

# 点金训练

## 教师用书

《点金训练》编写组 编

► 物理

必修 第二册

配教科版



四川教育出版社



# CONTENTS

# 目录

## 第一章 抛体运动

---

1 认识曲线运动 .....	1
2 运动的合成与分解 .....	6
3 探究平抛运动的特点 .....	14
4 研究平抛运动的规律 .....	19
5 斜抛运动(选学) .....	19
单元活动构建 .....	28
章末质量评估(一) .....	31

## 第二章 匀速圆周运动

---

1 圆周运动 .....	36
2 匀速圆周运动的向心力和向心加速度 .....	43
第1课时 向心力 .....	43
第2课时 向心加速度 .....	47
3 圆周运动的实例分析 .....	55
单元活动构建 .....	64
章末质量评估(二) .....	69

## 第三章 万有引力定律

---

1 天体运动 .....	73
2 万有引力定律 .....	78
3 预言未知星体 计算天体质量 .....	84
4 人造卫星 宇宙速度 .....	92
单元活动构建 .....	100
章末质量评估(三) .....	106



## 第四章 机械能及其守恒定律

---

1 功 .....	110
2 功率 .....	117
3 动能 动能定理 .....	123
单元活动构建 .....	131
4 势能 .....	135
5 机械能守恒定律 .....	143
6 实验:验证机械能守恒定律 .....	152
单元活动构建.....	159

## 第五章 经典力学的局限性与相对论初步

---

1 经典力学的成就与局限性 .....	163
2 相对论时空观简介 .....	163
3 宇宙的起源和演化 .....	163
章末质量评估(四) .....	168
综合质量评估(一) .....	172
综合质量评估(二) .....	177

## 第一章

## 抛体运动

## 1 认识曲线运动

## 学习任务目标

1. 通过生活中的实例知道什么是曲线运动。(物理观念)
2. 会确定曲线运动速度的方向,知道物体做曲线运动的条件。(科学思维)
3. 知道曲线运动是变速运动,探究曲线运动轨迹上某点物体的速度方向和受力情况。(科学探究)

## 问题式预习

## 知识点一 对曲线运动的认识

1. 曲线运动:物体运动轨迹是曲线的运动。
2. 曲线运动的速度方向:质点在某一点的速度方向,沿曲线在这一点切线方向。
3. 曲线运动的性质:曲线运动的速度方向时刻在变化,所以曲线运动是一种变速运动。

## [判一判]

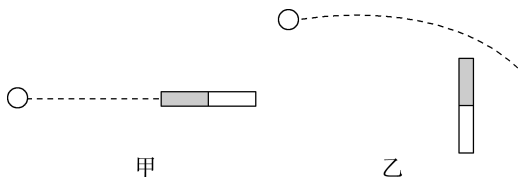
- (1) 曲线运动一定是非匀变速运动。 ( × )
- (2) 做曲线运动的物体,速率一定发生变化。 ( × )
- (3) 做曲线运动的物体,速度一定发生变化。 ( √ )
- (4) 变速运动一定是曲线运动。 ( × )

## 知识点二 物体做曲线运动的条件

1. 从动力学角度:当运动物体所受合外力的方向跟它的速度方向不在同一直线上时,物体就做曲线运动。
2. 从运动学角度:当物体的加速度方向与速度方向不在同一直线上时,物体做曲线运动。

## [科学思维]

有一个在水平桌面上向右做直线运动的小钢球,第一次在其速度方向上放置一个条形磁铁,第二次在其速度方向的一侧放置一个条形磁铁,如图甲、乙所示,虚线表示小钢球的运动轨迹。观察实验现象,完成下列填空:

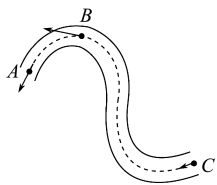


- (1) 第一次实验中,小钢球的运动轨迹是直线;
- (2) 第二次实验中,小钢球的运动轨迹是曲线。

## [做一做]

如图所示,在水平桌面上摆一条弯曲的轨道,它由几段稍短的弧形光滑轨道组合而成,通过压缩弹簧使钢球从轨道的C端进入,在轨道的约束下做曲线运动,则下列说法正确的是 ( )

- 钢球在运动过程中做速度不变的运动
- 钢球在轨道中的加速度为零
- 钢球所受合外力为零,动能不变
- 从A点飞出时,钢球的速度方向一定沿着A点切线方向



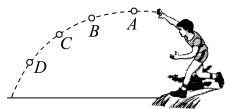
**D 解析:** 钢球在运动过程中速度方向发生了变化,速度是变化的,A错误;钢球在轨道中的速度发生变化,所以加速度不为零,B错误;钢球做曲线运动,所受合外力不为零,C错误;从A点飞出时,钢球的速度方向一定沿着A点的切线方向,D正确。

## 任务型课堂

## 任务一 曲线运动的性质及特点

## [探究活动]

以初速度  $v_0$  抛出一个物体,物体在空中做曲线运动,如图所示。



- (1) 物体经过A、B、C、D点时的速度方向是怎样的?

**提示:**物体经过 A、B、C、D 点时的速度方向沿曲线在相应点的切线方向。

(2) 物体的运动是一种什么性质的运动?

**提示:**因速度方向时刻在变化,故物体的运动为变速运动。

[评价活动]

1. 一质点在某段时间内做曲线运动,则在这段时间内 ( B )

- A. 速度一定在不断地改变,加速度也一定在不断地改变
- B. 速度一定在不断地改变,加速度可以不变
- C. 速度可以不变,加速度一定在不断地改变
- D. 做曲线运动的物体的速度方向在时刻改变,所以曲线运动不可能是匀变速运动

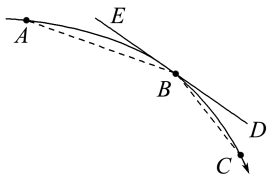
2. 下列说法正确的是 ( A )

- A. 做曲线运动的物体速度方向一定发生变化
- B. 速度方向发生变化的运动一定是曲线运动
- C. 速度变化的运动一定是曲线运动
- D. 加速度变化的运动一定是曲线运动

3. (多选)关于曲线运动的速度,下列说法正确的是 ( CD )

- A. 速度的大小与方向都在时刻变化
- B. 速度的大小不断发生变化,速度的方向不一定发生变化
- C. 速度的方向不断发生变化,速度的大小不一定发生变化
- D. 质点在某一点的速度方向沿曲线在这一点切线方向

4. 如图所示的曲线为某运动员抛出的铅球的运动轨迹(铅球可视为质点),A、B、C 为曲线上的三点,ED 为曲线上 B 点的切线。关于铅球在 B 点的速度方向,下列说法正确的是 ( C )



- A. 沿 AB 方向
- B. 沿 BC 方向
- C. 沿 BD 方向
- D. 沿 BE 方向

5. (多选)关于曲线运动,以下说法正确的是 ( )

- A. 曲线运动一定是变速运动
- B. 变速运动一定是曲线运动
- C. 做曲线运动的物体,加速度一定变化,曲线运动一定是变加速运动
- D. 做曲线运动的物体,加速度可能不变,曲线运动可能是匀变速运动

**AD 解析:**做曲线运动的物体的速度方向在不断改变,所以曲线运动是变速运动,但变速运动不一定是曲线运动,如匀变速直线运动,故 A 项正确, B 项错误;做曲线运动的物体受到的合力可能恒定不变,加速度可能恒定不变,因此曲线运动可能是匀变速运动, C 项错误, D 项正确。

任务总结 ■■■■■

1. 判断曲线运动中某点速度方向的步骤

- (1) 确定物体运动轨迹的方向。
- (2) 在该点画出带箭头的切线。
- (3) 箭头指向为该点的速度方向。

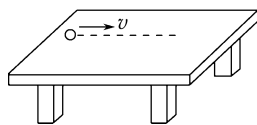
2. 曲线运动的运动性质

- (1) 变速运动可能是曲线运动,也可能是直线运动,如加速直线运动或减速直线运动都是变速运动。
- (2) 匀变速运动可能是匀变速曲线运动,也可能是匀变速直线运动,只要物体所受合外力为恒力(且不为零),它一定做匀变速运动。

任务二 物体做曲线运动的条件

[探究活动]

如图所示,小球在光滑桌面上沿直线运动,运动一段距离后,小球离开桌面。



(1) 小球离开桌面前、后的运动情况有何不同?

**提示:**离开桌面前小球做匀速直线运动,离开桌面后小球做曲线运动。

(2) 离开桌面前、后,小球的受力有何变化? 从桌子边缘离开后,小球的受力方向与运动方向有何关系?

**提示:**在桌面上运动时,小球受到重力和桌面的支持力,受力平衡;离开桌面后,小球只受到竖直向下的重力,并且重力的方向与小球的运动方向不在同一条直线上。

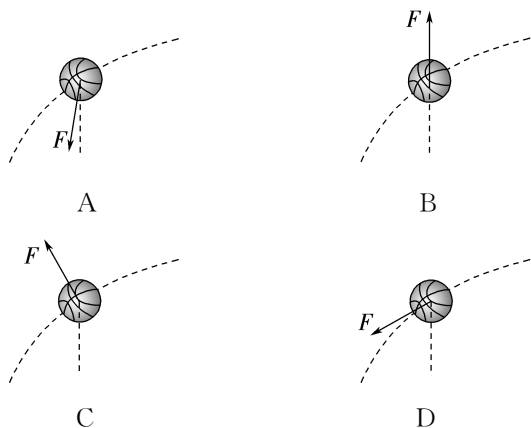
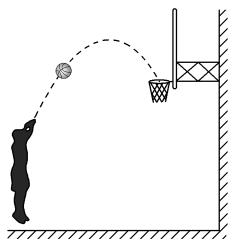
[评价活动]

1. (2025·黑吉辽蒙卷)书法课上,某同学临摹“力”字时,笔尖的轨迹如图中带箭头的实线所示。笔尖由 a 点经 b 点回到 a 点,则 ( A )

- A. 笔尖的位移为 0
- B. 笔尖的路程为 0
- C. 两次过 a 点时笔尖的速度方向相同
- D. 两次过 a 点时笔尖受到的摩擦力方向相同



2. 某同学在练习投篮时,发现篮球在空中的运动轨迹如图中虚线所示,篮球所受合力  $F$  的示意图可能正确的是 ( C )



3. 质点在三个恒力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  的共同作用下保持平衡状态,若突然撤去  $F_1$ ,则质点 ( A )

- A. 一定做匀变速运动  
B. 一定做直线运动  
C. 一定做非匀变速运动  
D. 一定做曲线运动

4. (多选) 一物体受到两个外力的作用,沿某方向做匀速直线运动。若将其中一个力的方向旋转  $90^\circ$ ,保持这个力的大小和另一个力不变,则物体可能做 ( BCD )

- A. 匀速直线运动      B. 匀加速直线运动  
C. 匀减速直线运动      D. 轨迹为曲线的运动

5. 如图所示,假设飞机水平飞行时向下空投一救援物资,不计空气阻力,图中虚线为救援物资的运动轨迹(未开降落伞前)。下列表示该物资在  $P$  位置时速度和加速度方向的箭头分别是 ( C )

- A. ①和②      B. ②和①  
C. ②和③      D. ③和②

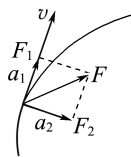
**C 解析:** 根据曲线运动的速度方向沿轨迹上的切线方向,加速度指向轨迹弯曲的内侧可知,该物资在  $P$  位置时只受重力,速度方向为②,加速度方向为③,选项 A、B、D 错误, C 正确。

## 任务总结

### 1. 从力和运动关系的角度理解物体做曲线运动的条件

(1) 当合力的方向跟物体的速度方向始终垂直时,物体做速度大小不变、方向不断改变的曲线运动,此时的合力只改变速度的方向,不改变速度的大小。

(2) 当合力的方向跟速度方向不在同一直线上时,可将合力沿速度方向和垂直于速度方向分解,如图所示,沿速度方向的分力  $F_1$

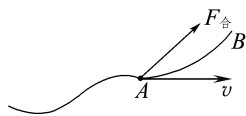


只改变速度的大小,垂直于速度方向的分力  $F_2$  只改变速度的方向,这时物体做速度大小和方向都改变的曲线运动。

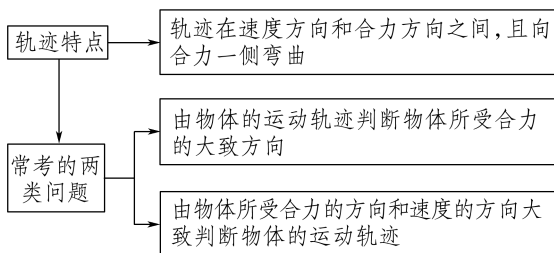
(3) 设合力和速度之间的夹角为  $\theta$ ,当  $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$  时,物体速度大小不断增大;当  $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$  时,物体速度大小不断减小;当  $\theta = 90^\circ$  时,物体速度大小不变。

### 2. 曲线运动的轨迹

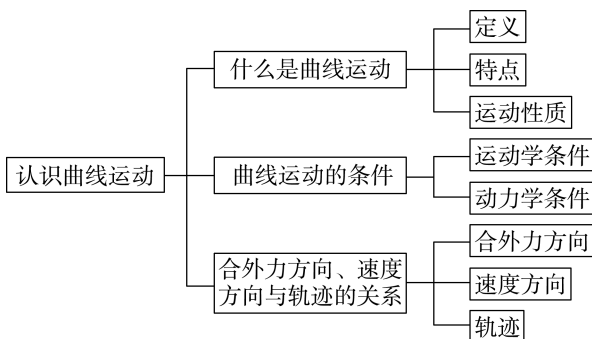
(1) 物体在轨迹上某点的速度与所受合力的示意图如图所示。



(2) 运动轨迹特点及常考的问题



## ► 提质归纳



## 课后素养评价(一) 认识曲线运动

## 基础性·能力运用

## 知识点 1 曲线运动的性质

1. 做曲线运动的物体, 在运动过程中一定会发生变化的物理量是 ( )

- A. 速率                      B. 速度  
C. 加速度                    D. 合外力

**B 解析:** 当物体所受合外力与物体速度方向始终垂直时, 物体的速度大小即速率不变, 所以 A 选项错误; 物体既然做曲线运动, 那么它的速度方向肯定是不断变化的, 所以速度一定在变化, 所以 B 选项正确; 当物体所受合力与速度不在同一条直线上时, 物体做曲线运动, 但合力不一定改变, 加速度也不一定改变, 如平抛运动, 所以 C、D 选项错误。

2. 关于曲线运动, 下列说法正确的是 ( )

- A. 做曲线运动的物体, 在一段时间内运动的路程可能为零  
B. 曲线运动一定是匀速运动  
C. 在平衡力作用下, 物体可以做曲线运动  
D. 在恒力作用下, 物体可以做曲线运动

**D 解析:** 做曲线运动的物体, 在一段时间内可能回到出发点, 位移可能为零, 但路程不为零, A 错误; 做曲线运动的物体的速度方向一定变化, 所以曲线运动一定是变速运动, B 错误; 由牛顿第一定律可知, 在平衡力作用下, 物体一定做匀速直线运动或处于静止状态, C 错误; 不论是否为恒力, 只要物体所受合力方向与物体速度方向不共线, 物体就做曲线运动, D 正确。

## 知识点 2 物体做曲线运动的条件

3. 关于物体做曲线运动的条件, 下列叙述正确的是 ( )

- A. 物体所受的合力是变力  
B. 物体所受合力的方向与速度方向不在同一条直线上  
C. 物体所受合力的方向与加速度的方向不在同一条直线上  
D. 物体所受的合力方向一定是变化的

**B 解析:** 物体做曲线运动是由于所受合力的方向与速度方向不在同一条直线上, 而与合力是恒力还是变力、合力方向是否变化均无关, 故 A、D 错误, B 正确; 由牛顿第二定律可知, 加速度的方向与合力方向相同, 故 C 错误。

4. 在足球场上罚任意球时, 运动员踢出的足球, 在行进中绕过“人墙”转弯进入了球门, 轨迹如图中实线所示, 守门员“望球莫及”。关于足球在这一飞行过程中的受力方向和速度方向, 下列说法正确的是 ( )

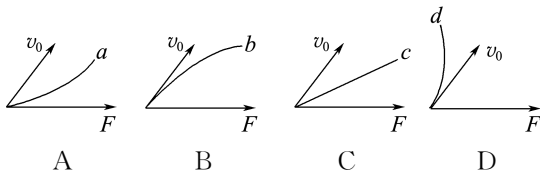
- A. 合力的方向与速度方向在同一条直线上  
B. 合力的方向沿轨迹切线方向, 速度方向指向轨迹凹侧  
C. 合力方向指向轨迹凹侧, 速度方向沿轨迹切线方向  
D. 合力方向指向轨迹凸侧, 速度方向沿轨迹切线方向



**C 解析:** 在曲线运动中, 物体所受合力的方向总是指向轨迹的凹侧, 速度方向沿轨迹的切线方向, C 正确, A、B、D 错误。

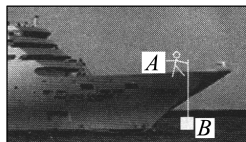
## 知识点 3 曲线运动的合外力与速度、轨迹三者间的关系

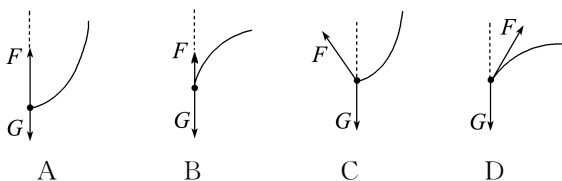
5. 若已知物体运动的初速度  $v_0$  的方向及它受到的恒定的合外力  $F$  的方向, 图中  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  表示物体运动的轨迹, 其中正确的是 ( )



**B 解析:** 运动轨迹夹在速度方向和合力方向之间, 且速度沿轨迹的切线方向,  $F$  指向运动轨迹的凹侧, 故 B 正确。

6. 如图所示, 在风平浪静的海面上有一艘匀速行驶的邮轮。一名船员 A 将水桶 B 放入海中取水, 某段时间内, 船员拉着连接水桶的绳索将装满水的水桶提起, 同时船员和水桶以相同的水平速度相对于海面匀速运动, A 与 B 之间的距离以  $l = H - t + t^2$  的规律变化 ( $H$  为 A 到海面的距离), 则下列关于在这段时间内水桶 B 的受力情况和相对于海面的运动轨迹正确的是 ( )





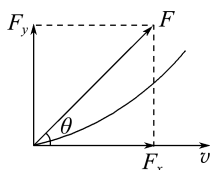
B 解析:根据  $l=H-t+vt^2$  可知,  $B$  在竖直方向上匀减速上升, 绳索对  $B$  的拉力小于  $B$  的重力;  $B$  在水平方向上匀速运动, 所以  $F$ 、 $G$  都在竖直方向上, 又因为  $B$  向上减速, 其合力方向竖直向下, 运动轨迹应向下弯曲, 故只有选项  $B$  符合题意。

## 综合性·创新提升

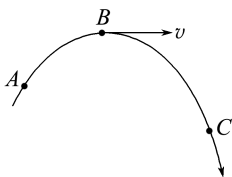
7. (多选) 在光滑水平面上有一质量为  $2\text{ kg}$  的物体, 其受几个共点力作用做匀速直线运动。现突然将其中与速度反方向的  $2\text{ N}$  的力水平旋转  $90^\circ$ , 则下列关于物体运动情况的叙述正确的是 ( )

- A. 物体做速度大小不变的曲线运动
- B. 物体做加速度大小为  $\sqrt{2}\text{ m/s}^2$  的匀变速曲线运动
- C. 物体做速度越来越大的曲线运动
- D. 物体做非匀变速曲线运动, 其速度越来越大

BC 解析: 物体原来所受合力为零, 当将分力中与速度反方向的  $2\text{ N}$  的力水平旋转  $90^\circ$  后其受力如图 8 所示, 其中  $F$  是  $F_x$ 、 $F_y$  的合力, 即  $F=2\sqrt{2}\text{ N}$ , 且大小、方向都不变, 是恒力, 那么物体的加速度大小  $a=\frac{F}{m}=\frac{2\sqrt{2}}{2}\text{ m/s}^2=\sqrt{2}\text{ m/s}^2$ ; 又因为  $F$  与  $v$  的夹角  $\theta < 90^\circ$ , 所以物体做速度越来越大、加速度大小恒为  $\sqrt{2}\text{ m/s}^2$  的匀变速曲线运动。故  $B$ 、 $C$  正确。



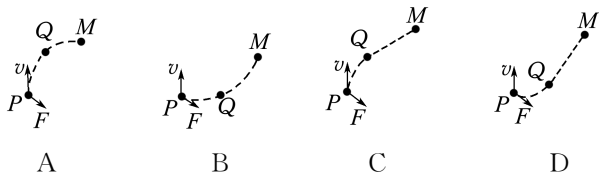
8. 如图所示是物体做匀变速曲线运动的轨迹的示意图。已知物体在  $B$  点的加速度方向与速度方向垂直, 则下列说法正确的是 ( )



- A. 物体在  $B$  点的加速度最大
- B. 物体在  $C$  点的速率大于在  $B$  点的速率
- C. 物体在  $A$  点的加速度比在  $C$  点的加速度大
- D. 物体从  $A$  点到  $C$  点, 加速度与速度的夹角先增大后减小, 速率先减小后增大

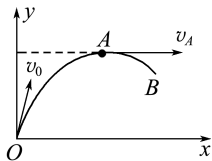
B 解析: 物体做匀变速曲线运动, 加速度恒定, 则物体在各点的加速度相同,  $A$ 、 $C$  两项错误; 物体运动到  $B$  点时速度方向与加速度方向恰好互相垂直, 结合运动轨迹可知, 物体从  $A$  点运动到  $B$  点的过程中, 加速度方向和速度方向的夹角大于  $90^\circ$ , 且夹角在不断减小, 物体做减速曲线运动, 物体从  $B$  点运动到  $C$  点的过程中, 加速度方向和速度方向的夹角小于  $90^\circ$ , 且夹角在不断减小, 物体做加速曲线运动, 因此物体从  $A$  点运动到  $C$  点的过程中, 加速度方向和速度方向的夹角一直在减小, 物体在  $B$  点的速率最小, 故  $B$  项正确,  $D$  项错误。

9. 一运动物体经过  $P$  点时, 其速度  $v$  与合力  $F$  的方向不在同一直线上, 当物体运动到  $Q$  点时, 突然使合力的方向与速度方向相同直至物体运动经过  $M$  点。若用虚线表示物体的运动轨迹, 则下列图可能正确的是 (其中  $C$ 、 $D$  选项中的  $QM$  段均是直线)



C 解析: 物体经过  $P$  点时, 其速度  $v$  与合力  $F$  的方向不在同一直线上, 物体做曲线运动, 合力应指向运动轨迹的内侧, 当合力方向与速度方向相同时, 物体做直线运动, 所以物体从  $Q$  点到  $M$  点做直线运动, 故  $C$  正确。

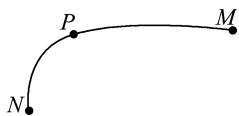
10. 一个质点在恒力  $F$  作用下, 在  $xOy$  平面上从  $O$  点运动到  $B$  点的轨迹如图所示, 且在  $A$  点时的速度方向与  $x$  轴平行, 则恒力  $F$  的方向可能是 ( )



- A. 沿  $x$  轴正方向
- B. 沿  $x$  轴负方向
- C. 沿  $y$  轴正方向
- D. 沿  $y$  轴负方向

D 解析:曲线运动的轨迹位于速度方向和合力方向所夹的范围内,且向合力方向弯曲,故 B、C 错误;若恒力  $F$  沿  $x$  轴正方向,则 A 点速度方向不可能与  $x$  轴平行,故 A 错误,D 正确。

11. 如图所示的曲线是某个质点在恒力作用下的一段运动轨迹,质点从 M 点出发经 P 点到达 N 点。已知弧长  $\widehat{MP}$  大于弧长  $\widehat{PN}$ , 质点由 M 点运动到 P 点和由 P 点运动到 N 点的时间相等。下列说法正确的是 ( )



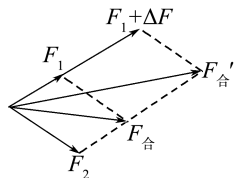
- A. 质点在 M、N 两点间的运动不是匀变速运动  
 B. 质点在这两段时间内的速度变化量大小不相等,但方向相同  
 C. 质点在这两段时间内的速度变化量大小相等,方向相同  
 D. 质点从 M 点到 N 点过程中速度大小保持不变

C 解析:因质点在恒力作用下运动,由牛顿第二定律可知,质点在 M、N 两点间的运动是匀变速曲线运动,故 A 错误;由  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  得  $\Delta v = a \Delta t$ , 因加速度不变,则质点在这两段时间内的速度变化量大小相等、方向相同,故 B 错误,C 正确;从 M 点到

N 点过程中,根据  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$  可知,速度大小发生变化,故 D 错误。

12. 一个质点受到两个互成锐角的恒力  $F_1$  和  $F_2$  的作用,由静止开始运动,若运动中保持二力方向不变,但让  $F_1$  突然增大到  $F_1 + \Delta F$ , 则质点以后 ( )
- A. 一定做匀变速曲线运动  
 B. 可能做匀变速直线运动  
 C. 一定做匀变速直线运动  
 D. 可能做变加速曲线运动

A 解析:质点受两恒力  $F_1$  和  $F_2$  的作用从静止开始沿这两个力的合力方向做匀加速直线运动,当  $F_1$  发生变化后, $F_1 + \Delta F$  和  $F_2$  合力  $F'_合$  的大小和方向与原合力  $F_合$  相比均发生了变化,如图所示,此时合力仍为恒力,但方向与原来的合力方向不同,即与速度方向不在同一直线上,所以此后质点将做匀变速曲线运动,故选项 A 正确。



## 2 运动的合成与分解

### 学习任务目标

1. 理解合运动、分运动的概念及运动的独立性。(物理观念)
2. 会用平行四边形定则解决速度、位移的合成与分解问题。(科学思维)
3. 通过对生产生活中物体运动的分析,感受用物理知识解决实际问题的成就感,形成严谨的科学态度。(科学态度与责任)

### 问题式预习

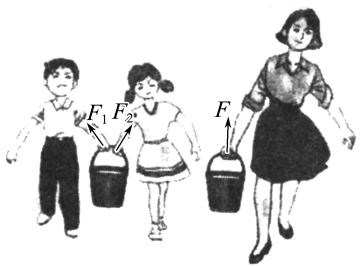
#### 知识点一 矢量的合成与分解

1. 描述物体运动的位移、速度和加速度均是矢量,其合成与分解的方法均遵循平行四边形定则。
2. 力(运动)的合成与分解,既体现了矢量的运算法则,同时又反映了物理学研究问题的重要方法——等效替代。
3. 通过平行四边形定则将合矢量与分矢量的关系转

化为平行四边形的对角线和邻边的关系,可以把矢量运算转化为几何运算。

#### [科学思维]

如图所示,一个成年人或两个孩子均能提起同一桶水,那么该成年人用的力与两个孩子用的力的作用效果是否相同?二者能否等效替代?



**提示:**作用效果相同,两种情况下力的作用效果均是把同一桶水提起来,能够等效替代。

### [判一判]

- (1) 矢量与标量的区别之一是它们的运算方法不同。 ( √ )
- (2) 由于矢量的方向可以用正、负表示,故具有正负值的物理量一定是矢量。 ( × )

## 知识点二 运动的合成与分解

### 1. 合运动与分运动

玩具电动车放在跑步机上做游戏时,同时参与了垂直于履带的运动和平行于履带的运动,这两个运动叫作分运动,实际的运动叫作合运动。

### 2. 位移的合成与分解

- (1) 位移的合成:已知分位移求合位移。
- (2) 位移的分解:已知合位移求分位移。

### 3. 速度的合成与分解:与位移的合成与分解是对应的,都遵循平行四边形定则。

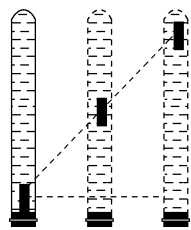
### 4. 运动的合成与分解

- (1) 运动的合成:已知分运动求合运动。
- (2) 运动的分解:已知合运动求分运动。

### [科学思维]

如图所示,蜡块在装满水的竖直玻璃管内向上匀速运动的同时,将玻璃管沿水平方向向右匀速移

动,观察到蜡块向右上方运动。分析蜡块的运动:

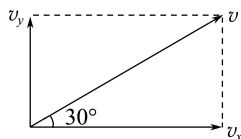


- (1) 蜡块参与的竖直方向和水平方向的两个运动都是分运动。
- (2) 蜡块的两个分运动在运动时间上具有等时性。
- (3) 竖直方向和水平方向的运动相互独立,互不影响。
- (4) 蜡块斜向右上的速度等于竖直速度和水平速度的矢量和,求和时应该用平行四边形定则。

### [做一做]

假设飞机起飞时以 300 km/h 的速度斜向上飞,飞行方向与水平方向的夹角为  $30^\circ$ 。求飞机水平方向的分速度  $v_x$  和竖直方向的分速度  $v_y$ 。

**解析:**把速度  $v=300$  km/h 按水平方向和竖直方向分解,如图所示:



可得  $v_x = v \cos 30^\circ \approx 260$  km/h

$v_y = v \sin 30^\circ = 150$  km/h

飞机在水平方向和竖直方向的分速度分别为 260 km/h 和 150 km/h。

**答案:**260 km/h 150 km/h

## 任务型课堂

### 任务一 运动的合成与分解

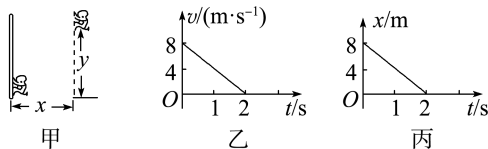
1. (多选)关于运动的合成,下列说法正确的是

( BC )

- A. 两个直线运动的合运动,一定是直线运动
- B. 两个直线运动的合运动,可能是曲线运动
- C. 两个互成角度的匀速直线运动的合运动,一定是匀速直线运动
- D. 两个互成角度的匀加速直线运动的合运动,一定是匀加速直线运动

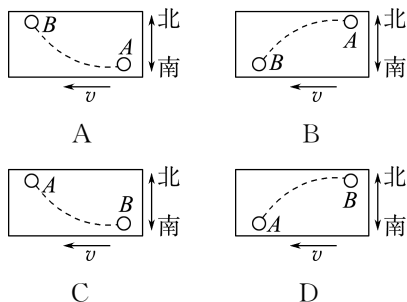
2. (多选)如图甲所示,在杂技表演中,猴子沿竖直杆向上运动,其  $v-t$  图像如图乙所示。在猴子沿杆运动的同时,人举着杆沿水平地面运动,其  $x-t$  图像

如图丙所示。若以地面为参考系,下列说法正确的是 ( BD )

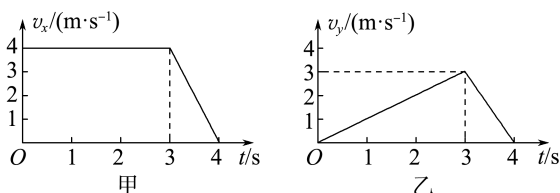


- A. 猴子的运动轨迹为直线
- B. 猴子在 2 s 内做匀变速曲线运动
- C.  $t=0$  时猴子的速度大小为 8 m/s
- D.  $t=2$  s 时猴子的加速度大小为 4 m/s<sup>2</sup>
3. 一列以速度  $v$  匀速行驶的动车内有一水平桌面,桌面上 A 处有一相对桌面静止的小球。由于动车运

动状态的改变,车厢中的旅客发现小球沿图(俯视图)中虚线所示轨迹从A点运动到B点,则说明车是减速且在向南拐弯的图是 ( B )



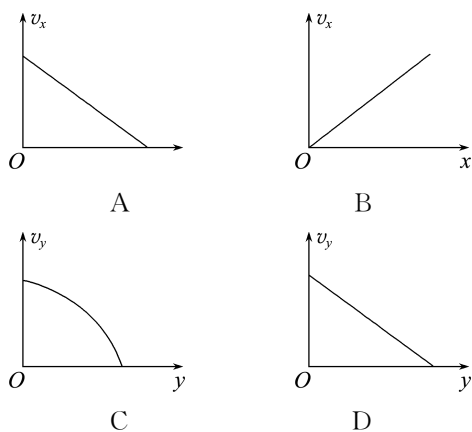
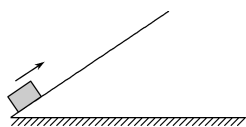
4. 物体在直角坐标系  $xOy$  所在的平面内由  $O$  点开始运动,其沿坐标轴方向的分速度随时间变化的图像如图甲、乙所示,则下列对该物体运动过程的描述正确的是 ( )



- A. 物体在  $0 \sim 3$  s 做直线运动
- B. 物体在  $3 \sim 4$  s 做直线运动
- C. 物体在  $3 \sim 4$  s 做曲线运动
- D. 物体在  $0 \sim 3$  s 做变加速运动

**B 解析:**由题图可知,在  $0 \sim 3$  s 物体在  $x$  轴方向做匀速直线运动,在  $y$  轴方向做初速度为零的匀加速直线运动,物体的合运动是曲线运动,物体的加速度恒定不变,故物体做匀加速曲线运动,选项 A、D 错误;在  $3 \sim 4$  s 物体在  $x$  轴与  $y$  轴方向均做匀减速直线运动,且加速度分别为  $a_x = -3 \text{ m/s}^2$ ,  $a_y = -4 \text{ m/s}^2$ ,可得合速度与  $x$  轴夹角  $\theta$  的正切值  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{3}{4}$ ,合加速度与  $x$  轴夹角  $\beta$  的正切值  $\tan \beta = \frac{a_y}{a_x} = \frac{3}{4}$ ,合加速度的方向与合速度方向在同一条直线上,物体做直线运动,选项 B 正确,C 错误。

5. (2025 · 湖南卷) 如图所示,物块以某一初速度滑上足够长的固定光滑斜面,物块的水平位移、竖直位移、水平速度、竖直速度分别用  $x$ 、 $y$ 、 $v_x$ 、 $v_y$  表示。物块向上运动过程中,下列图像可能正确的是 ( )



**C 解析:**根据题意可知,物块沿斜面向上做匀减速直线运动,设初速度为  $v_0$ ,加速度大小为  $a$ ,斜面倾角为  $\theta$ ,物块在水平方向上做匀减速直线运动,初速度为  $v_{0x} = v_0 \cos \theta$ ,加速度大小为  $a_x = a \cos \theta$ ,则有  $v_x^2 - v_{0x}^2 = -2a_x x$ ,整理可得  $v_x = \sqrt{(v_0 \cos \theta)^2 - 2a \cos \theta \cdot x}$ ,可知,  $v_x-x$  图像为近似抛物线的一部分,故 A、B 错误;物块在竖直方向上做匀减速直线运动,速度为  $v_{0y} = v_0 \sin \theta$ ,加速度大小为  $a_y = a \sin \theta$ ,则有  $v_y^2 - v_{0y}^2 = -2a_y y$ ,整理可得  $v_y = \sqrt{(v_0 \sin \theta)^2 - 2a \sin \theta \cdot y}$ ,可知,  $v_y-y$  图像为近似抛物线的一部分,故 C 正确,D 错误。

### 任务总结

#### 1. 运动合成与分解问题的解题思路

- (1) 确定合运动的方向(实际运动方向)。
- (2) 分析合运动的运动效果。
- (3) 依据合运动的实际效果确定分运动的方向。
- (4) 利用平行四边形定则、三角形定则或正交分解法作图,将合运动的速度、位移、加速度分别分解到分运动的方向上。

#### 2. 合运动的性质判断

- (1) 加速度  $\left\{ \begin{array}{l} \text{变化: 非匀变速运动} \\ \text{(大小、方向)} \left\{ \begin{array}{l} \text{不变: 匀变速运动} \end{array} \right. \end{array} \right.$
- (2) 加速度方向  $\left\{ \begin{array}{l} \text{共线: 直线运动} \\ \text{与速度方向} \left\{ \begin{array}{l} \text{不共线: 曲线运动} \end{array} \right. \end{array} \right.$

### 任务二 小船渡河问题的分析

#### [探究活动]

一艘货船需要通过水流恒定的河流将货物运送到正对岸。



(1)如果你是船长,你会选择船头正对河岸的方向渡河吗?为什么?

**提示:**不会,因为在货船渡河时,也会随水流向下游方向运动,若船头正对河岸,无法到达正对岸。

(2)渡河时,这艘货船将要参与几个方向的运动?如何确定开船的方向?

**提示:**货船将参与垂直于河岸和平行于河岸两个方向的运动;为了保证能够到达正对岸,可以让船头偏向上游适当的角度,使货船的合运动方向刚好垂直于河岸。

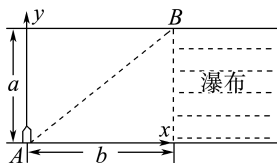
### [评价活动]

1.(多选)在宽度为  $d$  的河中,水流速度为  $v_2$ ,船在静水中的速度为  $v_1$ (且  $v_1 > v_2$ ),方向可以自由选择,现让该船开始渡河,则该船 ( BD )

- A. 可能的最短渡河时间为  $\frac{d}{v_2}$
- B. 可能的最短渡河位移大小为  $d$
- C. 只有当船头垂直于河岸渡河时,渡河时间才和水速无关
- D. 不管船头与河岸的夹角是多少,渡河时间和水速均无关

2.如图所示,河水流动的速度为  $v$  且处处相同,河宽为  $a$ 。在船停泊处  $A$  的下游距离为  $b$  的位置是瀑布。为了使小船安全渡河(不掉进瀑布),则

( D )



- A. 小船船头垂直于河岸渡河时间最短,最短时间为  $t = \frac{b}{v}$
- B. 小船轨迹垂直于河岸时渡河位移最小,渡河速度最大,为  $v_{\max} = \frac{v\sqrt{a^2+b^2}}{b}$
- C. 当小船沿轨迹  $AB$  渡河时,船在静水中的最小速度为  $v_{\min} = \frac{av}{b}$
- D. 当小船沿轨迹  $AB$  渡河时,船在静水中的最小速度为  $v_{\min} = \frac{av}{\sqrt{a^2+b^2}}$

3.有一条两岸平直、河水均匀流动、流速恒为  $v$  的大河。小明驾着小船渡河,去程时船头指向始终与河岸垂直,回程时行驶路线与河岸垂直。若去程与回

程所用时间的比值为  $k$ ,小船在静水中的速度大小相同,则其在静水中的速度大小为 ( B )

- A.  $\frac{kv}{\sqrt{k^2-1}}$
- B.  $\frac{v}{\sqrt{1-k^2}}$
- C.  $\frac{kv}{\sqrt{1-k^2}}$
- D.  $\frac{v}{\sqrt{k^2-1}}$

4.(多选)一艘船过河时,船头始终与船实际运动的方向垂直,水速恒为  $v_1$ ,船相对于水的速度大小恒为  $v_2$ ,船过河的时间为  $t$ ,则 ( CD )

- A.  $v_1$  有可能等于  $v_2$
- B. 船的实际速度大小为  $\sqrt{v_1^2+v_2^2}$
- C. 船头方向与河岸上游的夹角  $\theta$  大小满足  $\cos \theta = \frac{v_2}{v_1}$
- D. 河宽为  $\frac{v_2\sqrt{v_1^2-v_2^2}}{v_1}t$

5.已知某船在静水中的速率为  $v_1 = 4$  m/s,现让船渡过某条河,假设这条河的两岸是理想的平行线,河宽为  $d = 100$  m,河水的流动速度为  $v_2 = 3$  m/s,方向与河岸平行。

(1)欲使船以最短时间渡过河,船头指向应怎样?最短时间是多少?到达对岸的位置是怎样的?船实际发生的位移是多大?

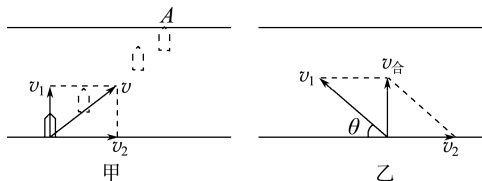
(2)欲使船渡河过程中的航行距离最短,船头指向又应怎样?渡河所用时间又是多少?

**解析:**(1)当船头垂直于河岸航行时,渡河时间最短,渡河过程如图甲所示,渡河的最短时间

$$t_{\min} = \frac{d}{v_1} = \frac{100}{4} \text{ s} = 25 \text{ s}$$

设船渡过河时到达正对岸的下游  $A$  处,其顺水漂流的位移为  $x = v_2 t_{\min} = 3 \times 25 \text{ m} = 75 \text{ m}$

船的实际位移大小为  $l = \sqrt{d^2 + x^2} = \sqrt{100^2 + 75^2} \text{ m} = 125 \text{ m}$ 。



(2)由于  $v_1 > v_2$ ,故船的合速度与河岸垂直时,船的航行距离最短,等于河宽。此时船速  $v_1$  的方向(船头的指向)斜向河岸上游,设与河岸成  $\theta$  角,如图乙所示,则

$$\cos \theta = \frac{v_2}{v_1} = \frac{3}{4}$$

$$\text{所以 } \theta = \arccos \frac{3}{4}$$

船的实际速度为  $v_{\text{合}} = \sqrt{v_1^2 - v_2^2} = \sqrt{4^2 - 3^2} \text{ m/s} = \sqrt{7} \text{ m/s}$

故渡河时间  $t' = \frac{d}{v_{\text{合}}} = \frac{100}{\sqrt{7}} \text{ s} = \frac{100\sqrt{7}}{7} \text{ s}$ 。

答案:见解析

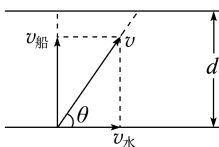
### 任务总结

#### 1. 渡河时间 $t$

(1) 渡河时间  $t$  的大小取决于河岸的宽度  $d$  及船沿垂直于河岸方向的速度大小。

(2) 若要渡河时间最短, 只要使船头垂直于河岸航行

即可, 如图所示,  $t_{\min} = \frac{d}{v_{\text{船}}}$ ,



船渡河的位移  $x = \frac{d}{\sin \theta}$ , 位移方向满足

$$\tan \theta = \frac{v_{\text{船}}}{v_{\text{水}}}。$$

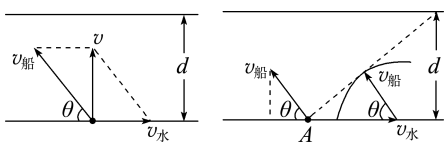
#### 2. 渡河位移最短问题

求解渡河位移最短问题, 分为两种情况:

(1) 若  $v_{\text{水}} < v_{\text{船}}$ , 最短的位移等于河宽  $d$ , 此时

渡河所用时间  $t = \frac{d}{v_{\text{船}} \sin \theta}$ , 船头与上游夹角  $\theta$

满足  $\cos \theta = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}}$ , 如图甲所示。



甲

乙

(2) 若  $v_{\text{水}} > v_{\text{船}}$ , 这时无无论船头指向什么方向, 都无法使船垂直于河岸渡河, 即最短位移不可能等于河宽  $d$ 。寻找最短位移的方法是: 如图乙所示, 按水流速度和船在静水中的速度大小的比例, 先从出发点  $A$  开始作矢量  $v_{\text{水}}$ , 再以  $v_{\text{水}}$  末端为圆心,  $v_{\text{船}}$  为半径画圆弧, 自出发点  $A$  向圆弧所作的切线为此时船位移最小时的合运动的方向。这时船头与河岸的夹角  $\theta$  满足

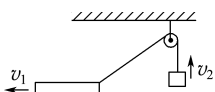
$\cos \theta = \frac{v_{\text{船}}}{v_{\text{水}}}$ , 最短位移  $x_{\text{短}} = \frac{d}{\cos \theta}$ , 过河时间

$$t = \frac{d}{v_{\text{船}} \sin \theta}。$$

### 任务三 关联物体速度的分解

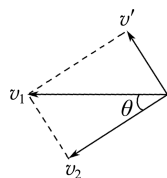
#### [探究活动]

汽车在水平地面上向左匀速运动, 汽车速度为  $v_1$ , 利用绕过定滑轮的绳子吊起某物体使其竖直上升。



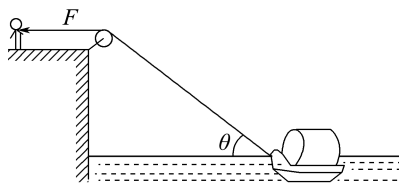
物体竖直向上做的是匀速直线运动吗?

