细管连通，顶部的细管带有阀门 K。两气缸的容积均为  $V_0$ ，气缸中各有一个绝热活塞（质量不同，厚度可忽略）。开始时 K 关闭，两活塞下方和右活塞上方充有气体（可视为理想气体），压强分别为  $p_0$  和  $\frac{p_0}{3}$ ；左活塞在气缸正中间，其上方为真空；右活塞上方气体体积为  $\frac{V_0}{4}$ 。现使气缸底与一恒温热源接触，平衡后左活塞升至气缸顶部，且与顶部刚好没有接触；然后打开 K，经过一段时间，重新达到平衡。已知外界温度为  $T_0$ ，不计活塞与气缸壁间的摩擦。求：

- (i) 恒温热源的温度 T；

(ii) 重新达到平衡后左气缸中活塞上方气体的体积  $V_x$ 。

分析：(i) 两活塞下方封闭的气体等压变化，利用盖吕萨克定律列式求解；

(ii) 分别以两部分封闭气体，利用玻意耳定律列式求解。

解：(i) 与恒温热源接触后，在  $K$  未打开时，右活塞不动，两活塞下方的气体经历等压过程，

$$\text{由盖吕·萨克定律得：} \frac{T}{T_0} = \frac{\frac{7V_0}{4}}{\frac{4}{5V_0}} \quad \textcircled{1}$$

$$\text{解得 } T = \frac{7}{5}T_0 \quad \textcircled{2}$$

(ii) 由初始状态的力学平衡条件可知，左活塞的质量比右活塞的大。打开  $K$  后，右活塞必须升至气缸顶部才能满足力学平衡条件。

气缸顶部与外界接触，底部与恒温热源接触，两部分气体各自经历等温过程，设在活塞上方气体压强为  $p$ ，

由玻意耳定律得

$$pV_x = \frac{p_0}{3} \cdot \frac{V_0}{4} \quad \textcircled{3}$$

$$\text{对下方气体由玻意耳定律得：} (p+p_0)(2V_0 - V_x) = p_0 \cdot \frac{7V_0}{4} \quad \textcircled{4}$$

$$\text{联立} \textcircled{3} \textcircled{4} \text{式得 } 6V_x^2 - V_0V_x - V_0^2 = 0$$

$$\text{解得 } V_x = \frac{V_0}{2}$$

$$V_x = -\frac{V_0}{3} \text{ 不合题意，舍去。}$$

答：

(i) 恒温热源的温度  $T = \frac{7}{5}T_0$ ；

(ii) 重新达到平衡后左气缸中活塞上方气体的体积  $V_x = \frac{V_0}{2}$

点评：本题涉及两部分气体状态变化问题，除了隔离研究两部分之外，关键是把握它们之间的联系，比如体积关系、温度关系及压强关系。

#### 题型二：理想气体状态方程与热力学第一定律的综合问题

密闭在钢瓶中的理想气体，温度升高时压强增大。从分子动理论的角度分析，这是由于分子热运动的 平

均动能 增大了。该气体在温度  $T_1$ 、 $T_2$  时的分子速率分布图象如图所示，则  $T_1$  小于  $T_2$ （选填“大于”或“小于”）。

分析：温度是分子平均动能的标志，温度升高平均动能增大，体积不变时，气体的内能由平均动能决定。

解：密闭在钢瓶中的理想气体体积不变，温度升高时分子平均动能增大压强增大。温度升高时，速率大的分子所占比重较大  $T_1 < T_2$ 。

答案为：平均动能，小于

点评：本题考查了温度是分子平均动能的标志，温度升高平均动能增大。

### 【解题方法点拨】

1（对应题型一）。运用气体实验定律和理想气体状态方程解题的一般步骤：

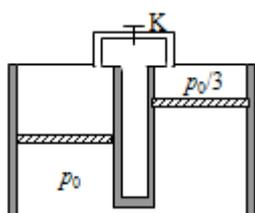
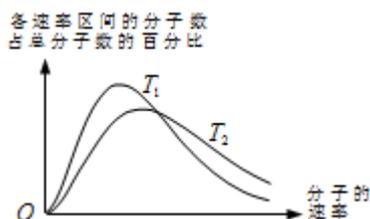
- （1）明确所研究的气体状态变化过程；
- （2）确定初、末状态压强  $p$ 、体积  $V$ 、温度  $T$ ；
- （3）根据题设条件选择规律（实验定律或状态方程）列方程；
- （4）根据题意列辅助方程（如压强大小的计算方程等）
- （5）联立方程求解。