提示: 将汽车的速度  $v_1$  分解, 如图所示, 得物体的上升速度  $v_2 = v_1 \cos \theta$ , 汽车向左运动,  $\theta$  减小,  $\cos \theta$  增大,  $v_2$  增大, 所以物体做的不是匀速直线运动。



#### [评价活动]

1. (多选) 如图所示, 人在岸上拉船, 已知船的质量为  $m$ , 水的阻力恒为  $f$ , 当连接船的轻绳与水平方向的夹角为  $\theta$  时, 船的速度为  $v$ , 此时人的拉力大小为  $F$ , 则 ( AC )



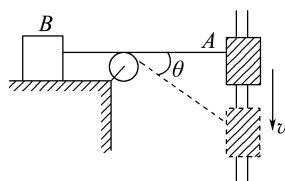
A. 人拉绳行走的速度为  $v \cos \theta$

B. 人拉绳行走的速度为  $\frac{v}{\cos \theta}$

C. 船的加速度为  $\frac{F \cos \theta - f}{m}$

D. 船的加速度为  $\frac{F - f}{m}$

2. 如图所示, 以速度  $v$  沿竖直杆匀速下滑的物体  $A$  用轻绳通过定滑轮拉物体  $B$ , 当绳与水平方向夹角为  $\theta$  时, 物体  $B$  的速度大小为 ( D )



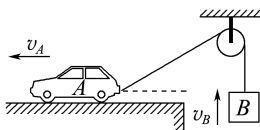
A.  $v$

B.  $\frac{v}{\sin \theta}$

C.  $v \cos \theta$

D.  $v \sin \theta$

3. (多选) 如图所示, 做匀速直线运动的汽车  $A$  通过一根绕过定滑轮的长绳吊起一重物  $B$ 。设汽车和重物的速度的大小分别为  $v_A$ 、 $v_B$ , 则 ( CD )



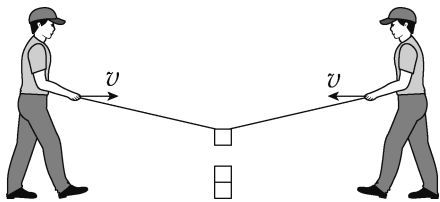
A.  $v_A = v_B$

B.  $v_A < v_B$

C.  $v_A > v_B$

D. 重物  $B$  的速度逐渐增大

4. (2025·黑吉辽蒙卷) 如图所示, 趣味运动会的“聚力建高塔”活动中, 两长度相等的细绳一端系在同一塔块上, 两名同学分别握住绳的另一端, 保持手在同一水平面以相同速率  $v$  相向运动。为使塔块沿竖直方向匀速下落, 则  $v$  ( )

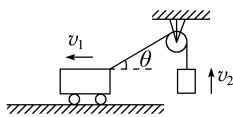


- A. 一直减小      B. 一直增大  
C. 先减小后增大      D. 先增大后减小

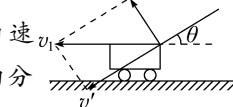
**B 解析:** 设两边绳与竖直方向的夹角为  $\theta$ , 塔块沿竖直方向匀速下落的速度为  $v_{\text{块}}$ , 将  $v_{\text{块}}$  和  $v$  沿绳方向和垂直绳方向分解, 可得  $v_{\text{块}} \cos \theta = v \sin \theta$ , 解得  $v = \frac{v_{\text{块}}}{\tan \theta}$ , 由于塔块匀速下落时  $\theta$  在减小, 故可知  $v$  一直增大。故 B 正确。

5. 如图所示, 水平面上的小车向左运动, 系在车后的轻绳绕过定滑轮, 拉着质量为  $m$  的物体上升。若小车以  $v_1$  的速度做匀速直线运动, 当车后的绳与水平方向的夹角为  $\theta$  时, 物体的速度为  $v_2$ , 绳对物体的拉力为  $T$ , 则下列关系式正确的是 ( )

- A.  $v_2 = v_1$   
B.  $v_2 = \frac{v_1}{\cos \theta}$   
C.  $T = mg$   
D.  $T > mg$



**D 解析:** 如图所示, 将小车的速度  $v_1$  向垂直轻绳和沿轻绳方向分



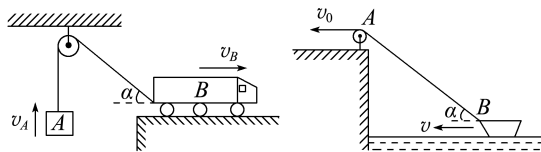
解, 则沿轻绳方向的速度  $v' = v_1 \cos \theta$ , 故物体的速度  $v_2 = v_1 \cos \theta$ , A、B 错误; 由于角  $\theta$  逐渐减小,  $\cos \theta$  变大, 故  $v_2$  逐渐变大, 物体加速向上, 处于超重状态,  $T > mg$ , C 错误, D 正确。

### 任务总结

#### 关于关联速度问题的处理

##### (1) “关联”速度

在运动过程中, 绳、杆等有长度的物体, 其两端点的速度通常是不一样的, 但两端点的速度是有联系的, 我们称之为“关联”速度, 如图所示。



##### (2) 规律

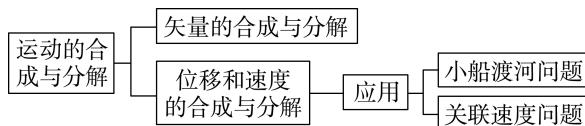
① 物体的实际运动是合运动, 分速度的方向要按实际运动效果确定。

② 沿绳(或杆)方向的分速度大小相等。

##### (3) 速度分解的方法(求解方法)

为了解题方便, 通常将物体的实际速度分解为垂直于绳(或杆)和平行于绳(或杆)方向的两个分量, 根据沿绳(或杆)方向的分速度大小相等列方程求解。

### ► 提质归纳



## 课后素养评价(二) 运动的合成与分解

### 基础性·能力运用

#### 知识点 1 运动的合成与分解

1. 两个互成角度的匀变速直线运动, 初速度分别为  $v_1$  和  $v_2$ , 加速度分别为  $a_1$  和  $a_2$ . 关于它们的合运动的轨迹, 下列说法正确的是 ( )

- A. 如果  $v_1 = v_2 \neq 0$ , 那么轨迹一定是直线  
B. 如果  $v_1 = v_2 \neq 0$ , 那么轨迹一定是曲线  
C. 如果  $a_1 = a_2$ , 那么轨迹一定是直线  
D. 如果  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{v_1}{v_2}$ , 那么轨迹一定是直线

**D 解析:** 本题考查两直线运动的合运动性质, 解题关键是明确做曲线运动的条件是合外力的方向(即

合加速度的方向)与合速度的方向不在一条直线上。如果  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{v_1}{v_2}$ , 那么, 合加速度的方向与合速度的方向一定在同一条直线上, 所以 D 正确。

2. 降落伞在匀速下降过程中遇到水平方向吹来的风, 则风速越大, 降落伞 ( )

- A. 下落的时间越短  
B. 下落的时间越长  
C. 落地时速度越小  
D. 落地时速度越大

**D 解析:** 根据运动的独立性原理, 水平方向吹来的

风不会影响竖直方向的运动, A、B 错误; 根据速度的合成规律, 落地时速度  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ , 若风速越大, 即  $v_x$  越大, 则降落伞落地时速度越大, C 错误, D 正确。

### 知识点 2 小船渡河问题

3. (多选) 关于轮船渡河, 下列说法正确的是 ( )

- A. 水流的速度越大, 渡河的时间越长
- B. 欲使渡河时间最短, 船头的指向应垂直于河岸
- C. 欲使轮船垂直驶达对岸, 则船的速度与水流速度的合速度应垂直于河岸
- D. 轮船相对水流的速度越大, 渡河的时间一定越短

BC 解析: 轮船渡河时间  $t = \frac{d}{v_{\perp}}$ , 其中  $v_{\perp}$  为轮船的速度在垂直于河岸方向的分速度, 可见当船头垂直于河岸时, 渡河时间最短, 渡河时间与水流速度无关, A、D 错误, B 正确; 欲使轮船垂直驶达对岸, 则船的合速度方向应垂直于河岸, C 正确。

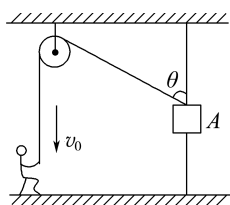
4. 一条小船过河, 河水流速  $v_1 = 3 \text{ m/s}$ , 船在静水中的速度  $v_2 = 4 \text{ m/s}$ , 船头方向与河岸垂直。关于小船的运动, 以下说法正确的是 ( )

- A. 小船相对于岸的速度大小是  $7 \text{ m/s}$
- B. 小船相对于岸的速度大小是  $5 \text{ m/s}$
- C. 小船相对于岸的速度大小是  $1 \text{ m/s}$
- D. 小船的实际运动轨迹与河岸垂直

B 解析: 小船相对于岸的速度大小  $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} \text{ m/s} = 5 \text{ m/s}$ , 故 B 正确, A、C 错误; 小船的实际运动是船在水流方向的运动与垂直河岸方向的运动的合运动, 小船的实际运动轨迹偏向河的下游, 不可能与河岸垂直, 故 D 错误。

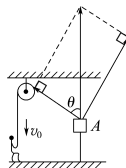
### 知识点 3 关联物体速度的分解

5. 某人用绳子通过定滑轮拉物体 A, A 穿在光滑的竖直杆上, 人以速度  $v_0$  匀速向下拉绳, 当物体 A 到达如图所示位置时, 绳与竖直杆的夹角为  $\theta$ , 则物体 A 实际运动的速度是 ( )

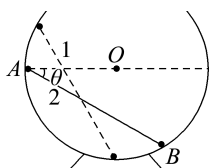


- A.  $\frac{v_0}{\cos \theta}$
- B.  $\frac{v_0}{\sin \theta}$
- C.  $v_0 \cos \theta$
- D.  $v_0 \sin \theta$

A 解析: 将 A 的速度沿绳子方向和垂直于绳子方向分解, 如图所示, 拉绳子的速度等于 A 沿绳子方向的分速度, 根据平行四边形定则可得, 物体 A 的实际速度  $v = \frac{v_0}{\cos \theta}$ , 故 A 正确, B、C、D 错误。

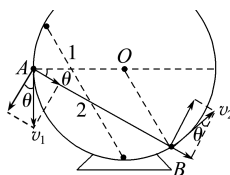


6. 如图所示, 一轻杆两端分别固定质量为  $m_A$  和  $m_B$  的两个小球 A 和 B (可视为质点), 将其放在一个光滑球形容器中从位置 1 开始下滑。当轻杆到达位置 2 时小球 A 与球形容器球心等高, 其速度大小为  $v_1$ 。已知此时轻杆与水平方向的夹角  $\theta = 30^\circ$ , 小球 B 的速度大小为  $v_2$ , 则 ( )



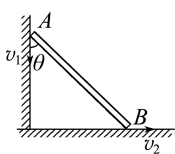
- A.  $v_2 = \frac{1}{2} v_1$
- B.  $v_2 = 2 v_1$
- C.  $v_2 = v_1$
- D.  $v_2 = \sqrt{3} v_1$

C 解析: 根据题意, 将小球 A 的速度分解成沿着杆与垂直于杆的方向, 同时将小球 B 的速度也分解成沿着杆与垂直于杆的方向, 如图所示。根据矢量关系, 则对小球 A 在平行于杆方向有  $v'_A = v_1 \sin \theta$ , 而对小球 B 在平行于杆方向有  $v'_B = v_2 \sin \theta$ , 由于 A、B 两球在同一杆上, 则有  $v_1 \sin \theta = v_2 \sin \theta$ , 因此  $v_2 = v_1$ , 故 C 正确, A、B、D 错误。



## 综合性 · 创新提升

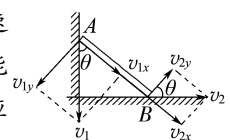
7. 如图所示, AB 杆和竖直墙壁的夹角为  $\theta$  时, 杆的 A 端沿墙壁下滑的速度大小为  $v_1$ , B 端沿地面滑动的速度大小为  $v_2$ , 则  $v_1$ 、 $v_2$  的关系是 ( )



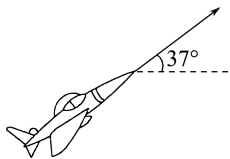
- A.  $v_1 = v_2$
- B.  $v_1 = v_2 \cos \theta$

- C.  $v_1 = v_2 \tan \theta$
- D.  $v_1 = v_2 \sin \theta$

C 解析: 可以把 A、B 两点的速度分解, 如图所示, 由于杆不能变长或变短, 沿杆方向的速度应满足  $v_{1x} = v_{2x}$ , 即  $v_1 \cos \theta = v_2 \sin \theta$ , 则  $v_1 = v_2 \tan \theta$ , C 正确。



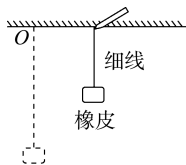
8. 如图所示,一架飞机沿仰角  $37^\circ$  方向斜向上做匀速直线运动,速度的大小为  $v=200\text{ m/s}$ 。取  $\sin 37^\circ=0.6$ ,  $\cos 37^\circ=0.8$ 。下列说法正确的是 ( )



- A. 经过  $t=4\text{ s}$  飞机的水平位移大小是  $800\text{ m}$   
 B. 飞机在竖直方向的分速度是  $100\text{ m/s}$   
 C. 经过  $t=4\text{ s}$  飞机在竖直方向上升了  $480\text{ m}$   
 D. 在飞机飞行过程中,飞行员处于完全失重状态

**C 解析:** 飞机做匀速直线运动,水平位移  $x=v\cos 37^\circ \cdot t=640\text{ m}$ , A 错误;飞机在竖直方向的分速度  $v_y=v\sin 37^\circ=120\text{ m/s}$ , B 错误;经过  $t=4\text{ s}$ ,飞机在竖直方向上升的高度  $h=v_y t=480\text{ m}$ , C 正确;飞机做匀速直线运动,加速度为  $0$ ,竖直方向没有加速度,飞行员没有处于完全失重状态, D 错误。

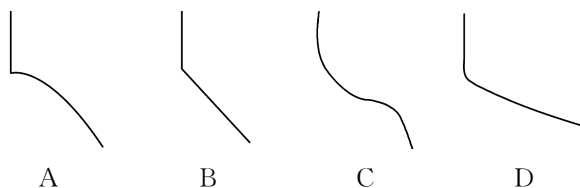
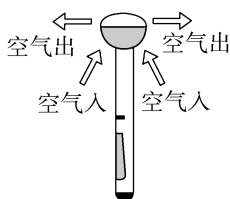
9. 如图所示,一块橡皮用细线悬挂于  $O$  点,用铅笔靠着线的左侧水平向右匀速移动,运动中始终保持悬线竖直,则橡皮运动的速度 ( )



- A. 大小和方向均不变  
 B. 大小不变,方向改变  
 C. 大小改变,方向不变  
 D. 大小和方向均改变

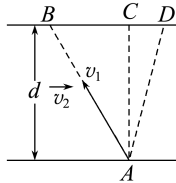
**A 解析:** 橡皮参与了两个分运动,一个是沿水平方向与铅笔速度相同的匀速直线运动,另一个是沿竖直方向与铅笔移动速度大小相等的匀速直线运动,这两个直线运动的合运动是斜向上的匀速直线运动,故选项 A 正确。

10. 如图所示是一种创新设计的“空气伞”示意图,它的原理是从伞柄下方吸入空气,然后将空气加速并从顶部呈环状喷出形成气流,从而改变周围雨水的运动轨迹,形成一个无雨区,起到传统雨伞遮挡雨水的作用。在无风的雨天,若“空气伞”喷出的气流水平,则雨水从气流上方穿过气流区至无气流区的运动轨迹可能是 ( )



**C 解析:** 气流对雨滴有排斥力,当雨滴接近空气伞时,受到水平方向的作用力,此时雨滴所受的合力与运动的方向不在同一条直线上,所以其运动轨迹将逐渐发生弯曲,速度的方向不能发生突变,故 A、B 两项错误;雨滴原来的运动方向沿竖直方向向下,当受到水平方向的作用力后,水平方向做匀加速直线运动,竖直方向做加速直线运动,从受力点开始,合外力和速度成锐角,雨滴所做的运动的轨迹一定是向合外力方向发生弯曲,雨滴离开气流区域后,在重力作用下,运动轨迹向下弯曲,故 C 项正确, D 项错误。

11. 如图所示,河宽  $d=120\text{ m}$ ,设小船在静水中的速度为  $v_1$ ,河水的流速为  $v_2$ 。小船从  $A$  点出发,在渡河时,船身保持平行移动。若出发时船头指向河对岸上游的  $B$  点,经过  $10\text{ min}$ ,小船恰好到达河正对岸的  $C$  点;若出发时船头指向河正对岸的  $C$  点,经过  $8\text{ min}$ ,小船到达  $C$  点下游的  $D$  点。求:  
 (1) 小船在静水中的速度  $v_1$  的大小;  
 (2) 河水的流速  $v_2$  的大小;  
 (3) 在第二次渡河时小船被冲向下游的距离  $x_{CD}$ 。



**解析:** (1) 小船从  $A$  点出发,若船头指向河正对岸的  $C$  点,则此时  $v_1$  方向的位移大小为  $d$ ,故有

$$v_1 = \frac{d}{t_{\min}} = \frac{120}{60 \times 8} \text{ m/s} = 0.25 \text{ m/s}.$$

(2) 船头指向  $B$  点时,设  $AB$  与河岸上游成  $\alpha$  角,由题意可知,此时恰好到达河正对岸的  $C$  点,故  $v_1$  沿河岸方向的分速度大小恰好等于河水的流速  $v_2$  的大小,即  $v_2 = v_1 \cos \alpha$

$$\text{此时渡河时间为 } t = \frac{d}{v_1 \sin \alpha}$$

$$\text{所以 } \sin \alpha = \frac{d}{v_1 t} = 0.8$$

$$\text{故 } v_2 = v_1 \cos \alpha = 0.15 \text{ m/s}.$$

(3) 在第二次渡河时小船被冲向下游的距离为  $x_{CD} = v_2 t_{\min} = 72\text{ m}$ 。

**答案:** (1)  $0.25\text{ m/s}$  (2)  $0.15\text{ m/s}$  (3)  $72\text{ m}$

### 3 探究平抛运动的特点

#### 学习任务目标

1. 知道平抛运动是匀变速曲线运动。(物理观念)
2. 了解用实验获得平抛运动轨迹的方法。(科学探究)
3. 通过观察频闪照片,猜想平抛运动是水平和竖直两个方向分运动的合运动。(科学思维)
4. 通过测量数据探究平抛运动水平方向和竖直方向两分运动的特点和规律。(科学探究)

#### 问题式预习

##### 「实验思路」

##### 1. 提出问题

平抛运动是曲线运动,速度和位移的大小和方向时刻在发生变化。这个复杂的曲线运动有什么规律呢?能否分解为两个简单的直线运动?

##### 2. 科学猜想

由于物体是沿水平方向抛出的,在运动过程中只受重力作用,因此平抛运动可能是水平方向和竖直方向两个分运动的合运动。那么只要研究出这两个分运动的特点,平抛运动的规律就清楚了。

##### 「原理启示」

1. 物体的平抛运动可以看作是两个方向的分运动的合运动,一个是水平方向的分运动,另一个是竖直

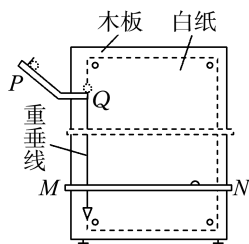
方向的分运动。

##### 2. 探究两个分运动

- (1) 探究物体在水平方向的分运动特点;
- (2) 探究物体在竖直方向的分运动特点。

##### 「实验器材」

斜槽轨道、白纸、复写纸、钢球、图钉、铅笔、刻度尺、重垂线、接球挡板、木板等。



#### 任务型课堂

##### 「原型实验」

1. 在用斜槽轨道做“探究平抛运动的特点”的实验时,可以通过描绘物体平抛运动的轨迹来求物体的平抛初速度。实验主要步骤如下:

- A. 让小钢球多次从\_\_\_\_\_位置由静止滚下,记下小钢球运动途中经过的一系列位置。
- B. 安装好器材,注意斜槽末端水平和木板竖直(检测斜槽末端水平的方法是\_\_\_\_\_),记下小钢球在斜槽末端时球心在木板上的投影点  $O$  和过  $O$  点的竖直线。
- C. 测出轨迹曲线上某点的坐标  $x$ 、 $y$ ,用  $v_0 =$ \_\_\_\_\_算出该小钢球的平抛初速度,实验需要对多个点求  $v_0$  的值,然后求它们的平均值。
- D. 取下白纸,以  $O$  为原点,以竖直方向为  $y$  轴建立坐标系,用平滑曲线画平抛轨迹。

请把上述实验步骤补充完整,其合理的顺序是\_\_\_\_\_ (只排列序号即可)。

**解析:** A 步骤中要记下小钢球运动途中经过的一系列位置,不可能在一次平抛运动中完成,每一次一般只能确定一个位置,若要确定多个位置,要求小钢球每次的轨迹重合,则小钢球开始平抛时的初速度必须相同,因此小钢球每次必须从同一位置滚下; B 步骤中根据平衡法,如果斜槽末端是水平的,小钢球受到的支持力和重力是平衡的,将小钢球放到斜槽末端任何位置,小钢球均不会滚动,如果斜槽末端不是水平的,小钢球将发生滚动; C 步骤中,由  $x = v_0 t$  及  $y = \frac{1}{2} g t^2$  联立即可求得

$$v_0 = x \sqrt{\frac{g}{2y}}$$

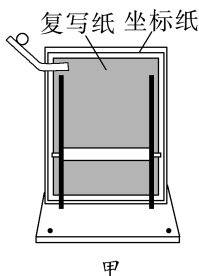
**答案:** 同一 将小钢球放到斜槽末端任一位置,小

钢球均不滚动  $x\sqrt{\frac{g}{2y}}$  BADC

**[特别提醒]**

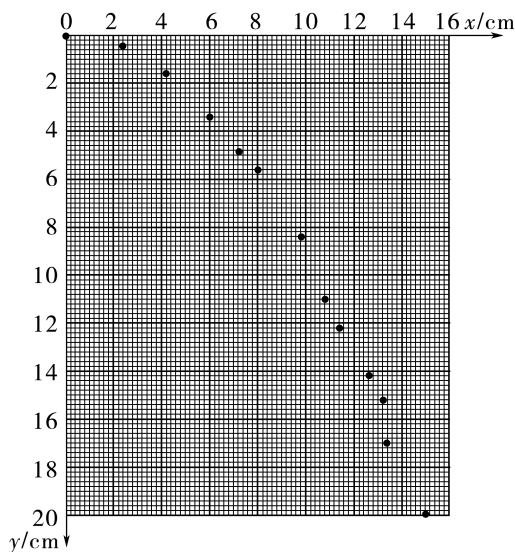
1. 实验中必须调整斜槽末端水平(将小球放在斜槽末端水平部分,若小球静止,则斜槽末端水平)。
2. 方木板必须处于竖直平面内,固定时要用铅垂线检查坐标纸竖线是否竖直。
3. 小球每次必须从斜槽上同一位置由静止释放。
4. 坐标原点不是槽口的端点,而是小球出槽口时球心在木板上的投影点。

2. (2024·河北卷,节选)图甲为探究平抛运动特点的装置,其斜槽位置固定且末端水平,固定坐标纸的背板处于竖直面内,钢球在斜槽中从某一高度滚下,从末端飞出,落在倾斜的挡板上并挤压复写纸,在坐标纸上留下印迹。某同学利用此装置通过多次释放钢球,得到了如图乙所示的印迹,坐标纸的  $y$  轴对应竖直方向,坐标原点对应平抛起点。



(1) 每次由静止释放钢球时,钢球在斜槽上的高度应\_\_\_\_\_ (选填“相同”或“不同”)。

(2) 在坐标纸上描绘出钢球做平抛运动的轨迹。



(3) 根据轨迹,求得钢球做平抛运动的初速度大小为\_\_\_\_\_ m/s(当地重力加速度  $g$  为  $9.8 \text{ m/s}^2$ ,保留两位有效数字)。

**解析:** (1) 探究平抛运动特点的实验中,要使钢球到达斜槽末端的速度相同,则每次由静止释放钢球时,钢球在斜槽上的高度应相同。

(2) 用平滑曲线连接坐标纸上的点,即为钢球做平抛运动的轨迹,作图时应尽可能使多的点落在图线上,不在图线上的点应均匀分布在图线两侧,如答图所示。

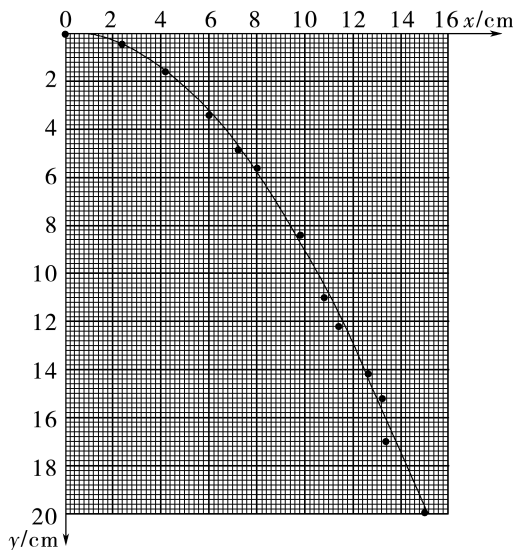
(3) 根据平抛运动规律有  $x=v_0t$  和  $y=\frac{1}{2}gt^2$ ,联

立可得  $v_0=\sqrt{\frac{gx^2}{2y}}$ ,在轨迹图线上选取一点

(8 cm, 5.8 cm),代入数据可得  $v_0=0.74 \text{ m/s}$ 。

**答案:** (1) 相同 (2) 如图所示

(3) 0.74 (0.69~0.79 均可)



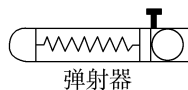
**[特别提醒]**

(1) 为达到探究平抛运动规律的目的,可以根据其规律及各分运动间的等时性和独立性的特点设计实验。

(2) 在分析实验结果或平抛物体频闪照片的一部分时,经常遇到根据方格纸记录的轨迹求平抛物体的初速度的情况,解这类题的依据有两条:一是平抛物体运动的实验原理,二是匀变速直线运动的规律。列出方程  $\Delta y = aT^2$  和  $x=v_0T$ ,再根据相邻两记录点间的有关数据求解。

**「创新实验」**

3. 试根据平抛运动原理设计“测量弹射器弹丸出射初速度”的实验方案。提供的实验器材为弹射器(含弹丸,如图所示)、铁架台(带有夹具)、刻度尺等。



(1)画出实验原理示意图。

(2)在安装弹射器时应注意\_\_\_\_\_。

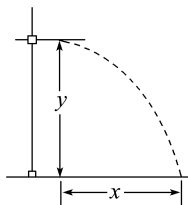
(3)实验中需要测量的量为\_\_\_\_\_ (在示意图中用字母标出)。

(4)由于弹射器每次射出的弹丸初速度不可能完全相等,在实验中应采取的方法是\_\_\_\_\_。

(5)计算公式为\_\_\_\_\_。

**解析:**根据研究平抛运动的实验和平抛运动的原理,可知弹丸被弹出后做平抛运动,通过测量下落高度可求出时间,再测出水平位移可求出平抛的初速度。

(1)实验示意图如图所示。



(2)弹射器必须保持水平。

(3)实验中需要测量的量为弹丸下落高度  $y$  和水平射程  $x$ 。

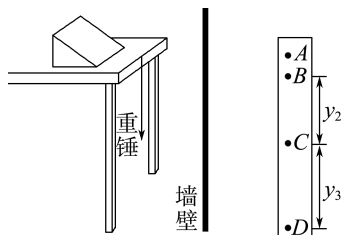
(4)在不改变高度  $y$  的条件下进行多次实验,测量水平射程  $x$ ,得出水平射程  $x$  的平均值  $\bar{x}$ ,以减小误差。

(5)因为  $y = \frac{1}{2}gt^2$ , 所以  $t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$

又因  $\bar{x} = v_0 t$ , 故  $v_0 = \frac{\bar{x}}{t} = \frac{\bar{x}}{\sqrt{\frac{2y}{g}}} = \bar{x} \sqrt{\frac{g}{2y}}$ 。

**答案:**见解析

4.某同学设计了一个测量平抛运动初速度的实验装置,如图所示,在水平桌面上固定一个斜面,让钢球从斜面上滚下,钢球滚过桌边后便做平抛运动,他把桌子搬到竖直墙壁附近,使做平抛运动的钢球能打在附有白纸与复写纸的墙壁上,在白纸上记录钢球的撞点,然后不断改变桌子和墙壁间的距离,就可以得到多组数据。



(1)为了完成实验,除了题中和图中所示的器材外,还需要的器材有\_\_\_\_\_。

(2)如果该同学第一次让桌子紧靠墙壁,从斜面上某一位置由静止释放钢球,在白纸上得到痕迹 A,以后每次将桌子向后移动距离  $x = 10.00 \text{ cm}$ ,重复刚才的操作,依次在白纸上留下痕迹 B、C、D,测得 B、C 间的距离  $y_2 = 14.58 \text{ cm}$ , C、D 间的距离  $y_3 = 24.38 \text{ cm}$ ,根据以上直接测量的物理量可得钢球做平抛运动的初速度  $v_0 =$ \_\_\_\_\_ (用  $x$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ 、 $g$  表示),钢球的初速度为\_\_\_\_\_ m/s,若痕迹 D 刚好位于墙脚,桌子的高度为\_\_\_\_\_ m。(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,结果均保留两位有效数字)

(3)关于该实验,下列说法不正确的是\_\_\_\_\_。

- A. 墙壁必须是竖直的
- B. 每次都应该从斜面上同一位置由静止释放钢球
- C. 实验过程中,可以在桌面上向前或向后移动斜面
- D. 钢球经过桌面边缘的位置的切线方向应该水平

**解析:**(1)除了题中和题图中所示的器材外,还需要的器材有刻度尺,用来测量距离。

(2)根据做平抛运动的物体在水平方向上做匀速直线运动可知,钢球从 B 到 C 和从 C 到 D 的时间相同,设为  $T$ ,做平抛运动的物体在竖直方向上做自由落体运动,根据自由落体运动规律有  $y_3 - y_2 =$

$gT^2$ , 可得  $T = \sqrt{\frac{y_3 - y_2}{g}}$ , 因此  $v_0 = \frac{x}{T} =$

$x \sqrt{\frac{g}{y_3 - y_2}}$ , 代入数据解得  $v_0 = 1.0 \text{ m/s}$ , 由题可知

$\Delta h = y_3 - y_2 = 9.80 \text{ cm}$ , 则  $y_{AB} = (14.58 - 9.80) \text{ cm} = 4.78 \text{ cm}$ , 因此桌子的高度  $h_{AD} = 4.78 \text{ cm} + 14.58 \text{ cm} + 24.38 \text{ cm} = 43.74 \text{ cm} = 0.44 \text{ m}$ 。

(3)根据平抛运动的特点可知钢球的运动轨迹在竖直平面内,本实验中需要测量钢球在竖直方向上下落的高度,因此墙壁必须是竖直的, A 说法正确;为了保证每次钢球做平抛运动的初速度相同,即运动轨迹相同,每次都应该从斜面上同一位置由静止释放钢球, B 说法正确;实验过程中,不可以向桌面上向前或向后移动斜面,否则钢球做平抛运动的初速度大小将发生改变, C 说法错误;实验中要保证钢球做平抛运动,钢球经过桌面边缘的位置的切线方向应该水平, D 说法正确。

**答案:**(1)刻度尺 (2)  $x \sqrt{\frac{g}{y_3 - y_2}}$  1.0 0.44

(3) C

## 课后素养评价(三) 探究平抛运动的特点

### 一、实验思路及操作

1. (多选)在用斜槽轨道做“探究平抛运动的特点”的实验中,让小球多次沿同一轨道运动,通过描点法画出小球做平抛运动的轨迹。为了能够较准确地描绘出其运动轨迹,下面列出了一些操作要求,其中正确的是 ( )

- A. 通过调节斜槽使其末端切线水平  
 B. 每次释放小球的位置可以不同  
 C. 每次必须由静止释放小球  
 D. 小球运动时不应与木板上的白纸(或方格纸)相接触

ACD **解析:**因为平抛运动要求物体在抛出时必须只具有水平方向的速度,所以必须保证斜槽末端水平,故 A 正确;在用描点法作平抛运动的轨迹时,每次只能描出一个点,应让小球多次沿同一轨道做相同的平抛运动,因此每次必须从同一位置由静止释放小球,故 B 错误,C 正确;小球在下落过程中不能与白纸(或方格纸)相接触,否则摩擦或碰撞会改变小球做平抛运动的轨迹,故 D 正确。

2. (1)(多选)在做“探究平抛运动的特点”的实验时,除了木板、小球、斜槽、铅笔、图钉之外,下列器材还需要的是\_\_\_\_\_。

- A. 游标卡尺                      B. 停表  
 C. 坐标纸                         D. 天平  
 E. 弹簧测力计                  F. 重垂线

(2)(多选)关于该实验,下列说法正确的是\_\_\_\_\_。

- A. 应使小球每次从斜槽上相同的位置自由滑下  
 B. 斜槽轨道必须光滑  
 C. 要使描出的轨迹更好地反映真实运动,记录的点应适当多一些  
 D. 斜槽轨道末端可以不水平

**解析:**(1)实验中需要在坐标纸上记录小球的位置,描绘小球的运动轨迹,需要利用重垂线确定坐标轴的  $y$  轴,故 C、F 是需要的。

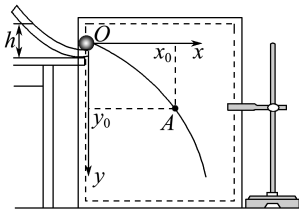
(2)使小球从斜槽上同一位置由静止滑下,才能保证每次的轨迹相同,A 正确;斜槽没必要光滑,只要能使小球滑出的初速度相同即可,B 错误;实验中记录的点越多,轨迹越精确,C 正确;斜槽末端必须水平,才能保证小球离开斜槽后做平抛运动,D 错误。

**答案:**(1)CF (2)AC

### 二、实验数据处理

3. 在“研究平抛运动”实验中,以小钢球离开轨道末端

时球心位置为坐标原点  $O$ ,建立水平与竖直坐标轴。让小球从斜槽上离水平桌面高为  $h$  处静止释放,使其水平抛出,通过多次描点可绘出小球做平抛运动时球心的轨迹,如图所示。在轨迹上取一点  $A$ ,读取其坐标  $(x_0, y_0)$ 。重力加速度为  $g$ 。



(1)下列说法正确的是\_\_\_\_\_。

- A. 实验所用斜槽应尽量光滑  
 B. 画轨迹时应把所有描出的点用平滑的曲线连接起来  
 C. 求平抛运动初速度时应读取轨迹上离原点较远的点的数据

(2)根据题目所给信息,小球做平抛运动的初速度大小  $v_0 =$ \_\_\_\_\_。

- A.  $\sqrt{2gh}$                               B.  $\sqrt{2gy_0}$   
 C.  $x_0 \sqrt{\frac{g}{2h}}$                               D.  $x_0 \sqrt{\frac{g}{2y_0}}$

(3)在本实验中要求小球多次从斜槽上同一位置由静止释放的理由是\_\_\_\_\_。

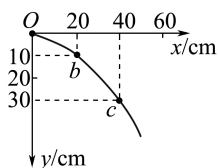
**解析:**(1)只要保证小球每次从同一位置由静止释放,到达斜槽末端的速度大小都相同即可,与实验所用斜槽是否光滑无关,故 A 错误;画轨迹时应舍去误差较大的点,把误差小的点用平滑的曲线连接起来,故 B 错误;求平抛运动的初速度时应读取轨迹上离原点较远的点的数据,便于减小读数产生的偶然误差,故 C 正确。

(2)坐标原点  $O$  为抛出点,由平抛运动规律有  $x_0 = v_0 t, y_0 = \frac{1}{2} g t^2$ , 联立解得小球做平抛运动的初速度为  $v_0 = x_0 \sqrt{\frac{g}{2y_0}}$ , 故 D 正确。

(3)小球多次从斜槽上同一位置由静止释放是为了保证到达斜槽末端的速度大小都相同,从而能确保多次运动的轨迹相同。

**答案:**(1)C (2)D (3)确保多次运动的轨迹相同

4. 某同学在做平抛运动实验时得到了如图所示的运动轨迹, $O$ 、 $b$ 、 $c$  三点的位置在运动轨迹上已标出,则(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ):



- (1) 小球平抛的初速度为 \_\_\_\_\_ m/s。  
 (2) 小球抛出点的位置坐标为  $x =$  \_\_\_\_\_ cm,  $y =$  \_\_\_\_\_ cm。

**解析:** (1) 由平抛运动规律得, 在  $x$  轴方向上  $x_{Ob} = v_0 T$ , 在竖直方向上  $h_{bc} - h_{Ob} = gT^2$ , 代入数据解得  $T = 0.1$  s,  $v_0 = 2$  m/s。

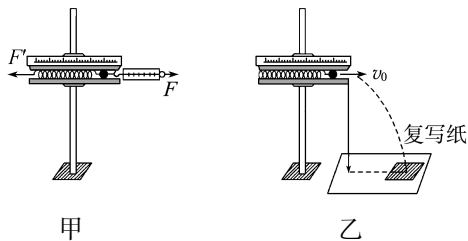
(2) 小球经过  $b$  点时竖直分速度  $v_{by} = \frac{h_{Ob}}{2T} = 1.5$  m/s,

小球从开始至运动到  $b$  点历时  $t_b = \frac{v_{by}}{g} = 0.15$  s, 说明小球经过  $O$  点时已经运动了  $t_0 = 0.05$  s, 所以小球抛出点的坐标  $x = -v_0 t_0 = -10$  cm,  $y = -\frac{1}{2} g t_0^2 = -1.25$  cm。

**答案:** (1) 2 (2) -10 -1.25

### 三、创新实验

5. 如图所示, 用底部带孔的玻璃试管和弹簧可以组装一个简易“多功能实验器”, 利用该实验器, 一方面能测弹簧的劲度系数(图甲), 另一方面可测量小球做平抛运动的初速度(图乙)。



- (1) 使用该装置测量弹簧劲度系数  $k$  时, 需要读出几次操作时的 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_, 然后由公式 \_\_\_\_\_ 求出  $k$  的值并取平均值。  
 (2) 使用该装置测量小球的初速度时, 需要多次将弹簧的右端压到 \_\_\_\_\_ (选填“同一”或“不同”) 位置。然后分别测出小球几次飞出后的 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_, 再由公式 \_\_\_\_\_ 求出初速度, 并求其平均值。

**解析:** (1) 根据胡克定律  $F = k \Delta x$ , 可得  $k = \frac{F}{\Delta x}$ , 弹簧的劲度系数可由弹簧的伸长量(或压缩量)和弹力计算。

(2) 实验时需要多次将弹簧的右端压到同一位置, 保证小球每次抛出时具有相同初速度; 物体做平抛运动时,

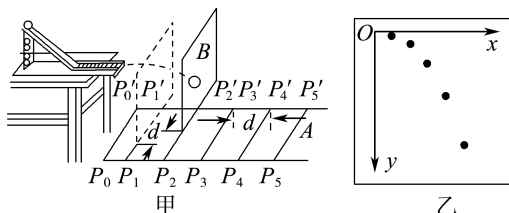
水平方向上  $x = v_0 t$ , 竖直方向上  $h = \frac{1}{2} g t^2$ , 所以

$$v_0 = x \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

**答案:** (1) 弹簧测力计的示数  $F$  弹簧的伸长量  $\Delta x$   $k = \frac{F}{\Delta x}$

(2) 同一 水平位移  $x$  竖直高度  $h$   $v_0 = x \sqrt{\frac{g}{2h}}$

6. 某同学设计了一个研究平抛运动的实验, 实验装置示意图如图甲所示。  $A$  是一块水平木板, 在其上等间隔地开凿出一组平行的插槽(图甲中的  $P_0 P'_0, P_1 P'_1 \dots$ ), 槽间距离均为  $d$ 。把覆盖复写纸的白纸铺贴在硬板  $B$  上, 实验时依次将  $B$  插入  $A$  板的各插槽中, 每次让小球从斜轨的同一位置由静止释放。每打完一点后, 把  $B$  板插入后一槽中并同时向纸面内侧平移距离  $d$ 。实验得到小球在白纸上打下的若干痕迹点, 如图乙所示。



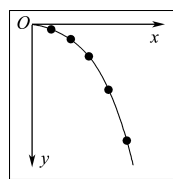
- (1) 实验前应对斜轨反复调节, 直到 \_\_\_\_\_ 为止。每次让小球从同一位置由静止释放, 是为了 \_\_\_\_\_。  
 (2) 每次将  $B$  板向纸面内侧平移距离  $d$ , 是为了 \_\_\_\_\_。

(3) 在图乙中画出小球做平抛运动的轨迹。

**解析:** (1) 实验前要反复调节斜轨, 使斜轨末端水平。小球每次离开斜轨后, 应做轨迹相同的平抛运动, 所以每次让小球从同一位置由静止释放, 是为了使小球每次平抛时的初速度相同。

(2) 每次  $B$  板插入后一槽中会使小球的水平位移增加  $d$ , 所以每次将  $B$  板向纸面内侧平移距离  $d$ , 就可以对应水平位移的变化, 使  $B$  板上  $x$  轴的坐标能表示水平位置的变化。

(3) 用平滑曲线连接各点, 可得轨迹如图所示。

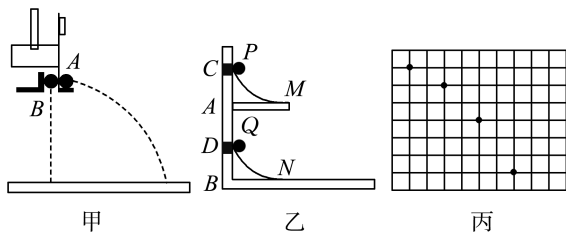


**答案:** (1) 斜轨末端水平 保证小球每次平抛时的初速度相同 (2) 使板上  $x$  轴的坐标能表示小球的水平位移

(3) 见解析图

7. 三位同学根据不同的实验条件,进行了“探究平抛运动的特点”的实验。

(1) 第一位同学采用如图甲所示的装置,用小锤击打弹性金属片,金属片把 A 球沿水平方向弹出,同时 B 球被松开,自由下落,观察到两球同时落地,改变小锤打击的力度,即改变 A 球被弹出的速度,两球仍然同时落地,这说明\_\_\_\_\_。



(2) 第二位同学采用如图乙所示的装置。两个相同的弧形轨道 M、N,分别用于发射小铁球 P、Q,其中轨道 N 的末端可看作与光滑的水平板相切(水平板足够长),两轨道上端 C、D 处分别装有电磁铁;调节电磁铁的高度使  $AC=BD$ ,从而保证小铁球 P、Q 在轨道出口处的水平初速度  $v_0$  相等。现将小铁球 P、Q 分别吸在电磁铁上,然后同时切断电源,使两小球能以相同的初速度  $v_0$  同时分别从轨道 M、N 的末端飞出。实验可观察到的现象应是\_\_\_\_\_。仅仅改变弧形轨道

M 的高度,重复上述实验,仍能观察到相同的现象,这说明\_\_\_\_\_。

(3) 第三位同学采用频闪摄影的方法拍摄到如图丙所示的“小球做平抛运动”的照片,图中每个小方格的边长为  $1.25\text{ cm}$ ,则由图丙可求得拍摄时每\_\_\_\_\_s 曝光一次,该小球做平抛运动的初速度大小为\_\_\_\_\_m/s。(取  $g=9.8\text{ m/s}^2$ )

**解析:**(1) 通过实验发现,两球的运动具有等时性,由此说明做平抛运动的物体在竖直方向上做自由落体运动。

(2) 可观察到两球在水平轨道上相遇,水平方向运动情况相同,说明平抛运动的水平分运动是匀速直线运动。

(3) 小球在竖直方向上做加速度为  $g$  的匀加速直线运动,所以有  $\Delta y=gT^2$ ,  $\Delta y=1.25\times 10^{-2}\text{ m}$  得  $T\approx 3.57\times 10^{-2}\text{ s}$

又因为每个闪光时间内水平位移  $x=2\times 1.25\times 10^{-2}\text{ m}=2.5\times 10^{-2}\text{ m}$

则  $v_0=\frac{x}{T}=\frac{2.5\times 10^{-2}}{3.57\times 10^{-2}}\text{ m/s}\approx 0.7\text{ m/s}$ 。

**答案:**(1) 做平抛运动的物体在竖直方向上做自由落体运动 (2) P 球击中 Q 球 做平抛运动的物体在水平方向上做匀速直线运动 (3)  $3.57\times 10^{-2}$  0.7

## 4 研究平抛运动的规律

### 5 斜抛运动(选学)

#### 学习任务目标

1. 会应用运动的合成与分解分析平抛运动,理解平抛运动的规律。(物理观念)
2. 会确定运动的速度和位移,知道平抛运动的轨迹是一条抛物线。(科学思维)
3. 能利用运动的合成与分解的方法分析一般的抛体运动。(科学思维)
4. 通过对生活中抛体运动的分析,拓展对运动多样性的认识,体会物理学中化繁为简的研究方法。(科学态度与责任)

## 问题式预习

### 知识点一 平抛运动的规律

#### 1. 平抛运动的速度

- (1) 水平方向: 不受力, 为匀速直线运动,  $v_x=v_0$ 。
- (2) 竖直方向: 只受重力, 为自由落体运动,  $v_y=gt$ 。
- (3) 合速度:  $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+(gt)^2}$ 。
- (4) 方向: 合速度与水平方向的夹角  $\theta$  满足  $\tan\theta=$

$$\frac{v_y}{v_x}=\frac{gt}{v_0}$$

#### 2. 平抛运动的位移与轨迹

(1) 平抛运动: 水平位移  $x=v_0t$ , 竖直位移  $y=\frac{1}{2}gt^2$ 。

(2) 平抛运动的轨迹方程为  $y=\frac{g}{2v_0^2}x^2$ , 它的图像是一条抛物线。

#### [科学思维]

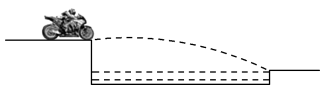
平抛运动是匀变速运动, 平抛运动的速度大小是均匀增大的吗? 为什么?

**提示:**不是。平抛运动的竖直分速度均匀增大,水平分速度保持不变,因此合速度的大小虽增大但不是均匀增大。平抛运动的“匀变速”特点应理解为相等时间内速度的变化量恒定不变。

**[做一做]**

如图所示,一条小河两岸的高度差是  $h$ ,河宽是高度差的 4 倍,一特技演员骑摩托车(可看作质点)以  $v_0 = 20 \text{ m/s}$  的水平速度向河对岸飞去,恰好越过小河。忽略空气阻力,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

- (1)摩托车在空中的飞行时间;
- (2)小河的宽度。



**解析:**(1)设河宽为  $x$ ,运动时间为  $t$ ,由平抛运动的

规律得竖直方向上  $h = \frac{1}{2}gt^2$

水平方向上  $x = v_0t$ ,且  $x = 4h$

联立上式解得  $t = 1 \text{ s}$ 。

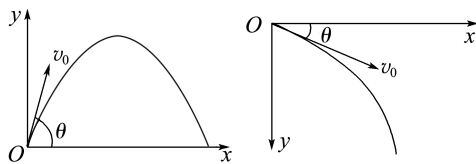
(2)小河的宽度为  $x = v_0t = 20 \times 1 \text{ m} = 20 \text{ m}$ 。

**答案:**(1)1 s (2)20 m

**知识点二 斜抛运动**

1.物体抛出的速度  $v_0$  斜向上方或斜向下方时,物体做斜抛运动(设  $v_0$  与水平方向夹角为  $\theta$ ),如图

所示。



- 2.水平方向:物体做匀速直线运动,初速度  $v_{0x} = v_0 \cos \theta$ 。
- 3.竖直方向:物体做竖直上抛或竖直下抛运动,初速度  $v_{0y} = v_0 \sin \theta$ 。

**[科学思维]**

对于斜抛运动的分析,应采用什么方法处理?

**提示:**一般的斜抛运动和平抛运动的处理方法相同,均将运动分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的匀变速直线运动。

**[判一判]**

- (1)竖直上抛运动和竖直下抛运动都属于抛体运动。 (  )
- (2)斜抛运动和平抛运动在水平方向上都是匀速直线运动。 (  )
- (3)斜抛运动和平抛运动在竖直方向上都是自由落体运动。 (  )
- (4)做斜抛运动的物体,抛出后速度先减小后增大。 (  )

**任务型课堂**

**任务一 对平抛运动特点的理解**

1.(多选)关于做平抛运动的物体,以下说法正确的是 ( BC )

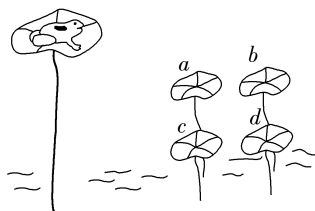
- A. 做平抛运动的物体,速度和加速度都随时间的增加而增大
- B. 做平抛运动的物体仅受到重力的作用,所以加速度保持不变
- C. 物体的平抛运动是匀变速运动
- D. 物体的平抛运动是变加速运动

2.做平抛运动的物体,每秒的速度增量总是 ( A )

- A. 大小相等,方向相同
- B. 大小不等,方向不同
- C. 大小相等,方向不同
- D. 大小不等,方向相同

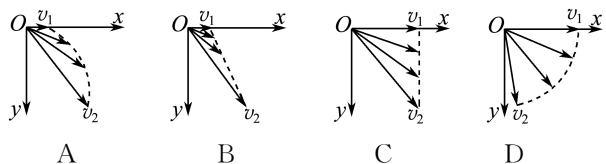
3.(2024·湖北卷)如图所示,有五片荷叶伸出荷塘水面,一只青蛙要从高处荷叶跳到低处荷叶上。设低处荷叶  $a, b, c, d$  和青蛙在同一竖直平面内,  $a, b$  高度相同,  $c, d$  高度相同,  $a, b$  分别在  $c, d$  正上方。将青蛙的跳跃视为平抛运动,若以最小的初速度完

成跳跃,则它应跳到 ( C )



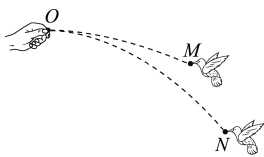
- A. 荷叶  $a$
- B. 荷叶  $b$
- C. 荷叶  $c$
- D. 荷叶  $d$

4.某人站在平台上平抛一小球,小球离手时的速度为  $v_1$ ,落地时的速度为  $v_2$ ,不计空气阻力,能正确表示出速度矢量演变过程的图是 ( C )

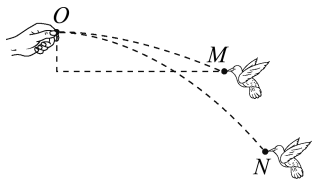


5.(2025·云南卷)如图所示,某同学将两颗鸟食从  $O$  点水平抛出,两只小鸟分别在空中的  $M$  点和  $N$  点同时接到鸟食。鸟食的运动可视为平抛运动,两运动轨迹在同一竖直平面内,则 ( )

- A. 两颗鸟食同时抛出  
 B. 小鸟在  $N$  点接到的鸟食后抛出  
 C. 两颗鸟食平抛的初速度相同



- D. 小鸟在  $M$  点接到的鸟食平抛的初速度较大  
 D 解析: 鸟食的运动可视为平抛运动, 则在竖直方向有  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , 由于  $h_M < h_N$ , 因此  $t_M < t_N$ , 要同时接到鸟食, 则小鸟在  $N$  点接到的鸟食应先抛出, 故 A、B 错误; 在水平方向有  $x = v_0t$ , 如图所示, 过  $M$  点作一水平面, 可看出在相同高度  $M$  点鸟食的水平位移较大, 则小鸟在  $M$  点接到的鸟食平抛的初速度较大, 故 C 错误, D 正确。



### 任务总结

#### 平抛运动的特点

##### (1) 理想化特点

物理上提出的平抛运动是一种理想化的模型, 即把物体看成质点, 抛出后只考虑重力作用, 忽略空气阻力。

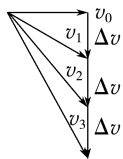
##### (2) 运动性质

平抛运动的加速度恒定, 始终等于重力加速度, 是一种匀变速曲线运动。这是抛体运动的共同特点。

##### (3) 速度变化的特点

①速度的方向和大小在不断变化, 任意时刻速度的水平分量均等于初速度  $v_0$ ;

②任意相等时间间隔  $\Delta t$  内速度的变化量  $\Delta v = g\Delta t$  相同, 方向恒为竖直向下。

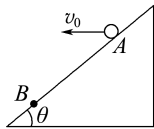


### 任务二 平抛运动规律的应用

1. 在高空以初速度  $v_0$  水平抛出一石子, 在它的速度由水平方向变化为与水平方向成  $\theta$  角的过程中, 石子在水平方向的位移大小是 ( C )

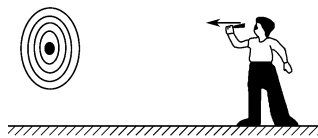
- A.  $\frac{v_0^2 \sin \theta}{g}$       B.  $\frac{v_0^2 \cos \theta}{g}$   
 C.  $\frac{v_0^2 \tan \theta}{g}$       D.  $\frac{v_0^2}{g \tan \theta}$

2. 如图所示, 从倾角为  $\theta$  的斜面上的  $A$  点以水平速度  $v_0$  抛出一个小球, 不计空气阻力, 它落在斜面上  $B$  点所用的时间为 ( B )



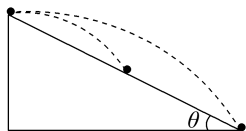
- A.  $\frac{2v_0 \sin \theta}{g}$       B.  $\frac{2v_0 \tan \theta}{g}$   
 C.  $\frac{v_0 \sin \theta}{g}$       D.  $\frac{v_0 \tan \theta}{g}$

3. 人在距地面高  $h$ 、离靶面距离  $l$  处, 将质量为  $m$  的飞镖以速度  $v_0$  水平投出, 落在靶心正下方, 如图所示。只改变  $h$ 、 $l$ 、 $m$ 、 $v_0$  四个量中的一个, 可使飞镖投中靶心的是 ( D )



- A. 适当减小  $v_0$       B. 适当减小  $h$   
 C. 适当减小  $m$       D. 适当减小  $l$

4. (多选) 如图所示, 在斜面顶端先后水平抛出同一小球, 第一次小球落到斜面中点, 第二次小球落到斜面底端。从抛出到落至斜面上(忽略空气阻力), 下列说法正确的是 ( )



- A. 两次小球运动时间之比  $t_1 : t_2 = 1 : \sqrt{2}$   
 B. 两次小球运动时间之比  $t_1 : t_2 = 1 : 2$   
 C. 两次小球抛出时初速度之比  $v_{01} : v_{02} = 1 : \sqrt{2}$   
 D. 两次小球抛出时初速度之比  $v_{01} : v_{02} = 1 : 2$

AC 解析: 对位移进行分解可得,  $\frac{1}{2}gt^2 = \tan \theta \cdot v_0 t$ , 得

$t = \frac{2v_0}{g} \tan \theta$ , 则  $t_1 = \frac{2v_{01}}{g} \tan \theta$ ,  $t_2 = \frac{2v_{02}}{g} \tan \theta$ , 水平

位移  $x_1 = v_{01} t_1 = \frac{2v_{01}^2 \tan \theta}{g}$ ,  $x_2 = v_{02} t_2 = \frac{2v_{02}^2 \tan \theta}{g}$ ,

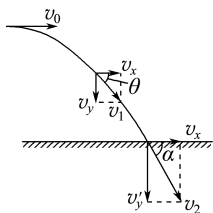
由题知  $x_2 = 2x_1$ , 则  $2v_{01}^2 = v_{02}^2$ ,  $v_{01} : v_{02} = 1 : \sqrt{2}$ , C 正确, D 错误;  $t_1 : t_2 = v_{01} : v_{02} = 1 : \sqrt{2}$ , A 正确, B 错误。

5. 平抛一物体, 抛出 1 s 后它的速度方向与水平方向成  $45^\circ$  角, 落地时速度方向与水平方向成  $60^\circ$  角, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

(1) 初速度  $v_0$  的大小;

- (2)落地速度  $v_2$  的大小;  
 (3)开始抛出时距地面的高度;  
 (4)水平射程。

**解析:**(1)如图所示,水平方向  $v_x = v_0$ , 竖直方向  $v_y = gt$ , 抛出 1 s 时速度与水平方向成  $45^\circ$  角, 即  $\theta = 45^\circ$



因为  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = 1$

则初速度  $v_0 = v_y = gt = 10 \text{ m/s}$ 。

(2)落地时,  $\cos \alpha = \frac{v_x}{v_2}$ , 其中  $\alpha = 60^\circ$

所以落地速度  $v_2 = \frac{v_0}{\cos 60^\circ} = 20 \text{ m/s}$ 。

(3)落地时竖直速度  $v'_y = v_x \tan \alpha = 10\sqrt{3} \text{ m/s}$

飞行时间  $t' = \frac{v'_y}{g} = \sqrt{3} \text{ s}$

降落的高度  $h = \frac{1}{2}gt'^2 = 15 \text{ m}$ 。

(4)水平射程  $x = v_0 t' = 10\sqrt{3} \text{ m}$ 。

**答案:**(1)10 m/s (2)20 m/s (3)15 m

(4) $10\sqrt{3} \text{ m}$

### 任务总结

#### 描述平抛运动的物理量

(1)运动时间:由  $h = \frac{1}{2}gt^2$  得  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 可知做平抛运动的物体在空中的运动时间只取决于下落高度  $h$ , 与初速度的大小无关。

(2)落地速度:速度的大小为  $v_t = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$ ; 以  $\theta$  表示落地速度与水平方向间的夹角, 有  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{\sqrt{2gh}}{v_0}$ , 即落地速度由初速度  $v_0$  和下落高度  $h$  共同决定。

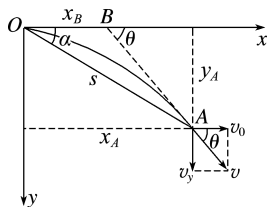
(3)位移的变化规律:由  $x = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$  可知, 水平射程与初速度  $v_0$  和下落高度  $h$  有关, 与其他因素无关; 在任意相等时间间隔内, 水平位移相同, 即  $\Delta x = v_0 \Delta t$ ; 在连续相等的时间间隔  $\Delta t$  内, 竖直方向上的位移差相同, 即  $\Delta y = g(\Delta t)^2$ 。

## 任务三 平抛运动的推论

### [探究活动]

应用平抛运动的基本规律, 解决以下问题。

(1)如图所示, 请证明做平抛运动的物体在任意时刻瞬时速度的反向延长线一定通过此时水平位移的中点, 即  $x_B = \frac{x_A}{2}$ 。



**提示:**从速度的分解来看, 速度偏向角的正切值

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0}$$

速度偏向角的正切值还可以用长度之比来表示, 即

$$\tan \theta = \frac{y_A}{x_A - x_B} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t - x_B}$$

联立解得  $x_B = \frac{1}{2}v_0 t = \frac{1}{2}x_A$

即速度的反向延长线通过此时水平位移的中点。

(2)做平抛运动的物体在任意时刻或任意位置处, 速度偏向角  $\theta$  与位移偏向角  $\alpha$  有什么关系?

**提示:**由(1)知, 速度偏向角的正切值  $\tan \theta = \frac{gt}{v_0}$

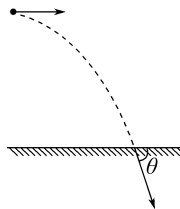
由题图知位移偏向角的正切值

$$\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{gt}{2v_0}$$

比较两式可得  $\tan \theta = 2 \tan \alpha$ 。

### [评价活动]

1. 如图所示, 一小球从某高度处水平抛出, 经过时间  $t$  到达地面时, 速度与水平方向的夹角为  $\theta$ , 不计空气阻力, 重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是 ( )



- A. 小球水平抛出时的初速度大小为  $\frac{gt}{\tan \theta}$
- B. 小球在时间  $t$  内的位移与水平方向的夹角为  $\frac{\theta}{2}$
- C. 若小球初速度增大, 则平抛运动的时间变长
- D. 若小球初速度增大, 则  $\theta$  增大

**A 解析:** 小球落地时竖直方向上的分速度为  $v_y = gt$ , 因为小球落地时速度方向与水平方向的夹角为  $\theta$

$\theta$ , 夹角的正切值  $\tan \theta = \frac{gt}{v_0}$ , 所以小球水平抛出时

的初速度为  $v_0 = \frac{v_y}{\tan \theta} = \frac{gt}{\tan \theta}$ , 故 A 正确; 设位移与

水平方向的夹角为  $\alpha$ , 其正切值  $\tan \alpha = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} =$

$\frac{gt}{2v_0}$ , 所以  $\tan \theta = 2 \tan \alpha$ , 但  $\alpha \neq \frac{\theta}{2}$ , 故 B 错误; 根据

$h = \frac{1}{2}gt^2$  解得  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 可知小球的运动时间与下

落高度有关, 与初速度无关, 小球初速度增大, 平抛

运动的时间不变, 故 C 错误; 若小球初速度增大, 由

于下落时间  $t$  不变, 又  $\tan \theta = \frac{gt}{v_0}$ , 则  $\tan \theta$  减小, 即

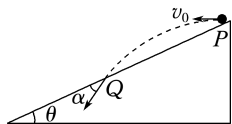
$\theta$  减小, 故 D 错误。  
2. 如图所示, 从倾角为  $\theta$  的足够长的斜面顶端  $P$  以速度  $v_0$  水平抛出一个小球, 落在斜面上的  $Q$  点, 小球落在斜面上的速度与斜面的夹角为  $\alpha$ 。若初速度变为  $kv_0$ , 小球仍然落在斜面上, 不计空气阻力, 则以下说法正确的是 ( )

A. 夹角  $\alpha$  将变为原来的  $k$  倍

B. 夹角  $\alpha$  不变

C. 小球在空中的运动时间不变

D. 小球的水平位移和竖直位移之比变为原来的  $k$  倍



B 解析: 小球落在  $Q$  点时, 由平抛运动的推论可知速度方向与水平方向夹角  $\beta$  的正切值是位移与水平方向夹角  $\theta$  正切值的 2 倍, 即  $\tan \beta = 2 \tan \theta$ ; 因为位移与水平方向夹角  $\theta$  不变, 则速度与水平方向夹角  $\beta$  不变, 所以两个角度之差即  $\alpha$  不变, A 错误,

B 正确。根据  $\tan \theta = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{gt}{2v_0}$ , 解得小球在

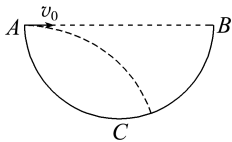
空中的运动时间为  $t = \frac{2v_0 \tan \theta}{g}$ , 若初速度变为原

来的  $k$  倍, 则小球在空中的运动时间变为原来的  $k$

倍, C 错误。小球的水平位移和竖直位移之比为  $\frac{x}{y}$

$= \frac{v_0 t}{\frac{1}{2}gt^2} = \frac{2v_0}{gt}$ , 因为初速度变为原来的  $k$  倍, 小球

在空中的运动时间变为原来的  $k$  倍, 所以位移之比没有变化, D 错误。  
3. 如图所示, 薄半球壳  $ACB$  的水平直径为  $AB$ ,  $C$  为最低点, 半径为  $R$ 。一个小球从  $A$  点以速度  $v_0$  水平抛出, 不计空气阻力。则下列判断正确的是 ( )



A. 只要  $v_0$  足够大, 小球可以击中  $B$  点

B.  $v_0$  取值不同时, 小球落在球壳上的速度方向和水平方向之间的夹角可以相同

C.  $v_0$  取值适当, 可以使小球垂直撞击到半球壳上

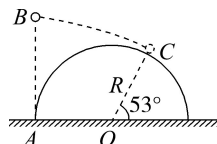
D. 无论  $v_0$  取何值, 小球都不可能垂直撞击到半球壳上

D 解析: 小球做平抛运动, 竖直方向有位移,  $v_0$  再大小球也不可能击中  $B$  点, A 错误;  $v_0$  不同, 小球会落在半球壳内不同点上, 落点和  $A$  点的连线与  $AB$  间的夹角  $\alpha$  不可能相同, 由推论  $\tan \theta = 2 \tan \alpha$  可知, 小球落在半球壳的不同位置上时的速度方向和水平方向之间的夹角  $\theta$  也不相同, 若小球垂直撞击到半球壳上, 则其速度的反向延长线一定经过半球壳的球心, 且该反向延长线与  $AB$  的交点为水平位移的中点, 而这是不可能的, 故 B、C 错误, D 正确。

4. 如图所示, 一半径  $R = 0.75 \text{ m}$  的半圆柱体放在水平地面上, 一小球从半圆柱体截面左侧  $A$  点正上方的  $B$  点水平抛出 (小球可视为质点), 恰好从半圆柱体的  $C$  点掠过。已知  $O$  点为半圆柱体截面半圆的圆心,  $O$ 、 $C$ 、 $B$  三点在同一竖直平面内,  $OC$  与水平方向间的夹角为  $53^\circ$ 。取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$ ,  $\cos 37^\circ = 0.8$ , 不计空气阻力。求:

(1) 小球从  $B$  点运动到  $C$  点所用的时间;

(2) 小球做平抛运动的初速度大小。



解析: (1) 小球做平抛运动, 恰好从半圆柱体的  $C$  点掠过,  $OC$  与水平方向夹角为  $53^\circ$ , 可知小球在  $C$  点时速度方向与水平方向的夹角为  $37^\circ$ , 设小球从  $B$  点运动到  $C$  点的位移方向与水平方向的夹角为  $\theta$ ,

由平抛运动的推论可知  $\tan \theta = \frac{\tan 37^\circ}{2} = \frac{3}{8}$

又  $\tan \theta = \frac{y}{x}$

由几何关系可得  $x = R(1 + \cos 53^\circ) = 1.2 \text{ m}$

联立解得  $y = 0.45 \text{ m}$

根据  $y = \frac{1}{2}gt^2$

可得  $t = \sqrt{\frac{2y}{g}} = 0.3 \text{ s}$ 。

(2) 根据  $x = 1.2 \text{ m} = v_0 t$

解得  $v_0 = 4 \text{ m/s}$ 。

答案: (1)  $0.3 \text{ s}$  (2)  $4 \text{ m/s}$

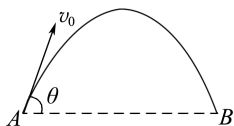
### 任务总结

#### 平抛运动的两个重要推论

- (1)速度的反向延长线过水平位移的中点。
- (2)速度偏向角的正切值是位移偏向角的正切值的两倍。

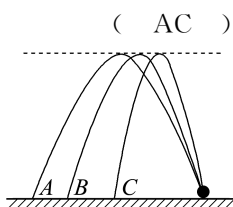
### 任务四 斜抛运动

- 1.(多选)如图所示,一物体以初速度  $v_0$  做斜抛运动,  $v_0$  与水平方向成  $\theta$  角。AB 连线水平,不计空气阻力,关于从 A 到 B 的过程中,下列说法正确的是 ( AD )



- 物体在 A 点与 B 点的速度大小相等
- 从 A 点到 B 点的时间为  $\frac{v_0}{g}$
- 物体在最高点的速度为零
- 物体在最高点的速度不为零

- 2.(多选)如图所示,在水平地面同一位置的三个小球分别做斜上抛运动,沿三条不同的路径运动,最终分别落在 A、B、C 三点,三条路径的最高点是等高的。若忽略空气阻力的影响,则下列说法正确的是 ( AC )



- 落在 A 点的小球抛出时的速率最大
- 落在 C 点的小球在空中运动的时间最短
- 三个小球运动时相同时间内速度的变化量相同
- 三个小球运动到最高点时的速度相等

- 3.(2025·湖北卷)某网球运动员两次击球时,击球点离球网的水平距离均为  $L$ ,离地高度分别为  $\frac{L}{2}$ 、 $L$ ,网球离开球拍瞬间的速度大小相等,方向分别斜向上、斜向下,且与水平方向夹角均为  $\theta$ 。击球后网球均刚好直接掠过球网,运动轨迹平面与球网垂直,忽略空气阻力,则  $\tan \theta$  的值为 ( )

- $\frac{1}{2}$
- $\frac{1}{3}$
- $\frac{1}{4}$
- $\frac{1}{6}$

C 解析:网球水平方向上做匀速直线运动,有  $t = \frac{L}{v_0 \cos \theta}$ ,设球网高度为  $h$ ,则对斜向下发出的球有  $L - h = v_0 \sin \theta \cdot t + \frac{1}{2}gt^2$ ,对斜向上发出的球有  $\frac{L}{2} - h = -v_0 \sin \theta \cdot t + \frac{1}{2}gt^2$ ,联立以上各式,可得  $\tan \theta = \frac{1}{4}$ ,故 C 正确。

- 4.从高处以  $v_0 = 6 \text{ m/s}$  的初速度、 $30^\circ$  的抛射角斜向上方抛出一石子,落地时石子的速度方向和水平方向的夹角为  $60^\circ$ 。求石子在空中运动的时间和抛出点离地面的高度(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )。

解析:石子的运动轨迹如图所示,石子落地时的速度方向和水平方向的夹角为  $60^\circ$ ,

$$\text{则 } \tan 60^\circ = \frac{v_y}{v_x} = \sqrt{3}$$

$$\text{故 } v_y = \sqrt{3}v_x$$

又因石子斜向上方抛出时抛射角为  $30^\circ$ ,则

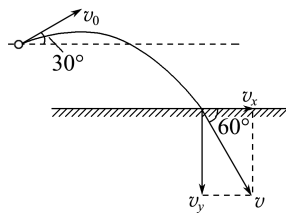
$$v_x = v_0 \cos 30^\circ$$

$$\text{故 } v_y = \sqrt{3}v_0 \cos 30^\circ = \sqrt{3} \times 6 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ m/s} = 9 \text{ m/s}$$

取竖直向上为正方向,石子从抛出到落地,在竖直方向有  $-v_y = v_0 \sin 30^\circ - gt$

$$\text{得 } t = 1.2 \text{ s}$$

在竖直方向,由位移公式得  $h = v_0 \sin 30^\circ \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 = 6 \times \frac{1}{2} \times 1.2 \text{ m} - \frac{1}{2} \times 10 \times 1.2^2 \text{ m} = -3.6 \text{ m}$ ,负号表示落地点比抛出点低,即抛出点离地面的高度为  $3.6 \text{ m}$ 。



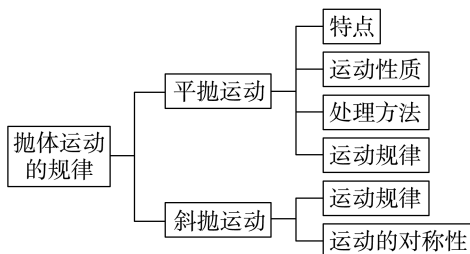
答案:1.2 s 3.6 m

### 任务总结

#### 斜抛运动的求解方法

- (1)采用“化曲为直”的方法。若是斜上抛运动,将其分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的上抛运动;若是斜下抛运动,将其分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的下抛运动。再利用分运动的等时性和独立性,按照各分运动的规律列式求解。
- (2)转化为平抛运动来计算。斜上抛运动的最高点速度方向水平,依据运动的对称性和可逆性,从最高点开始作为平抛运动进行分析讨论。

#### ► 提质归纳



## 课后素养评价(四) 研究平抛运动的规律 斜抛运动(选学)

## 基础性·能力运用

## 知识点1 平抛运动的性质

1.(多选)关于平抛运动的性质,以下说法正确的是

- ( )
- A. 是变加速运动  
B. 是匀变速运动  
C. 是匀速率曲线运动  
D. 不可能是两个匀速直线运动的合运动

**BD 解析:**平抛运动是初速度沿水平方向且只在重力作用下所做的运动,所以是加速度恒为  $g$  的匀变速运动,A、C 错误,B 正确;平抛运动可分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动,D 正确。

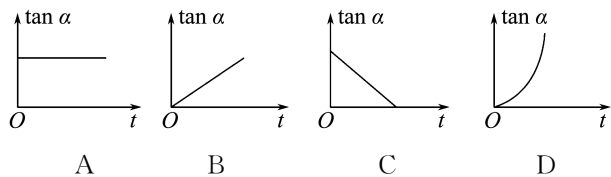
2.斜抛运动与平抛运动相比较,下列说法正确的是

- ( )
- A. 斜抛运动是曲线运动,它的速度方向不断改变,不可能是匀变速运动  
B. 都是加速度逐渐增大的曲线运动  
C. 平抛运动是速度一直增大的运动,而斜抛运动是速度一直减小的运动  
D. 都是任意两段相等时间内的速度变化量大小相等的运动

**D 解析:**斜抛运动和平抛运动都是只受重力作用、加速度恒为  $g$  的匀变速曲线运动,A、B 错误;斜抛运动的速度是增大还是减小,要看初速度与重力的夹角,若成锐角,则速度增大,若成钝角,则速度先减小后增大,C 错误;由  $\Delta v = g \Delta t$  知,D 正确。

## 知识点2 平抛运动的规律

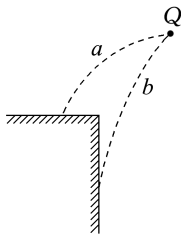
3.物体做平抛运动时,它的速度方向与水平方向的夹角  $\alpha$  的正切值  $\tan \alpha$  随时间  $t$  变化的图像是( )



**B 解析:**平抛运动在水平方向上的分速度不变且为  $v_0$ ,在竖直方向上的分速度为  $v_y = gt$ ,  $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_0} = \frac{gt}{v_0}$ ,  $g$  与  $v_0$  为定值,所以  $\tan \alpha$  与  $t$  成正比,故 B 项正确。

4.(多选) $a$ 、 $b$  两个物体做平抛运动的轨迹如图所示,设它们从同一位置  $Q$  点被抛出,初速度分别为  $v_a$ 、 $v_b$ ,从抛出至碰到台上的时间分别为  $t_a$ 、 $t_b$ ,则

- ( )
- A.  $v_a > v_b$   
B.  $v_a < v_b$   
C.  $t_a > t_b$   
D.  $t_a < t_b$



**AD 解析:**由题图知,  $h_b > h_a$ , 因为  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , 所以  $t_a < t_b$ , 又因为  $x = v_0t$ , 且  $x_a > x_b$ , 所以  $v_a > v_b$ , 故 A、D 两项正确。

## 知识点3 斜抛运动

5.一位田径运动员在跳远比赛中以  $10 \text{ m/s}$  的速度沿与水平面成  $30^\circ$  的角度起跳,在落到沙坑之前(忽略空气阻力),他在空中滞留的时间约为(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

- ( )
- A.  $0.42 \text{ s}$                   B.  $0.83 \text{ s}$   
C.  $1 \text{ s}$                       D.  $1.5 \text{ s}$

**C 解析:**起跳时,竖直方向上的分速度  $v_{0y} = v_0 \sin 30^\circ = 10 \times \frac{1}{2} \text{ m/s} = 5 \text{ m/s}$ , 所以该运动员在空中滞留的时间  $t = \frac{2v_{0y}}{g} = \frac{2 \times 5}{10} \text{ s} = 1 \text{ s}$ , 故 C 正确。

6.一条河宽约  $6 \text{ m}$ , 假设有一位运动员要以与水平面成  $37^\circ$  的角度斜向上进行“越河之跳”, 可使这位运动员越过这条河的初速度的最小值是多少?(忽略空气阻力, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$ ,  $\cos 37^\circ = 0.8$ )

**解析:**设该运动员越过河的最小初速度为  $v_0$ , 其水平分速度  $v_{0x} = v_0 \cos 37^\circ$   
则水平位移  $x = v_{0x}t$

竖直分速度  $v_{0y} = v_0 \sin 37^\circ$

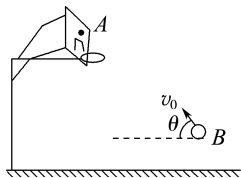
运动时间  $t = 2 \frac{v_{0y}}{g}$

联立并代入数据得  $v_0 = \frac{5\sqrt{10}}{2} \text{ m/s}$ 。

**答案:**  $\frac{5\sqrt{10}}{2} \text{ m/s}$

## 综合性 · 创新提升

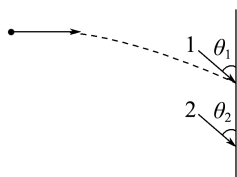
7. 如图所示, 将一篮球从地面上方的  $B$  点斜向上抛出, 刚好垂直击中篮板上的  $A$  点, 不计空气阻力。若抛射点  $B$  向篮板方向水平移动一小段距离, 仍使抛出的篮球垂直击中  $A$  点, 则下列操作可行的是



- A. 增大抛射角  $\theta$ , 同时减小抛出速度  $v_0$   
 B. 增大抛射角  $\theta$ , 同时增大抛出速度  $v_0$   
 C. 减小抛射角  $\theta$ , 同时增大抛出速度  $v_0$   
 D. 减小抛射角  $\theta$ , 同时减小抛出速度  $v_0$

**A 解析:** 篮球垂直击中  $A$  点, 其逆过程是平抛运动, 平抛的水平速度越大, 抛出后落地速度越大, 落地速度与水平面的夹角越小, 落地时的水平位移越大。若水平速度减小, 则落地速度变小, 落地速度与水平面的夹角变大, 落地时的水平位移变小, 因此斜向上抛出篮球时, 若抛射点  $B$  向篮板方向水平移动一小段距离, 则只有增大抛射角, 同时减小抛出速度, 篮球才能仍垂直打到篮板上的  $A$  点, 故  $A$  正确,  $B$ 、 $C$ 、 $D$  错误。

8. 某同学前后两次从同一位置水平投出飞镖 1 和飞镖 2 到靶盘上, 飞镖落到靶盘上的位置如图所示, 忽略空气阻力, 则两支飞镖在飞行过程中



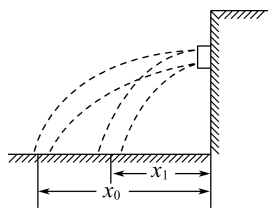
- A. 加速度:  $a_1 > a_2$   
 B. 飞行时间:  $t_1 < t_2$   
 C. 初速度:  $v_1 = v_2$   
 D. 角度:  $\theta_1 = \theta_2$

**B 解析:** 忽略空气阻力, 两

支飞镖都只受重力, 加速度都为  $g$ , 则  $a_1 = a_2$ , 故选项  $A$  错误; 飞镖 1 下落的高度小, 根据  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ,

$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 知  $t_1 < t_2$ , 故选项  $B$  正确; 由于水平位移相等, 根据  $x = v_0t$ , 知  $v_1 > v_2$ , 故选项  $C$  错误; 根据  $\tan \theta = \frac{v_0}{v_y}$ , 由于  $v_{1y} < v_{2y}$ ,  $v_1 > v_2$ , 则  $\tan \theta_1 > \tan \theta_2$ , 所以  $\theta_1 > \theta_2$ , 故选项  $D$  错误。

9. 某工厂为了落实节能减排政策, 水平的排水管道满管径工作, 如图所示, 减排前后, 落水点距出水口的水平距离分别为  $x_0$ 、 $x_1$ , 忽略空气阻力, 则减排前、后单位时间内的排水量的比值为



- A.  $\frac{x_0}{x_1}$                       B.  $\sqrt{\frac{x_0}{x_1}}$   
 C.  $\frac{x_1}{x_0}$                       D.  $\sqrt{\frac{x_1}{x_0}}$

**A 解析:** 设排水口到落点的竖直高度为  $h$ , 水下落的时间为  $t$ , 减排前、后水排出时的速度分别为  $v_0$  和  $v_1$ , 则竖直方向有  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , 可得  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 水平方向有  $x_0 = v_0t$ ,  $x_1 = v_1t$ ; 设排水管的横截面积为  $S$ , 则减排前、后单位时间  $t_0$  内的排水量分别为  $V_0 = Sv_0t_0$ ,  $V_1 = Sv_1t_0$ , 则  $\frac{V_0}{V_1} = \frac{Sv_0t_0}{Sv_1t_0} = \frac{v_0}{v_1} = \frac{x_0}{x_1}$ , 故  $A$  正确,  $B$ 、 $C$ 、 $D$  错误。

10. 假设一小球在离地 20 m 处被水平抛出, 小球在空中沿水平方向运动 20 m 后, 落到水平地面上。不计空气阻力的作用, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 求:

- (1) 小球在空中运动的时间;  
 (2) 小球被抛出时的速度大小;  
 (3) 小球落地时的速度大小。

**解析:** (1) 设小球做平抛运动的时间为  $t$ , 沿竖直方向有  $h = \frac{1}{2}gt^2$

$$\text{解得 } t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 2 \text{ s}.$$

(2) 设小球做平抛运动的初速度为  $v_0$ , 沿水平方向有

$$x = v_0t$$

$$\text{解得 } v_0 = 10 \text{ m/s}.$$

(3) 小球落地时竖直方向的速度大小

$$v_y = gt = 20 \text{ m/s}$$

小球落地时的速度大小为

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = 10\sqrt{5} \text{ m/s}.$$

**答案:** (1) 2 s (2) 10 m/s (3)  $10\sqrt{5}$  m/s

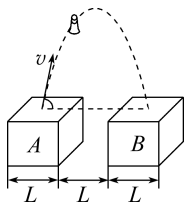
11. “跳一跳”小游戏模拟了斜抛运动。玩家通过按压屏幕时间的长短控制棋子跳动的水平距离。如图所示, 某次游戏中, 棋子从正方体平台  $A$  上表面中心跳向正方体平台  $B$ , 初速度方向在过平台  $A$ 、 $B$  中心的竖直面内。平台的边长和平台的间距离均

为  $L$ , 空气阻力不计, 棋子的大小忽略不计, 重力加速度为  $g$  (斜抛运动的轨迹关于通过最高点的竖直线对称)。

(1) 若某次游戏中棋子上升的最大高度为  $H$ , 求棋子从最高点落到平台  $B$  上表面中心的时间;

(2) 求在(1)情形下, 棋子落到平台  $B$  上表面中心的速度与水平方向夹角  $\theta$  的正切值;

(3) 保持棋子初速度与水平方向夹角  $\theta$  不变, 为使棋子能落在平台  $B$  上, 求棋子初速度大小的取值范围 ( $\theta$  为已知量)。



**解析:** (1) 棋子从最高点落到平台  $B$  上表面中心的

运动可视为平抛运动, 则运动的时间  $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ 。

(2) 棋子落到平台  $B$  上表面中心时的竖直分速度

$$v_y = \sqrt{2gH}$$

$$\text{水平分速度 } v_x = \frac{x}{t} = \frac{L}{\sqrt{\frac{2H}{g}}} = L \sqrt{\frac{g}{2H}}$$

则速度与水平方向夹角的正切值

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{2H}{L}$$

(3) 若棋子落到平台  $B$  的左边缘, 则水平方向有

$$v_1 \cos \theta \cdot t_1 = 1.5L$$

$$\text{竖直方向有 } t_1 = \frac{2v_1 \sin \theta}{g}$$

$$\text{解得 } v_1 = \sqrt{\frac{3gL}{2\sin 2\theta}}$$

若棋子落到平台  $B$  的右边缘, 则水平方向有

$$v_2 \cos \theta \cdot t_2 = 2.5L$$

$$\text{竖直方向有 } t_2 = \frac{2v_2 \sin \theta}{g}$$

$$\text{解得 } v_2 = \sqrt{\frac{5gL}{2\sin 2\theta}}$$

则棋子初速度大小的范围为

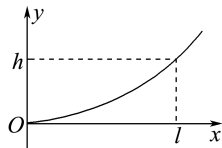
$$\sqrt{\frac{3gL}{2\sin 2\theta}} \leq v \leq \sqrt{\frac{5gL}{2\sin 2\theta}}$$

$$\text{答案: (1) } \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (2) \frac{2H}{L} \quad (3) \sqrt{\frac{3gL}{2\sin 2\theta}} \leq v \leq \sqrt{\frac{5gL}{2\sin 2\theta}}$$

12. 质量为  $m$  的飞机以水平速度  $v_0$  飞离跑道后逐渐上升, 若飞机在此过程中水平速度保持不变, 同时受到重力和竖直向上的恒定升力 (该升力由其他力的合力提供, 不含重力)。今测得当飞机在水平方向的位移为  $l$  时, 它上升的高度为  $h$ ,  $l$  与  $h$  的关系如图所示 (重力加速度为  $g$ )。求:

(1) 飞机受到的升力大小;

(2) 在高度  $h$  处飞机的速度大小。



**解析:** (1) 飞机水平速度不变, 则  $l = v_0 t$

竖直方向加速度恒定, 有  $h = \frac{at^2}{2}$

$$\text{联立解得 } a = \frac{2hv_0^2}{l^2}$$

由牛顿第二定律知  $F - mg = ma$

$$\text{解得 } F = mg + ma = mg \left( 1 + \frac{2hv_0^2}{gl^2} \right)$$

(2) 在高度  $h$  处, 飞机竖直方向的速度

$$v_y = at = \frac{2hv_0}{l}$$

$$\text{则速度大小 } v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = v_0 \sqrt{1 + \frac{4h^2}{l^2}}$$

$$\text{答案: (1) } mg \left( 1 + \frac{2hv_0^2}{gl^2} \right) \quad (2) v_0 \sqrt{1 + \frac{4h^2}{l^2}}$$



## 单元活动构建

## 单元活动 1 精彩纷呈的抛体运动

## 「单元任务」

任务内容	
任务一	体育运动中的抛体运动问题
任务二	休闲娱乐中的抛体运动问题

## 「任务引导」

资料 1: 在体育运动中, 物理学中的抛体运动是较常见的运动形式之一, 例如足球在绿茵场上的运动以及射门、篮球赛场的精准投篮、网球运动员的底线抽击与挑高球、田径场上标枪的迅猛掷出等都是典型的抛体运动。我们在研究抛体运动时, 通常有以下假设: 一是忽略空气阻力, 二是不考虑地球自转影响, 三是物体在地球表面运动。在上述前提下, 抛体运动的轨迹为一条抛物线。

资料 2: “投壶”是古人宴会时进行的一项具有礼节性的游戏。投壶, 顾名思义就是由游戏者轮流将箭投进壶中。投壶源于“射”的礼仪, 而“射”在六艺中的重要性则在投壶游戏中得到了潜移默化的体现。司马光在《投壶新格》中写道: “其始必于燕饮之间, 谋以乐宾, 或病于不能射也, 举席间之器以寓射节焉。”因此, 投壶实际上是一种因场地因素或其他个人因素的限制而无法举行射礼时衍生的一种替代活动。后来, 随着投壶游戏的发展, 游戏的难度也越来越大, 如盲掷、反掷等巧妙的投壶方式, 使投壶游戏更具娱乐性。

## 任务一 体育运动中的抛体运动问题

活动 如图所示为足球球门, 球门的宽为  $L$ 。一球员在球门中心正前方距离球门  $s$  处高高跃起, 将足球顶入球门的左下角(图中  $P$  点)。假设球员顶球点的高度为  $h$ , 足球做平抛运动(足球可看成质点, 忽略空气阻力)。



(1) 试求足球位移的大小  $x$ 。

提示: 根据几何关系可知, 足球做平抛运动的竖直高

度为  $h$ , 水平位移为  $x_{\text{水平}} = \sqrt{s^2 + \frac{L^2}{4}}$ , 则足球位移的

大小为  $x = \sqrt{x_{\text{水平}}^2 + h^2} = \sqrt{s^2 + \frac{L^2}{4} + h^2}$ 。

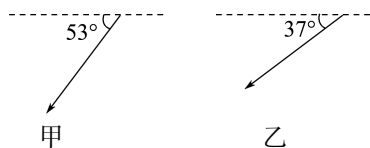
(2) 试求足球被顶入球门过程的初速度大小和方向。

提示: 由  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ,  $x_{\text{水平}} = v_0 t$ , 可得足球的初速度为

$v_0 = \sqrt{\frac{g}{2h} \left( \frac{L^2}{4} + s^2 \right)}$ ; 初速度方向与球门线夹角的正切值为  $\tan \theta = \frac{2s}{L}$ 。

## 任务二 休闲娱乐中的抛体运动问题

活动 根据资料 2, 假设甲、乙两人在不同位置沿水平方向各射出一支箭, 箭尖插入壶中时与水平面的夹角分别为  $53^\circ$  和  $37^\circ$ 。已知两支箭质量相同, 竖直方向下落的高度相等。忽略空气阻力、箭长、壶口大小等因素的影响。



(1) 试求甲、乙两人所投箭的初速度大小之比和落入壶口时的速度大小之比。

提示: 箭做平抛运动, 两支箭竖直方向下落的高度相等, 则两支箭在空中的运动时间相同, 速度变化量  $\Delta v = v_y = gt$  相同, 设箭尖插入壶中时与水平面的夹角为  $\theta$ , 箭投出时的初速度为  $v_0$ , 则  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0}$ , 即  $v_0$

$= \frac{v_y}{\tan \theta}$ , 两支箭投出时的初速度大小之比为  $\tan 37^\circ : \tan 53^\circ = 9 : 16$ ; 设箭尖插入壶中时的速度大小为  $v$ , 则  $v \sin \theta = v_y$ , 即  $v = \frac{v_y}{\sin \theta}$ , 则两支箭落入壶口时的速度大小之比为  $3 : 4$ 。

(2) 若某次投壶, 把箭投到了壶的前面, 怎样调整, 可将箭投入壶中?