2（对应题型二）。解答理想气体状态方程与热力学第一定律的综合问题的关键在于找到两个规律之间的联系，弄清气体状态变化过程中各状态量的变化情况。

两个规律的联系在于气体的体积  $V$  和温度  $T$ ，关系如下：

（1）体积变化对应气体与外界做功的关系：体积增大，气体对外界做功，即  $W < 0$ ；体积减小，外界对气体做功，即  $W > 0$ 。

（2）理想气体不计分子间作用力，即不计分子势能，故内能只与温度有关：温度升高，内能增大，即  $\Delta U > 0$ ；温度降低，内能减小，即  $\Delta U < 0$ 。



## 26. 热力学第一定律及其应用

### 【知识点的认识】

#### 热力学第一定律

1. 内容：如果物体跟外界同时发生做功和热传递的过程，那么外界对物体做的功  $W$  加上物体从外界吸收的热量  $Q$  等于物体内能的增加  $\Delta U$ 。

2. 公式： $W+Q=\Delta U$ 。

3. 符号法则：

①物体吸热  $\rightarrow Q$  取正；物体放热  $\rightarrow Q$  取负；

②物体对外界做功， $W$  取负；外界对物体做功， $W$  取正；

③物体内能增加， $\Delta U$  取正；物体内能减小， $\Delta U$  取负；

### 【命题方向】

(1) 常考题型考查对概念的理解：

对一定量的气体，下列说法正确的是（ ）

- A. 气体的体积是所有气体分子的体积之和
- B. 气体分子的热运动越激烈，气体的温度就越高
- C. 气体对器壁的压强是由大量分子对器壁的碰撞产生的
- D. 当气体膨胀时，气体分子之间的势能减少，因而气体的内能减少

分析：根据气体分子间空隙很大，分析气体的体积与所有气体分子的体积之和的关系。根据温度的微观含义、压强产生的微观机理分析。根据内能的概念分析气体膨胀时内能如何变化。

解答：A、气体分子间空隙很大，气体的体积大于所有气体分子的体积之和。故 A 错误。

B、温度的微观含义是反映物体内分子的热运动剧烈程度，温度越高，分子热运动越剧烈。故 B 正确。

C、气体的压强产生的机理是由大量气体分子对器壁不断碰撞而产生的，故 C 正确。

D、当气体膨胀时，气体分子之间的距离增大，但温度的变化无法判断，所以内能变化无法判断。故 D 错误

故选 BC。

点评：本题考查了热力学第一定律的应用，温度是平均动能的标志，分子动理论的内容。

(2) 如图是密闭的气缸，外力推动活塞 P 压缩气体，对缸内气体做功 800J，同时气体向外界放热 200J，缸内气体的（ ）

- A. 温度升高，内能增加 600J

B. 温度升高，内能减少 200J

C. 温度降低，内能增加 600J

D. 温度降低，内能减少 200J

分析：已知做功和热传递的数据，根据热力学第一定律可求得气体内能的改变量及温度的变化。解答：解：

由热力学第一定律可知： $\Delta U=W+Q$

外界对气体做功， $W=800J$ ；气体向外散热，故  $Q=-200J$ ；

故  $\Delta U=800-200J=600J$ ；

气体内能增加，则温度升高；

故选 A。

点评：热力学第一定律在应用时一定要注意各量符号的意义； $\Delta U$  的正表示内能增加， $Q$  为正表示物体吸热， $W$  为正表示外界对物体做功。

### 【解题方法点拨】

对热力学第一定律的理解

1. 热力学第一定律不仅反映了做功和热传递这两种方式改变内能的过程是等效的，而且给出了内能的变化量和做功与热传递之间的定量关系。此定律是标量式，应用时热量的单位应统一为国际单位制中的焦耳。

2. 对公式  $\Delta U=Q+W$  符号的规定。

符号	W	Q	$\Delta U$
+	外界对物体做功	物体吸收热量	内能增加
-	物体对外界做功	物体放出热量	内能减少

3. 几种特殊情况

(1) 若过程是绝热的，则  $Q=0$ ， $W=\Delta U$ ，外界对物体做的功等于物体内能的增加。

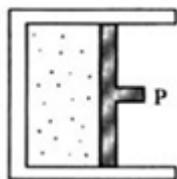
(2) 若过程中不做功，即  $W=0$ ，则  $Q=\Delta U$ ，物体吸收的热量等于物体内能的增加。

(3) 若过程的始末状态物体的内能不变，即  $\Delta U=0$ ，则  $W+Q=0$  或  $W=-Q$ 。外界对物体做的功等于物体放出的热量。

注意：

①应用热力学第一定律时要明确研究的对象是哪个物体或者是哪个热力学系统。

②应用热力学第一定律计算时，要依照符号法则代入数据。对结果的正、负也同样依照规则来解释其意义。

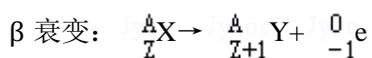
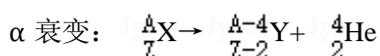


## 27. 原子核的衰变及半衰期、衰变速度

### 【知识点的认识】

1. 原子核放出  $\alpha$  粒子或  $\beta$  粒子，变成另一种原子核的变化称为原子核的衰变。

2. 分类



3. 半衰期：放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间。半衰期由核内部本身的因素决定，跟原子所处的物理或化学状态无关。如果放射性元素初始时刻的质量为  $m_0$ ，它的半衰期是  $T$ ，则经过时间  $t$ ，剩

下的放射性元素的质量  $m = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} m_0$ 。

### 【解题方法点拨】

1. 原子核衰变规律

衰变类型	$\alpha$ 衰变	$\beta$ 衰变
衰变方程	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e$
衰变实质	2个质子和2个中子结合成一个整体 射出	一个中子转化为一个质子和一个电子
	$2 {}_1^1\text{H} + 2 {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_2^4\text{He}$	${}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^1\text{H} + {}_{-1}^0e$
衰变规律	电荷数守恒、质量数守恒、动量守恒	

确定衰变次数的方法

(1) 设放射性元素  ${}_Z^AX$  经过  $n$  次  $\alpha$  衰变和  $m$  次  $\beta$  衰变后，变成稳定的新元素  ${}_{Z'}^{A'}Y$ ，则表示该核反应的方程为  ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z'}^{A'}Y + n {}_2^4\text{He} + m {}_{-1}^0e$

根据电荷数守恒和质量数守恒可列方程  $A = A' + 4n$ ， $Z = Z' + 2n - m$

(2) 确定衰变次数，因为  $\beta$  衰变对质量数无影响，先由质量数的改变确定  $\alpha$  衰变的次数，然后再根据  $\beta$

衰变规律确定  $\beta$  衰变的次数.

## 28. 用单摆测定重力加速度

### 【知识点的认识】

#### 1. 单摆测定重力加速度.

##### (1) 实验原理

一个小球和一根细线就可以组成一个单摆. 单摆在摆角很小的情况下做简谐运动. 单摆的周期与振幅、摆球的质量无关. 与摆长的二次方根成正比. 与重力加速度的二次方根成反比. 单摆做简谐运动时, 其周期

为:  $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ , 固有:  $g=\frac{4\pi^2}{T^2}L$ . 因此只要测出单摆的摆长  $L$  和振动周期  $T$ , 就可以求出当地的重力

加速度  $g$  的值, 并可研究单摆的周期跟摆长的关系.

##### (2) 实验器材

带孔小钢球一个, 约 1m 长的细线一条, 铁架台, 米尺, 秒表, 游标卡尺.

##### (3) 实验内容.

①取约 1m 长的细线穿过带孔的小钢球, 并打一个比小孔大一些的结, 然后拴在桌边的支架上, 如图所示.

②用米尺量出悬线长  $L'$ , 准确到毫米; 用游标卡尺测摆球直径, 算出半径  $r$ , 也准确到毫米. 则单摆的摆长为  $L' + r$ .

③把单摆从平衡位置拉开一个很小的角度 (例如不超过  $10^\circ$ ), 然后放开小球让它摆动, 用停表测量单摆完成 30 次全振动 (或 50 次) 所用的时间, 求出完成一次全振动所需要的时间, 这个平均时间就是单摆的周期.

④把测得的周期和摆长的数值代入公式  $g=\frac{4\pi^2}{T^2}L$ , 求出重力加速度  $g$  的值.

⑤改变摆长, 重做几次实验. 设计一个表格, 把测得的数据和计算结果填入表格中, 计算出每次实验的重力加速度. 最后求出几次实验得到的重力加速度的平均值, 即可看作本地区的重力加速度.

⑥原始数据记录样表.