提示: 两种做法: 一是保持箭出手点到壶的水平距离和投出的速度不变, 降低箭出手点距地面的高度; 二是保持箭出手点距地面的高度和到壶的水平距离不变, 减小箭的投出速度。

## 「知识链接」

## 1. 利用抛体运动求解临界问题

(1) 常见的“临界术语”

① 题目中有“刚好”“恰好”“正好”“取值范围”“多长时间”“多大距离”等,表明题述的过程中存在临界点。

② 题目中有“最大”“最小”“至多”“至少”等词语,表明题述的过程中存在着极值。

(2) 平抛运动临界极值问题的分析方法

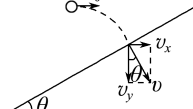
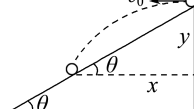
① 确定研究对象的运动性质;

② 根据题意确定临界状态;

③ 确定临界轨迹,画出物体的运动轨迹示意图;

④ 应用平抛运动的规律结合临界条件列方程求解。

## 2. 与斜面有关的平抛运动

运动情况	从空中抛出垂直落到斜面上 	从斜面抛出又落到斜面上 
分析方法	分解速度,构建速度三角形	分解位移,构建位移三角形
运动规律	水平方向: $v_x = v_0$ ; 竖直方向: $v_y = gt$ ; $\theta$ 与 $v_0$ 、 $t$ 的关系: $\tan \theta = \frac{v_x}{v_y} = \frac{v_0}{gt}$	水平方向: $x = v_0 t$ ; 竖直方向: $y = \frac{1}{2}gt^2$ ; $\theta$ 与 $v_0$ 、 $t$ 的关系: $\tan \theta = \frac{y}{x} = \frac{gt}{2v_0}$
飞行时间	$t = \frac{v_0}{g \tan \theta}$	$t = \frac{2v_0 \tan \theta}{g}$

## 「活动达标」

1. 小明在公园里玩水枪,他握紧枪杆保持水平,水源不断地沿水平方向喷出。若枪口距地面高  $h$ ,水从水枪的管口喷出的速度恒为  $v$ ,枪管内截面积为  $S$ ,忽略空气阻力和水枪储水量的影响,则水流稳定后在空中的体积为 ( )

A.  $Sv \sqrt{\frac{2h}{g}}$

B.  $Sv$

C.  $S \sqrt{\frac{2h(v^2 + 2gh)}{g}}$

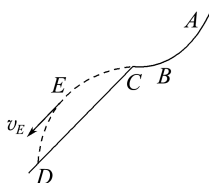
D.  $S \sqrt{\frac{h}{2g}}$

A 解析:设水由管口处到落地所用的时间为  $t$ ,则有  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ,单位时间内喷出的水量为  $Q = Sv$ ,空中水的总体积应为  $V = Qt$ ,由以上各式得  $V = Sv \sqrt{\frac{2h}{g}}$ ,所以 A 正确,B、C、D 错误。

2. 如图甲所示为某运动员跳台滑雪运动的瞬间,运动示意图如图乙所示,运动员从助滑道  $AB$  上由静止开始滑下,到达  $C$  点后水平飞出,落到滑道上的  $D$  点,运动轨迹上的  $E$  点的速度方向与轨道  $CD$  平行。设运动员从  $C$  到  $E$  与从  $E$  到  $D$  的运动时间分别为  $t_1$ 、 $t_2$  (忽略空气阻力,运动员可视为质点),则下列说法正确的是 ( )



甲



乙

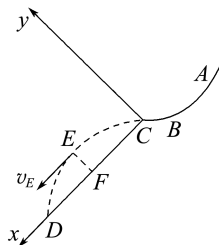
A.  $t_1 < t_2$

B.  $t_1 > t_2$

C. 若运动员离开  $C$  点的速度加倍,则落在斜面上的速度方向不变

D. 若运动员离开  $C$  点的速度加倍,则落在斜面上距  $C$  点的距离也加倍

C 解析:以  $C$  点为原点, $CD$  为  $x$  轴,垂直  $CD$  向上方向为  $y$  轴,建立坐标系如图所示。



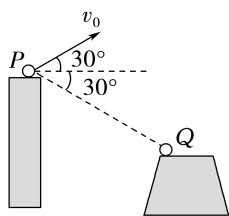
对运动员的运动进行分解, $y$  轴方向做类竖直上抛运动, $x$  轴方向做匀加速直线运动。当运动员的速度方向与轨道平行时,在  $y$  轴方向上到达最高点,根据竖直上抛运动的对称性,知  $t_1 = t_2$ ,A、B 错误;将初速度沿  $x$ 、 $y$  方向分解为  $v_1$ 、 $v_2$ ,将加速度沿  $x$ 、 $y$  方向分解为  $a_1$ 、 $a_2$ ,则运动员的运动时间为  $t = 2 \frac{v_2}{a_2}$ ,落在斜面上的距离  $s = v_1 t + \frac{1}{2} a_1 t^2$ ,若运动员离开  $C$  点的速度加倍,则  $v_1$ 、 $v_2$  加倍, $t$  加倍,由位移公式得  $s$  不是加倍关系,D 错误;设运动员落在斜面上的速度方向与水平方向的夹角为  $\alpha$ ,斜面的

倾角为  $\theta$ ,则有  $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_0}$ , $\tan \theta = \frac{y}{x} = \frac{\frac{v_2}{2} t}{v_0 t} = \frac{v_2}{2v_0}$ ,

可得  $\tan \alpha = 2 \tan \theta$ ,  $\theta$  一定, 则  $\alpha$  一定, 则知运动员落在斜面上的速度方向与从 C 点飞出时的速度大小无关, 故 C 正确。

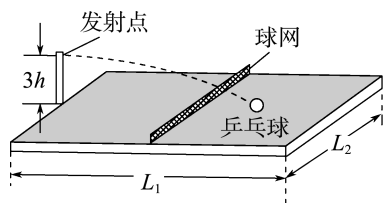
3. (2024 · 山东卷) (多选) 如图所示, 一工程队向峡谷对岸平台抛射重物, 其初速度  $v_0$  大小为 20 m/s, 与水平方向的夹角为  $30^\circ$ , 抛出点 P 和落点 Q 的连线与水平方向夹角为  $30^\circ$ , 重力加速度大小取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 忽略空气阻力。关于重物的运动过程, 下列说法正确的是 ( )

- A. 运动时间为  $2\sqrt{3} \text{ s}$   
 B. 落地速度与水平方向夹角为  $60^\circ$   
 C. 重物离 PQ 连线的最远距离为 10 m  
 D. 轨迹最高点与落点的高度差为 45 m



BD 解析: 对重物从 P 运动到 Q 的过程, 水平方向上有  $x = v_0 t \cos 30^\circ$ , 竖直方向上有  $y = -v_0 t \sin 30^\circ + \frac{1}{2} g t^2$ , 由几何关系有  $\frac{y}{x} = \tan 30^\circ$ , 联立解得重物的运动时间  $t = 4 \text{ s}$ , A 错误; 结合 A 项分析可知, 重物落地时的水平分速度  $v_x = v_0 \cos 30^\circ$ , 竖直分速度  $v_y = -v_0 \sin 30^\circ + g t$ , 则  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \sqrt{3}$ , 所以重物的落地速度与水平方向的夹角为  $60^\circ$ , B 正确; 对重物从 P 运动到 Q 的过程, 垂直于 PQ 连线方向有  $2gh_m \cos 30^\circ = (v_0 \sin 60^\circ)^2$ , 解得重物离 PQ 连线的最远距离  $h_m = 10\sqrt{3} \text{ m}$ , C 错误; 结合 B 项分析, 竖直方向上有  $2gy_m = v_y^2$ , 联立解得重物轨迹最高点与落点的高度差  $y_m = 45 \text{ m}$ , D 正确。

4. 一带有乒乓球发射装置的乒乓球台如图所示。水平台面的长和宽分别为  $L_1$  和  $L_2$ , 中间球网高度为  $h$ 。发射机安装于台面左侧边缘的中点, 其能以不同速率向右侧不同方向水平发射乒乓球, 发射点距台面高度为  $3h$ 。不计空气阻力, 重力加速度大小为  $g$ , 乒乓球可视为质点。若乒乓球的发射速率  $v$  在某范围内, 通过选择合适的方向, 就能使乒乓球落到球网右侧台面上, 则此时  $v$  的取值范围是 ( )



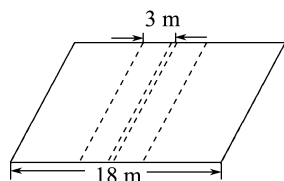
- A.  $\frac{L_1}{2} \sqrt{\frac{g}{6h}} \leq v \leq L_1 \sqrt{\frac{g}{6h}}$   
 B.  $\frac{L_1}{4} \sqrt{\frac{g}{h}} \leq v \leq \sqrt{\frac{g(4L_1^2 + L_2^2)}{6h}}$

$$C. \frac{L_1}{2} \sqrt{\frac{g}{6h}} \leq v \leq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g(4L_1^2 + L_2^2)}{6h}}$$

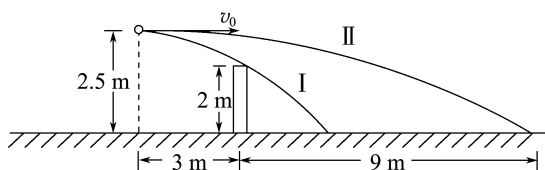
$$D. \frac{L_1}{4} \sqrt{\frac{g}{h}} \leq v \leq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g(4L_1^2 + L_2^2)}{6h}}$$

D 解析: 乒乓球做平抛运动, 落到右侧台面上时经历的时间  $t_1$  满足  $3h = \frac{1}{2} g t_1^2$ 。当  $v$  取最大值时其水平位移最大, 落点应在右侧台面的台角处, 有  $v_{\max} t_1 = \sqrt{L_1^2 + \left(\frac{L_2}{2}\right)^2}$ , 解得  $v_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g(4L_1^2 + L_2^2)}{6h}}$ ; 当  $v$  取最小值时其水平位移最小, 发射方向沿正前方且恰好擦网而过, 此时有  $3h - h = \frac{1}{2} g t_2^2$ ,  $\frac{L_1}{2} = v_{\min} t_2$ , 解得  $v_{\min} = \frac{L_1}{4} \sqrt{\frac{g}{h}}$ 。故 D 项正确。

5. 如图所示, 排球场的长为 18 m, 球网的高度为 2 m。运动员站在离网 3 m 远的线上, 正对球网竖直跳起, 把球垂直于球网水平击出。设击球点的高度为 2.5 m, 球被水平击出时的速度在什么范围内才能使球既不触网也不出界? (不计空气阻力, 排球可视为质点, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



解析: 如图所示, 排球恰不触网时其运动轨迹为 I, 排球恰不出界时其运动轨迹为 II。



根据平抛运动的规律, 由  $x = v_0 t$  和  $h = \frac{1}{2} g t^2$  可得, 当排球恰不触网时有

$$x_1 = v_1 t_1 = 3 \text{ m}$$

$$h_1 = \frac{1}{2} g t_1^2 = 2.5 \text{ m} - 2 \text{ m} = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{联立可得 } v_1 = 3\sqrt{10} \text{ m/s}$$

当排球恰不出界时有

$$x_2 = v_2 t_2 = 3 \text{ m} + 9 \text{ m} = 12 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{1}{2} g t_2^2 = 2.5 \text{ m}$$

$$\text{联立可得 } v_2 = 12\sqrt{2} \text{ m/s}$$

所以排球既不触网也不出界的速度范围是

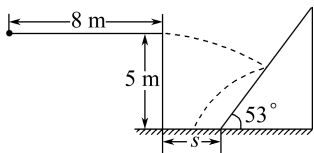
$$3\sqrt{10} \text{ m/s} \leq v_0 \leq 12\sqrt{2} \text{ m/s}.$$

答案:  $3\sqrt{10} \text{ m/s} \leq v_0 \leq 12\sqrt{2} \text{ m/s}$

6. 假设一跑酷运动员在一次训练中的运动过程可简化为: 运动员首先在如图所示的平直高台上以  $4 \text{ m/s}^2$  的加速度从静止开始做匀加速直线运动, 运动  $8 \text{ m}$  后, 从距地面高为  $5 \text{ m}$  的高台边缘水平跳出, 在空中调整姿势后恰好垂直于斜面落在其中心位置, 斜面倾角为  $53^\circ$ , 此后运动员迅速调整姿势沿水平方向跳出, 最后落在水平地面上。该运动员可视为质点, 不计空气阻力, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\sin 53^\circ = 0.8$ ,  $\cos 53^\circ = 0.6$ 。求:

(1) 该运动员从高台边缘跳出到落在斜面上所用的时间  $t$ ;

(2) 该斜面底端与高台边缘的水平距离  $s$ 。



解析: (1) 该运动员在平直高台上从静止开始做匀加速直线运动, 有  $v_0^2 = 2al$

$$\text{解得 } v_0 = 8 \text{ m/s}$$

运动员从高台边缘水平跳出后做平抛运动, 之后垂直斜面落在其中心位置, 有  $\tan 53^\circ = \frac{v_0}{v_y} = \frac{v_0}{gt}$

$$\text{解得 } t = 0.6 \text{ s}.$$

(2) 运动员从高台边缘跳出后做平抛运动, 水平方向有  $x = v_0 t$

$$\text{竖直方向有 } y = \frac{1}{2}gt^2$$

斜面中心距地面的竖直距离  $h = 5 \text{ m} - y$

$$\text{斜面中心距斜面底端的水平距离 } x' = \frac{h}{\tan 53^\circ}$$

斜面底端与高台边缘的水平距离  $s = x - x'$

联立解得  $s = 2.4 \text{ m}$ 。

答案: (1)  $0.6 \text{ s}$  (2)  $2.4 \text{ m}$

## 章末质量评估(一)

### 抛体运动

(时间: 75 分钟 分值: 100 分)

一、单项选择题: 本题共 7 小题, 每小题 4 分, 共 28 分。每小题只有一项是符合题目要求的。

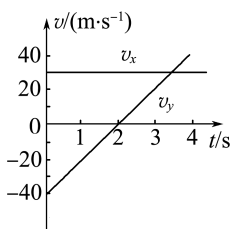
1. 一物体在光滑的水平桌面上运动, 在相互垂直的  $x$  方向和  $y$  方向上的分速度随时间变化的规律如图所示。关于该物体的运动, 下列说法正确的是

A. 物体做速度逐渐增大的曲线运动

B. 物体运动的加速度先减小后增大

C. 物体运动的初速度大小是  $50 \text{ m/s}$

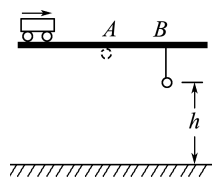
D. 物体运动的初速度大小是  $10 \text{ m/s}$



C 解析: 由题图可知,  $x$  方向的初速度沿  $x$  轴正方向,  $y$  方向的初速度沿  $y$  轴负方向, 则合运动的初速度方向不在  $y$  轴方向上;  $x$  轴方向的分运动是匀速直线运动, 加速度为零,  $y$  轴方向的分运动是匀变速直线运动, 加速度沿  $y$  轴正方向, 所以合运动的加速度沿  $y$  轴方向, 与合初速度方向不在同一直线上, 因此物体做曲线运动。根据速度的合成可知,

物体的合速度先减小后增大, 故 A 错误; 物体运动的加速度等于  $y$  轴方向的加速度, 保持不变, 故 B 错误; 根据题图可知物体的初速度大小为  $v_0 = \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} \text{ m/s} = 50 \text{ m/s}$ , 故 C 正确, D 错误。

2. 距地面高  $5 \text{ m}$  的固定水平直轨道上的 A、B 两点相距  $2 \text{ m}$ , 在 B 点用细线悬挂一小球, 离地高度为  $h$ , 如图所示。小车始终以  $4 \text{ m/s}$  的速度沿轨道匀速运动, 经过 A 点时将随车携带的小球由轨道所在高度自由卸下, 小车运动至 B 点时细线被轧断, 最后两球同时落地。不计空气阻力, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。可求得  $h$  等于



- A.  $1.25 \text{ m}$                       B.  $2.25 \text{ m}$   
C.  $3.75 \text{ m}$                       D.  $4.75 \text{ m}$

A 解析: 由题意可知, 从 A 处落下的小球落到地面

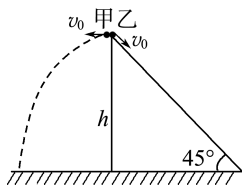
的时间等于小车从 A 处运动到 B 处所用的时间与在 B 点悬挂的小球落地所用的时间之和,即  $\sqrt{\frac{2H}{g}} = \frac{d}{v} + \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 代入数据解得  $h = 1.25 \text{ m}$ , 故选项 A 正确。

3. 如图所示, 在水平面上有 P、Q 两点, A、B 两点分别在 P、Q 两点的正上方, 距离地面的高度分别为  $h_1$  和  $h_2$ 。某时刻在 A 点以速度  $v_1$  水平抛出一小球 a, 经时间  $t$  后又在 B 点以速度  $v_2$  水平抛出另一小球 b, 结果两球同时落在 P、Q 连线上的 O 点, 则有(空气阻力不计) ( )

- A.  $\frac{PO}{OQ} = \frac{v_1 h_1}{v_2 h_2}$     B.  $\frac{PO}{OQ} = \frac{v_1 h_1^2}{v_2 h_2^2}$   
 C.  $\frac{PO}{OQ} = \frac{v_1 \sqrt{h_1}}{v_2 \sqrt{h_2}}$     D.  $\frac{PO}{OQ} = \frac{v_1^2 h_1}{v_2^2 h_2}$

C 解析: 设 a 球落地的时间为  $t_1$ , b 球落地的时间为  $t_2$ , 有  $PO = v_1 t_1 = v_1 \sqrt{\frac{2h_1}{g}}$ ,  $OQ = v_2 t_2 = v_2 \sqrt{\frac{2h_2}{g}}$ ,  $\frac{PO}{OQ} = \frac{v_1 \sqrt{h_1}}{v_2 \sqrt{h_2}}$ , 故 C 正确。

4. 如图所示, 离地面高  $h$  处有甲、乙两个小球, 甲以初速度  $v_0$  水平飞出, 同时乙以大小相等的初速度  $v_0$  沿倾角为  $45^\circ$  的光滑固定斜面下滑。若甲、乙同时到达地面, 则  $v_0$  的大小是(不计空气阻力) ( )

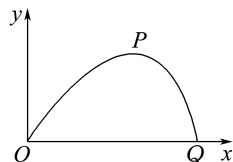


- A.  $\frac{\sqrt{gh}}{2}$     B.  $\sqrt{gh}$   
 C.  $\frac{\sqrt{2gh}}{2}$     D.  $2\sqrt{gh}$

A 解析: 甲做平抛运动, 在竖直方向上有  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , 得运动时间  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ ; 乙沿斜面下滑, 位移  $x = \frac{h}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2}h$ , 加速度  $a = g \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}g$ , 则有  $x = v_0 t' + \frac{1}{2}at'^2$ , 已知甲、乙同时到达地面, 则  $t' = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 联立解得  $v_0 = \frac{\sqrt{gh}}{2}$ , 故 A 项正确。

5. 如图所示, 在考虑空气阻力的情况下, 一小石子从 O 点抛出沿轨迹 OPQ 运动, 其中 P 是最高点。若空气阻力大小与瞬时速度大小成正比, 则小石子竖

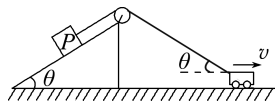
直方向分运动的加速度大小 ( )



- A. 在 O 点最大  
 B. 在 P 点最大  
 C. 在 Q 点最大  
 D. 整个运动过程保持不变

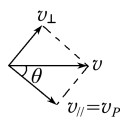
A 解析: 由于空气阻力的大小与瞬时速度的大小成正比, 小石子在 O 点时速度斜向上方, 此时速度最大, 空气阻力斜向下且最大, 上升过程中与竖直方向夹角最小, 故此时空气阻力分解在竖直方向的分量最大, 根据牛顿第二定律可知此时竖直方向分运动的加速度最大, 故选 A。

6. 如图所示, 在不计滑轮摩擦和绳子质量的条件下, 当小车以速度  $v$  匀速向右运动到如图所示位置时(斜面固定), 物体 P 的速度为 ( )



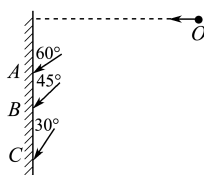
- A.  $v$     B.  $v \cos \theta$   
 C.  $\frac{v}{\cos \theta}$     D.  $v \cos^2 \theta$

B 解析: 如图所示, 绳子与水平方向的夹角为  $\theta$ , 将小车的速度沿绳子方向和垂直于绳子方向分解, 沿绳子方向的速度等于物体 P 的速度, 根据平行四边形定则得  $v_P = v \cos \theta$ , 故 B 正确, A、C、D 错误。



7. 如图所示, 某人从同一位置 O 以不同的水平速度投出 A、B、C 三枚飞镖, 最后都插在竖直墙壁上, 它们与墙面的夹角分别为  $60^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $30^\circ$ , 图中飞镖的取向可认为是击中墙面时的速度方向, 不计空气阻力, 则下列说法不正确的是 ( )

- A. 三枚飞镖做平抛运动的初速度一定满足  $v_{A0} > v_{B0} > v_{C0}$   
 B. 三枚飞镖击中墙面的速度满足  $v_C = v_A > v_B$   
 C. 三枚飞镖击中墙面的速度一定满足  $v_A = v_B = v_C$   
 D. 插在墙上的三枚飞镖的反向延长线一定交于同一点



C 解析: 设水平距离为  $x$ , 飞镖的初速度为  $v_0$ , 击中墙面的速度为  $v$ , 速度与竖直方向的夹角为  $\theta$ , 则

$$\tan \theta = \frac{v_x}{v_y} = \frac{v_0}{gt}, x = v_0 t, \text{联立解得 } v_0 = \sqrt{gx \tan \theta},$$

由于从同一位置  $O$  抛出,  $x$  相同, 因此有  $v_{A0} > v_{B0} > v_{C0}$ , 故 A 正确; 击中墙面的速度为  $v = \frac{v_0}{\sin \theta} =$

$$\frac{\sqrt{gx \tan \theta}}{\sin \theta} = \sqrt{\frac{gx}{\sin \theta \cos \theta}} = \sqrt{\frac{2gx}{\sin 2\theta}}, \text{则有 } v_B < v_A$$

$= v_C$ , 故 B 正确, C 错误; 根据任意时刻速度的反向延长线一定经过此时沿抛出方向水平总位移的中点可知, 插在墙上的三枚飞镖的反向延长线一定交于同一点, 故 D 正确。

二、多项选择题: 本题共 3 小题, 每小题 6 分, 共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分, 选对但不全的得 3 分, 有选错的得 0 分。

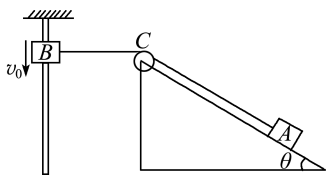
8. 如图所示, 假设蹲在树枝上的一只松鼠看到一个科研工作者正在用麻醉枪水平瞄准它, 就在子弹出枪口时, 它开始逃跑, 松鼠可能的逃跑方式有下列四种。在这四种逃跑方式中, 麻醉弹能成功射中松鼠的是(设树枝足够高, 忽略空气阻力) ( )



- A. 自由下落  
B. 竖直上跳  
C. 迎着枪口沿  $AB$  方向水平跳离树枝  
D. 背着枪口沿  $AC$  方向水平跳离树枝

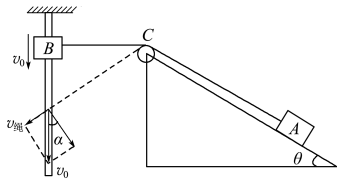
ACD 解析: 射出的麻醉弹做平抛运动, 根据平抛运动的特点, 麻醉弹在竖直方向做自由落体运动, 所以无论松鼠自由落下, 还是迎着枪口沿  $AB$  方向水平跳离树枝, 或背着枪口沿  $AC$  方向水平跳离树枝, 竖直方向的运动情况都与麻醉弹相同, 故一定会被射中, A、C、D 正确。

9. 如图所示, 不可伸长的轻质细绳绕过光滑定滑轮  $C$ , 与质量为  $m$  的物体  $A$  连接,  $A$  放在倾角为  $\theta$  的光滑固定斜面上, 绳的另一端和套在固定竖直杆上的物体  $B$  连接。现  $B$ 、 $C$  间细绳恰沿水平方向, 从当前位置开始,  $B$  在外力作用下以速度  $v_0$  匀速下滑。设绳子的张力为  $T$ , 在此后的运动过程中, 下列说法正确的是 ( )

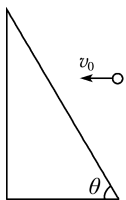


- A. 物体  $A$  做加速运动  
B. 物体  $A$  做匀速运动  
C.  $T$  可能小于  $mg \sin \theta$   
D.  $T$  一定大于  $mg \sin \theta$

AD 解析: 由题意可知, 将  $B$  的实际运动分解成两个分运动, 如图所示, 根据平行四边形定则, 可知  $v_0 \sin \alpha = v_{\text{绳}}$ ; 因为  $B$  以速度  $v_0$  匀速下滑, 又  $\alpha$  增大, 所以  $v_{\text{绳}}$  增大, 则物体  $A$  做加速运动, 根据受力分析, 结合牛顿第二定律, 则有  $T > mg \sin \theta$ , 故 A、D 正确。

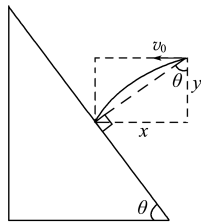


10. 如图所示, 一小球从某固定位置以一定初速度被水平抛出。已知当抛出速度为  $v_0$  时, 小球落到一倾角为  $\theta = 60^\circ$  的斜面上, 且球发生的位移最小, 不计空气阻力。则 ( )



- A. 小球从抛出到落到斜面的时间为  $\frac{\sqrt{3}v_0}{3g}$   
B. 小球从抛出到落到斜面的时间为  $\frac{2\sqrt{3}v_0}{3g}$   
C. 小球的抛出点到斜面的距离为  $\frac{4v_0^2}{3g}$   
D. 小球的抛出点到斜面的距离为  $\frac{2v_0^2}{3g}$

BC 解析: 由题意知, 小球落到斜面时的位移最小, 则抛出点和落点的连线与斜面垂直, 分解位移, 如图所示, 设平抛时间为  $t$ , 结合几何关系知  $\tan \theta = \frac{x}{y}$ ,  $x = v_0 t$ ,  $y = \frac{1}{2} g t^2$ , 解得  $t = \frac{2\sqrt{3}v_0}{3g}$ , 故选项 A 错误, B 正确; 从抛出点到斜面的距离  $s =$

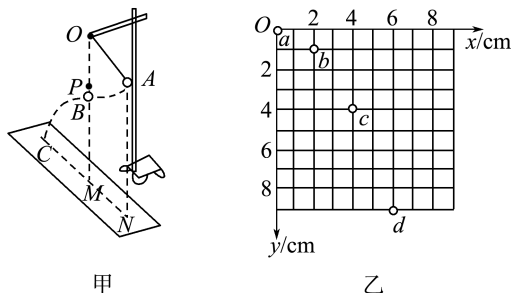


$$\frac{x}{\sin \theta} = \frac{v_0 t}{\sin \theta} = \frac{4v_0^2}{3g}, \text{选项 C 正确, D 错误。}$$

三、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。其中第 13~15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤; 有数值计算时, 答案中必须明确写出数值和单位。

11. (12 分) 假设未来在一个未知星球上用如图甲所示装置研究平抛运动的规律。一小球用悬线挂于  $O$  点并拉至  $A$  处, 悬点  $O$  正下方  $P$  点处有水平放置的炽热电热丝, 当悬线摆至电热丝处时能轻易被烧断, 小球由于惯性向前飞出做平抛运动。现采

用频闪数码相机对小球连续拍摄。在贴有坐标纸的背景屏前，拍下了小球在平抛运动过程中的多张照片，经合成后，照片如图乙所示。 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 为连续四次拍下的小球位置，已知照相机连续拍照的时间间隔是  $0.10\text{ s}$ ，照片大小如图中坐标所示，又知该照片的长度与实际背景屏的长度之比为  $1:4$ ，则：



- (1) 可知  $a$  点 \_\_\_\_\_ (选填“是”或“不是”) 小球的抛出点。  
 (2) 可以推算出该星球表面的重力加速度为 \_\_\_\_\_  $\text{m/s}^2$ 。  
 (3) 可以算出小球平抛的初速度是 \_\_\_\_\_  $\text{m/s}$ 。  
 (4) 可以算出小球在  $b$  点时的速度大小是 \_\_\_\_\_  $\text{m/s}$ 。

**解析：**(1) 初速度为零的匀加速直线运动经过相同的时间通过的位移大小之比为  $1:3:5:\dots:(2n-1)$  可知， $a$  点是竖直方向上自由落体运动的起点，即抛出点。

(2) 由  $ab$ 、 $bc$ 、 $cd$  水平距离相同可知， $a$  到  $b$  和  $b$  到  $c$  的运动时间相同，设为  $T$ ，则  $T=0.10\text{ s}$ ，在竖直方向有  $\Delta h=gT^2$ ，可求出  $g=8\text{ m/s}^2$ 。

(3) 两位置间的时间间隔为  $0.10\text{ s}$ ，水平距离为  $8\text{ cm}$ ，由  $x=v_x T$ ，得水平速度为  $v_x=0.8\text{ m/s}$ 。

(4)  $b$  点的竖直分速度为  $a$ 、 $c$  两点间的竖直平均速度，则

$$v_{by} = \frac{4 \times 4 \times 1 \times 10^{-2}}{2 \times 0.10} \text{ m/s} = 0.8 \text{ m/s}$$

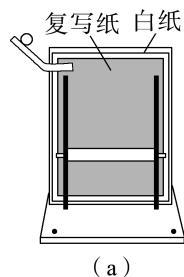
$$\text{所以 } v_b = \sqrt{v_x^2 + v_{by}^2} = \frac{4\sqrt{2}}{5} \text{ m/s}.$$

**答案：**(1) 是 (2) 8 (3) 0.8 (4)  $\frac{4\sqrt{2}}{5}$

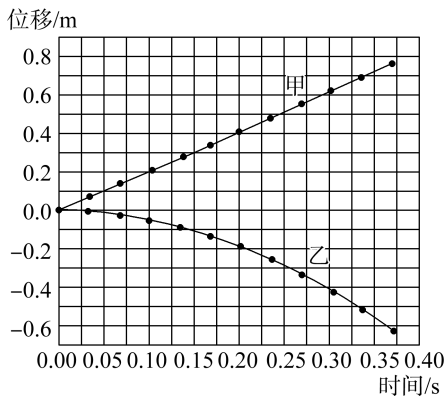
**12.** (9分) (2025·天津卷) 某实验小组探究平抛运动的特点。

(1) 实验采用如图(a)所示装置，将白纸和复写纸重叠并固定在竖直背板上，钢球从斜槽上某一高度静止释放，到达末端后水平飞出，落在挡板上，在白纸上挤压出一个痕迹点。保持钢球滚下位置不变，移动挡板，重复实验，在白纸上留下若干痕迹点。为正确研究钢球运动的规律，在将白纸从背板上取下前，还应根据 \_\_\_\_\_ 在白纸上标

记竖直方向。



(2) 利用手机和计算机可以方便地记录钢球做平抛运动的轨迹并分析其运动规律。该实验小组利用视频处理软件分析钢球某次平抛运动的录制视频，得到的水平位移和竖直位移随时间变化的图像如图(b)所示。图中图线 \_\_\_\_\_ (选填“甲”或“乙”) 为水平位移随时间变化的图线。此次钢球做平抛运动的初速度为 \_\_\_\_\_  $\text{m/s}$ 。



**解析：**(1) 为正确研究钢球运动的规律，将白纸从背板上取下前，还应根据铅垂线在白纸上标记竖直方向。

(2) 水平方向上，钢球做匀速直线运动，其位移随时间均匀增大，即图线甲为水平位移随时间变化的图线。此次钢球做平抛运动的初速度为  $v =$

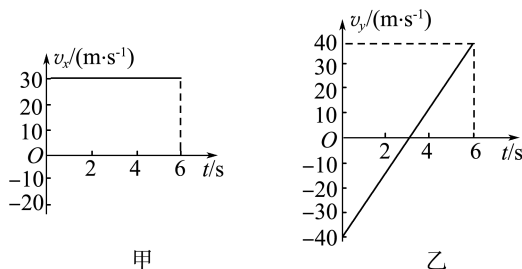
$$\frac{0.3}{0.15} \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}.$$

**答案：**(1) 铅垂线

(2) 甲 2

**13.** (10分) 一物体在光滑水平面上运动，它在相互垂直的  $x$  方向和  $y$  方向上的两个分运动的速度-时间图像如图甲、乙所示。试求：

- (1) 物体的初速度大小；  
 (2) 物体在前  $3\text{ s}$  内的位移大小。



**解析:**(1)由题图可看出,物体沿  $x$  方向的分运动为匀速直线运动,沿  $y$  方向的分运动为匀变速直线运动。

$x$  方向的初速度  $v_{x0} = 30 \text{ m/s}$

$y$  方向的初速度  $v_{y0} = -40 \text{ m/s}$

则物体的初速度大小为  $v_0 = \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2} = 50 \text{ m/s}$ 。

(2)在前 3 s 内, $x$  方向的分位移大小

$$x_3 = v_{x0}t = 30 \times 3 \text{ m} = 90 \text{ m}$$

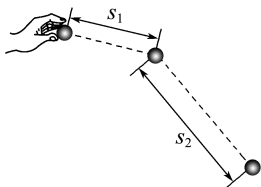
$y$  方向的分位移大小

$$y_3 = \frac{|v_{y0}|}{2}t = \frac{40}{2} \times 3 \text{ m} = 60 \text{ m}$$

$$\text{故 } s = \sqrt{x_3^2 + y_3^2} = \sqrt{90^2 + 60^2} \text{ m} = 30\sqrt{13} \text{ m}。$$

**答案:**(1)50 m/s (2) $30\sqrt{13}$  m

- 14.(10分)将一小球水平抛出,使用频闪仪和照相机对运动的小球进行拍摄,频闪仪每隔 0.05 s 发出一次闪光。某次拍摄时,小球在抛出瞬间频闪仪恰好闪光,拍摄的照片编辑后如图所示。图中的第一个小球为抛出瞬间的影像,每相邻两个球之间被删去了 3 个影像,所标出的两个线段的长度  $s_1$  和  $s_2$  之比为 3 : 7。重力加速度  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ ,忽略空气阻力。求在抛出瞬间小球速度的大小。



**解析:**频闪仪每隔 0.05 s 发出一次闪光,每相邻两个球之间被删去 3 个影像,故相邻两球的时间间隔为  $t = 4T = 4 \times 0.05 \text{ s} = 0.2 \text{ s}$ 。

设抛出瞬间小球的速度为  $v_0$ ,题图中每相邻两球在水平方向上的位移为  $x$ ,竖直方向上的位移分别为  $y_1$ 、 $y_2$ ,根据平抛运动位移公式有

$$x = v_0 t$$

$$y_1 = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 0.2^2 \text{ m} = 0.2 \text{ m}$$

$$y_2 = \frac{1}{2}g(2t)^2 - \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times (0.4^2 - 0.2^2) \text{ m} = 0.6 \text{ m}$$

令  $y_1 = y$ ,则有  $y_2 = 3y_1 = 3y$

已标注的线段  $s_1$ 、 $s_2$  分别为

$$s_1 = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$s_2 = \sqrt{x^2 + (3y)^2} = \sqrt{x^2 + 9y^2}$$

$$\text{则有 } \sqrt{x^2 + y^2} : \sqrt{x^2 + 9y^2} = 3 : 7$$

$$\text{整理得 } x = \frac{2\sqrt{5}}{5}y$$

故在抛出瞬间小球的速度大小为

$$v_0 = \frac{x}{t} = \frac{2\sqrt{5}}{5} \text{ m/s}。$$

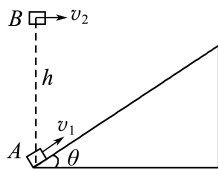
$$\text{答案: } \frac{2\sqrt{5}}{5} \text{ m/s}$$

- 15.(13分)如图所示,在水平地面上固定一倾角  $\theta = 37^\circ$ 、表面光滑的斜面体,物体 A 以  $v_1 = 6 \text{ m/s}$  的初速度沿斜面上滑,同时在物体 A 的正上方,有一物体 B 以某一初速度水平抛出。当 A 上滑到最高点速度为零时恰好被物体 B 击中。A、B 均可看成质点,不计空气阻力,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , $\sin 37^\circ = 0.6$ , $\cos 37^\circ = 0.8$ 。求:

(1)物体 A 上滑到最高点所用的时间  $t$ ;

(2)物体 B 抛出时的初速度  $v_2$  的大小;

(3)物体 A、B 间初始位置的高度差  $h$ 。



**解析:**(1)物体 A 上滑过程中,由牛顿第二定律得

$$mg \sin 37^\circ = ma$$

$$\text{代入数据得 } a = g \sin 37^\circ = 6 \text{ m/s}^2$$

设物体 A 滑到最高点所用时间为  $t$ ,由运动学公式知

$$at = v_1 - 0$$

$$\text{解得 } t = 1 \text{ s}。$$

(2)物体 B 平抛的水平分位移大小与 A 运动的水平分位移大小相等,有  $x = \frac{1}{2}v_1 t \cos 37^\circ = 2.4 \text{ m}$

$$\text{物体 B 平抛的初速度大小 } v_2 = \frac{x}{t} = 2.4 \text{ m/s}。$$

(3)物体 A、B 间初始位置的高度差

$$h = \frac{1}{2}v_1 t \sin 37^\circ + \frac{1}{2}gt^2 = 6.8 \text{ m}。$$

**答案:**(1)1 s (2)2.4 m/s (3)6.8 m

## 第二章

## 匀速圆周运动

## 1 圆周运动

## 学习任务目标

- 1.知道什么是圆周运动,什么是匀速圆周运动,知道匀速圆周运动线速度的特点。(物理观念)
- 2.知道线速度和角速度的物理意义、定义式及单位,了解转速和周期的意义。(物理观念)
- 3.掌握线速度、角速度和半径三者间的关系,掌握角速度、转速和周期的关系。(科学思维)
- 4.通过实例,初步认识圆周运动,通过研究匀速圆周运动,拓展对运动多样性的认识。(科学态度与责任)

## 问题式预习

## 知识点一 圆周运动 描述匀速圆周运动的物理量

- 1.物体的运动轨迹是圆的运动叫作圆周运动。
- 2.质点沿圆周运动,如果在任意相等时间内通过的圆弧长度都相等,这种运动就叫作匀速圆周运动。

## 3.线速度

(1)定义:质点做圆周运动通过的弧长与通过这段弧长所用时间的比值。

(2)公式: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 。

(3)意义:描述做圆周运动的质点运动的快慢。

(4)方向:线速度是矢量,质点在圆周运动中任意一点的线速度方向沿圆弧在该点的切线方向,与该点半径垂直。

## 4.角速度

(1)定义:连接质点和圆心的半径所转过的角度跟所用时间的比值。

(2)定义式: $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ 。

(3)单位:弧度每秒,符号是rad/s。

(4)匀速圆周运动是角速度不变的圆周运动。

## 5.转速与周期

项目	转速	周期
定义	转动物体转过的圈数与所用时间的比	做匀速圆周运动的物体,运动一周所用的时间
符号	$n$	$T$
单位	转每秒(r/s) 转每分(r/min)	秒(s)

## [科学思维]

匀速圆周运动的线速度是不变的吗?匀速圆周运动的“匀速”同“匀速直线运动”的“匀速”一样吗?