#### 1、对同一单摆长度多次进行测量周期

名称 次数	球的直径d (mm)	线长/ (m)	30T (s)
1			
2			
3			

#### 2、研究周期 T 与单摆长度的关系

	摆长L (m)	30T (s)
1		
2		
3		
4		
5		

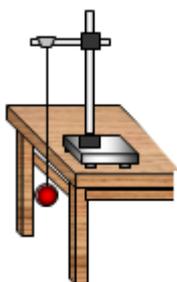
## 2. 注意事项

- ①选择材料时应选择细轻又不易伸长的线，长度一般在 1m 左右，小球应选用密度较大的金属球，直径应较小，最好不超过 2cm；
- ②单摆悬线的上端不可随意卷在铁夹的杆上，应夹紧在铁夹中，以免摆动时发生摆线下滑或悬点不固定，摆长改变的现象；
- ③注意摆动时摆角不宜过大，不能超过  $10^\circ$ ，以保证单摆做简谐运动；
- ④摆球摆动时，要使之保持在同一个竖直平面内，不要形成圆锥摆。
- ⑤测量应在摆球通过平衡位置时开始计时，因为在此位置摆球速度最大，易于分辨小球过此位置的时刻；画出单摆的平衡位置，作为记时的参照点。必须是摆球同方向经过平衡位置记一次数。
- ⑥测量单摆的摆长时应使摆球处于自然下垂状态，用米尺测量出摆线的长度，再用游标卡尺测出摆球的直径，然后算出摆长。

## 3. 秒表的使用和读数：

秒表的读数等于内侧分针的读数与外侧秒针的读数之和。

注意：当内侧分针没有超过半格时，外侧秒针读小于 30 的数字。超过半格时，外侧秒针读大于 30 的数字。机械式停表只能精确到 0.1s，读数时不需估读。



## 29. 电池电动势和内阻的测量

### 【知识点的认识】

#### 一、实验目的

1. 测定电源的电动势和内阻。
2. 认识电源输出电压随电流变化的图象。

#### 二、实验原理

1. 实验电路图如图所示
2. 电动势与内阻的求解

##### (1) 计算法

由  $U = E - Ir$  可得 
$$\begin{cases} U_1 = E - I_1 r \\ U_2 = E - I_2 r \end{cases}$$

解得 
$$\begin{cases} E = \frac{I_1 U_2 - I_2 U_1}{I_1 - I_2} \\ r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} \end{cases}$$

(2) 图象法

作出  $U - I$  图象，利用图象求

解，如图所示。

①图线与纵轴交点为  $E$ 。图线与横轴交点为短路电流， $I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$ 。

②由图线的斜率可求电源内阻  $r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|$ 。

三、实验器材

电池（待测电源）、电压表、电流表、滑动变阻器、开关、导线和坐标纸。

四、实验步骤

1. 连接电路：确定电流表、电压表的量程，按照电路原理图把器材连接好。
2. 测量数据：闭合开关，调节变阻器，使电流表有明显示数，记录一组电压表和电流表的读数，用同样方法测量并记录几组  $I$ 、 $U$  值。

	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组	第 5 组	第 6 组
$U/V$						
$I/A$						

3. 整理器材：断开开关，整理好器材。
4. 数据处理：算法或在坐标纸上作  $U - I$  图，求出  $E$ 、 $r$ 。

五、注意事项

1. 为了使电池的路端电压变化明显，电池的内阻宜大些（选用已使用过一段时间的 1 号干电池）。
2. 干电池在大电流放电时极化现象较严重，电动势  $E$  会明显下降，内阻  $r$  会明显增大，故长时间放电时电流不宜超过 0.3A，短时间放电时电流不宜超过 0.5A。因此，实验中不要将  $R$  调得过小，读电表示数要快，每次读完应立即断电。

3. 要测出不少于 6 组  $I$ 、 $U$  数据，且变化范围要大些。用方程组求解时，要将测出的  $I$ 、 $U$  数据中，第 1 和第 4 为一组、第 2 和第 5 为一组、第 3 和第 6 为一组，分别解出  $E$ 、 $r$  值再取平均值。

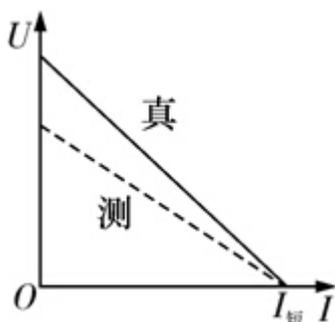
4. 在画  $U-I$  图线时，要使较多的点落在这条直线上或使各点均匀分布在直线的两侧。个别偏离直线太远的点可舍去不予考虑。这样就可使偶然误差得到部分抵消，从而提高测量的精度。