提示:质点做匀速圆周运动时,速度的大小不变,方向时刻在变化,因此,匀速圆周运动不是线速度不变的运动,而是变速曲线运动。匀速圆周运动

中的“匀速”是指速度的大小(速率)不变,应该理解成“匀速率”,而“匀速直线运动”中的“匀速”指的是速度不变,即大小、方向都不变,二者并不相同。

## [判一判]

(1)做匀速圆周运动的物体在相等时间内通过的弧长相等。(√)

(2)做匀速圆周运动的物体在相等时间内通过的位移相同。(×)

(3)匀速圆周运动的速率不变。(√)

(4)比较物体做圆周运动的快慢,看线速度大小;比较物体绕圆心转动的快慢,看周期或角速度的大小。(√)

(5)绕同一个轴转动的圆盘上各点的角速度相同。(√)

(6)公式 $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ 中, $\Delta \varphi$ 的国际单位应为角度。(×)

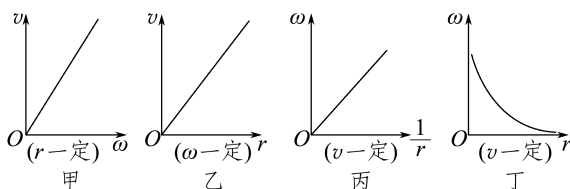
## 知识点二 线速度、角速度和周期之间的关系

1.三者关系:在匀速圆周运动中,线速度的大小等于角速度与半径的乘积。

2.关系式: $v = r\omega$ 。

## [科学思维]

对关系式 $v = r\omega$ 的理解(掌握控制变量法)



(1)当 $r$ 一定时, $v$ 与 $\omega$ 成正比,如图甲所示。

(2)当 $\omega$ 一定时, $v$ 与 $r$ 成正比,如图乙所示。

(3)当 $v$ 一定时, $\omega$ 与 $\frac{1}{r}$ 成正比(或 $\omega$ 与 $r$ 成反比),如图丙、丁所示。

## 任务型课堂

## 任务一 描述圆周运动的物理量及其关系

1. (多选) 质点做匀速圆周运动时 ( BC )

- A. 线速度越大, 其转速一定越大  
 B. 角速度越大, 其转速一定越大  
 C. 线速度一定时, 半径越大, 则周期越长  
 D. 无论半径大小如何, 角速度越大, 则质点的周期一定越长

2. 一质点做匀速圆周运动, 其线速度大小为  $4 \text{ m/s}$ , 转动周期为  $2 \text{ s}$ , 则下列判断正确的是 ( A )

- A. 转速为  $0.5 \text{ r/s}$   
 B. 角速度为  $0.5 \text{ rad/s}$   
 C. 轨道半径为  $\frac{2}{\pi} \text{ m}$   
 D.  $2 \text{ s}$  内的位移为  $8 \text{ m}$

3. (多选) 质点做匀速圆周运动时, 下列说法正确的是 ( CD )

- A. 因为  $v = \omega r$ , 所以线速度大小  $v$  与轨道半径  $r$  成正比  
 B. 因为  $\omega = \frac{v}{r}$ , 所以角速度  $\omega$  与轨道半径  $r$  成反比  
 C. 因为  $\omega = 2\pi n$ , 所以角速度  $\omega$  与转速  $n$  成正比  
 D. 因为  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , 所以角速度  $\omega$  与周期  $T$  成反比

4. 某品牌电动自行车的铭牌如下:

车轮直径: $508 \text{ mm}$	电池规格: $36 \text{ V}$ , 蓄电量: $12 \text{ A} \cdot \text{h}$
整车质量: $40 \text{ kg}$	额定转速: $210 \text{ r/min}$
外形尺寸: $1\ 800 \text{ mm} \times$ $650 \text{ mm} \times 1\ 100 \text{ mm}$	充电时间: $2 \sim 8 \text{ h}$
电机: 后轮驱动、 直流永磁式电机	额定工作电压/电流: $36 \text{ V}/5 \text{ A}$

根据此铭牌中的有关数据, 可知该车的额定时速约为 ( C )

- A.  $15 \text{ km/h}$       B.  $18 \text{ km/h}$   
 C.  $20 \text{ km/h}$       D.  $25 \text{ km/h}$

5. (多选) 某同学参加了糕点制作的课程, 在绕中心匀速转动的圆盘上放了一块直径约  $25 \text{ cm}$  的蛋糕(圆盘与蛋糕中心重合)。他要在蛋糕上均匀“点”上奶油, 挤奶油时手处于圆盘上方静止不动, 奶油竖直下落到蛋糕表面, 若不计奶油下落时间, 每隔  $2 \text{ s}$ “点”一次奶油, 需要在蛋糕一周均匀“点”上  $10$  滴奶油。下列说法正确的是 ( )

- A. 圆盘转动一周历时  $18 \text{ s}$   
 B. 圆盘转动一周历时  $20 \text{ s}$   
 C. 蛋糕边缘的奶油(可视为质点)的线速度大小约

$$\text{为 } \frac{\pi}{80} \text{ m/s}$$

D. 蛋糕边缘的奶油(可视为质点)的线速度大小约

$$\text{为 } \frac{\pi}{10} \text{ m/s}$$

BC 解析: 每隔  $2 \text{ s}$  “点”一次奶油, 蛋糕一周均匀“点”上  $10$  滴奶油, 则圆盘转动一圈的时间  $T = 20 \text{ s}$ , 选项 A 错误, B 正确; 蛋糕边缘的奶油(可视为质点)的线速度大小约为  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} =$ 

$$\frac{2\pi \times \frac{0.25}{2} \text{ m}}{20} = \frac{\pi}{80} \text{ m/s}, \text{ 选项 C 正确, D 错误.}$$

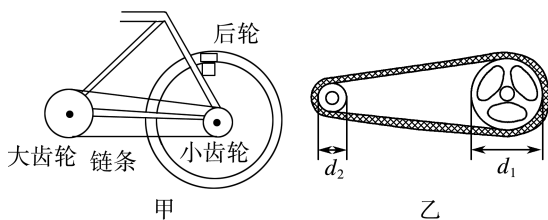
## 任务总结

求解圆周运动中各物理量间的关系问题时, 首先必须明确线速度、角速度、周期、频率(或转速)等都是从不同角度描述圆周运动的物理量, 通过分析题给条件, 弄清问题中哪些物理量不变, 然后根据  $v = r\omega$ 、 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 、 $T = \frac{1}{f}$  等关系式求解。

## 任务二 常见的传动装置及特点

## [探究活动]

一辆自行车传动装置的结构如图甲所示, 请观察自行车是怎样通过链条传动来驱动后轮前进的。



(1) 同一齿轮上到转轴距离不同的各点的线速度大小、角速度是否相同?

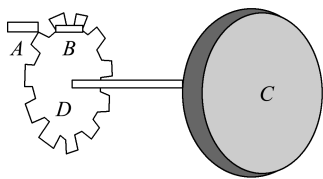
提示: 线速度大小不同, 角速度相同。

(2) 如图乙所示, 两个齿轮相比较, 其边缘的线速度大小是否相同? 两轮的角速度是否相同? 转速是否相同?

提示:线速度大小相同,角速度和转速不同。

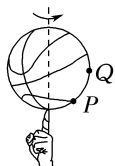
[评价活动]

1. (多选) 如图所示为利用光电脉冲测量一实验小车速和行程的装置示意图,  $C$  为小车的车轮, 半径为  $R$ ,  $D$  为与  $C$  同轴相连的齿轮, 半径为  $r$ , 总齿数为  $n$ 。  $A$  为光电发射器,  $B$  为光电接收器,  $A$ 、 $B$  均固定在车身上, 车轮转动时,  $A$  发出的光束通过旋转齿轮上齿的间隙后变成脉冲信号, 被  $B$  接收并转换成电信号, 由电子电路记录和显示。实验时, 小车做匀速直线运动, 且车轮不打滑。若实验中测得时间  $t$  内  $B$  接收到的脉冲数为  $N$ , 则下列结论正确的是 ( AC )



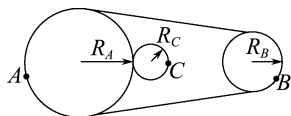
- A. 时间  $t$  内  $D$  运动了  $\frac{N}{n}$  个周期  
 B. 车轮的角速度为  $\omega = \frac{2\pi N}{n}$   
 C. 时间  $t$  内小车的路程为  $s = \frac{2\pi NR}{n}$   
 D. 时间  $t$  内小车的路程为  $s = \frac{NRt}{n}$

2. (2024·吉林卷) “指尖转球”是花式篮球表演中常见的技巧。如图, 当篮球在指尖上绕轴转动时, 球面上  $P$ 、 $Q$  两点做圆周运动的 ( D )



- A. 半径相等  
 B. 线速度大小相等  
 C. 向心加速度大小相等  
 D. 角速度大小相等

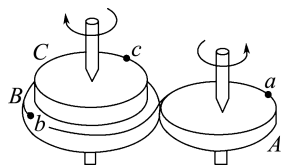
3. (多选) 如图所示,  $A$ 、 $B$  轮通过皮带传动,  $A$ 、 $C$  轮通过摩擦传动, 半径  $R_A = 2R_B = 3R_C$ , 各接触面均不打滑, 则各轮边缘点的线速度大小之比和角速度之比分别为 ( BC )



- A.  $v_A : v_B : v_C = 1 : 2 : 3$   
 B.  $v_A : v_B : v_C = 1 : 1 : 1$   
 C.  $\omega_A : \omega_B : \omega_C = 2 : 3 : 6$   
 D.  $\omega_A : \omega_B : \omega_C = 1 : 1 : 1$

4. (多选) 如图所示,  $B$  和  $C$  是一组轮塔, 即  $B$  和  $C$  半径不同, 但固定在同一转动轴上, 其半径之比为  $r_B : r_C = 3 : 2$ ,  $A$  轮的半径大小与  $C$  轮相同, 它与  $B$

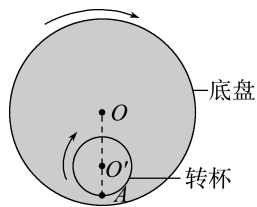
轮紧靠在一起, 当  $A$  轮绕过其中心的竖直轴转动时, 由于摩擦作用,  $B$  轮也随之无滑动地转动起来。  $a$ 、 $b$ 、 $c$  分别为三轮边缘的三个点, 则  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三点在运动过程中的 ( )



- A. 线速度大小之比为  $3 : 3 : 2$   
 B. 角速度之比为  $3 : 3 : 2$   
 C. 转速之比为  $2 : 3 : 2$   
 D. 周期之比为  $2 : 3 : 3$

AD 解析:  $A$  轮、 $B$  轮靠摩擦传动, 边缘点的线速度大小相等, 故  $v_a : v_b = 1 : 1$ , 根据公式  $v = r\omega$ , 有  $\omega_a : \omega_b = 3 : 2$ , 根据  $\omega = 2\pi n$ , 有  $n_a : n_b = 3 : 2$ , 根据  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ , 有  $T_a : T_b = 2 : 3$ ;  $B$  轮、 $C$  轮是同轴传动, 角速度相等, 故  $\omega_b : \omega_c = 1 : 1$ , 根据  $v = r\omega$ , 有  $v_b : v_c = 3 : 2$ , 根据  $\omega = 2\pi n$ , 有  $n_b : n_c = 1 : 1$ , 根据  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ , 有  $T_b : T_c = 1 : 1$ 。联立可得  $v_a : v_b : v_c = 3 : 3 : 2$ ,  $\omega_a : \omega_b : \omega_c = 3 : 2 : 2$ ,  $n_a : n_b : n_c = 3 : 2 : 2$ ,  $T_a : T_b : T_c = 2 : 3 : 3$ , 故 A、D 两项正确, B、C 两项错误。

5. (2025·江苏卷) 游乐设施“旋转杯”的底盘和转杯分别以  $O$ 、 $O'$  为转轴, 在水平面内沿顺时针方向匀速转动, 如图所示。  $O'$  固定在底盘上。某时刻转杯转到如图所示位置, 杯上  $A$  点与  $O$ 、 $O'$  恰好在同一条直线上, 则 ( )



- A.  $A$  点做匀速圆周运动  
 B.  $O'$  点做匀速圆周运动  
 C. 此时  $A$  点的速度小于  $O'$  点  
 D. 此时  $A$  点的速度等于  $O'$  点

B 解析: 根据题意,  $O'$  固定在底盘上, 可知  $O'$  围绕  $O$  点做匀速圆周运动, 故 B 正确;  $A$  点的运动为  $A$  点绕  $O'$  的圆周运动和  $O'$  相对于  $O$  的圆周运动的合运动, 轨迹不是圆周, 所以  $A$  点不是做匀速圆周运动, 故 A 错误; 转杯上  $A$  点与  $O$ 、 $O'$  恰好在同一条直线上时,  $A$  点在  $OO'$  延长线上,  $A$  点和  $O'$  点运动方向相同, 又因为  $A$  点相对  $O'$  点做圆周运动, 所以此时  $A$  的速度大于  $O'$  的速度, 故 C、D 错误。

## 任务总结

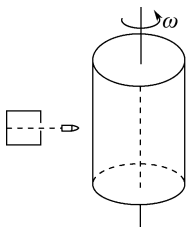
分析传动装置问题中各物理量之间的关系,要抓住两点:

(1)同轴转动的物体上各点的角速度 $\omega$ 、转速 $n$ 和周期 $T$ 相等,根据公式 $v=\omega r$ ,可知当 $\omega$ 相等时,线速度 $v$ 与半径 $r$ 成正比。

(2)皮带传动中,在皮带不打滑的情况下,通过皮带连接的轮子边缘的各点的线速度大小相等(不打滑的摩擦传动,两轮边缘上各点的线速度大小也相等),根据公式 $\omega=\frac{v}{r}$ ,可知当 $v$ 相等时角速度 $\omega$ 与半径 $r$ 成反比。

### 任务三 关于匀速圆周运动的多解及综合问题

1.(多选)如图所示,直径为 $d$ 的薄壳圆筒以角速度 $\omega$ 绕中心轴匀速转动,将枪口垂直指向圆筒轴线,使子弹穿过圆筒,结果发现圆筒上只有一个弹孔。若忽略空气阻力及子弹自身重力的影响,则子弹的速度大小可能是

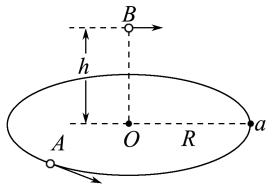


( AC )

- A.  $\frac{d\omega}{\pi}$                       B.  $\frac{d\omega}{2\pi}$   
C.  $\frac{d\omega}{3\pi}$                       D.  $\frac{d\omega}{4\pi}$

2.如图所示,小球 $A$ 在半径为 $R$ 的光滑水平圆环上做匀速圆周运动,当它运动到图中 $a$ 点时,在圆环中心 $O$ 点正上方 $h$ 处,有一小球 $B$ 沿 $Oa$ 方向以某一初速度水平抛出,结果恰好在 $a$ 点与小球 $A$ 相碰。忽略空气阻力,取重力加速度为 $g$ 。求:

- (1)小球 $B$ 抛出时的水平初速度大小;  
(2)小球 $A$ 运动的线速度最小值。



解析:(1)小球 $B$ 做平抛运动,其在水平方向上做匀速直线运动,则 $R=v_0 t$

在竖直方向上做自由落体运动,则 $h=\frac{1}{2}gt^2$

联立解得 $v_0=\frac{R}{t}=R\sqrt{\frac{g}{2h}}$ 。

(2)设 $A$ 、 $B$ 两小球相碰时小球 $A$ 转了 $n$ 圈,则小球 $A$ 的线速度

$$v_A = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi R}{\frac{t}{n}} = 2\pi R n \sqrt{\frac{g}{2h}} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

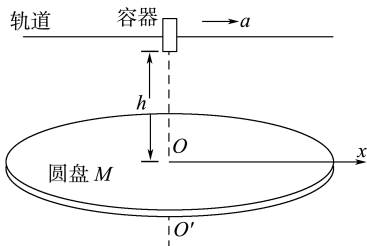
当 $n=1$ 时,其线速度有最小值,即 $v_{\min}=2\pi R \sqrt{\frac{g}{2h}}$ 。

答案:(1) $R\sqrt{\frac{g}{2h}}$  (2) $2\pi R \sqrt{\frac{g}{2h}}$

3.如图所示, $M$ 是水平放置的半径足够大的圆盘,绕其圆心的竖直轴 $OO'$ 匀速转动,规定经过 $O$ 点且水平向右为 $x$ 轴正方向。在圆心 $O$ 点正上方距盘面高为 $h$ 处有一个可间断滴水的容器,从 $t=0$ 时刻开始,容器沿水平轨道向 $x$ 轴正方向做初速度为零的匀加速直线运动。已知 $t=0$ 时刻滴下第一滴水,之后每当前一滴水刚好落到盘面时再滴下一滴水,忽略空气阻力,取重力加速度为 $g$ ,则:

- (1)每一滴水离开容器后经过多长时间滴落到盘面上?  
(2)要使每一滴水在盘面上的落点都位于同一直线上,圆盘的角速度 $\omega$ 应为多大?

(3)当圆盘的角速度大小为 $\frac{3}{2}\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}$ 时,第二滴水与第三滴水在盘面上落点间的距离为 $s$ ,求容器的加速度 $a$ 。



解析:(1)离开容器后,每一滴水在竖直方向上均做自由落体运动,每一滴水滴落到盘面上所用时间

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

(2)要使每一滴水在盘面上的落点都位于同一直线上,则圆盘在时间 $t$ 内转过的弧度为 $k\pi$ ( $k=1, 2, 3, \dots$ ),则 $\omega t = k\pi$

$$\text{即 } \omega = k\pi \sqrt{\frac{g}{2h}} \quad (k=1, 2, 3, \dots)$$

(3)第二滴水落点到 $O$ 点的距离为

$$s_2 = \frac{1}{2}at^2 + (at)t$$

第三滴水落点到 $O$ 点的距离为

$$s_3 = \frac{1}{2}a(2t)^2 + (2at)t$$

两式中  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

又  $\Delta\theta = \omega t = \frac{3}{2}\pi \sqrt{\frac{g}{2h}} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{3}{2}\pi$

即第二滴水 and 第三滴水分别滴落在圆盘上相互垂直的方向上, 则

$s_2^2 + s_3^2 = s^2$

联立可得  $a = \frac{\sqrt{73}sg}{73h}$

答案: (1)  $\sqrt{\frac{2h}{g}}$  (2)  $k\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}$  ( $k=1, 2, 3, \dots$ )

(3)  $\frac{\sqrt{73}sg}{73h}$

**任务总结** ■■■■■

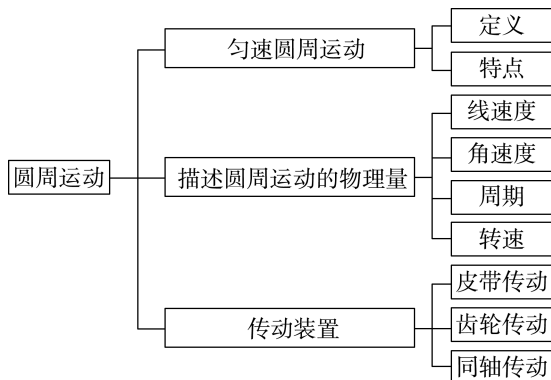
**解决圆周运动多解问题的方法**

(1) 题型特点: 匀速圆周运动的多解问题常涉及两个物体的两种不同的运动, 其中一个物体做匀速圆周运动, 另一个物体做其他形式的运动。

(2) 基本思路: 依据等时性建立等式求解待求量。

(3) 注意问题: 匀速圆周运动具有周期性, 前一个周期中发生的事件在后一个周期中同样可能发生, 这就要求我们在表示做匀速圆周运动物体的运动时间时, 必须把各种可能都考虑进去。

**► 提质归纳**



**课后素养评价(五) 圆周运动**

**基础性 · 能力运用**

**知识点 1 匀速圆周运动的参量之间的关系**

1. 甲、乙两物体分别做匀速圆周运动, 如果它们转动的半径之比为 1 : 5, 线速度大小之比为 3 : 2, 则下列说法正确的是 ( )

- A. 甲、乙两物体的角速度之比是 2 : 15
- B. 甲、乙两物体的角速度之比是 10 : 3
- C. 甲、乙两物体的周期之比是 2 : 15
- D. 甲、乙两物体的周期之比是 10 : 3

**C 解析:** 由  $v = \omega r$  得  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{r_2}{r_1} = \frac{3}{2} \times \frac{5}{1} = \frac{15}{2}$ ,

A、B 错误; 由  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  得  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{2}{15}$ , C 正确, D 错误。

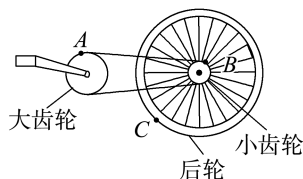
2. 一质点做圆周运动, 在时间  $t$  内转过  $n$  周。已知圆周半径为  $R$ , 则该质点的线速度大小为 ( )

- A.  $\frac{2\pi R}{nt}$     B.  $\frac{2\pi Rn}{t}$     C.  $\frac{nR}{2\pi t}$     D.  $\frac{2\pi t}{nR}$

**B 解析:** 时间  $t$  内转过  $n$  周, 则周期  $T = \frac{t}{n}$ , 角速度  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi n}{t}$ , 线速度大小  $v = R\omega = \frac{2\pi Rn}{t}$ , B 正确。

**知识点 2 常见的传动装置**

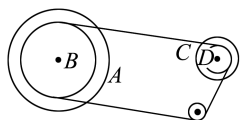
3. (多选) 如图所示为自行车的传动装置示意图, A、B、C 分别为大齿轮、小齿轮、后轮边缘上的一点, 则在此传动装置中 ( )



- A. B、C 两点的线速度大小相同
- B. A、B 两点的线速度大小相同
- C. A、B 两点的角速度与对应的半径成正比
- D. B、C 两点的线速度大小与对应的半径成正比

**BD 解析:** A、B 两点的运动属于皮带传动, 线速度大小相同, B 正确; B、C 两点的运动属于同轴传动, 角速度相同, 由  $v = r\omega$  可知, D 正确。

4. (多选) 变速自行车靠变换齿轮组合来变换挡位。某一变速自行车齿轮传动结构示意图如图所示, 图中 A 轮有 48 齿, B 轮有 42 齿, C 轮有 18 齿, D 轮有 12 齿, 齿间间距均相等, 则 ( )



图如图所示, 图中 A 轮有 48 齿, B 轮有 42 齿, C 轮有 18 齿, D 轮有 12 齿, 齿间间距均相等, 则 ( )  
A. 该车可变换两种不同挡位

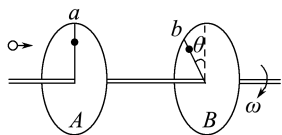
- B. 该车可变换四种不同挡位  
 C. 当 A 轮与 D 轮组合时, 两轮的角速度之比  $\omega_A : \omega_D = 1 : 4$   
 D. 当 A 轮与 D 轮组合时, 两轮的角速度之比  $\omega_A : \omega_D = 4 : 1$

BC 解析: 由题意知, A 轮通过链条分别与 C 轮、D 轮连接, 自行车可有两种不同挡位, B 轮通过链条分别与 C 轮、D 轮连接, 又可有两种不同挡位, 所以该车可变换四种挡位; 当 A 轮与 D 轮组合时, 两轮边缘线速度大小相等, A 轮转 1 圈, D 轮转 4 圈, 即

$$\frac{\omega_A}{\omega_D} = \frac{1}{4}. \text{故选项 B、C 正确.}$$

### 知识点 3 关于匀速圆周运动的综合及多解问题

5. 为了测定子弹的飞行速度, 在一根水平放置的轴杆上固定两个薄圆盘 A、B, 盘 A、B 平行且相距 2 m, 轴杆的转速为 3 600 r/min, 子弹穿过两盘留下两弹孔 a、b, 测得两弹孔所在半径的夹角  $\theta = 30^\circ$ , 如图所示. 则该子弹的速度可能是 ( )



- A. 360 m/s                      B. 720 m/s  
 C. 1 440 m/s                    D. 108 m/s

C 解析: 子弹从 A 盘到 B 盘, B 盘转过的角度  $\theta =$

$$2n\pi + \frac{\pi}{6} (n=0, 1, 2, \dots), \text{B 盘转动的角速度 } \omega = \frac{2\pi}{T} =$$

$$2\pi f = 2\pi n = 2\pi \times \frac{3\ 600}{60} \text{ rad/s} = 120\pi \text{ rad/s}, \text{子弹在}$$

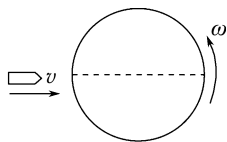
A、B 盘间运动的时间等于 B 盘转动的时间, 即

$$\frac{l}{v} = \frac{\theta}{\omega}, \text{所以 } v = \frac{l\omega}{\theta} = \frac{1\ 440}{12n+1} \text{ m/s} (n=0, 1, 2, \dots), n$$

$= 0$  时,  $v = 1\ 440 \text{ m/s}$ ;  $n = 1$  时,  $v \approx 110.77 \text{ m/s}$ ;

$n = 2$  时,  $v = 57.6 \text{ m/s}$ , C 正确.

6. 如图所示, 直径为  $d$  的圆筒绕中心轴做匀速圆周运动, 枪口发射的子弹以速度  $v$  沿直径匀速穿过圆筒. 若子弹穿出后在圆筒上只留下一个弹孔, 则圆筒运动的角速度为多少?



解析: 子弹穿过圆筒后做匀速直线运动, 当它再次到达圆筒壁时, 若原来的弹孔也恰好运动到此处, 则圆筒上只留下一个弹孔. 所以, 在子弹运动位移为  $d$  的时间内, 圆筒转过的角度为  $2n\pi + \pi (n=0,$

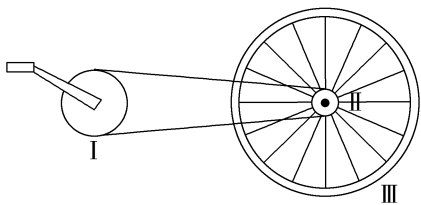
$$1, 2, 3, \dots), \text{则 } \frac{d}{v} = \frac{2n\pi + \pi}{\omega}, \text{解得角速度 } \omega = \frac{2n\pi + \pi}{d}$$

$v (n=0, 1, 2, 3, \dots)$ .

$$\text{答案: } \frac{2n\pi + \pi}{d} v (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

## 综合性 · 创新提升

7. 如图所示是自行车传动装置的示意图, 其中 I 是半径为  $r_1$  的大齿轮, II 是半径为  $r_2$  的小齿轮, III 是半径为  $r_3$  的后轮. 假设脚踏板的转速为  $n$ , 则自行车前进的速度为 ( )

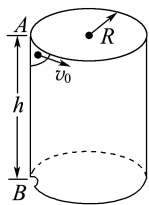


- A.  $\frac{\pi n r_1 r_3}{r_2}$                       B.  $\frac{\pi n r_2 r_3}{r_1}$   
 C.  $\frac{2\pi n r_1 r_3}{r_2}$                       D.  $\frac{2\pi n r_2 r_3}{r_1}$

C 解析: 脚踏板转速为  $n$ , 则 I 轮角速度  $\omega_1 = 2\pi n$ , 线速度大小  $v_1 = r_1 \omega_1 = 2\pi n r_1$ , I、II 轮边缘线速度大小相同, 则  $v_2 = v_1 = 2\pi n r_1 = r_2 \omega_2$ , 得  $\omega_2 = \frac{2\pi n r_1}{r_2}$ , II、III 轮角速度相同, 则  $v_3 = r_3 \omega_2 =$

$$\frac{2\pi n r_1 r_3}{r_2}, \text{C 正确.}$$

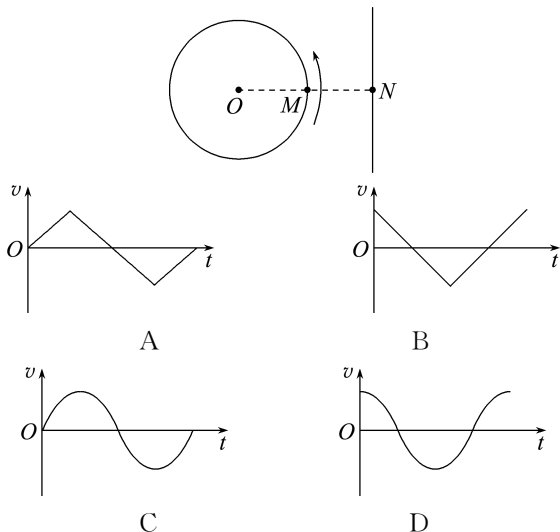
8. 如图所示, 竖直薄壁圆筒内壁光滑, 其底面半径为  $R$ . 上部侧面 A 处开有小口, 在小口 A 的正下方  $h$  处亦开有小口 B. 小球从小口 A 沿切线方向水平射入筒内, 使小球紧贴筒内壁运动, 不计空气阻力. 要使小球从 B 口处飞出, 小球进入 A 口的最小速率  $v_0$  为 ( )



- A.  $\pi R \sqrt{\frac{g}{2h}}$                       B.  $\pi R \sqrt{\frac{2g}{h}}$   
 C.  $\pi R \sqrt{\frac{2h}{g}}$                       D.  $2\pi R \sqrt{\frac{g}{h}}$

**B 解析:** 小球在竖直方向上做自由落体运动, 则  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ; 又因圆筒内壁光滑, 故小球沿水平方向做匀速圆周运动。若小球恰能从 B 点飞出, 则水平方向做圆周运动的最短路程  $s = 2\pi R$ , 所以小球刚进入 A 口时的最小速率  $v_0 = \frac{s}{t} = 2\pi R \sqrt{\frac{g}{2h}} = \pi R \sqrt{\frac{2g}{h}}$ , 故 B 选项正确。

9. (2025 · 安徽卷) 在竖直平面内, 质点 M 绕定点 O 沿逆时针方向做匀速圆周运动, 质点 N 沿竖直方向做直线运动, M、N 在运动过程中始终处于同一高度。t=0 时, M、N 与 O 点位于同一直线上, 如图所示。此后在 M 运动一周的过程中, N 运动的速度 v 随时间 t 变化的图像可能是 ( )



**D 解析:** 因为 M、N 在运动过程中始终处于同一高度, 所以 N 的速度  $v_N$  与 M 在竖直方向的分速度  $v_{My}$  大小相等, 设 M 做匀速圆周运动的角速度为  $\omega$ , 半径为  $r$ , 其竖直方向的分速度  $v_{My} = \omega r \cos \omega t$ , 即  $v_N = \omega r \cos \omega t$ , 为余弦函数, 则 D 正确, A、B、C 错误。

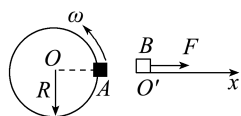
10. 一正常工作的机械手表的分针与秒针从第一次重合至第二次重合, 中间经历的时间为 ( )

- A.  $\frac{59}{60}$  min      B. 1 min  
C.  $\frac{60}{59}$  min      D.  $\frac{61}{60}$  min

**C 解析:** 分针与秒针的角速度分别为  $\omega_{\text{分}} = \frac{2\pi}{3600}$  rad/s,  $\omega_{\text{秒}} = \frac{2\pi}{60}$  rad/s。设两次重合的时间间隔为  $\Delta t$ , 则有  $\varphi_{\text{分}} = \omega_{\text{分}} \Delta t$ ,  $\varphi_{\text{秒}} = \omega_{\text{秒}} \Delta t$ ,  $\varphi_{\text{秒}} - \varphi_{\text{分}} = 2\pi$ , 则  $\Delta t = \frac{2\pi}{\omega_{\text{秒}} - \omega_{\text{分}}} = \frac{2\pi}{\frac{2\pi}{60} - \frac{2\pi}{3600}}$  s =  $\frac{3600}{59}$  s =  $\frac{60}{59}$  min,

故选项 C 正确。

11. 如图所示, 在同一高度上有 A、B 两物体, 它们的质量分别为  $m$  和  $M$ , A 物体在竖直面内做匀速圆周运动, 运动方向为逆时针方向, 轨迹半径为  $R$ , 同时 B 物体在恒力  $F$  作用下, 从静止开始在光滑水平面内做匀加速直线运动, 运动方向向右。要使两物体在某时刻的速度相同, A 物体做圆周运动的角速度  $\omega$  为多大?



**解析:** 要使两物体速度相同, 则 A 物体必须运动到最低点方向才会一致, 所用时间为

$$t_A = \frac{3T}{4} + nT = \frac{3+4n}{2\omega} \cdot \pi (n=0, 1, 2, \dots)$$

线速度  $v_A = \omega R$

B 物体匀加速, 经过同样时间速度达到

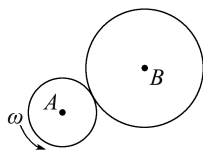
$$v_B = at_A = \frac{F}{M} \cdot \frac{3+4n}{2\omega} \cdot \pi$$

$$\text{令 } v_A = v_B, \text{ 则有 } \omega = \sqrt{\frac{(3+4n)\pi F}{2MR}} (n=0, 1, 2, \dots)$$

**答案:**  $\sqrt{\frac{(3+4n)\pi F}{2MR}} (n=0, 1, 2, \dots)$

12. 如图所示, 两轮通过边缘接触, 形成摩擦传动装置, 假设接触处无打滑现象。已知大轮 B 的半径是小轮 A 的半径的 2 倍, 设主动轮 A 转动时其角速度为  $\omega$ , 边缘的线速度大小为  $v$ 。求:

- (1) A、B 两轮的转动周期之比;  
(2) B 轮转动的角速度。



**解析:** (1) 由于两轮边缘线速度大小相等, 由公式

$$v = \frac{2\pi r}{T} \text{ 可得, 两轮转动周期之比 } \frac{T_A}{T_B} = \frac{r_A}{r_B} = \frac{1}{2}。$$

(2) 由公式  $v = \omega r$  可得, 两轮转动的角速度之比

$$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{r_B}{r_A} = 2$$

$$\text{则 } \omega_B = \frac{1}{2}\omega_A = \frac{1}{2}\omega。$$

**答案:** (1) 1:2 (2)  $\frac{1}{2}\omega$

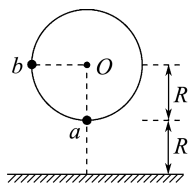
13. 如图所示, 半径为  $R$  的固定圆轮在竖直面内绕 O 轴匀速转动, 轮上 a、b 两点与 O 的连线相互垂直, 圆轮最低点距地面的高度为  $R$ , a、b 两点均粘有一

一个小物体,当  $a$  点转至最低位置时, $a$ 、 $b$  两点处的小物体同时脱落,经过相同时间落到水平地面上。

(不计空气阻力,重力加速度为  $g$ )

(1) 试判断圆轮的转动方向(说明判断理由)。

(2) 求圆轮转动的角速度。



**解析:**(1) 由题意知, $a$  点物体脱落后做平抛运动, $h_b > h_a$ ,若  $b$  点物体与  $a$  点物体脱落后下落的时间相同,则  $b$  点物体必须做竖直下抛运动,故知圆

轮转动方向为逆时针方向。

(2)  $a$  点物体做平抛运动,则有  $R = \frac{1}{2}gt^2$

$b$  点物体竖直下抛,则有  $2R = v_0t + \frac{1}{2}gt^2$

联立解得  $v_0 = \sqrt{\frac{gR}{2}}$

又因  $\omega = \frac{v_0}{R}$

解得  $\omega = \sqrt{\frac{g}{2R}}$ 。

**答案:**(1) 逆时针 理由见解析 (2)  $\sqrt{\frac{g}{2R}}$

## 2 匀速圆周运动的向心力和向心加速度

### 学习任务目标

1. 知道向心力的概念及作用,理解向心加速度的概念。(物理观念)
2. 能够将实际情景中的物体运动转化为圆周运动模型,结合牛顿第二定律,用向心力进行分析、计算和推理,得出结论。(科学思维)
3. 通过实验探究,归纳影响向心力大小的因素,理解向心力公式的确切含义。(科学探究)
4. 尝试运用圆周运动的规律解决一些与生产和生活相关的实际问题,具有将物理知识应用于生产和生活的意识,感受用物理知识解决实际问题的成就感,形成严谨的科学态度。(科学态度与责任)

### 第 1 课时 向心力

#### 问题式预习

#### 知识点一 向心力

##### 1. 定义

做圆周运动的物体受到指向圆心的合力。

##### 2. 方向

(1) 始终指向圆心,与速度方向垂直。

(2) 做匀速圆周运动的物体,所受的向心力(合力)只改变速度的方向,不改变速度的大小。

##### 3. 效果力

向心力是根据力的作用效果来命名的,它是由某个力或者某几个力的合力提供。

##### [判一判]

(1) 向心力既可以改变速度的大小,也可以改变速度的方向。 ( × )

(2) 向心力和重力、弹力一样,是性质力。 ( × )

(3) 向心力的方向一定指向圆心。 ( √ )

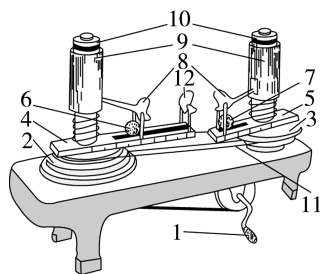
#### 知识点二 探究向心力的大小

##### 1. 实验目的

(1) 学会使用向心力演示器。

(2) 探究向心力与质量、角速度、半径的定量关系。

##### 2. 实验仪器



- |         |          |
|---------|----------|
| 1. 手柄   | 7. 小球    |
| 2. 变速轮塔 | 8. 横臂    |
| 3. 变速轮塔 | 9. 弹簧测力筒 |
| 4. 长槽   | 10. 标尺   |
| 5. 短槽   | 11. 传动皮带 |
| 6. 小球   | 12. 挡板   |

向心力演示器

##### 3. 实验思路

转动手柄使长槽和短槽分别随变速轮塔匀速转动,槽内的球做匀速圆周运动。横臂的挡板对球的压

力提供了向心力,球对挡板的反作用力通过横臂的杠杆作用使弹簧测力筒下降,从而露出标尺,标尺上的红白相间的等分格显示出两个球所受向心力的比值。

#### 4. 实验结论

物体做匀速圆周运动所需向心力的大小,跟转动半径  $r$  成正比,跟角速度  $\omega$  的平方成正比,跟物体的质量  $m$  成正比。用公式表示为  $F = m\omega^2 r$ 。由  $v = r\omega$ , 可得

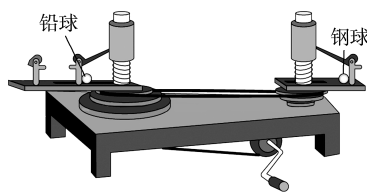
$$F = m \frac{v^2}{r}$$

#### [做一做]

用如图所示的装置可以探究做匀速圆周运动的物体所需的向心力的大小与哪些因素有关,图示情景(皮带在皮带盘上第一挡,两球运动半径相同)

正在探究的是

( )



- A. 向心力的大小与半径的关系
- B. 向心力的大小与线速度大小的关系
- C. 向心力的大小与角速度的关系
- D. 向心力的大小与物体质量的关系

**D 解析:** 两轮通过皮带连接,线速度大小相同、半径相同,但两球质量不同,故本实验装置探究的是向心力的大小与物体质量的关系,D正确,A、B、C错误。

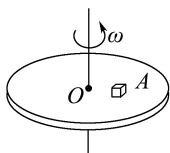
## 任务型课堂

### 任务一 对向心力的理解

1. 关于向心力的说法正确的是 ( D )

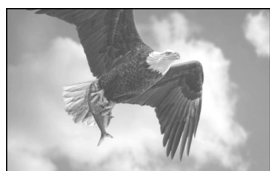
- A. 物体由于做圆周运动而产生了向心力
- B. 向心力就是物体受到的合外力
- C. 做匀速圆周运动的物体其向心力是不变的
- D. 向心力不改变物体做圆周运动的速度大小

2. 一圆台可绕通过圆台中心  $O$  点且垂直于台面的竖直轴转动。在圆台上放置一小木块  $A$ , 它随圆台一起做匀速圆周运动, 如图所示, 则关于木块  $A$  的受力, 下列说法正确的是 ( D )



- A. 木块  $A$  受重力、支持力和向心力作用
- B. 木块  $A$  受重力、支持力和静摩擦力作用, 静摩擦力的方向与木块运动方向相反
- C. 木块  $A$  受重力、支持力和静摩擦力作用, 静摩擦力的方向与木块运动方向相同
- D. 木块  $A$  受重力、支持力和静摩擦力作用, 静摩擦力的方向指向圆心

3. 如图所示, 一只海雕在某一水平面内盘旋并做匀速圆周运动, 则下列关于海雕受力的说法正确的是 ( B )



- A. 海雕受重力、空气对它的作用力和向心力的作用
- B. 海雕受重力和空气对它的作用力

- C. 海雕受重力和向心力的作用
- D. 海雕受空气对它的作用力和向心力的作用

4. (多选) 下列关于向心力的说法正确的是 ( )

- A. 向心力不改变物体做圆周运动的速度大小
- B. 做匀速圆周运动的物体, 其向心力是不变的
- C. 做圆周运动的物体所受合力一定等于向心力
- D. 做匀速圆周运动的物体一定是所受的合力充当向心力

**AD 解析:** 向心力总是指向圆心, 而速度总是沿着切线方向, 可知向心力始终垂直于速度, 不改变速度的大小, 故 A 正确; 做匀速圆周运动的物体向心力总是指向圆心, 方向不断变化, 是变力, 故 B 错误; 物体做变速圆周运动时, 所受合力不总是指向圆心, 则合力不一定等于向心力, 故 C 错误; 做匀速圆周运动的物体所受的合力总是指向圆心, 大小不变, 合力充当向心力, 故 D 正确。

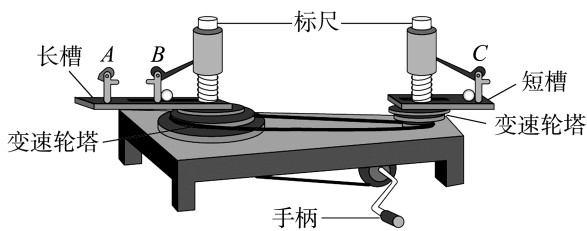
#### 任务总结

##### 对向心力来源的分析

- (1) 向心力是根据力的作用效果命名的, 它可以由重力、弹力、摩擦力等各种性质的力提供, 也可以由它们的合力提供, 还可以由某个力的分力提供。
- (2) 在对物体进行受力分析的基础上, 根据物体做圆周运动时所需要的向心力来确定“供”的来源。

### 任务二 探究向心力大小的表达式

1. 某实验小组使用如图所示的向心力演示器探究影响向心力大小的因素。



(1)若要探究向心力大小与角速度的关系,需选择两个质量\_\_\_\_\_ (选填“相等”或“不相等”)的小球,分别放在位置 C 和位置\_\_\_\_\_ (选填“A”或“B”)。

(2)某同学通过实验得到如下表格中的数据,根据数据可以得到的结论是\_\_\_\_\_。

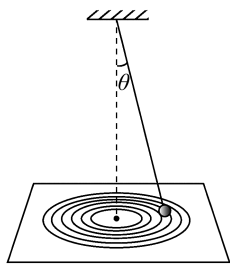
实验次数	1	2	3
小球质量之比	1:1	1:1	1:1
半径之比	1:1	1:1	1:1
角速度之比	1:1	1:2	1:3
向心力大小之比(标尺格子数)	1:1	1:4	1:9

**解析:**(1)要探究向心力大小与角速度的关系,应该控制小球的质量和转动半径一定,则需选择两个质量相等的小球,分别放在位置 C 和位置 B。

(2)通过数据分析可知,质量和转动半径相等时,角速度增大为原来的 2 倍,所受到的向心力增大为原来的 4 倍,角速度增大为原来的 3 倍,所受到的向心力增大为原来的 9 倍,即当质量和转动半径相等时,向心力大小跟角速度的二次方成正比。

**答案:**(1)相等 B (2)当质量和转动半径相等时,向心力大小跟角速度的二次方成正比

2.某同学设计了一个“用圆锥摆粗略验证向心力公式”的实验,如图所示,细线上端固定在铁架台上,下端悬挂一个钢球,将画着同心圆的白纸置于水平桌面上,使圆心正好位于悬点正下方。用手带动钢球,使它沿纸上的某个圆做匀速圆周运动(钢球恰好未触及纸面)。



(1)在该实验中,通过纸上的圆测量小钢球做匀速

圆周运动的\_\_\_\_\_ (写出物理量名称和相应字母),用天平测量钢球的质量  $m$ ,用停表测量钢球转动  $n$  圈所用的时间  $t$ ,即可计算钢球运动所需的向心力  $F_{\text{向}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2)结合上一问测量的物理量,只要再测出悬点到水平桌面的高度  $h$ ,给定本地的重力加速度  $g$ ,即可计算合力  $F_{\text{合}} = \underline{\hspace{2cm}}$  (用上述测量的物理量的符号表示)。

(3)若向心力  $F_{\text{向}}$  与合力  $F_{\text{合}}$  在误差允许范围内相等,便可粗略验证向心力表达式的正确性。

**解析:**(1)在该实验中,通过纸上的圆测量小钢球做匀速圆周运动的半径  $r$ ,用天平测量钢球的质量  $m$ ,用停表测量钢球转动  $n$  圈所用的时间  $t$ ,即可计算

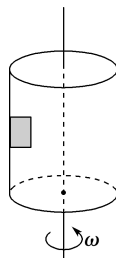
钢球运动所需的向心力  $F_{\text{向}} = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r = m \frac{4n^2 \pi^2}{t^2} r$ 。

(2)结合上一问测量的物理量,只要再测出悬点到水平桌面的高度  $h$ ,给定本地的重力加速度  $g$ ,即可计算合力  $F_{\text{合}} = mg \tan \theta = mg \frac{r}{h}$ 。

**答案:**(1)半径  $r$   $m \frac{4n^2 \pi^2}{t^2} r$  (2)  $mg \frac{r}{h}$

### 任务三 对匀速圆周运动的理解及解题方法

1.如图所示,在匀速转动的圆筒内壁上有一物体随圆筒一起转动而未滑动。若圆筒和物体以更大的角速度匀速转动,则下列说法正确的是 ( )



- A. 物体所受弹力增大,摩擦力也增大  
B. 物体所受弹力增大,摩擦力减小  
C. 物体所受弹力减小,摩擦力也减小  
D. 物体所受弹力增大,摩擦力不变

**D 解析:**物体做匀速圆周运动,所受合力指向圆心,对物体受力分析,其受重力、向上的静摩擦力和指向圆心的支持力,重力与静摩擦力平衡,支持力提供向心力。当圆筒的角速度增大后,根据  $F_{\text{向}} = m\omega^2 r$  知,所需向心力变大,则物体所受弹力增大,物体仍相对筒壁静止,即重力与静摩擦力仍平衡,摩擦力不变,故 A、B、C 错误, D 正确。

2.“辽宁舰”质量约为  $m = 6 \times 10^7 \text{ kg}$ ,如图所示是“辽宁舰”在海上转弯时的照片,假设整个过程中“辽宁舰”做匀速圆周运动,速度大小为  $20 \text{ m/s}$ ,圆周运动的半径为  $1\,000 \text{ m}$ ,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。下列说法正确

的是 ( )



- A. 在 A 点时水对舰的合力指向圆心
- B. 在 A 点时水对舰的合力大小约为  $6.0 \times 10^8 \text{ N}$
- C. 在 A 点时水对舰的合力大小约为  $2.4 \times 10^7 \text{ N}$
- D. 在 A 点时水对舰的合力大小为 0

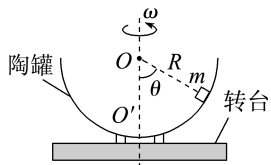
**B 解析:** 在 A 点时, 水对舰有向上的浮力, 浮力大小等于舰的重力, 同时有指向圆心方向的水的推力, 两个力的合力方向斜向上, 选项 A 错误; 水对舰

的合力大小  $F = \sqrt{(mg)^2 + \left(m \frac{v^2}{r}\right)^2} =$

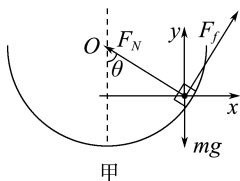
$$\sqrt{(6 \times 10^8)^2 + \left(6 \times 10^7 \times \frac{20^2}{1000}\right)^2} \text{ N} \approx 6.0 \times 10^8 \text{ N}, \text{ 选项 B 正确, C、D 错误。}$$

3. 如图所示, 半径为  $R$  的半球形陶罐, 固定在可以绕竖直轴旋转的水平转台上, 转台转轴与过陶罐球心  $O$  点的对称轴  $OO'$  重合。转台以一定角速度  $\omega$  匀速转动, 一质量为  $m$  的小物块落入陶罐内, 经过一段时间后, 小物块随陶罐一起转动且相对罐壁静止, 它和  $O$  点的连线与  $OO'$  之间的夹角  $\theta$  为  $60^\circ$ 。重力加速度大小为  $g$ 。

- (1) 若转台与小物块均处于静止状态, 求小物块所受到的支持力大小和摩擦力大小;
- (2) 若  $\omega = \omega_0$  时, 小物块受到的摩擦力恰好为 0, 求  $\omega_0$ 。



**解析:** (1) 若转台处于静止状态, 小物块处于平衡状态, 受力分析如图甲所示:



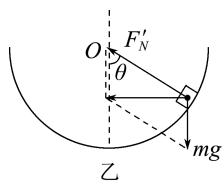
根据力的平衡条件得

$$x \text{ 轴上: } F_N \sin \theta = F_f \cos \theta$$

$$y \text{ 轴上: } F_N \cos \theta + F_f \sin \theta = mg$$

$$\text{联立解得 } F_N = \frac{1}{2} mg, F_f = \frac{\sqrt{3}}{2} mg。$$

(2) 当小物块受到的摩擦力为 0 时, 支持力和重力的合力提供向心力, 受力分析如图乙所示:



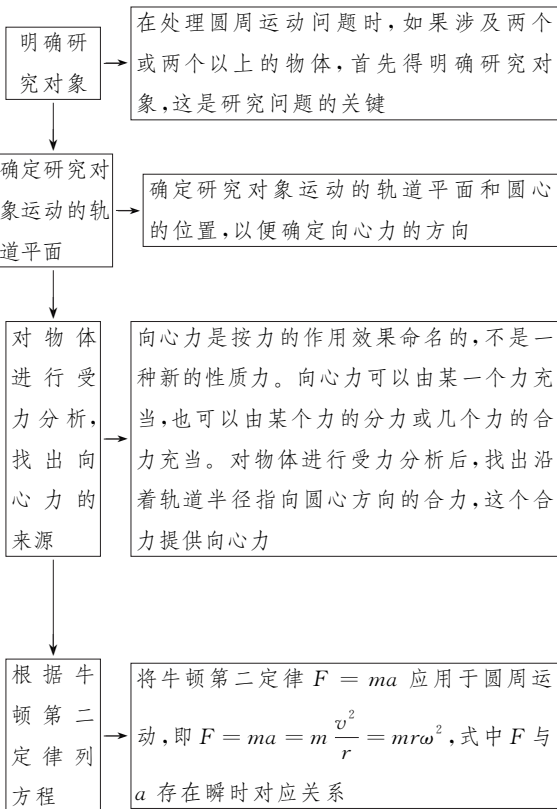
由牛顿第二定律得  $mg \tan \theta = ma = m\omega_0^2 r$ , 且  $r = R \sin \theta$

$$\text{解得 } \omega_0 = \sqrt{\frac{2g}{R}}。$$

$$\text{答案: (1) } \frac{1}{2} mg \quad \frac{\sqrt{3}}{2} mg \quad (2) \sqrt{\frac{2g}{R}}$$

### 任务总结

#### 匀速圆周运动问题的解题步骤



## 第2课时 向心加速度

## 问题式预习

## 知识点 向心加速度

## 1. 匀速圆周运动的向心加速度方向

(1) 物体做匀速圆周运动时, 加速度总指向圆心, 我们把它叫作向心加速度。

(2) 向心加速度的特点: 方向始终指向圆心, 故方向是时刻变化的。

## 2. 匀速圆周运动的向心加速度大小

(1) 向心力和向心加速度的关系符合牛顿第二定律。

(2) 向心加速度公式

$$\textcircled{1} a = \frac{v^2}{r}$$

$$\textcircled{2} a = \omega^2 r$$

[判一判]

(1) 物体做匀速圆周运动时, 其向心加速度是恒定的。 ( × )

(2) 物体做匀速圆周运动时, 其向心加速度的方向总是指向圆心。 ( √ )

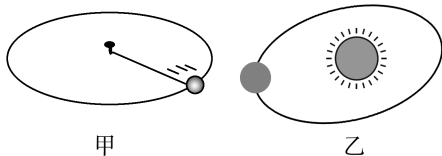
(3) 物体做匀速圆周运动时, 在相等时间内速度变化量是相同的。 ( √ )

## 任务型课堂

## 任务一 对向心加速度的理解

[探究活动]

图甲表示光滑桌面上一个小球由于细线的牵引, 绕桌面上的图钉做匀速圆周运动; 图乙表示地球绕太阳做匀速圆周运动(近似的)的示意图。



甲

乙

(1) 在上述匀速圆周运动过程中, 小球和地球的运动状态发生变化吗? 若变化, 变化的原因是什么?

**提示:** 小球和地球的速度方向不断发生变化, 所以运动状态发生变化。运动状态发生变化的原因是受到力的作用。

(2) 小球和地球的加速度方向变化吗? 匀速圆周运动是一种什么性质的运动呢?

**提示:** 物体的加速度方向跟它所受合力方向一致, 所以小球和地球的加速度都是时刻沿半径指向圆心的, 即加速度方向是变化的。匀速圆周运动是一种变加速曲线运动。

[评价活动]

1. (多选) 关于匀速圆周运动的向心加速度, 下列说法正确的是 ( ABD )

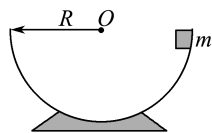
A. 向心加速度是描述线速度方向变化快慢的物理量

B. 做匀速圆周运动的物体一定具有向心加速度

C. 向心加速度恒定

D. 向心加速度的方向时刻发生变化

2. 如图所示, 质量为  $m$  的木块从半径为  $R$  的半球形碗口下滑到碗的最低点的过程中, 如果由于摩擦力的作用木块的速率不变, 那么木块的 ( D )



A. 加速度为零

B. 加速度恒定

C. 加速度大小不变, 方向时刻改变, 但不一定指向圆心

D. 加速度大小不变, 方向时刻指向圆心

3. 关于向心加速度, 以下说法错误的是 ( )

A. 向心加速度的方向始终与线速度方向垂直

B. 向心加速度只改变线速度的方向, 不改变线速度的大小

C. 物体做圆周运动时的加速度方向始终指向圆心

D. 物体做匀速圆周运动时的加速度方向始终指向圆心

**C 解析:** 物体做匀速圆周运动时, 只具有向心加速度, 加速度方向始终指向圆心, 而一般的圆周运动的加速度不一定指向圆心。

## 任务总结

### 对向心加速度的理解

(1) 向心加速度是矢量, 方向总指向圆心, 始终与速度方向垂直, 故向心加速度只改变速度方向, 不改变速度大小。

(2) 向心加速度是描述线速度方向变化快慢的物理量, 不表示线速度大小变化的快慢。

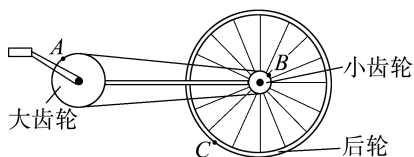
(3) 圆周运动的性质: 向心加速度的方向时刻指向圆心, 是时刻改变的, 所以圆周运动一定是非匀变速曲线运动。

(4) 所有圆周运动的速度方向都在时刻改变, 所以做圆周运动的物体都有向心加速度。

## 任务二 向心加速度公式的应用

### [探究活动]

自行车的大齿轮、小齿轮、后轮的半径不一样, 在它们的边缘上分别有点 A、B、C, 如图所示。



(1) 在自行车正常骑行时, A、B 两点中哪个点的向心加速度较大? 由此可知, 圆周运动的向心加速度与半径有什么关系?

**提示:** B 点的向心加速度更大; 线速度大小相同时, 向心加速度与半径成反比。

(2) 在自行车正常骑行时, B、C 两点中哪个点的向心加速度较大? 由此可知, 圆周运动的向心加速度与半径有什么关系?

**提示:** C 点的向心加速度更大; 角速度相同时, 加速度与半径成正比。

### [评价活动]

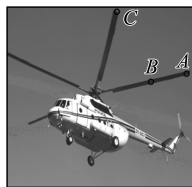
1. A、B 两艘快艇(可视为质点)在湖面上做匀速圆周运动, 在相同的时间内, 它们通过的路程之比是 4 : 3, 运动方向改变的角度之比是 3 : 2, 则它们

( D )

- A. 线速度大小之比为 3 : 2
- B. 角速度之比为 4 : 3
- C. 做圆周运动的半径之比为 2 : 1
- D. 向心加速度大小之比为 2 : 1

2. 如图所示, 直升机螺旋桨上有 A、B、C 三点, 其中 A、C 在叶片的端点, 而 B 在叶片的中点(叶片长度相等)。当叶片转动时

( C )



A. 这三点的周期大小关系为  $T_A > T_B > T_C$

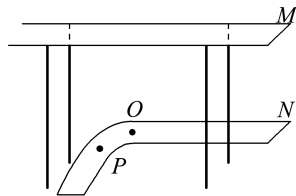
B. 这三点的角速度关系为  $\omega_A > \omega_B > \omega_C$

C. 这三点的线速度大小关系为  $v_A = v_C > v_B$

D. 这三点的向心加速度大小关系为  $a_A > a_B > a_C$

3. (2025 · 重庆卷) “魔幻”重庆的立体交通道路层叠交错, 小明选取其中两条线探究车辆的运动。如图所示, 轻轨列车与汽车以速度  $2v_0$  分别从 M 和 N 同时向左出发, 列车做匀速直线运动, 汽车在长为  $s$  的 NO 段做匀减速直线运动并以速度  $v_0$  进入半径为  $R$  的圆弧段 OP 做匀速圆周运动。两车均视为质点, 则

( )



A. 汽车到 O 点时, 列车行驶的距离为  $s$

B. 汽车到 O 点时, 列车行驶的距离为  $\frac{4s}{3}$

C. 汽车在 OP 段的向心加速度大小为  $\frac{2v_0^2}{R}$

D. 汽车在 OP 段的向心加速度大小为  $\frac{4v_0^2}{R}$

**B 解析:** 对汽车, 根据速度-位移关系  $v_0^2 - (2v_0)^2 = -2as$ , 可得匀减速运动的加速度大小  $a = \frac{3v_0^2}{2s}$ ,

汽车做减速运动的时间  $t = \frac{2v_0 - v_0}{a} = \frac{2s}{3v_0}$ , 这段时

间列车行驶的距离为  $s' = 2v_0 \cdot t = \frac{4s}{3}$ , B 正确, A

错误; 根据  $a_n = \frac{v^2}{r}$ , 可得汽车在 OP 段的向心加速

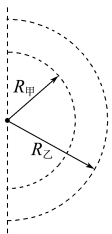
度大小为  $a_n = \frac{v_0^2}{R}$ , C、D 错误。

4. 2022 年北京冬奥会短道速滑混合团体 2 000 米接力决赛中, 我国短道速滑队夺得中国队在这届冬奥会的首金。

(1) 如果把运动员起跑后进入弯道前的过程看成初速度为 0 的匀加速直线运动, 若运动员加速到速度  $v = 9 \text{ m/s}$  时, 滑过的距离  $x = 15 \text{ m}$ , 求加速度的大小;

(2) 如果把运动员在弯道滑行的过程看成轨道为半

圆的匀速圆周运动,如图所示,若甲、乙两名运动员同时进入弯道,滑行半径分别为  $R_{\text{甲}}=8\text{ m}$ 、 $R_{\text{乙}}=9\text{ m}$ ,滑行速率分别为  $v_{\text{甲}}=10\text{ m/s}$ 、 $v_{\text{乙}}=11\text{ m/s}$ ,求甲、乙过弯道时的向心加速度大小之比,并通过计算判断哪位运动员先出弯道。



**解析:**(1)根据速度位移公式有  $v^2=2ax$  代入数据可得  $a=2.7\text{ m/s}^2$ 。

(2)根据向心加速度的表达式  $a=\frac{v^2}{R}$

可得甲、乙两名运动员的向心加速度之比为

$$\frac{a_{\text{甲}}}{a_{\text{乙}}}=\frac{v_{\text{甲}}^2}{v_{\text{乙}}^2}\times\frac{R_{\text{乙}}}{R_{\text{甲}}}=\frac{225}{242}$$

甲、乙两名运动员做匀速圆周运动,则运动的时间为

$$t=\frac{\pi R}{v}$$

代入数据可得甲、乙两名运动员运动的时间分别为

$$t_{\text{甲}}=\frac{4\pi}{5}\text{ s}, t_{\text{乙}}=\frac{9\pi}{11}\text{ s}$$

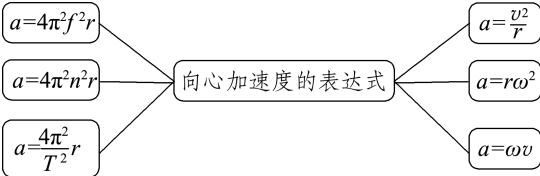
因为  $t_{\text{甲}}<t_{\text{乙}}$ ,所以甲运动员先出弯道。

**答案:**(1) $2.7\text{ m/s}^2$  (2) $\frac{225}{242}$  甲运动员,计算过程

见解析

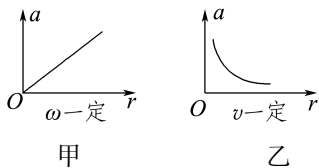
### 任务总结

#### 1. 向心加速度的几种表达式



#### 2. 向心加速度与半径的关系

(1)若  $\omega$  不变,根据  $a=\omega^2 r$  可知,向心加速度与半径成正比,如图甲所示。



(2)若  $v$  大小不变,根据  $a=\frac{v^2}{r}$  可知,向心加速度与半径成反比,如图乙所示。

(3)当匀速圆周运动的半径一定时,向心加速度的大小与角速度的平方成正比,也与线速

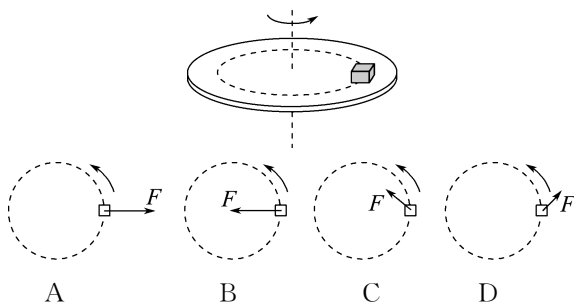
度大小的平方成正比,随频率的增大或周期的减小而增大。

(4)若无特定条件,则不能说向心加速度与半径是成正比还是成反比。

3.向心加速度的公式既适用于匀速圆周运动,也适用于非匀速圆周运动,但计算时要注意,某一点的向心加速度要与该点线速度对应。

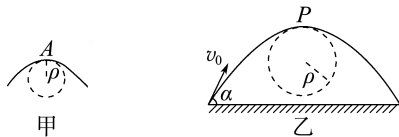
### 任务三 一般的曲线运动与圆周运动

1.如图所示,一圆盘可绕一通过圆心且垂直于盘面的竖直轴转动,在圆盘上放一块橡皮,橡皮随圆盘一起转动(俯视图为逆时针方向)。某段时间内圆盘转速不断增大,但橡皮仍相对圆盘静止,在这段时间内,关于橡皮所受合力  $F$  的方向的四种表示(俯视图)正确的是 ( )



**C 解析:**橡皮做加速圆周运动,合力不指向圆心,但一定指向圆周的内侧;由于做加速圆周运动,速度不断增大,故合力与速度的夹角小于  $90^\circ$ 。故 C 项正确。

2.一般的曲线运动可以分成很多小段,每一小段都可以看成圆周运动的一部分,即把整条曲线用一系列不同半径的小圆弧来代替。如图甲所示,通过 A 点和曲线上紧邻 A 点两侧的两点作一圆,在极限情况下,这个圆就叫作 A 点的曲率圆,其半径  $\rho$  叫作曲线在 A 点的曲率半径。现将一物体沿与水平面成  $\alpha$  角的方向以速度  $v_0$  抛出,如图乙所示,则在其轨迹最高点 P 处的曲率半径是 ( )



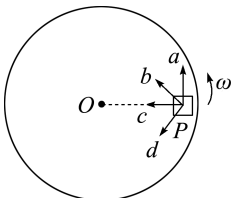
- A.  $\frac{v_0^2}{g}$       B.  $\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g}$   
C.  $\frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$       D.  $\frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g \sin \alpha}$

**C 解析:**斜抛出去的物体同时参与两个方向的运动,即水平方向以速度  $v_x=v_0 \cos \alpha$  做匀速直线运动,竖直方向以初速度  $v_y=v_0 \sin \alpha$  做匀减速直线运动。到最高点时,竖直方向速度为零,其速度为

$v_P = v_0 \cos \alpha$ , 且沿水平方向, 这时重力提供其做圆周运动的向心力, 由  $mg = m \frac{(v_0 \cos \alpha)^2}{\rho}$  得  $\rho = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$ , 所以 C 正确, A、B、D 错误。

3. 如图所示, 物块 P 置于水平转盘上随转盘一起逆时针运动, 且与转盘相对静止, 图中 c 沿半径指向圆心, a 与 c 垂直。下列说法正确的是 ( )

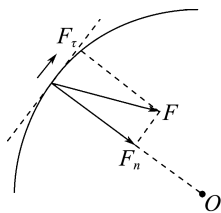
- A. 当转盘匀速转动时, P 所受摩擦力方向为 b 方向
- B. 当转盘加速转动时, P 所受摩擦力方向可能为 c 方向
- C. 当转盘加速转动时, P 所受摩擦力方向可能为 a 方向
- D. 当转盘减速转动时, P 所受摩擦力方向可能为 d 方向



**D 解析:** 物块 P 受重力、弹力、摩擦力三个力的作用, 合力等于摩擦力。当转盘匀速转动时, 摩擦力沿 c 方向充当向心力, A 错误; 当转盘加速转动时, 摩擦力可能沿 b 方向, 一个分力为向心力, 另一个分力为切向力, 使物体速率增大, B、C 错误; 当转盘减速转动时, 摩擦力可能沿 d 方向, 一个分力为向心力, 另一个分力为切向力, 使物体速率减小, D 正确。

### 任务总结

#### 1. 变速圆周运动合力的作用效果



(1) 跟圆周相切的分力  $F_t$ : 改变线速度的大小。

(2) 指向圆心的分力  $F_n$ : 改变线速度的方向。

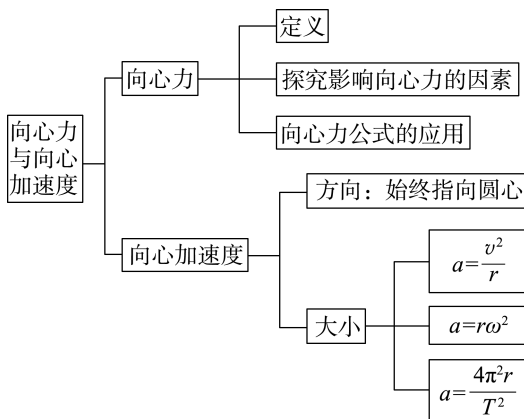
#### 2. 匀速圆周运动和变速圆周运动

项目	匀速圆周运动	变速圆周运动
特点	$v, F_n$ 大小不变, 方向时刻变化, $\omega, T, n$ 不变	$v, F_n$ 大小、方向均变化, $\omega, T, n$ 大小变化
向心力来源	合外力提供向心力	合外力沿半径方向的分力提供向心力
周期性	有	不一定有
条件	合外力的大小不变, 方向始终与线速度方向垂直	合外力大小变化, 方向与线速度方向一般不垂直
运动性质	变加速曲线运动	变加速曲线运动

#### 3. 一般曲线运动的处理方法

一般的曲线运动中, 可以把曲线分割成许多很短的小段, 质点在每一小段的运动都可以看作圆周运动的一部分。

### ► 提质归纳



## 课后素养评价(六) 匀速圆周运动的向心力和向心加速度

### 基础性·能力运用

#### 知识点 1 对向心力的理解

1. (多选) 下列关于向心力的说法正确的是 ( )
- A. 物体需受到向心力的作用才能做圆周运动
  - B. 向心力就是合外力, 它的方向总是指向圆心
  - C. 向心力可以是重力、弹力、摩擦力等各种力的合力, 也可以是某一个力或某一个力的分力
  - D. 向心力只改变物体运动的方向, 不改变物体运动的快慢

**ACD 解析:** 向心力是使物体做圆周运动的原因, 它可由各种性质力的合力、某一个力或某一个力的分力提供, 方向始终从做圆周运动的物体所在位置指向圆心, 向心力是根据力的作用效果命名的, 向心力只改变线速度的方向, 不改变线速度的大小, B 错误, A、C、D 正确。

#### 知识点 2 向心力公式的应用

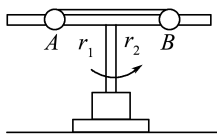
2. 汽车甲和汽车乙质量相等, 以相等的速率沿同一水

平弯道做匀速圆周运动,汽车甲在汽车乙的外侧,两车沿半径方向受到的摩擦力分别为  $f_{\text{甲}}$  和  $f_{\text{乙}}$ 。以下说法正确的是 ( )

- A.  $f_{\text{甲}} < f_{\text{乙}}$   
 B.  $f_{\text{甲}} = f_{\text{乙}}$   
 C.  $f_{\text{甲}} > f_{\text{乙}}$   
 D.  $f_{\text{甲}}$  和  $f_{\text{乙}}$  的大小均与汽车速率无关

**解析:** 两车所受静摩擦力分别提供两车转弯时的向心力,  $f_{\text{甲}} = m \frac{v^2}{r_{\text{甲}}}$ ,  $f_{\text{乙}} = m \frac{v^2}{r_{\text{乙}}}$ , 因  $r_{\text{甲}} > r_{\text{乙}}$ , 故  $f_{\text{甲}} < f_{\text{乙}}$ , A 正确。

3. 如图所示, 在光滑杆上穿着两个小球 A、B, 质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$ , 且  $m_1 = 2m_2$ , 用细线把两球连起来。当盘架匀速转动时, 两小球刚好能与杆保持无相对滑动, 此时两小球到转轴的距离  $r_1$  与  $r_2$  之比为 ( )

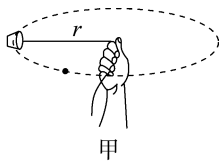


- A. 1 : 1  
 B. 1 :  $\sqrt{2}$   
 C. 2 : 1  
 D. 1 : 2

**解析:** 设两球受绳子的拉力分别为  $F_1$ 、 $F_2$ , 对 A 有  $F_1 = m_1 r_1 \omega_1^2$ , 对 B 有  $F_2 = m_2 r_2 \omega_2^2$ , 因为  $F_1 = F_2$ ,  $\omega_1 = \omega_2$ , 解得  $\frac{r_1}{r_2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{2}$ , D 正确。

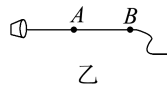
### 知识点 3 探究向心力大小的表达式

4. 同学们分小组探究影响向心力大小的因素。如图甲所示, 一同学用细绳系一纸杯(杯中有 30 mL 的水)在空中甩动, 使纸杯在水平面内做圆周运动, 来感受向心力。



- (1) (多选) 下列说法正确的是\_\_\_\_\_。
- A. 保持质量、绳长不变, 增大转速, 绳对手的拉力将不变  
 B. 保持质量、绳长不变, 增大转速, 绳对手的拉力将增大  
 C. 保持质量、角速度不变, 增大绳长, 绳对手的拉力将不变  
 D. 保持质量、角速度不变, 增大绳长, 绳对手的拉力将增大
- (2) 如图乙所示, 在绳上离杯心 40 cm 处打一结点

A, 80 cm 处打一结点 B, 某物理小组中一位同学用手表计时, 另一位同学操作, 其余同学记录实验数据。



操作一: 手握绳结 A, 使杯子在水平面内每秒转动一周, 体会向心力的大小。

操作二: 手握绳结 B, 使杯子在水平面内每秒转动一周, 体会向心力的大小。

操作三: 手握绳结 A, 使杯子在水平面内每秒转动两周, 体会向心力的大小。

操作四: 手握绳结 A, 再向杯中添加 30 mL 的水, 使杯子在水平面内每秒转动一周, 体会向心力的大小。

①操作二与操作一相比较: 质量、角速度相同, 向心力的大小与转动半径大小有关;

操作三与操作一相比较: 质量、半径相同, 向心力的大小与角速度大小有关;

操作四与操作一相比较: \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 相同, 向心力大小与 \_\_\_\_\_ 有关。

②物理学中, 此种实验方法叫 \_\_\_\_\_ 法。

③小组总结阶段

在空中甩动纸杯, 使杯在水平面内做圆周运动的同学谈感受时说: “感觉手腕发酸, 感觉力的方向不是指向圆心, 而是背离圆心, 跟书上说的不一样。”你认为该同学的说法是否正确? 为什么?

**解析:** (1) 根据向心力公式有  $F_{\text{向}} = m\omega^2 r$ , 由细绳拉力提供向心力有  $T_{\text{拉}} = m\omega^2 r$ 。保持质量、绳长不变, 增大转速, 根据公式可知, 绳对手的拉力将增大, 故 A 项错误, B 项正确; 保持质量、角速度不变, 增大绳长, 根据公式可知, 绳对手的拉力将变大, 故 C 项错误, D 项正确。

(2) ①操作四与操作一相比较, 角速度、半径相同, 向心力大小与质量有关。

②此种实验方法叫控制变量法。

③该同学受力分析的对象是自己的手, 而该实验受力分析的对象是纸杯, 细绳的拉力提供纸杯做圆周运动的向心力, 指向圆心。细绳对手的拉力与向心力大小相等, 方向相反, 背离圆心。

**答案:** (1) BD (2) ①角速度 半径 质量 ②控制变量 ③见解析

### 知识点 4 对向心加速度的理解及应用

5. (多选) 下列关于匀速圆周运动向心加速度的说法正确的是 ( )
- A. 向心加速度越大, 物体的速率变化得越快  
 B. 向心加速度越大, 物体的速度变化得越快

- C. 向心加速度越大,物体的速度方向变化得越快  
 D. 在匀速圆周运动中,向心加速度是恒量

BC 解析:向心加速度是表示圆周运动中速度方向变化快慢的物理量,向心加速度越大,速度方向变化得越快,选项 A 错误,B、C 正确;在匀速圆周运动中,向心加速度的大小不变,方向始终指向圆心且时刻变化,向心加速度不是恒量,而是变量,选项 D 错误。

6. 关于匀速圆周运动的向心加速度,下列说法正确的是 ( )

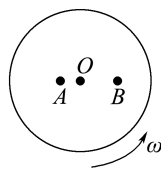
- A. 由于  $a = \frac{v^2}{r}$ , 因此线速度大的物体向心加速度大  
 B. 由于  $a = \frac{v^2}{r}$ , 因此旋转半径大的物体向心加速度小  
 C. 由于  $a = r\omega^2$ , 因此角速度大的物体向心加速度大  
 D. 以上结论都不正确

D 解析:研究三个物理量之间的关系时,需要在同一个量一定时,研究另外两个量的关系,比如  $a =$

$\frac{v^2}{r}$ , 只有在  $r$  一定的前提下,才能说速度  $v$  越大,向心加速度  $a$  越大。故 A、B、C 均不正确,选 D。

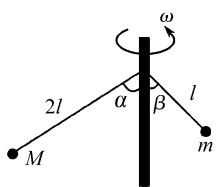
7. (多选)质量相等的 A、B 两物体,放在水平转台上, A 到轴 O 的距离是 B 到轴 O 距离的一半,如图所示,当转台旋转时,A、B 都无滑动,则下列说法正确的是 ( )

- A. 因为向心加速度  $a = r\omega^2$ , 而  $r_B > r_A$ , 所以 B 的向心加速度比 A 大  
 B. 因为向心加速度  $a = \frac{v^2}{r}$ , 而  $r_B > r_A$ , 所以 A 的向心加速度比 B 大  
 C. A 的线速度比 B 大  
 D. B 的线速度比 A 大



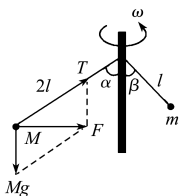
AD 解析:A、B 一起随转台转动,有  $\omega_A = \omega_B$ , 根据  $a = r\omega^2$  得 A 正确;根据  $v = r\omega$ ,  $r_B > r_A$  得 B 的线速度比 A 大,D 正确。

8. 质量分别为  $M$  和  $m$  的两个小球,分别用长  $2l$  和  $l$  的轻绳连接在同一转轴上,当转轴稳定转动时,拴质量为  $M$  和  $m$  的小球的轻绳与竖直方向的夹角分别为  $\alpha$  和  $\beta$ ,如图所示,则 ( )



- A.  $\cos \alpha = \frac{1}{2} \cos \beta$       B.  $\cos \alpha = 2 \cos \beta$   
 C.  $\tan \alpha = \frac{1}{2} \tan \beta$       D.  $\tan \alpha = \tan \beta$

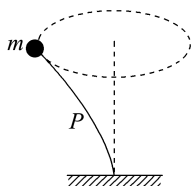
A 解析:对于质量为  $M$  的球,受重力和轻绳拉力作用,由两个力的合力提供向心力,如图所示,设它们转动的角速度是  $\omega$ ,由  $Mg \tan \alpha = M \cdot 2l \sin \alpha \cdot \omega^2$ , 可得  $\cos \alpha = \frac{g}{2l\omega^2}$ 。同理可得  $\cos \beta = \frac{g}{l\omega^2}$ , 则  $\cos \alpha = \frac{1}{2} \cos \beta$ , 所以选项 A 正确。



9. (多选)如图所示,质量不计的轻质弹性杆 P 插入地

## 综合性 · 创新提升

面上的小孔中,杆的另一端固定一质量为  $m$  的小球。今使小球在水平面内做半径为  $R$  的匀速圆周运动,角速度为  $\omega$ ,则下列说法正确的是(重力加速度为  $g$ ) ( )



- A. 小球所受的合力大小为  $m\omega^2 R$   
 B. 小球所受的合力大小为  $m\sqrt{g^2 + \omega^2 R^2}$   
 C. 小球对杆作用力的大小为  $m\sqrt{g^2 + \omega^2 R^2}$   
 D. 小球对杆作用力的大小为  $m\sqrt{\omega^4 R^2 + g^2}$

AD 解析:小球在水平面内做匀速圆周运动,其所受合力提供向心力,大小为  $m\omega^2 R$ , A 正确, B 错误;设杆对小球的作用力为  $F$ , 沿竖直方向的分力为  $F_y$ , 沿水平方向的分力为  $F_x$ , 则  $F_x = m\omega^2 R$ ,  $F_y = mg$ , 故杆对小球的作用力大小为  $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = m\sqrt{\omega^4 R^2 + g^2}$ , 由牛顿第三定律可知,小球对杆的作用力大小为  $m\sqrt{\omega^4 R^2 + g^2}$ , C 错误, D 正确。

10. 一质点做匀速圆周运动,若其所受合力的大小与轨道半径的  $n$  次方成正比,运动周期与轨道半径

成反比,则  $n$  等于 ( )

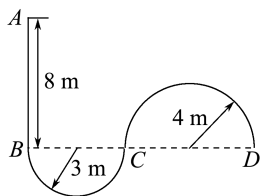
- A. 1      B. 2      C. 3      D. 4

**C 解析:** 设该质点的质量为  $m$ , 运动周期为  $T$ , 轨道半径为  $r$ , 所受合力为  $F$ , 由题意知运动周期与轨道半径成反比, 所以有  $T = \frac{k}{r}$ ,  $k$  为比例系数, 再

由圆周运动知识和牛顿第二定律有  $F = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ ,

将  $T = \frac{k}{r}$  代入, 解得  $F = m \frac{4\pi^2}{k^2} r^3$ , 因为质点所受合力的大小与轨道半径的  $n$  次方成正比, 所以  $n = 3$ , C 正确。

11. 一无人配送小车某次性能测试路径如图所示, 半径为 3 m 的半圆弧  $BC$  与长 8 m 的直线路径  $AB$  相切于  $B$  点, 与半径为 4 m 的半圆弧  $CD$  相切于  $C$  点。小车以最大速度从  $A$  点驶入路径, 到适当位置调整速率运动到  $B$  点, 然后保持速率不变依次经过  $BC$  和  $CD$ 。为保证安全, 小车的最大速率为 4 m/s, 在  $ABC$  段的最大加速度为  $2 \text{ m/s}^2$ ,  $CD$  段的加速度最大为  $1 \text{ m/s}^2$ 。小车可视为质点, 小车从  $A$  到  $D$  所需最短时间  $t$  及在  $AB$  段做匀速直线运动的最长距离  $l$  分别为 ( )



A.  $t = \left(2 + \frac{7\pi}{4}\right) \text{ s}, l = 8 \text{ m}$

B.  $t = \left(\frac{9}{4} + \frac{7\pi}{2}\right) \text{ s}, l = 5 \text{ m}$

C.  $t = \left(2 + \frac{5}{12}\sqrt{6} + \frac{7\sqrt{6}\pi}{6}\right) \text{ s}, l = 5.5 \text{ m}$

D.  $t = \left[2 + \frac{5}{12}\sqrt{6} + \frac{(\sqrt{6}+4)\pi}{2}\right] \text{ s}, l = 5.5 \text{ m}$

**B 解析:** 根据  $a_1 = \frac{v_1^2}{r_1}$ , 可得小车在  $BC$  段的最大

速度为  $v_{1m} = \sqrt{6} \text{ m/s}$ , 根据  $a_2 = \frac{v_2^2}{r_2}$ , 可得小车在

$CD$  段的最大速度为  $v_{2m} = 2 \text{ m/s} < v_{1m}$ , 所以小车在  $BCD$  段运动时的速率为  $v = 2 \text{ m/s}$ , 在  $BCD$  段

运动的时间为  $t_3 = \frac{\pi r_1 + \pi r_2}{v} = \frac{7\pi}{2} \text{ s}$ 。小车在  $AB$

段从最大速度  $v_m$  减速到  $v$  的时间  $t_1 = \frac{v_m - v}{a_1} =$

$\frac{4-2}{2} \text{ s} = 1 \text{ s}$ , 位移  $x_2 = \frac{v_m^2 - v^2}{2a_1} = 3 \text{ m}$ , 则小车在  $AB$

段做匀速直线运动的最长距离为  $l = 8 \text{ m} - 3 \text{ m} = 5 \text{ m}$ , 匀速运动的时间  $t_2 = \frac{l}{v_m} = \frac{5}{4} \text{ s}$ , 则小车从  $A$  到  $D$  所需最短时间为  $t = t_1 + t_2 + t_3 = \left(\frac{9}{4} + \frac{7\pi}{2}\right) \text{ s}$ , 故选 B。

12. 如图所示是某游乐园中的摩天轮, 它高 108 m, 直径为 98 m, 每转一圈用时 25 min。摩天轮转动时, 某一轿厢内坐有一位游客, 则该游客随摩天轮一起匀速转动的周期为 \_\_\_\_\_ s, 向心加速度大小为 \_\_\_\_\_  $\text{m/s}^2$ 。



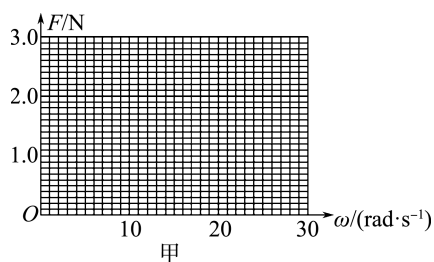
**解析:** 周期  $T = 25 \times 60 \text{ s} = 1500 \text{ s}$ , 向心加速度大小  $a = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \approx 8.6 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ 。

**答案:** 1500     $8.6 \times 10^{-4}$

13. 一物理兴趣小组利用学校实验室的数字实验系统探究物体做圆周运动时向心力与角速度、半径的关系。

(1) 首先, 他们让一个砝码做半径  $r = 0.08 \text{ m}$  的圆周运动, 数字实验系统通过测量和计算得到若干组向心力  $F$  和对应的角速度  $\omega$ , 如下表所示。请你根据表中的数据在图甲上绘出  $F-\omega$  的关系图像。

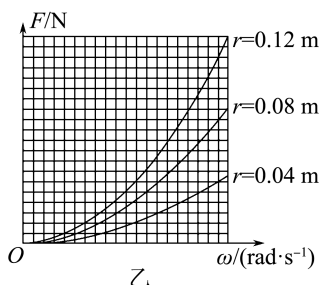
实验序号	$F/\text{N}$	$\omega/(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$
1	2.42	28.8
2	1.90	25.7
3	1.43	22.0
4	0.97	18.0
5	0.76	15.9
6	0.50	13.0
7	0.23	8.5
8	0.06	4.3



(2) 通过对图像的观察, 该小组的同学猜测  $F$  与  $\omega^2$  成正比, 可以通过进一步转换, 作出 \_\_\_\_\_ 的

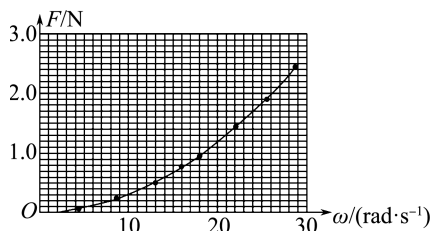
关系图像来确定他们的猜测是否正确。

(3)在证实了  $F \propto \omega^2$  之后,他们将砝码做圆周运动的半径  $r$  再分别调整为 0.04 m、0.12 m,又得到了两条  $F-\omega$  曲线,他们将三次实验得到的曲线放在一个坐标系中,如图乙所示。通过对三条曲线的比较、分析、讨论,他们得出  $F \propto r$  的结论,你认为他们的依据是\_\_\_\_\_。



(4)通过上述实验,他们得出:做圆周运动的物体受到的向心力  $F$  与角速度  $\omega$ 、半径  $r$  的数学关系式是  $F = k\omega^2 r$ ,其中比例系数  $k$  的大小为\_\_\_\_\_,单位是\_\_\_\_\_。

解析:(1)描点绘图时注意尽量让所描的点落到同一条曲线上,不能落到曲线上的点应均匀分布在曲线两侧,如图所示。



(2)可以通过进一步的转换,通过绘出  $F-\omega^2$  关系图像来确定他们的猜测是否正确,如果猜测正确,作出的  $F-\omega^2$  关系图像应当为一条倾斜直线。

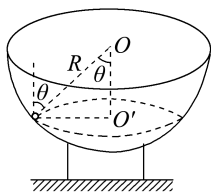
(3)在题图乙中做一条平行于纵轴的辅助线,观察其与三条曲线的交点中力的数值之比是否为 1 : 2 : 3,如果比例成立,则说明向心力与物体做圆周运动的半径成正比。

(4)做圆周运动的物体受到的向心力  $F$  与角速度  $\omega$ 、半径  $r$  的数学关系式是  $F = k\omega^2 r$ ,代入题图甲中任意一点的坐标数值,比如(13.0, 0.50),此时半径为 0.08 m,解得  $k = 0.037 \text{ kg}$ 。

答案:(1)见解析图 (2) $F-\omega^2$  (3)在图乙中做一条平行于纵轴的辅助线,观察其与三条曲线的交点中力的数值之比是否为 1 : 2 : 3 (4)0.037 kg

14.如图所示,有一质量为  $m$  的小球在光滑的半球形碗内做匀速圆周运动,其轨道平面在水平面内。已知小球与半球形碗的球心  $O$  点的连线跟竖直方

向的夹角为  $\theta$ ,半球形碗的半径为  $R$ 。求小球做圆周运动的线速度大小及碗壁对小球的弹力大小。



解析:根据小球做圆周运动的轨迹找圆心,定半径,由题意知小球轨迹圆心为  $O'$  点,运动半径为  $r = R \sin \theta$ ,受力分析如图所示,小球受重力  $mg$  及碗对小球的弹力  $N$  的作用,向心力为弹力的水平分力,由向心力公式得

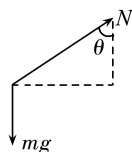
$$N \sin \theta = m \frac{v^2}{R \sin \theta}$$

竖直方向上小球的加速度为 0,所以竖直方向上所受的合力为 0,即  $N \cos \theta = mg$

$$\text{解得 } N = \frac{mg}{\cos \theta}$$

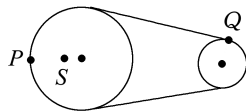
可解得物体做匀速圆周运动的线速度大小为

$$v = \sqrt{gR \sin \theta \tan \theta}$$



$$\text{答案: } \sqrt{gR \sin \theta \tan \theta} \quad \frac{mg}{\cos \theta}$$

15.如图所示,一个大轮通过皮带拉着小轮转动,皮带和两轮之间无相对滑动,大轮的半径是小轮半径的 2 倍,大轮上的一点  $S$  到转动轴的距离是大轮半径的  $\frac{1}{3}$ 。当大轮边缘上的  $P$  点的向心加速度大小是  $12 \text{ m/s}^2$  时,大轮上的  $S$  点和小轮边缘上的  $Q$  点的向心加速度各为多少?