### 六、误差分析

1. 每次读完电表示数没有立即断电，造成  $E$ 、 $r$  变化。

2. 测量电路存在系统误差，实验电路采用电流表内接法时， $I_{真}=I_{测}+I_V$ ，未考虑电压表的分流，实验电路电流表外接法时，电路中  $U_{真}=U_{测}+U_A$ ，未考虑  $U_A$ 。

3. 用图象法求  $E$ 、 $r$  时，作图不准确造成偶然误差。

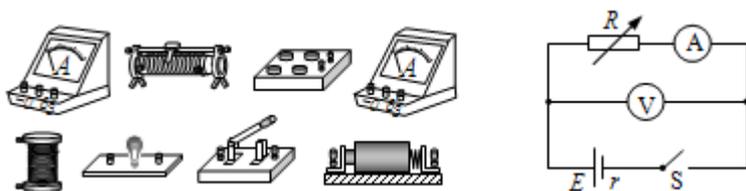


4. 由于实验电路及电压表、电流表内阻的影响，本实验结果  $E_{测} < E_{真}$ ， $r_{测} < r_{真}$ ，定性分析如下（参考电路原理图内接法）：由于电压表的分流，电流表的测量值偏小，而且随着  $U$  越大，电流表的测量值偏小越多。当  $U=0$  时，电流表的测量值等于真实值（这时要求电流表是理想的）。据此作出如图所示的真实和测量的  $U-I$  图线，由图不难看出， $E$ 、 $r$  的测量值均小于真实值。

### 【命题方向】

题型一：数据的处理

采用如图所示的电路“测定电池的电动势和内阻”。



(1) 除了选用照片中的部分器材外，  A  （填选项）

A. 还需要电压表

B. 还需要电流表

C. 还需要学生电源

D. 不再需要任何器材

(2) 测量所得数据如下：

测量次数	1	2	3	4	5	6
物理量						
R/Ω	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
I/A	0.60	0.70	0.80	0.89	1.00	1.20
U/V	0.90	0.78	0.74	0.67	0.62	0.43

用作图法求得电池的内阻  $r = \underline{0.76\Omega}$  ；

(3) 根据第 5 组所测得的实验数据，求得电流表内阻  $R_A = \underline{0.22\Omega}$  。

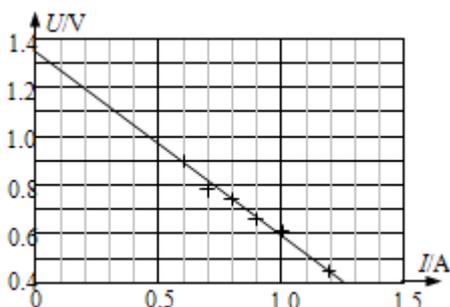
分析：(1) 对照电路图，会发现缺少电压表；

(2) 根据闭合电路欧姆定律，有  $E = U + Ir$ ，可以作出  $U - I$  图，斜率的绝对值表示电源的内电阻；

(3) 根据闭合电路欧姆定律，有： $U = IR_A + IR$ ，代入数据求解出电流表电阻  $R_A$ 。

解答：(1) 对照电路图，会发现缺少电压表；

(2) 根据闭合电路欧姆定律，有  $E = U + Ir$ ，变形得到： $U = -rI + E$ ，作出  $U - I$  图，如图所示



斜率的绝对值表示内电阻，故  $r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \frac{1.35 - 0.4}{1.25} \Omega = 0.76\Omega$  ；

(3) 根据闭合电路欧姆定律，有： $U = IR_A + IR$ ，故  $R_A = \frac{U}{I} - R = \frac{0.62}{1.00} - 0.4 = 0.22\Omega$  ；

故答案为：(1) A；(2) 见右图， $r = 0.76\Omega$ ；(3)  $0.22\Omega$ 。

点评：本题关键明确实验原理，会用图想法处理实验数据，能结合闭合电路欧姆定律列式分析，基础题。

### 【解题方法点拨】

在测定电源电动势和内阻实验中作图处理数据时，由于干电池内阻较小使得路端电压  $U$  的变化也较小，

即不会比电动势小很多，由此描点绘图，如图甲所示，这样图线未布满整个坐标纸，斜率的计算误差大。为作图方便，在画  $U-I$  图线时，纵轴的刻度可以不从零开始，而是根据测得的数据从某一恰当值开始（横坐标  $I$  必须从零开始）。但这时图线和横轴的交点不再是短路电流  $I_{短}$ ，不过图线与纵轴的截距仍为电动势，直线斜率的绝对值仍是电源的内阻。如图乙所示。