解析:同一轮子上的  $S$  点和  $P$  点的角速度相同,即  $\omega_S = \omega_P$

根据向心加速度公式  $a = \omega^2 r$  可得

$$\frac{a_S}{a_P} = \frac{r_S}{r_P}$$

$$\text{故 } a_S = \frac{r_S}{r_P} a_P = \frac{1}{3} \times 12 \text{ m/s}^2 = 4 \text{ m/s}^2$$

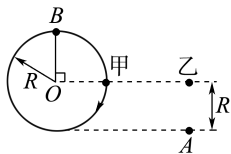
又因为皮带不打滑,所以皮带传动的两轮边缘上各点的线速度大小相等,即  $v_P = v_Q$

由向心加速度公式  $a = \frac{v^2}{r}$  可得  $\frac{a_P}{a_Q} = \frac{r_Q}{r_P}$

故  $a_Q = \frac{r_P}{r_Q} a_P = 2 \times 12 \text{ m/s}^2 = 24 \text{ m/s}^2$ 。

答案:  $4 \text{ m/s}^2$   $24 \text{ m/s}^2$

16. 如图所示, 甲、乙两物体自同一水平线上同时开始运动, 甲沿顺时针方向做匀速圆周运动, 圆半径为  $R$ , 乙做自由落体运动。当乙下落至  $A$  点时, 甲恰好第一次运动到最高点  $B$  (重力加速度大小为  $g$ , 乙此时下落高度为  $R$ )。求甲物体做匀速圆周运动的向心加速度的大小。



解析: 乙做自由落体运动, 由  $h = \frac{1}{2}gt^2$  得下落高度  $R$  所用时间  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2R}{g}}$

在  $t$  时间内甲第一次运动至  $B$  点, 则有  $t = \frac{3T}{4}$

得  $T = \frac{4t}{3} = \frac{4}{3}\sqrt{\frac{2R}{g}}$

角速度  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{3\pi}{2}\sqrt{\frac{g}{2R}}$

甲的向心加速度大小为

$a = R\omega^2 = R\left(\frac{3\pi}{2}\sqrt{\frac{g}{2R}}\right)^2 = \frac{9\pi^2}{8}g$ 。

答案:  $\frac{9\pi^2}{8}g$

### 3 圆周运动的实例分析

#### 学习任务目标

1. 能定性分析汽车过拱形桥、“旋转秋千”、火车转弯等生活实例中向心力的来源。(科学思维)
2. 知道离心运动及其产生的条件, 了解离心运动的应用和危害。(科学思维)
3. 知道向心力、向心加速度公式也适用于变速圆周运动, 会求变速圆周运动中物体在特殊点的向心力和向心加速度。(科学思维)
4. 能用匀速圆周运动规律分析、处理生产和生活中的实例。(科学态度与责任)

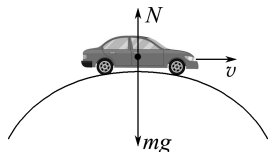
#### 问题式预习

##### 知识点一 汽车通过拱形桥

1. 向心力来源(最高点和最低点): 汽车做圆周运动, 重力和桥面的支持力的合力提供向心力。

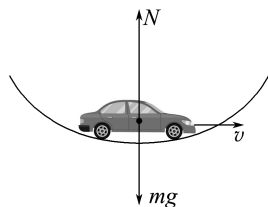
##### 2. 动力学分析

(1) 如图所示, 汽车在拱形桥的最高点时, 满足的关系为  $mg - N = m\frac{v^2}{R}$ ,  $N = mg - m\frac{v^2}{R}$ , 由牛顿第三定律可知汽车对桥面的压力大小等于汽车受到的支持力, 因此汽车在拱形桥上运动时, 对桥的压力 小于重力。当  $v = \sqrt{gR}$  时, 其压力为零。



(2) 如图所示, 汽车经过凹形桥的最低点时, 满足的关系为  $N - mg = m\frac{v^2}{R}$ ,  $N = mg + m\frac{v^2}{R}$ , 汽车对桥

的压力大小  $N' = N$ 。汽车过凹形桥时, 对桥的压力 大于重力。



##### [科学思维]

如图所示, 汽车以一定的速度经过一个圆弧形桥面的顶点。



(1) 汽车在竖直方向的受力情况: 重力、桥面的 支持力。

(2) 汽车做圆周运动的向心力由对汽车的 重力和

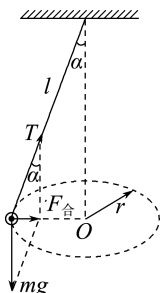
桥面对汽车的支持力的合力提供,汽车处于失重状态。

[判一判]

- (1)汽车在拱形桥上行驶,速度较小时,对桥面的压力大于汽车的重力。 ( × )
- (2)汽车在水平路面上加速行驶时对水平路面的压力大于汽车的重力。 ( × )
- (3)汽车通过凹形桥底部时,对桥面的压力大于汽车的重力。 ( √ )

知识点二 旋转秋千

1.“旋转秋千”的运动经过简化,与如下的情形类似:在一根长为  $l$  的细线下面系一质量为  $m$  的小球,将小球拉离竖直位置,使悬线与竖直方向成  $\alpha$  角,给小球一个初速度,使小球在水平面内做匀速圆周运动,悬线旋转形成一个圆锥面,这种装置叫作圆锥摆,如图所示。

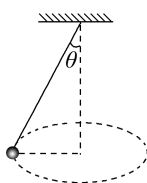


- 2.小球做匀速圆周运动的向心力由小球的 重力  $mg$  和悬线对小球的 拉力  $T$  的合力提供,匀速圆周运动的半径  $r = \sin \alpha$ 。
- 3.由受力分析可知  $F_{\text{合}} = mg \tan \alpha$ ;由牛顿第二定律可知  $F_{\text{合}} = m\omega^2 r$ ,故  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l \cos \alpha}}$ ,所以  $\cos \alpha = \frac{g}{\omega^2 l}$ ,则缆绳与中心轴的夹角跟“旋转秋千”的角速度和绳长有关,而与所乘坐人的质量无关。

[做一做]

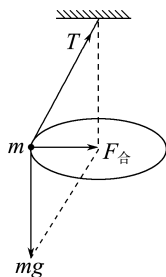
如图所示,小球做匀速圆周运动,细线与竖直方向的夹角为  $\theta$ ,线长为  $L$ ,小球质量为  $m$ ,重力加速度为  $g$ 。求:

- (1)细线对小球拉力的大小;
- (2)小球运动的向心加速度大小;
- (3)小球运动的线速度大小。



解析:(1)小球在水平面内做匀速圆周运动,对小球受力分析,小球所受的合力提供向心力,如图

所示:



由几何关系得  $T = \frac{mg}{\cos \theta}$ 。

(2)根据牛顿第二定律得  $mg \tan \theta = ma$ ,解得  $a = g \tan \theta$ 。

(3)由向心加速度公式有  $a = \frac{v^2}{r}$ ,其中  $r = L \sin \theta$

解得  $v = \sqrt{gL \sin \theta \tan \theta}$ 。

答案:(1)  $\frac{mg}{\cos \theta}$  (2)  $g \tan \theta$  (3)  $\sqrt{gL \sin \theta \tan \theta}$

知识点三 火车转弯

- 1.火车在弯道上的运动特点:火车在弯道上运动时实际做圆周运动,因而具有向心加速度,由于其质量巨大,需要很大的向心力。如果转弯处内外轨一样高,外轨对轮缘的弹力提供火车转弯的向心力,轮缘与外轨间的作用力很大,铁轨与轮缘极易受损,故实际在转弯处,火车的外轨略高于内轨。

2.向心力的来源

在修铁路时,要根据弯道的半径和设计的行驶速度,确定内外轨的高度差,使火车转弯时所需的向心力几乎完全由重力  $G$  和 支持力  $N$  的合力来提供。

[判一判]

- (1)火车转弯处内外轨一样高。 ( × )
- (2)火车转弯时的向心力由轨道与车轮间的挤压力提供。 ( × )
- (3)火车在经过弯道时的速度大小是有限制的。 ( √ )

知识点四 离心运动

- 1.定义:做圆周运动的物体沿切线方向飞出或远离圆心而去的运动。
- 2.原因:合外力提供的向心力消失或不足。
- 3.应用:洗衣机的脱水筒,离心机,制作无缝钢管、水泥管道、水泥电线杆等。

[判一判]

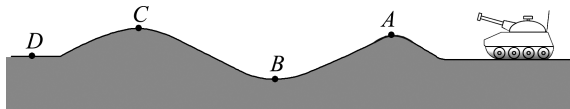
- (1)物体做离心运动的原因是受到离心力的作用。 ( × )
- (2)汽车转弯时速度过大,可能会因做离心运动而造成交通事故。 ( √ )

## 任务型课堂

## 任务一 汽车通过拱形桥问题的分析

## [探究活动]

如图所示,在某次军事演习中,一辆坦克以恒定的速率在起伏不平的路面上匀速行进。



坦克在哪一点对路面的压力最大? 在哪一点对路面的压力最小呢?

提示:坦克在B点时对路面的压力最大,在A点时对路面的压力最小。

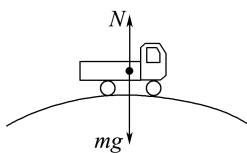
## [评价活动]

1. (多选)在飞机特技飞行表演中,飞行员驾驶着飞机在竖直面内做圆周运动(最高点时机顶向下,最低点时机顶向上),用 $F$ 表示座椅对飞行员作用力的大小,用 $G$ 表示飞行员自身的重力。下列说法正确的是 ( CD )

- A. 经过圆周最低点时, $F$ 可能等于 $G$
- B. 经过圆周最低点时, $F$ 可能小于 $G$
- C. 经过圆周最高点时, $F$ 可能等于 $G$
- D. 经过圆周最高点时, $F$ 可能小于 $G$

2. 如图所示,当车通过拱形桥顶点的速度为 $10\text{ m/s}$ 时,车对桥顶的压力为车重的 $\frac{3}{4}$ 。如果要使车在桥面行驶至桥顶时,对桥面的压力为 $0$ ,则车通过桥顶的速度应为 ( B )

- A.  $15\text{ m/s}$
- B.  $20\text{ m/s}$
- C.  $25\text{ m/s}$
- D.  $30\text{ m/s}$



3. 如图所示,公路在通过小型水库泄洪闸的下游时常常要修建凹形路面,也叫“过水路面”。现有一“过水路面”的圆弧半径为 $50\text{ m}$ ,一辆质量为 $800\text{ kg}$ 的小汽车驶过“过水路面”。小汽车通过“过水路面”的最低点时速度为 $5\text{ m/s}$ 。取 $g=10\text{ m/s}^2$ ,此时汽车对路面的压力为多大?



解析:小汽车通过最低点时受重力 $mg$ 和支持力 $N$ 两个力作用,两者的合力提供汽车做圆周运动的向心力,根据牛顿第二定律得

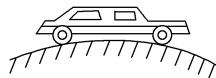
$$N - mg = m \frac{v^2}{R}$$

$$\text{解得 } N = mg + m \frac{v^2}{R} = 8\,400\text{ N}$$

根据牛顿第三定律,汽车对路面的压力  
 $N' = N = 8\,400\text{ N}$ 。

答案:  $8\,400\text{ N}$

4. 如图所示,一辆汽车以恒定速率 $v=10\text{ m/s}$ 通过一座拱形桥,在桥顶时汽车对桥面的压力等于车重的一半。(取 $g=10\text{ m/s}^2$ )
- (1)求这座拱形桥的半径。
  - (2)若要使汽车过桥顶时对桥面无压力,则汽车过桥顶时的速度至少是多大?



解析:(1)在桥顶时,根据牛顿第二定律得

$$mg - N = m \frac{v^2}{R}$$

$$\text{其中 } N = \frac{1}{2}mg$$

代入数据解得 $R=20\text{ m}$ 。

(2)要使汽车过桥顶时对桥面的压力为零,则此时只由重力提供向心力,根据 $mg = m \frac{v'^2}{R}$ 得,汽车过桥顶时的最小速度 $v' = \sqrt{gR} = \sqrt{10 \times 20}\text{ m/s} = 10\sqrt{2}\text{ m/s}$ 。

答案:(1) $20\text{ m}$  (2) $10\sqrt{2}\text{ m/s}$

## 任务总结

## 汽车过拱形桥问题的处理方法

汽车在拱形桥上的运动是竖直平面内的圆周运动。汽车在桥顶时受到重力和桥面的支持力作用,这两个力的合力提供向心力。在拱形桥最高点: $mg - N = m \frac{v^2}{r}$ ;在凹形桥最低点: $N - mg = m \frac{v^2}{r}$ 。求汽车对桥面的压力时,注意结合牛顿第三定律解题。

## 任务二 “旋转秋千”问题的分析

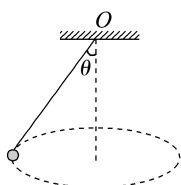
## [探究活动]

如图甲所示为游乐场中的“旋转飞椅”,转盘可绕过其中心的竖直轴转动。我们把其中一个座椅的运

动简化为圆锥摆模型来研究,如图乙所示,将小球(可看成质点)用细线拴在  $O$  点,使其在水平面内做匀速圆周运动,摆线与竖直方向间夹角为  $\theta$ 。



甲

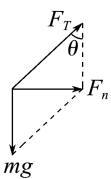


乙

(1)对小球进行受力分析,小球受到的拉力大小、所需的向心力大小分别和夹角  $\theta$  有什么关系?

提示:受力分析如图所示,小球受重力  $mg$  和细绳的拉力  $F_T$ 。由几何关系有  $F_T = \frac{mg}{\cos \theta}$ ,

$F_n = mg \tan \theta$ ; 小球质量一定时,  $\theta$  角越大,小球受到的拉力与向心力就越大。

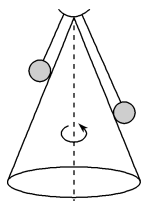


(2)小球做圆周运动的向心加速度、角速度、线速度大小分别和夹角  $\theta$  有什么关系?

提示:设摆线长为  $L$ , 则有  $r = L \sin \theta$ ,  $a_n = \frac{F_n}{m} = g \tan \theta$ , 根据牛顿第二定律有  $F_n = mg \tan \theta = m\omega^2 L \sin \theta$ , 解得  $\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cos \theta}}$ ; 根据  $v = \omega r$  可得  $v = \sqrt{gL \sin \theta \tan \theta}$ , 可以看出  $\theta$  角越大, 小球做圆周运动的向心加速度、角速度和线速度就越大。

[评价活动]

1. (多选) 如图所示为一种圆锥筒状的转筒, 转筒顶端左、右各系着一长一短的绳子并挂着相同的小球, 转筒静止时绳子平行于圆锥侧面。当转筒绕中心轴开始缓慢加速转动时, 不计空气阻力, 则下列说法正确的是 ( )

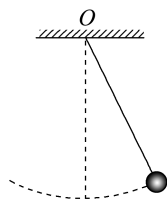


- A. 角速度慢慢增大, 一定是线长的那个球先离开圆锥筒
- B. 角速度达到一定值的时候, 两个球一定同时离开圆锥筒
- C. 两个球都离开圆锥筒后, 它们的高度一定相同
- D. 两个球都离开圆锥筒时, 两端绳子的拉力一定相同

AC 解析: 设绳子与竖直方向的夹角为  $\theta$ , 小球刚好离开圆锥筒时, 圆锥筒对小球的支持力为零, 则

有  $mg \tan \theta = m\omega^2 l \sin \theta$ , 解得  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l \cos \theta}}$ , 则绳子越长的球, 其角速度的临界值越小, 越容易离开圆锥筒, 所以 A 正确, B 错误; 两小球都离开圆锥筒后, 小球都只受重力与绳子的拉力, 两小球都随圆锥筒一起转动, 有相同的角速度, 则小球的高度为  $h = h_{\text{锥}} - l \cos \theta$ , 代入数据解得  $h = h_{\text{锥}} - \frac{g}{\omega^2}$ , 所以 C 正确; 两小球都离开圆锥筒时, 绳子的拉力为  $T = \frac{mg}{\cos \theta}$ , 由于绳子长度不同, 则小球离开圆锥筒时绳子与竖直方向的夹角也不同, 因此拉力也不相同, 所以 D 错误。

2. 如图所示, 质量为  $1 \text{ kg}$  的小球用细绳悬挂于  $O$  点, 将小球拉离竖直位置释放后, 到达最低点时的速度为  $2 \text{ m/s}$ 。已知球心到悬点的距离为  $1 \text{ m}$ , 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 求小球在最低点对绳的拉力的大小。



解析: 小球在最低点时做圆周运动的向心力由重力  $mg$  和绳的拉力  $T$  的合力提供(如图所示), 根据牛顿第二定律有

$$T - mg = ma = m \frac{v^2}{r}$$

解得  $T = 14 \text{ N}$

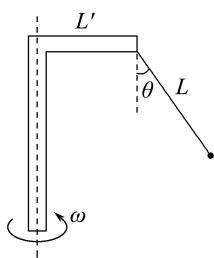
由牛顿第三定律可知, 小球在最低点对绳的拉力大小为  $14 \text{ N}$ 。



答案:  $14 \text{ N}$

3. 可以把游乐场的悬空旋转椅抽象为如图所示的模型: 一质量  $m = 40 \text{ kg}$  的小球通过长  $L = 12.5 \text{ m}$  的轻绳悬于竖直面内的直角杆上, 水平杆长  $L' = 7.5 \text{ m}$ , 整个装置绕竖直杆转动, 轻绳与竖直方向成  $\theta$  角。已知  $\theta = 37^\circ$ , 取  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$ ,  $\cos 37^\circ = 0.8$ 。求:

- (1) 轻绳的拉力大小;
- (2) 该转动装置的角速度。



**解析:**(1)对小球进行受力分析可知,小球受轻绳的拉力和重力作用,由于小球在竖直方向上受力平衡,因此  $F_{\text{拉}} = \frac{mg}{\cos 37^\circ}$

$$F_{\text{拉}} = \frac{mg}{\cos 37^\circ}$$

代入数据,解得  $F_{\text{拉}} = 490 \text{ N}$ 。

(2)小球做圆周运动的向心力由轻绳的拉力和小球的重力的合力提供,由牛顿第二定律可得

$$mg \tan 37^\circ = m\omega^2 (L \sin 37^\circ + L')$$

代入数据,解得  $\omega = 0.7 \text{ rad/s}$ 。

**答案:**(1)490 N (2)0.7 rad/s

### 任务总结

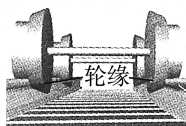
#### “旋转秋千”模型问题的处理方法

“旋转秋千”模型实质是物体在水平面内的匀速圆周运动,首先要确定好圆周所在平面,找准圆心,由几何关系确定好半径,这是前提;然后对物体进行受力分析,找出向心力;最后根据参量关系列出方程进行求解,并验证结果的物理意义。

## 任务三 火车转弯问题

### [探究活动]

火车的车轮有突出的轮缘,如图所示。火车在轨道上运行时,有突出轮缘的一边在两轨道内侧。



(1)如果铁路弯道处内外轨一样高,火车经过弯道时车轮轮缘会对哪一侧造成挤压?

**提示:**外侧。

(2)转弯处内、外轨哪一条轨道应设计得高一些?

**提示:**外轨。

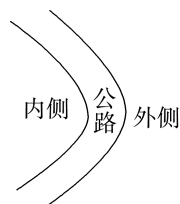
(3)火车在转弯处做圆周运动,是做沿倾斜平面的圆周运动吗?

**提示:**不是,是水平面内的圆周运动。

### [评价活动]

1.(多选)公路急转弯处通常是交通事故多发地带。如图所示,某公路急转弯处是一圆弧,当汽车行驶

的速率为  $v_0$  时,汽车恰好没有向公路内外两侧滑动的趋势,则在该弯道处 ( AC )

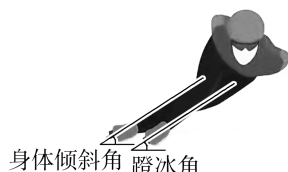


- A. 路面外侧高、内侧低  
B. 路面外侧低、内侧高  
C. 当车速大于  $v_0$  时,车辆会受到沿路面指向公路内侧的摩擦力  
D. 要求大卡车没有向公路内外两侧滑动的趋势,其行驶速度应小于  $v_0$ 。

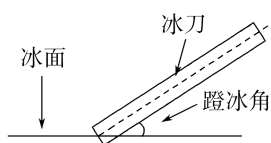
2.(多选)如图甲所示,运动员在进行短道速滑混合接力比赛,若将运动员在弯道转弯的过程看成在水平冰面上的一段匀速圆周运动,如图乙、丙所示,转弯时冰刀嵌入冰内从而使冰刀受到与冰面夹角为  $\theta$  (蹬冰角)的支持力。不计一切摩擦,弯道半径为  $R$ ,重力加速度为  $g$ 。以下说法正确的是 ( )



甲



乙



丙

- A. 运动员转弯时速度的大小为  $\sqrt{\frac{gR}{\tan \theta}}$   
B. 运动员转弯时速度的大小为  $\sqrt{gR \tan \theta}$   
C. 若使运动员转弯速度变大,则需要增大蹬冰角  
D. 若使运动员转弯速度变大,则需要减小蹬冰角

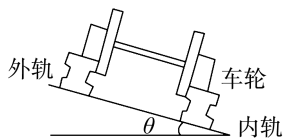
**AD 解析:**依题意,运动员转弯时,根据牛顿第二定律和向心力公式有  $\frac{mg}{\tan \theta} = m \frac{v^2}{R}$ ,可得其转弯时速度

的大小为  $v = \sqrt{\frac{gR}{\tan \theta}}$ ,故 A 正确,B 错误;依题

意,根据运动员转弯时速度的大小  $v = \sqrt{\frac{gR}{\tan \theta}}$  可知,若减小蹬冰角  $\theta$ ,则  $\tan \theta$  减小,运动员转弯速度  $v$  将变大,故 C 错误,D 正确。

3.如图所示,铁路在弯道处的内外轨高度是不同的。

已知轨道平面与水平面的夹角为  $\theta$ , 弯道处的圆弧半径为  $R$ , 重力加速度为  $g$ . 若质量为  $m$  的火车转弯时速度大于  $\sqrt{gR \tan \theta}$ , 则 ( )



- A. 内轨对内侧车轮轮缘有挤压
- B. 外轨对外侧车轮轮缘有挤压
- C. 这时铁轨对火车的支持力等于  $mg \cos \theta$
- D. 这时铁轨对火车的支持力小于  $\frac{mg}{\cos \theta}$

**B 解析:** 火车的重力和轨道对火车的支持力的合力恰好等于所需的向心力时, 有  $mg \tan \theta = m \frac{v^2}{R}$ , 火车的速度正好是  $v = \sqrt{gR \tan \theta}$ . 当火车转弯的速度大于  $\sqrt{gR \tan \theta}$  时, 需要的向心力增大, 而重力与支持力的合力不变, 此合力小于所需的向心力, 外轨就会对火车产生一个向里的力, 所以此时外轨对外侧车轮轮缘有挤压, 故 A 项错误, B 项正确. 当内、外轨与车轮缘间没有挤压时, 火车受重力和支持力,  $N = \frac{mg}{\cos \theta}$ , 由于外轨对火车的作用力  $F$  沿着轨道平面, 此时有  $N' \cos \theta = mg + F \sin \theta$ , 则  $N' = \frac{mg}{\cos \theta} + F \tan \theta$ , 故支持力大于  $\frac{mg}{\cos \theta}$ , 故 C、D 两项错误.

### 任务总结

#### 火车转弯问题

(1) 解决这类题目首先要明确火车转弯做的是圆周运动, 其次要找准火车做圆周运动的平面及圆心, 理解向心力的来源是火车所受的合力.

(2) 分析车辆转弯问题的思路

- ① 确定车辆的运动平面, 找准其圆心, 求出对应的半径;
- ② 对车辆进行受力分析, 找出向心力的来源;
- ③ 依据牛顿第二定律列出方程, 求解并讨论.

## 任务四 对离心运动的理解

### [探究活动]

很多同学小的时候都吃过松软可口的棉花糖, 制作棉花糖的器具主要由分布有小孔的内筒和外筒组成, 内筒与洗衣机的脱水筒相似, 可以利用脚踏旋转. 在内筒里面加入白砂糖, 加热使糖熔化成糖汁. 如图

所示, 一位师傅正在给两位小朋友制作棉花糖.

试分析制作棉花糖的原理.



**提示:** 内筒高速旋转时, 黏稠的糖汁就做离心运动, 从内筒壁的小孔飞散出去成为丝状, 到达温度较低的外筒时, 迅速冷却凝固, 变得纤细雪白, 用木棍将这些糖丝缠绕成团, 就像一团团棉花一样.

### [评价活动]

1. 如图所示是摩托车经过转弯处时的情形. 转弯处路面常是外高内低, 摩托车转弯时有一个最大安全速度, 若超过此速度, 摩托车将发生侧滑. 对于摩托车侧滑的问题, 下列论述正确的是 ( B )



- A. 摩托车一直受到沿半径方向向外的离心力作用
  - B. 摩托车所受外力的合力小于所需的向心力
  - C. 摩托车将沿弯道的线速度的方向直线滑出
  - D. 摩托车将沿其半径方向直线滑出
2. 下列关于离心现象的说法正确的是 ( C )
- A. 当物体所受的离心力大于向心力时产生离心现象
  - B. 做匀速圆周运动的物体, 当它所受的一切力都突然消失时, 它将做背离圆心的圆周运动
  - C. 做匀速圆周运动的物体, 当它所受的一切力都突然消失时, 它将沿该处圆周的切线方向做直线运动
  - D. 做匀速圆周运动的物体, 当它所受的一切力都突然消失时, 它将做曲线运动
3. 某特技演员骑单车在水平路面上急转弯做圆周运动, 该特技演员在通过弯道时如果控制不当会发生侧滑而摔倒. 若将该特技演员与单车看成一个整体, 则下列说法正确的是 ( )
- A. 人、车整体处于平衡状态
  - B. 发生侧滑是因为人、车整体受到的合力方向背离圆心
  - C. 人、车整体转弯所需向心力由地面对车轮的摩擦力提供
  - D. 发生侧滑是因为人、车整体受到的合外力大于所需的向心力
- C 解析:** 发生侧滑的原因是路面对人、车的摩擦力小于人、车需要的向心力, 做离心运动, 人、车也不

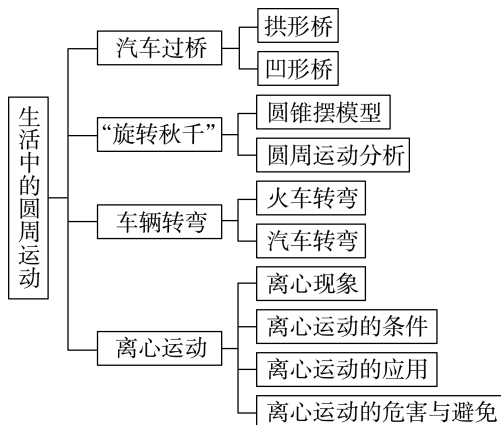
处于平衡状态,故 A、B 两项错误;人、车整体转弯所需的向心力由地面对车轮的摩擦力提供,发生侧滑是因为人、车的速度过大,所需要的向心力过大,人、车受到的合外力小于所需要的向心力,故 C 项正确,D 项错误。

### 任务总结

#### 解决离心运动相关问题时应注意的几点

- (1) 离心现象是惯性的表现。
- (2) 离心运动并非沿半径方向飞出去的运动,而是运动的半径变大,或沿切线方向飞出。
- (3) 物体做离心运动并不是受到离心力的作用,而是所受合外力不足以提供所需向心力。

### ► 提质归纳



## 课后素养评价(七) 圆周运动的实例分析

### 基础性·能力运用

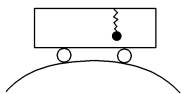
#### 知识点 1 汽车通过拱形桥问题

1. 如图所示,汽车车厢顶部悬挂一轻质弹簧,弹簧下拴一个质量为  $m$  的小球。当汽车在水平面上匀速行驶时弹簧长度为  $l_1$ ,当汽车以同一速度通过一个桥面为弧形的拱形桥的最高点时弹簧长度为  $l_2$ 。下列说法正确的是 ( )

- A.  $l_1 = l_2$   
B.  $l_1 > l_2$   
C.  $l_1 < l_2$

D. 前三种情况均有可能

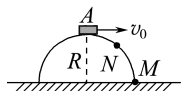
**B 解析:** 设弹簧原长为  $l_0$ ,汽车在水平面上运动时,有  $k(l_1 - l_0) = mg$ ,汽车在拱形桥最高点时,有  $mg - k(l_2 - l_0) = \frac{mv^2}{R}$ ,两式比较得  $l_1 > l_2$ ,故 B 正确。



2. 半径为  $R$  的光滑半圆球固定在水平面上(如图所示),顶部有一小物体 A。今给它一个水平初速度  $v_0 = \sqrt{gR}$ ,则物体将 ( )

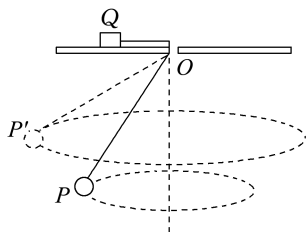
- A. 沿球面下滑至 M 点  
B. 沿球面下滑至某一点 N,便离开球面做斜下抛运动  
C. 沿半径大于  $R$  的新圆弧轨道做圆周运动  
D. 立即离开半圆球做平抛运动

**D 解析:** 当  $v_0 = \sqrt{gR}$  时,所需向心力  $F = m \frac{v_0^2}{R} = mg$ ,此时物体与半圆球顶部接触但无弹力作用,物体只受重力作用,故物体将做平抛运动,选项 D 正确。



#### 知识点 2 “旋转秋千”问题

3. 如图所示,小金属块 Q 放在有光滑小孔的水平桌面上,轻质细线一端固定在 Q 上,另一端穿过小孔连接金属小球。金属块 Q 保持静止,让小球先后在 P、P' 两个水平面内做匀速圆周运动。小球在 P 平面时 ( )

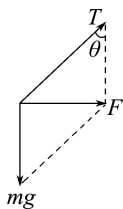


- A. Q 所受桌面的支持力较大  
B. Q 所受桌面的静摩擦力较大  
C. 小球运动的角速度较小  
D. 小球运动的向心加速度较大

**C 解析:** 金属块 Q 在桌面上保持静止,对金属块 Q 受力分析,其受细线的拉力、重力、桌面的支持力和摩擦力,竖直方向没有加速度,根据平衡条件得知, Q 所受桌面的支持力等于 Q 所受重力,且保持不变,故 A 错误;设细线与竖直方向的夹角为  $\theta$ ,细线的拉力大小为  $T$ ,细线的长度为  $L$ ,小球做匀速圆周运动时,由重力和细线的拉力的合力提供向心力,如图所示,则有  $T = \frac{mg}{\cos \theta}$ ,  $mg \tan \theta = m\omega^2 L \sin \theta$ ,得

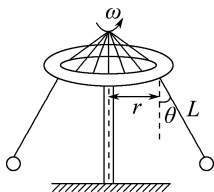
角速度  $\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cos \theta}}$ ,将小球改到一个更高一些的水平面上做匀速圆周运动时,  $\theta$  增大,  $\cos \theta$  减小,  $\tan \theta$ 、 $\sin \theta$  都增大,则细线拉力  $T$  增大,角速度  $\omega$  增大,周期  $T$  变小,即小球在 P 平面内时,运动的

角速度较小,运动的向心加速度较小,细线的拉力较小,所以对金属块Q,由平衡条件可知,Q受到桌面的静摩擦力较小,故C正确,B、D错误。



4. 旋转秋千是游乐园里常见的游乐设施,其示意图如图所示,长为  $L=10\text{ m}$  的绳一端系着座椅,另一端固定在半径为  $r=4\text{ m}$  的水平转盘边缘,转盘可绕穿过其中心的竖直轴转动。当转盘匀速转动时,绳与转轴在同一竖直平面内,与竖直方向的夹角为  $\theta=37^\circ$ ,座椅(含人)的总质量  $m=160\text{ kg}$ ,不计绳的重力和空气阻力。取  $g=10\text{ m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ=0.6$ ,  $\cos 37^\circ=0.8$ 。求:

- (1) 座椅(含人)受到的绳的拉力大小;
- (2) 转盘转动角速度的大小。



解析:(1)以座椅(含人)为研究对象,设绳的拉力为  $T$ , 竖直方向有  $T\cos\theta=mg$

解得  $T=2\ 000\text{ N}$ 。

(2)水平方向,根据牛顿第二定律得

$$T\sin\theta=m\omega^2(r+L\sin\theta)$$

解得  $\omega=\frac{\sqrt{3}}{2}\text{ rad/s}$ 。

答案:(1)  $2\ 000\text{ N}$  (2)  $\frac{\sqrt{3}}{2}\text{ rad/s}$

### 知识点3 火车转弯问题

5. (多选) 火车轨道在转弯处外轨高于内轨,高度差由转弯半径与火车速度确定。若在某转弯处规定行驶速度不超过  $v$ , 则下列说法正确的是 ( )

- A. 当以速度  $v$  通过此弯道时,火车重力与轨道面支持力的合力提供向心力
- B. 当以速度  $v$  通过此弯道时,火车重力、轨道面支持力和外轨对轮缘弹力的合力提供向心力
- C. 当速度大于  $v$  时,轮缘挤压外轨
- D. 当速度小于  $v$  时,轮缘挤压外轨

AC 解析:当火车以规定速度转弯时,火车对外轨、内轨无侧压力,由火车重力与轨道面支持力的合力提供向心力,A正确,B错误;当速度大于  $v$  时,只由重力和支持力的合力无法提供足够的向心力,此时轮缘会挤压外轨,C正确,D错误。

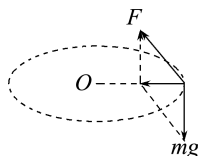
6. 质量为  $m$  的飞机以恒定速率  $v$  在空中水平盘旋,如图所示。其做匀速圆周运动的半径为  $R$ ,重力加速度为  $g$ ,则此时空气对飞机的作用力大小为 ( )

- A.  $m\frac{v^2}{R}$
- B.  $mg$
- C.  $m\sqrt{g^2+\frac{v^4}{R^2}}$
- D.  $m\sqrt{g^2-\frac{v^4}{R^2}}$



C 解析:飞机在空中水平盘旋时在水平面内做匀速圆周运动,受到重力和空气的作用力两个力的作用,其合力提供向心力,有  $F_n=m\frac{v^2}{R}$ ;飞机受力情况示意图如图所示,根据勾股定理得  $F=$

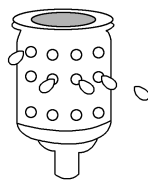
$$\sqrt{(mg)^2+F_n^2}=m\sqrt{g^2+\frac{v^4}{R^2}}$$



### 知识点4 离心现象

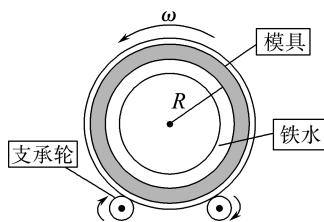
7. (多选) 如图所示,洗衣机的脱水筒在转动时有一件衣服(未画出)附着在内壁上,则此时 ( )

- A. 衣服受重力、筒壁的弹力和摩擦力
- B. 衣服随筒壁做圆周运动的向心力由摩擦力提供
- C. 筒壁的弹力随筒的转速增大而增大
- D. 筒壁对衣服的摩擦力随筒的转速增大而增大



AC 解析:衣服受到重力、筒壁的弹力和摩擦力的作用,A正确;衣服随筒壁在水平面内做圆周运动,筒壁的弹力提供向心力,B错误;因为  $N=m\omega^2r$ ,所以筒壁的弹力随筒的转速增大而增大,C正确;衣服在竖直方向的合力等于零,所以筒壁对衣服的摩擦力大小始终等于重力,不随转速变化,D错误。

8. 无缝钢管的制作原理之一如图所示,竖直平面内,管状模具置于两个支承轮上,支承轮转动时通过摩擦力带动管状模具转动,铁水注入管状模具后,由于离心作用,铁水紧紧地覆盖在模具的内壁上,冷却后就得到无缝钢管。已知管状模具内壁半径为  $R$ ,则下列说法正确的是 ( )



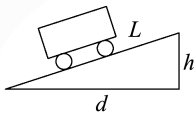
- A. 铁水是由于受到离心力的作用才覆盖在模具内壁上的  
 B. 模具各个方向上受到的铁水的作用力相同  
 C. 若最上部的铁水恰好不离开模具内壁,此时仅重力提供向心力  
 D. 管状模具转动的角速度  $\omega$  最大为  $\sqrt{\frac{g}{R}}$

C 解析:铁水做圆周运动,重力和弹力的合力提供

向心力,没有离心力,故 A 错误;铁水做圆周运动的向心力由重力和弹力的径向分力提供,不是匀速圆周运动,故模具各个方向上受到的铁水的作用力不一定相同,故 B 错误;若最上部的铁水恰好不离开模具内壁,则重力恰好提供向心力,故 C 正确;为了使铁水紧紧地覆盖在模具的内壁上,管状模具转动的角速度不能小于临界角速度  $\sqrt{\frac{g}{R}}$ ,故 D 错误。

## 综合性·创新提升

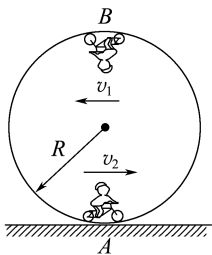
9. 在高速公路的拐弯处,路面通常都是外高内低。如图所示,在某路段汽车向左拐弯,司机左侧的路面比右侧的路面低一些。汽车的运动可看作是半径为  $R$  的圆周运动。设内、外路面高度差为  $h$ ,路基的水平宽度为  $d$ ,路面的宽度为  $L$ 。已知重力加速度为  $g$ 。要使车轮与路面之间的横向摩擦力(垂直于前进方向)等于零,则汽车转弯时的车速应等于 ( )



- A.  $\sqrt{\frac{gRh}{L}}$       B.  $\sqrt{\frac{gRh}{d}}$   
 C.  $\sqrt{\frac{gRL}{h}}$       D.  $\sqrt{\frac{gRd}{h}}$

B 解析:设路面的倾角为  $\theta$ ,根据牛顿第二定律得  $mg \tan \theta = m \frac{v^2}{R}$ ,又由数学知识可知  $\tan \theta = \frac{h}{d}$ ,联立解得  $v = \sqrt{\frac{gRh}{d}}$ ,选项 B 正确。

10. 如图所示是马戏团中上演的飞车节目,在竖直平面内有半径为  $R$  的圆轨道。表演者骑着摩托车在圆轨道内做圆周运动。已知人和摩托车的总质量为  $m$ ,人以  $v_1 = \sqrt{2gR}$  的速度通过轨道最高点  $B$ ,并以  $v_2 = \sqrt{3}v_1$  的速度通过最低点  $A$ 。求在  $A$ 、 $B$  两点轨道对摩托车的压力大小相差多少。



解析:由题意可知,在  $B$  点,有

$$F_B + mg = m \frac{v_1^2}{R}$$

$$\text{已知 } v_1 = \sqrt{2gR}$$

联立解得  $F_B = mg$ ,方向竖直向下

$$\text{在 } A \text{ 点,有 } F_A - mg = m \frac{v_2^2}{R}$$

$$\text{又 } v_2 = \sqrt{3}v_1$$

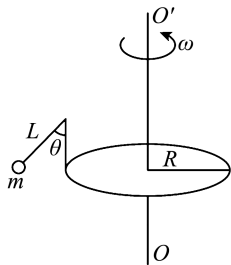
联立解得  $F_A = 7mg$ ,方向竖直向上

所以在  $A$ 、 $B$  两点轨道对车的压力大小相差  $6mg$ 。

答案:  $6mg$

11. 如图所示,一匀速转动的圆盘边缘的竖直杆上用轻绳拴一个小球,小球的质量为  $m$ ,在长为  $L$  的轻绳的作用下,在水平面内绕轴  $OO'$  做匀速圆周运动。已知轻绳与竖直方向的夹角为  $\theta$ ,圆盘半径为  $R$ 。求:

- (1) 绳的拉力  $T$  的大小;  
 (2) 小球做圆周运动的角速度  $\omega$ 。



解析:(1) 小球在竖直方向上受力平衡,则有

$$T \cos \theta = mg$$

$$\text{解得绳的拉力 } T = \frac{mg}{\cos \theta}.$$

(2) 水平方向上,小球做匀速圆周运动,轨道半径为

$$r = R + L \sin \theta$$

$$\text{向心力 } F = T \sin \theta = mg \tan \theta$$

$$\text{而 } F = m\omega^2 r$$

$$\text{所以 } mg \tan \theta = m\omega^2 (R + L \sin \theta)$$

$$\text{联立可得 } \omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{R + L \sin \theta}}.$$

$$\text{答案: (1) } \frac{mg}{\cos \theta} \quad (2) \sqrt{\frac{g \tan \theta}{R + L \sin \theta}}$$



## 单元活动构建

## 单元活动 2 形式多样的圆周运动

## 「单元任务」

任务内容	
任务一	竖直平面内的圆周运动
任务二	水平面内的圆周活动
任务三	圆周运动中的连接体问题
任务四	圆周与抛体的完美结合

## 「任务引导」

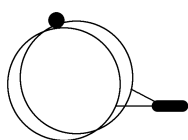
资料 1:市面的一种儿童玩具“魔力陀螺”如图所示,陀螺可绕竖直放置的金属轨道内外侧转动并发出彩色光芒,十分新奇,因此深受小孩子的喜爱。



资料 2:我国的抛石机最早出现于战国时期,是纯利用人力的抛石机。抛石机的机架两支柱间有固定横轴,其上有与轴垂直的杠杆,可绕轴自由转动,杠杆短臂上固定一个重物或用人力拉动,长臂末端有弹袋用于装弹。唐朝时使用的抛石机最大能抛出 50 千克左右的石料,在宋代出现了炮架可以旋转的抛石机,称为旋风炮。

## 任务一 竖直平面内的圆周运动

活动 玩具“魔力陀螺”的简化结构如图所示。半径为  $R$  的铁质圆轨道用支架固定在竖直平面内,陀螺在轨道内、外两侧均可以旋转,陀螺的磁芯质量为  $m$ ,其余部分质量不计。陀螺磁芯对轨道的吸引力始终沿轨道的半径方向,大小恒为  $7mg$ ,不计摩擦力和空气阻力,重力加速度为  $g$ 。

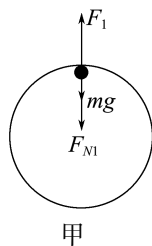


(1)若陀螺在轨道内侧运动到最高点时的速度为  $\sqrt{gR}$ ,试求此时轨道对陀螺的弹力大小。

(2)要使陀螺在轨道外侧运动到最低点时不脱离轨道,试求陀螺通过最低点时的最大速度大小。

(3)若陀螺在轨道外侧运动到与轨道圆心等高处时速度为  $\sqrt{3gR}$ ,试求轨道对陀螺的弹力大小。

提示:(1)当陀螺在轨道内侧运动到最高点时,设轨道对陀螺的吸引力为  $F_1$ ,轨道对陀螺的弹力为  $F_{N1}$ ,陀螺所受的重力为  $mg$ ,最高点的速度为  $v_1$ ,受力分析如图甲所示。

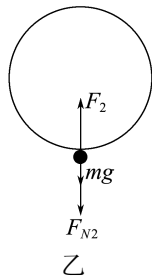


$$\text{依题意有 } mg + F_{N1} - F_1 = m \frac{v_1^2}{R}$$

$$\text{因 } F_1 = 7mg, v_1 = \sqrt{gR}$$

$$\text{可得 } F_{N1} = 7mg。$$

(2)设陀螺在轨道外侧运动到最低点时,轨道对陀螺的吸引力为  $F_2$ ,轨道对陀螺的弹力为  $F_{N2}$ ,陀螺所受的重力为  $mg$ ,最低点的速度为  $v_2$ ,受力分析如图乙所示,则有

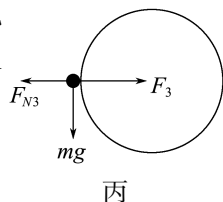


$$F_2 - F_{N2} - mg = m \frac{v_2^2}{R}$$

$$F_2 = 7mg$$

由题意可知,当  $F_{N2} = 0$  时,陀螺通过最低点时的速度为最大值,有  $v_2 = \sqrt{6gR}$ 。

(3)设陀螺在轨道外侧运动到与轨道圆心等高处时,轨道对小球的吸引力为  $F_3$ ,轨道对陀螺的弹力为  $F_{N3}$ ,陀螺所受的重力为  $mg$ ,受力分析如图丙所示,依题意有  $F_3 -$



$$F_{N3} = m \frac{v_3^2}{R}$$

$$v_3 = \sqrt{3gR}$$

$$F_3 = 7mg$$

$$\text{解得 } F_{N3} = 4mg。$$

## 任务二 水平面内的圆周运动

活动 如图所示,一餐桌上有一半径为  $r$  的圆形水平转盘,在转盘的边缘有一个质量为  $m$  的茶杯随转盘一起转动。已知茶杯和转盘间的动摩擦因数为  $\mu$ ,最大静摩擦力等于滑动摩擦力。



(1)随着转盘的转速从0逐渐增大,茶杯的运动情况将会发生怎样的变化?为何会发生这些变化?

提示:当转盘转速较小时,茶杯和转盘相对静止,一起做共速圆周运动,静摩擦力提供向心力;随着转盘转速的增大,茶杯做圆周运动所需的向心力逐渐增大,达到最大静摩擦力之后,茶杯将沿转盘边缘飞出桌面。

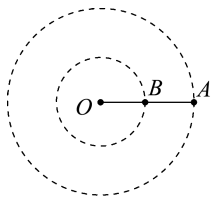
(2)如何求出茶杯飞离转盘的瞬间转盘转动的角速度?

提示:求出当静摩擦力达到最大值时的角速度,结合牛顿第二定律及向心力公式有  $\mu mg = m r \omega^2$ , 可得  $\omega$

$$= \sqrt{\frac{\mu g}{r}}.$$

### 任务三 圆周运动中的连接体问题

活动 如图所示,A、B两个小球质量相等,用一根轻绳相连,另有一根轻绳的两端分别连接O点和B,让两个小球绕O点在光滑水平桌面上以相同的角速度做圆周运动。已知OB绳上的拉力为  $F_1$ , AB绳上的拉力为  $F_2$ ,  $OB=AB$ 。



(1)若小球A做匀速圆周运动,哪些力提供向心力?

提示:小球A做匀速圆周运动,向心力由AB绳上的拉力提供,即  $F_2$ 。

(2)若小球B做匀速圆周运动,哪些力提供向心力?

提示:小球B做匀速圆周运动,向心力由OB绳和AB绳拉力的合力提供,即  $F_1 - F_2$ 。

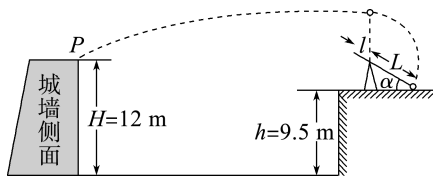
(3)OB绳上的拉力  $F_1$  与BA绳上的拉力  $F_2$  的比值为多少?

提示:对小球A有  $F_2 = m \omega^2 r_A$ , 对小球B有  $F_1 - F_2 = m \omega^2 r_B$ , 又  $r_A = 2r_B$ , 所以  $F_1 : F_2 = 3 : 2$ 。

### 任务四 圆周运动与抛体运动的完美结合

活动 抛石机装置的简化原理如图所示。抛石机长臂的长度  $L=5\text{ m}$ , 短臂的长度未知。假设在某次攻城战中,敌人的城墙高度  $H=12\text{ m}$ , 士兵们为了能将石块投入敌人城中,在城外堆出了高  $h=9.5\text{ m}$  的小土丘,在小土丘上使用抛石机对敌人进行攻击。士兵将质量  $m=5\text{ kg}$  的石块装在长臂末端的弹袋中,开始时长臂处于静止状态,其与水平地面间的夹角  $\alpha=$

$30^\circ$ 。现对短臂施力,石块抛出前一直做加速圆周运动,当长臂转到竖直位置时立即停止转动,石块被水平抛出且恰好击中城墙顶端的P点,P点与抛出位置间的水平距离  $x=20\text{ m}$ 。不计空气阻力,取  $g=10\text{ m/s}^2$ 。



(1)求石块刚被抛出时的速度大小  $v$ 。

提示:抛石机支架的高度  $h_1 = L \sin \alpha = 2.5\text{ m}$

石块的抛出点与P点的竖直高度差为

$$h_2 = h + h_1 + L - H = 9.5\text{ m} + 2.5\text{ m} + 5\text{ m} - 12\text{ m} = 5\text{ m}$$

石块被抛出后做平抛运动,则  $h_2 = \frac{1}{2} g t^2$ ,  $x = vt$

解得石块刚被抛出时的速度大小  $v=20\text{ m/s}$ 。

(2)试求石块转到最高点时对弹袋竖直方向作用力的大小。

提示:石块转到最高点时,由牛顿第二定律得

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

解得  $F=350\text{ N}$

由牛顿第三定律知石块转到最高点时,对弹袋竖直方向作用力的大小  $F'=F=350\text{ N}$ 。

(3)若当长臂转到水平位置时,石块的速度为  $5\text{ m/s}$ , 向上的加速度为  $20\text{ m/s}^2$ 。求此时弹袋对石块作用力的大小。

提示:当长臂转到水平位置时,对石块在竖直方向上有

$$F_1 - mg = ma$$

解得竖直方向上弹袋对石块作用力的大小  $F_1 = 150\text{ N}$

当长臂转到水平位置时,对石块在水平方向上有

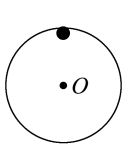
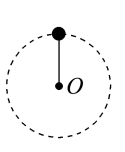
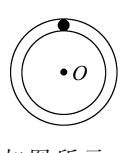
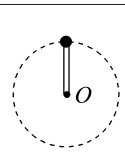
$$F_2 = m \frac{v^2}{L} = 25\text{ N}$$

所以当长臂转到水平位置时,弹袋对石块作用力的大小为  $F_3 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = 25\sqrt{37}\text{ N}$ 。

### 「知识链接」

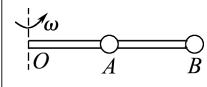
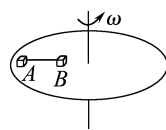
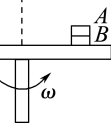
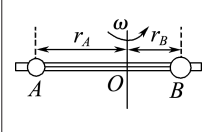
#### 1.“轻绳”模型与“轻杆”模型的特点

该类问题在高中阶段我们只研究最高点和最低点两种情况,在最高点常出现临界问题,并伴有“最大”“最小”“刚好”等词语,现对这两种模型的比较如下。

模型	临界条件	最高点受力分析
<p><b>轻绳模型</b></p>  <p>如图所示, 小球沿竖直光滑轨道内侧做圆周运动</p>  <p>如图所示, 小球在细绳作用下在竖直平面内做圆周运动</p>	<p>小球恰好过最高点时, 应满足弹力 <math>F = 0</math>, 即 <math>mg = m \frac{v^2}{R}</math>, 则小球在竖直平面内做圆周运动时在最高点的临界速度 <math>v = \sqrt{gR}</math></p>	<p>①当 <math>v &gt; \sqrt{gR}</math> 时, 轨道或绳对小球产生向下的压力或拉力;</p> <p>②当 <math>v = \sqrt{gR}</math> 时, 轨道或绳对小球刚好不产生作用力;</p> <p>③当 <math>v &lt; \sqrt{gR}</math> 时, 小球不能在竖直平面内做圆周运动, 小球没有到达最高点就脱离了轨道</p>
<p><b>轻杆模型</b></p>  <p>如图所示, 小球在竖直放置的光滑细环形管内做圆周运动</p>  <p>如图所示, 小球被一轻杆拉着在竖直平面内做圆周运动</p>	<p>由于杆和管能对小球产生向上的支持力, 因此小球能在竖直平面内做圆周运动的临界条件是到达最高点时速度恰好为零</p>	<p>①当 <math>v &gt; \sqrt{gR}</math> 时, 管的外侧或杆产生向下的压力或拉力;</p> <p>②当 <math>v = \sqrt{gR}</math> 时, 球在最高点只受重力, 不受管或杆的作用力;</p> <p>③当 <math>v &lt; \sqrt{gR}</math> 时, 管的内侧或杆产生向上的支持力</p>

2. 圆周运动中的连接体问题, 是指两个或两个以上的物体通过一定的约束绕同一转轴做圆周运动的问题。这类问题的一般求解思路是: 分别隔离物体, 准确受力分析, 正确画出物体受力示意图, 确定轨道半径, 注意约束关系(在连接体的圆周运动问题

中, 角速度相同是一种常见的约束关系)。几种常见情境如表中所示。

情境示例	情境图示	情境说明
情境 1		A、B 两小球固定在轻杆上, 绕杆的端点 O 做圆周运动, 注意计算小球 A 左侧杆拉力时应以小球 A 为研究对象, 而不能以 A、B 整体为研究对象
情境 2		当转盘转速逐渐增大时, 物块 A 先达到其最大静摩擦力, 转速再增大, 则 A、B 间绳子开始有拉力, 当 B 受到的静摩擦力达到其最大值后两物块开始滑动
情境 3		当求转盘对 B 的摩擦力时, 取 A、B 整体为研究对象比较简单; 当研究 A、B 谁先发生离心滑动时, 注意比较两接触面的动摩擦因数大小
情境 4		A、B 两小球用轻线相连穿在光滑轻杆上随杆绕转轴 O 在水平面内做圆周运动时, 两球所受向心力大小相等, 角速度相同, 圆周半径与小球质量成反比

### 3. 圆周运动的综合运用问题

(1) 模型特点: 物体在整个运动过程中, 经历直线运动、圆周运动和平抛运动三种运动或这三种运动的两两组合。

(2) 应对策略: 这类模型一般不难, 各阶段的运动过程具有独立性, 只要对不同过程分别选用相应规律即可, 两个相邻过程的连接点的速度是联系两过程的纽带。例如很多情况下平抛运动末速度的方向是解决问题的重要突破口。

### 「活动达标」

1. 如图所示, 旋转飞椅是小朋友们特别喜爱的游乐项目之一。假设某飞椅的绳长为 5 m, 悬点到转轴中心的距离为 2 m。某时刻飞椅以  $20\pi \text{ rad/min}$  的角速度水平匀速转动, 重力加速度取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。以下判断正确的是 ( )

- A. 飞椅的旋转周期为 12 s
- B. 悬绳与竖直面的夹角可能是  $53^\circ$
- C. 若飞椅的角速度逐渐缓慢增大, 线速度大小会成正比增大



D. 若某时刻绳与竖直面的夹角为  $37^\circ$ , 则  $\omega = \frac{\sqrt{6}}{2} \text{ rad/s}$

D 解析: 根据角速度与周期的关系有  $\omega = \frac{2\pi}{T} =$

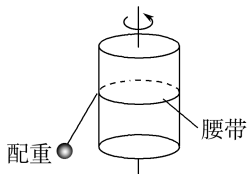
$\frac{\pi}{3} \text{ rad/s}$ , 解得  $T = 6 \text{ s}$ , 故 A 错误; 设悬绳与竖直方向的夹角为  $\theta$ , 有  $mg \tan \theta = m\omega^2(L \sin \theta + 2)$ , 当  $\theta = 53^\circ$  时,  $\omega \neq \frac{\pi}{3} \text{ rad/s}$ , 故 B 错误; 当  $\theta = 37^\circ$  时,  $\omega =$

$\frac{\sqrt{6}}{2} \text{ rad/s}$ , 故 D 正确; 根据角速度与线速度的关系, 有  $v = \omega(L \sin \theta + 2)$ , 由于  $\theta$  会改变, 故  $v$  与  $\omega$  不是正比关系, 故 C 错误。

2. 有一种新式健身器材——能自动计数的智能呼啦圈, 深受健身爱好者的喜爱。如图甲所示, 智能呼啦圈腰带外侧带有轨道, 将带有滑轮的短杆穿入轨道, 短杆的另一端悬挂一根带有配重的细绳, 其简化模型如图乙所示。已知配重(可视为质点)质量  $m = 0.6 \text{ kg}$ , 绳长为  $L = 0.5 \text{ m}$ , 悬挂点到腰带中心的距离为  $r_0 = 0.15 \text{ m}$ 。水平固定好腰带, 通过人体微小扭动, 使配重做水平匀速圆周运动, 计数器能显示在  $1 \text{ min}$  内转动的圈数。已知在某一时间内, 绳子始终与竖直方向的夹角为  $\theta$ , 配重运动过程中腰带可视为不动, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\sin 53^\circ = 0.8$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$ 。下列说法正确的是 ( )



甲

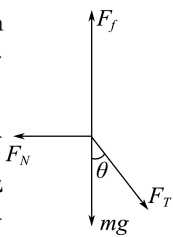


乙

- A. 匀速转动时, 配重受到的合力为零  
 B. 若增大转速, 腰受到腰带的弹力增大  
 C. 若配重某时刻滑落, 其将沿半径方向做平抛运动  
 D. 只要转速够快, 配重将与腰带在同一水平高度做圆周运动

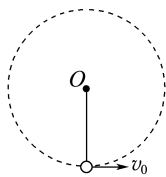
B 解析: 匀速转动时, 配重做曲线运动, 所受合力不为零, A 错误。若增大转速, 配重做圆周运动的半径变大, 绳与竖直方向间的夹角  $\theta$  将增大, 对腰带受力分析如图所示, 可得  $mg = F_T \cos \theta$ ,  $F_T \sin \theta = F_N$ , 可知增大转速, 绳的张力  $F_T$  增大。

腰带受到腰的支持力为  $F_N = F_T \sin \theta$ , 即增大转速, 腰带受到腰的弹力增大, 根据作用力与反作用力, 腰受到腰带的弹力也增大, B 正确。若配重某时刻滑落, 其将沿切线方向做平抛运动, C 错误。由受力分析可知, 配重与腰带不会在同一水平高度做圆周运动, D 错误。



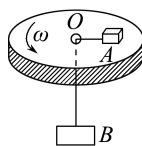
3. 如图所示, 轻杆的一端有一小球, 另一端有光滑的固定轴  $O$ 。现给小球一个初速度, 使球和杆一起绕  $O$  轴在竖直面内转动。不计空气阻力, 用  $F$  表示球到达最低点时杆对小球的作用力, 则  $F$  ( )

- A. 一定是拉力  
 B. 一定是推力  
 C. 一定等于零  
 D. 可能是拉力, 可能是推力, 也可能等于 0

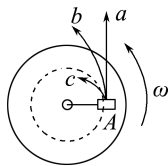


A 解析: 最低点处的小球受竖直向下的重力  $mg$  和杆的作用力  $F$ , 两者合力提供向心力, 合力方向向上, 有  $F - mg = m \frac{v_0^2}{R}$ , 则  $F$  一定为拉力, A 正确。

4. (多选) 如图甲所示, 在光滑水平转台上放一木块 A, 用细绳的一端系住木块 A, 另一端穿过转台中心的光滑小孔  $O$  悬挂另一木块 B。当转台以角速度  $\omega$  匀速转动时, A 恰能随转台一起做匀速圆周运动, 图乙为其俯视图, 则 ( )



甲



乙

- A. 当转台的角速度变为  $1.5\omega$  时, 木块 A 将沿图乙中的  $a$  方向运动  
 B. 当转台的角速度变为  $1.5\omega$  时, 木块 A 将沿图乙中的  $b$  方向运动  
 C. 当转台的角速度变为  $0.5\omega$  时, 木块 A 将沿图乙中的  $b$  方向运动  
 D. 当转台的角速度变为  $0.5\omega$  时, 木块 A 将沿图乙中的  $c$  方向运动

BD 解析: 木块 A 以角速度  $\omega$  做匀速圆周运动时的向心力由细绳对 A 的拉力提供, 大小等于木块 B 所受的重力, 而木块 B 所受重力不变, 所以转台角速度增大时, 木块 A 需要的向心力大于 B 所受的重力, A 做离心运动, 故 B 正确; 转台角速度减小时, 木块 A 需要的向心力小于木块 B 所受的重力, A 将靠近圆心, 故 D 正确。

5. 如图甲所示, 北京冬奥会主场馆“雪如意”美轮美奂, 充分展示了中国元素。“雪如意”的旁边修建有世界上运行长度最长的变角度斜行电梯。斜行电梯在同一竖直平面内运行, 箱内地板始终保持水平。电梯轨道的上段是倾角为  $22.56^\circ$  的斜直轨道, 下段是倾角为  $39.56^\circ$  的斜直轨道, 中间通过一段圆弧形轨道平滑连接, 如图乙所示。当一运动员站立在电梯内随着电梯一起运动时, 下列说法正确的是 ( )



甲



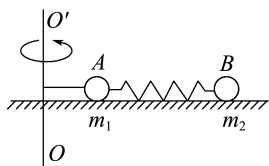
乙

- A. 电梯沿斜直轨道匀速下行时,运动员处于失重状态  
 B. 电梯刚向下启动时,运动员受两个力作用  
 C. 在电梯匀速率下行时,运动员在上段斜直轨道受到的支持力小于在下段受到的支持力  
 D. 电梯匀速率上行通过圆弧轨道的过程中,运动员受到地板的弹力小于他的重力

**D 解析:** 电梯沿斜直轨道匀速下行时,运动员处于平衡状态,故运动员不处于失重状态,A 错误;电梯刚向下启动时,有斜向下的加速度,则合力方向斜向下,而只有重力和支持力时,合力只可能在竖直方向上,故必有摩擦力存在,则电梯刚向下启动时,运动员不止受两个力作用,B 错误;电梯匀速率下行时,斜直轨道上,人受力平衡,重力等于支持力,C 错误;通过圆弧轨道时,由牛顿第二定律可得  $mg - F_N = ma = m \frac{v^2}{r}$ ,故可知运动员受到地板的弹力小于他的重力,D 正确。

6. 如图所示,水平光滑桌面上 A、B 两球质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$ ,用一劲度系数为  $k$  的轻质弹簧相连,一长为  $L_1$  的水平细线一端与 A 相连,另一端拴在竖直轴  $OO'$  上。当 A 与 B 均以角速度  $\omega$  绕  $OO'$  做匀速圆周运动时,弹簧长度为  $L_2$ ,求:

- (1) 弹簧的伸长量;  
 (2) 细线上的弹力大小;  
 (3) 将细线突然剪断的瞬间,A、B 两球的加速度大小。



**解析:** (1) 由题意可知,B 球受到的弹簧弹力提供 B 球做匀速圆周运动的向心力,设弹簧伸长量为  $\Delta L$ ,满足

$$k\Delta L = m_2\omega^2(L_1 + L_2)$$

$$\text{解得弹簧伸长量 } \Delta L = \frac{m_2\omega^2(L_1 + L_2)}{k}$$

(2) 对 A 球分析,细线的弹力和弹簧弹力的合力提供 A 球做匀速圆周运动的向心力,满足  $F - k\Delta L = m_1\omega^2 L_1$

$$\text{所以细线的弹力 } F = m_2\omega^2(L_1 + L_2) + m_1\omega^2 L_1 = (m_1 L_1 + m_2 L_1 + m_2 L_2)\omega^2$$

(3) 细线烧断的瞬间,A、B 两球都由弹簧的弹力提供加速度,则

$$\text{对 A 球有 } k\Delta L = m_1 a_1$$

$$\text{解得 } a_1 = \frac{m_2\omega^2(L_1 + L_2)}{m_1}$$

$$\text{对 B 球有 } k\Delta L = m_2 a_2$$

$$\text{解得 } a_2 = \omega^2(L_1 + L_2)$$

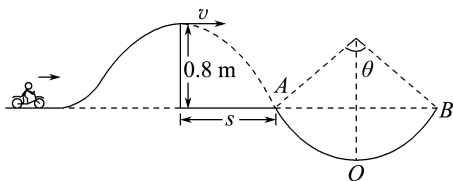
$$\text{答案: (1) } \frac{m_2\omega^2(L_1 + L_2)}{k}$$

$$(2) (m_1 L_1 + m_2 L_1 + m_2 L_2)\omega^2$$

$$(3) \frac{m_2\omega^2(L_1 + L_2)}{m_1} \quad \omega^2(L_1 + L_2)$$

7. 如图所示,一特技演员用摩托车做腾跃特技表演,沿曲面冲上高 0.8 m 的顶部水平高台,接着以 4 m/s 的水平速度离开平台,落至地面时,恰能无碰撞地沿圆弧切线从 A 点进入竖直圆弧轨道,并沿轨道下滑。A、B 为圆弧轨道的两端点,其连线水平。已知圆弧轨道的半径为 2 m,人和车的总质量为 200 kg 并可视作质点,特技表演的全过程中,空气阻力不计。(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) 求:

- (1) 从平台飞出到 A 点,人和车运动的水平距离  $s$ ;  
 (2) 从平台飞出到达 A 点时速度的大小及圆弧对应的圆心角  $\theta$ ;  
 (3) 若已知人和车运动到圆弧轨道最低点 O 的速度为 6 m/s,此时人和车对轨道的压力大小。



**解析:** (1) 人和车从平台飞出后做平抛运动,根据平抛运动的规律可得,竖直方向上有  $H = \frac{1}{2}gt^2$ ,水平

$$\text{方向上有 } s = vt, \text{ 可得 } s = v\sqrt{\frac{2H}{g}} = 4 \times \sqrt{\frac{2 \times 0.8}{10}} \text{ m} = 1.6 \text{ m}$$

(2) 摩托车落至 A 点时其竖直方向的分速度

$$v_y = gt = 4 \text{ m/s}$$

到达 A 点时的速度

$$v_A = \sqrt{v^2 + v_y^2} = \sqrt{4^2 + 4^2} \text{ m/s} = 4\sqrt{2} \text{ m/s}$$

设摩托车落地时速度方向与水平方向的夹角为  $\alpha$ ,

$$\text{则 } \tan \alpha = \frac{v_y}{v} = 1, \text{ 即 } \alpha = 45^\circ, \text{ 所以 } \theta = 2\alpha = 90^\circ$$

(3) 在最低点 O,对人和车进行受力分析可知,人和车受到的指向圆心方向的合力提供其做圆周运动所需的向心力,所以有  $F_N - mg = m \frac{v'^2}{R}$

$$\text{当 } v' = 6 \text{ m/s 时,解得 } F_N = 5600 \text{ N}$$

由牛顿第三定律可知,人和车在最低点 O 时对轨道的压力为 5600 N。

$$\text{答案: (1) } 1.6 \text{ m} \quad (2) 4\sqrt{2} \text{ m/s} \quad 90^\circ \quad (3) 5600 \text{ N}$$

## 章末质量评估(二)

### 匀速圆周运动

(时间:75分钟 分值:100分)

一、单项选择题:本题共7小题,每小题4分,共28分。每小题只有一项是符合题目要求的。

1.如图所示,在室内自行车比赛中,运动员以速度  $v$  在倾角为  $\theta$  的赛道上做匀速圆周运动。已知运动员的质量为  $m$ ,做圆周运动的半径为  $R$ ,重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是 ( D )



- A. 将运动员和自行车看作一个整体,整体受重力、支持力、摩擦力和向心力的作用
- B. 如果运动员减速,将做离心运动
- C. 运动员运动的角速度为  $vR$
- D. 运动员做匀速圆周运动所需向心力的大小为

$$m \frac{v^2}{R}$$

2.(2025·山东卷)某同学用不可伸长的细线系一个质量为  $0.1 \text{ kg}$  的发光小球,让小球在竖直面内绕一固定点做半径为  $0.6 \text{ m}$  的圆周运动。在小球经过最低点附近时拍摄了一张照片,曝光时间为  $\frac{1}{50} \text{ s}$ 。由于小球在运动,照片上留下了一条长度约为半径的  $\frac{1}{5}$  的圆弧形径迹。根据以上数据估算小球在最低点时细线的拉力大小为 ( )

- A.  $11 \text{ N}$     B.  $9 \text{ N}$     C.  $7 \text{ N}$     D.  $5 \text{ N}$

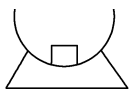
C 解析:根据题意可知在曝光时间内小球运动的长度为  $\Delta l = \frac{1}{5}r = \frac{1}{5} \times 0.6 \text{ m} = 0.12 \text{ m}$ ,近似认为在

曝光时间内小球做匀速直线运动,故有  $v = \frac{\Delta l}{\Delta t} =$

$\frac{0.12}{\frac{1}{50}} \text{ m/s} = 6 \text{ m/s}$ ,在最低点根据牛顿第二定律有

$T - mg = m \frac{v^2}{r}$ ,代入数据解得  $T = 7 \text{ N}$ ,故 C 正确。

3.如图所示,质量为  $m$  的物块从半径为  $R$  的半球形碗边缘向碗底滑动,滑到最低点时的速度为  $v$ 。若物块滑到最低点时受到的摩擦力是  $f$ ,则物块与碗间的动摩擦因数为 ( )



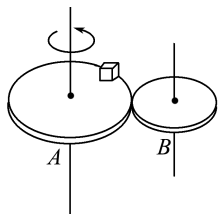
A.  $\frac{f}{mg}$                       B.  $\frac{f}{mg + m \frac{v^2}{R}}$

C.  $\frac{f}{mg - m \frac{v^2}{R}}$                 D.  $\frac{f}{m \frac{v^2}{R}}$

B 解析:物块滑到最低点时受竖直方向的重力、支持力和水平方向的摩擦力三个力作用,根据牛顿第二定律得  $N - mg = m \frac{v^2}{R}$ ,又  $f = \mu N$ ,联立解得  $\mu =$

$\frac{f}{mg + m \frac{v^2}{R}}$ ,选项 B 正确。

4.如图所示,两个相同材料制成的靠摩擦传动的轮 A 和轮 B 水平放置(两轮不打滑),两轮半径  $r_A = 2r_B$ 。当主动轮 A 匀速转动时,在 A 轮边缘上放置的小木块恰能相对 A 静止。若将小木块放在 B 轮上,欲使小木块相对 B 轮静止,则小木块到 B 轮转轴的最大距离为 ( )



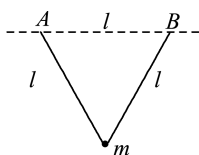
- A.  $\frac{r_B}{4}$     B.  $\frac{r_B}{3}$     C.  $\frac{r_B}{2}$     D.  $r_B$

C 解析:当主动轮匀速转动时,A、B 两轮边缘上的线速度大小相等,由  $\omega = \frac{v}{r}$  得  $\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{1}{2}$ 。因

A、B 材料相同,故小木块与 A、B 间的动摩擦因数相同,由于小木块恰能在 A 边缘上相对静止,即由静摩擦力提供的向心力达到最大值  $f_m$ ,得  $f_m = m\omega_A^2 r_A$ ,设小木块放在 B 轮上恰能相对静止时到 B 轮转轴的最大距离为  $r$ ,则向心力由最大静摩擦力提供,故  $f_m = m\omega_B^2 r$ ,联立解得  $r = \left(\frac{\omega_A}{\omega_B}\right)^2 r_A =$

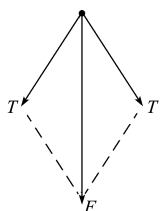
$\left(\frac{1}{2}\right)^2 r_A = \frac{r_A}{4} = \frac{r_B}{2}$ ,C 正确。

5.如图所示,两段长度均为  $l$  的轻质细线共同系住一个质量为  $m$  的小球,另一端分别固定在等高的 A、B 两点,A、B 两点间距也为  $l$ 。现使小球在竖直平面内做圆周运动,当小球到达最高点时速率为  $v$ ,此时两细线中张力恰好均为零。若小球到达最高点时速率为  $2v$ ,则此时每条细线(未断开)中张力的大小为 ( )



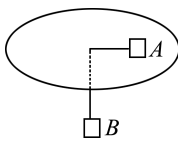
- A.  $4mg$                       B.  $2mg$   
C.  $3mg$                       D.  $\sqrt{3}mg$

D 解析:当小球到达最高点的速率为  $v$  时,有  $mg = m \frac{v^2}{r}$ 。当小球到达最高点的速率为  $2v$  时,设两细线中张力的合力为  $F$ ,应有  $F + mg = m \frac{(2v)^2}{r} = 4mg$ ,所以  $F = 3mg$ ,此时两细线对球的作用力如图所示,解得  $T = \sqrt{3}mg$ ,选项 D 正确, A、B、C 错误。



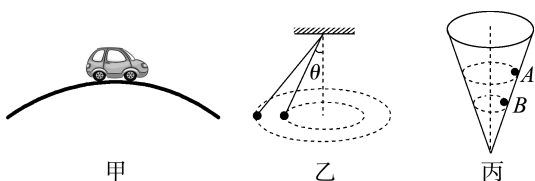
6. 如图所示,水平圆盘可绕过圆心的竖直轴转动,质量分别为  $M$  和  $m$  的两个小物体 A、B 之间连一根跨过位于圆心的光滑小孔的细线。A 与圆盘间的最大静摩擦力为  $f_m$ ,物体 A 随圆盘一起以角速度  $\omega$  匀速转动,下述的  $\omega$  取值范围已保证物体 A 相对圆盘无滑动,则下列说法正确的是 ( )

- A. 无论  $\omega$  取何值, A 所受静摩擦力都指向圆心  
B.  $\omega$  取不同值时, A 所受静摩擦力有可能指向圆心,也有可能背离圆心  
C.  $\omega$  取值越大,细线拉力越小  
D.  $\omega$  取值越大,细线拉力越大



B 解析: A 在竖直方向上受到重力和支持力,二力平衡,在水平方向上受到绳子的拉力,也可能受到静摩擦力。设 A 所受静摩擦力方向指向圆心,根据牛顿第二定律和向心力公式得  $T + f = M\omega^2 r$ ,又  $T = mg$ ,则  $f = M\omega^2 r - mg$ 。若  $M\omega^2 r > mg$ ,则  $f > 0$ ,静摩擦力方向指向圆心;若  $M\omega^2 r < mg$ ,则  $f < 0$ ,静摩擦力方向背离圆心,故 A 错误, B 正确。根据 B 项分析,由平衡条件得  $T = mg$ ,说明细线的拉力保持不变,故 C、D 错误。

7. 下图为有关圆周运动的基本模型,下列说法正确的是 ( )



- A. 如图甲所示,汽车通过拱桥的最高点时处于超重

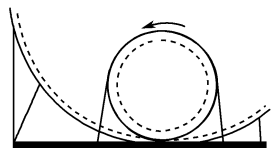
状态

- B. 如图乙所示是一圆锥摆,增大  $\theta$ ,但保持圆锥的高度不变,则圆锥摆的角速度减小  
C. 如图丙所示,同一小球在光滑而固定的圆锥筒内的 A、B 位置先后分别做匀速圆周运动,则在 A、B 两位置小球的角速度及所受筒壁的支持力大小相等  
D. 火车转弯超过规定速度行驶时,外轨会对外轮缘有挤压作用

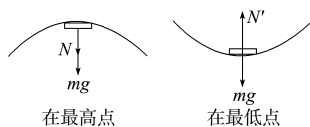
D 解析:汽车在最高点时有  $mg - N = \frac{mv^2}{r}$ ,知  $N < mg$ ,汽车处于失重状态,故 A 错误;题图乙所示圆锥摆的重力和拉力的合力提供向心力,则  $mg \tan \theta = m\omega^2 r$ ,  $r = h \tan \theta$ ,解得  $\omega = \sqrt{\frac{g}{h}}$ ,则增大  $\theta$ ,但保持圆锥的高不变时,角速度不变,故 B 错误;题图丙中根据受力分析知小球在 A、B 两位置受力情况相同,即向心力相同,由  $F = m\omega^2 r$  知,  $r$  不同时角速度不同,故 C 错误;火车转弯超过规定速度行驶时,外轨对外轮缘会有挤压作用,故 D 正确。

二、多项选择题:本题共 3 小题,每小题 6 分,共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分,选对但不全的得 3 分,有选错的得 0 分。

8. 在游乐园乘坐如图所示的过山车时,质量为  $m$  的人随车在竖直平面内沿圆周轨道运动图示过程只有重力做功,重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是 ( )



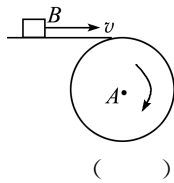
- A. 车在最高点时人处于倒坐状态,若速度较大,人对座位的压力可以大于  $mg$   
B. 人在最高点时对座位仍可能产生压力,但压力一定小于  $mg$   
C. 人在最高点和最低点时的向心加速度大小相等  
D. 人在最低点时对座位的压力大于  $mg$
- AD 解析:过山车上的人经过最高点及最低点时的受力如图所示:



在最高点,有  $mg + N = m \frac{v_1^2}{R}$ ,可得  $N = m \left( \frac{v_1^2}{R} - g \right)$ ,  
在最低点,有  $N' - mg = m \frac{v_2^2}{R}$ ,可得  $N' = m \left( \frac{v_2^2}{R} + g \right)$ ,由支持力(等于压力)表达式分析知,当  $v_1$  较大时,在最高点人可能会对座位产生压力,大小

因  $v_1$  而定,所以 A 正确,B 错误;人在最高点和最低点两处向心力大小不相等,向心加速度大小也不相等,所以 C 错误;在最低点  $N' > mg$ ,所以 D 正确。

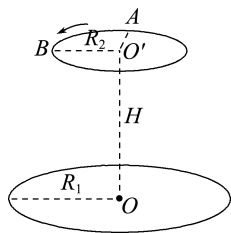
9. B 为在水平传送带上被传送的小物体(可视为质点),A 为终端皮带轮,如图所示。已知皮带轮半径为  $r$ ,传送带与皮带轮间不会打滑,当 B 可被水平抛出时 ( )



- A. 皮带的最小速度为  $\sqrt{gr}$   
 B. 皮带的最小速度为  $\sqrt{\frac{g}{r}}$   
 C. A 轮每秒的转数最少是  $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{r}}$   
 D. A 轮每秒的转数最少是  $\frac{1}{2\pi} \sqrt{gr}$

AC 解析: 设小物体的质量为  $m$ , 当小物体恰好被水平抛出时, 在皮带轮最高点应满足  $mg = \frac{mv^2}{r}$ , 即速度最小为  $\sqrt{gr}$ , 选项 A 正确; 又因为  $v = 2\pi rn$ , 可得  $n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{r}}$ , 选项 C 正确。

10. (2025 · 山东卷) 如图所示, 在无人机的某次定点投放性能测试中, 目标区域是水平地面上以  $O$  点为圆心、半径  $R_1 = 5 \text{ m}$  的圆形区域, 无人机在离地面高度  $H = 20 \text{ m}$  的空中绕  $O'$  点且平行地面做半径  $R_2 = 3 \text{ m}$  的匀速圆周运动,  $A$ 、 $B$  为圆周上的两点,  $\angle AO'B = 90^\circ$ ,  $OO'$  垂直地面。若将物品相对无人机无初速度地释放, 为保证落点在目标区域内, 无人机做圆周运动的最大角速度应为  $\omega_{\max}$ 。当无人机以  $\omega_{\max}$  做圆周运动经过  $A$  点时, 相对无人机无初速度地释放物品。不计空气对物品运动的影响, 物品可视为质点且落地后立即静止, 重力加速度大小  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ 。下列说法正确的是 ( )



- A.  $\omega_{\max} = \frac{\pi}{3} \text{ rad/s}$   
 B.  $\omega_{\max} = \frac{2}{3} \text{ rad/s}$   
 C. 无人机运动到  $B$  点时, 在  $A$  点释放的物品已经落地  
 D. 无人机运动到  $B$  点时, 在  $A$  点释放的物品尚未落地

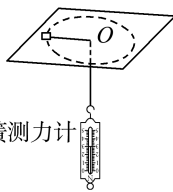
BC 解析: 物品从无人机上释放后做平抛运动, 竖直方向  $H = \frac{1}{2}gt^2$ , 可得  $t = 2 \text{ s}$ , 要使得物品落点

在目标区域内, 水平方向满足  $x = \sqrt{R_1^2 - R_2^2} = vt$ , 最大角速度等于  $\omega_{\max} = \frac{v}{R_2}$ , 联立可得  $\omega_{\max} = \frac{2}{3} \text{ rad/s}$ , 故 A 错误, B 正确; 无人机从  $A$  点到  $B$

点所用的时间  $t' = \frac{\pi}{\omega_{\max}} = \frac{3\pi}{4} \text{ s}$ , 由于  $t' > t$ , 可知无人机运动到  $B$  点时, 在  $A$  点释放的物品已经落地, 故 C 正确, D 错误。

三、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。其中第 13~15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤; 有数值计算时, 答案中必须明确写出数值和单位。

11. (10 分) 航天器绕地球做匀速圆周运动时处于完全失重状态, 物体对支持面几乎没有压力, 所以在这种环境中已经无法用天平称量物体的质量。假



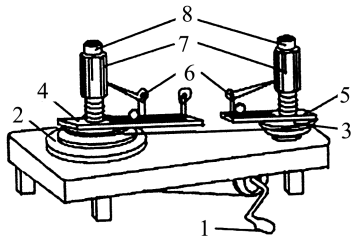
设某同学在这种环境中设计了如图所示的装置(图中  $O$  为光滑小孔)来间接测量物体的质量。给待测物体一个初速度, 使它在光滑水平桌面上做匀速圆周运动。假定航天器中有基本测量工具。

- (1) 实验时需要测量的物理量是 \_\_\_\_\_。  
 (2) 待测物体质量的表达式为  $m = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析: 需测量物体做圆周运动的周期  $T$ 、圆周运动的半径  $R$  以及弹簧测力计的示数  $F$ , 则有  $F = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$ , 所以待测物体质量的表达式为  $m = \frac{FT^2}{4\pi^2 R}$ 。

答案: (1) 弹簧测力计的示数  $F$ 、物体做圆周运动的半径  $R$ 、物体做圆周运动的周期  $T$  (2)  $\frac{FT^2}{4\pi^2 R}$

12. (10 分) 如图所示是探究向心力的大小  $F$  与质量  $m$ 、角速度  $\omega$  和半径  $r$  之间的关系的实验装置图, 转动手柄 1, 可使变速轮塔 2 和 3 以及长槽 4 和短槽 5 随之匀速转动。皮带分别套在轮塔 2 和 3 上的不同圆盘上, 可使两个槽内的小球 A、B 分别以不同的角速度做匀速圆周运动。小球做圆周运动的向心力由横臂 6 的挡板对小球的压力提供, 小球对挡板的反作用力通过横臂 6 的杠杆作用使弹簧测力筒 7 下降, 从而露出标尺 8, 标尺 8 露出的红白相间的等分格显示出两个小球所受向心力的比值。



请回答下列问题:

(1) 现将两小球分别放在两边的槽内,为了探究小球受到的向心力大小和角速度的关系,下列说法正确的是\_\_\_\_\_。

- A. 在小球运动半径相等的情况下,用质量相同的小球做实验
- B. 在小球运动半径相等的情况下,用质量不同的小球做实验
- C. 在小球运动半径不等的情况下,用质量不同的小球做实验
- D. 在小球运动半径不等的情况下,用质量相同的小球做实验

(2) 在该实验中应用了\_\_\_\_\_ (选填“理想实验法”“控制变量法”或“等效替代法”)来探究向心力的大小与质量  $m$ 、角速度  $\omega$  和半径  $r$  之间的关系。

(3) 若用两个质量相等的小球做实验,且左边小球的轨道半径为右边小球轨道半径的 2 倍,转动时发现右边标尺上露出的红白相间的等分格数为左边的 2 倍,那么,左边轮塔与右边轮塔之间的角速度之比为\_\_\_\_\_。

**解析:**(1) 根据  $F = mr\omega^2$  可知,要研究小球受到的向心力大小与角速度的关系,需控制小球的质量和半径不变,故 A 正确,B、C、D 错误。

(2) 由前面分析可知该实验采用的是控制变量法。

(3) 由  $F = mr\omega^2$  得  $\frac{\omega_{左}}{\omega_{右}} = \sqrt{\frac{F_{左}}{F_{右}} \cdot \frac{r_{右}}{r_{左}}} = \frac{1}{2}$ 。

**答案:**(1) A (2) 控制变量法 (3) 1:2

13. (10 分) 做匀速圆周运动的物体,10 s 内沿半径为 20 m 的圆周运动了 100 m。试求该物体做匀速圆周运动时:

- (1) 线速度的大小;
- (2) 角速度;
- (3) 周期。

**解析:**(1) 根据线速度的定义式  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$  可得

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{100}{10} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}.$$

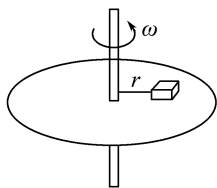
(2) 根据  $v = \omega r$ ,

$$\text{可得 } \omega = \frac{v}{r} = \frac{10}{20} \text{ rad/s} = 0.5 \text{ rad/s}.$$

(3) 周期  $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{0.5} \text{ s} = 4\pi \text{ s}.$

**答案:**(1) 10 m/s (2) 0.5 rad/s (3) 4π s

14. (12 分) 如图所示,水平转盘上放有一质量为  $m$  的物体(可视为质点),连接物体和转轴的绳子长为  $r$ ,物体与转盘间的最大静摩擦力是转盘所受压力的  $\mu$  倍,转盘的角速度由零逐渐增大。重力加速度为  $g$ 。求:



(1) 绳子对物体的拉力为零时转盘的最大角速度;

(2) 当角速度大小为  $\sqrt{\frac{3\mu g}{2r}}$  时,绳子对物体拉力的大小。

**解析:**(1) 绳子拉力为零时,转盘角速度要达到最大,即恰由最大静摩擦力提供向心力,设此时转盘转动的角速度为  $\omega_0$ ,则根据牛顿第二定律有  $\mu mg = ma = m\omega_0^2 r$

$$\text{得 } \omega_0 = \sqrt{\frac{\mu g}{r}}.$$

(2) 当  $\omega = \sqrt{\frac{3\mu g}{2r}}$  时,  $\omega > \omega_0$ ,所以绳子的拉力  $F$  和最大静摩擦力共同提供向心力,此时有  $F + \mu mg = m\omega^2 r$

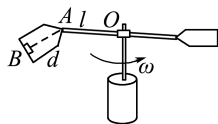
$$\text{即 } F + \mu mg = m \cdot \left( \sqrt{\frac{3\mu g}{2r}} \right)^2 \cdot r$$

$$\text{得 } F = \frac{1}{2} \mu mg.$$

**答案:**(1)  $\sqrt{\frac{\mu g}{r}}$  (2)  $\frac{1}{2} \mu mg$

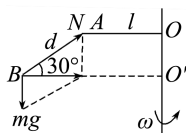
15. (12 分) 如图所示是离心试验器的原理图,可以用离心试验器来研究“过荷”对人体的影响,测试人体的抗荷能力。离心试验器转动时,被测试者做匀速圆周运动。现已知  $AO = l$ ,  $AB = d$ ,当离心试验器转动时,  $AB$  与水平杆  $AO$  成  $150^\circ$  角,人可视为质点,则此时:

- (1) 被测试者对座位的压力为重力的多少倍?
- (2) 试验器转动的角速度是多少?



**解析:**(1) 被测试者做匀速圆周运动的向心力由重力  $mg$  和座位对他的支持力  $N$  的合力提供,受力分析如图所示,可得  $N = \frac{mg}{\sin 30^\circ} = 2mg$

再根据牛顿第三定律得被测试者对座位的压力为重力的 2 倍。



(2) 沿水平方向由牛顿第二定律和向心力公式得  $N \cos 30^\circ = m\omega^2 r$

被测试者做圆周运动的半径  $r = l + d \cos 30^\circ$

$$\text{联立解得试验器转动的角速度 } \omega = \sqrt{\frac{2\sqrt{3}g}{2l + \sqrt{3}d}}.$$

**答案:**(1) 2 倍 (2)  $\sqrt{\frac{2\sqrt{3}g}{2l + \sqrt{3}d}}$

## 第三章

## 万有引力定律

## 1 天体运动

## 学习任务目标

1. 知道地心说、日心说,了解人们对行星运动的观测和研究。(物理观念)
2. 掌握行星运行的轨道特点和运动规律。(科学思维)
3. 掌握开普勒行星运动定律的应用。(科学思维)
4. 通过练习从物理、数学角度理解并掌握开普勒行星运动定律,认识模型在科学研究中的作用。(科学态度与责任)

## 问题式预习

## 知识点一 中国古代对宇宙的认识

1. 中国古代宇宙理论产生于周代至晋代,形成的所谓“论天六家”是指盖天、浑天、宣夜、昕天、穹天、安天。
2. 在长期的发展中,浑天说成为我国古代宇宙理论的主流学说。
3. 浑天仪是西汉时期落下闳制造的用于测量天体位置的仪器,是我国古代天文学领域的一项杰出成就。

## 知识点二 地心说与日心说

项目	地心说	日心说
内容	①地球是宇宙的中心,而且是静止不动的,太阳、月亮以及其他行星都绕②地球运动	③太阳是宇宙的中心,且是静止不动的,地球和其他行星都绕④太阳运动
局限性	都把天体的运动看得很神圣,认为天体的运动必然是最完美、最和谐的⑤匀速圆周运动,而和丹麦天文学家⑥第谷的观测数据不符	

## [科学思维]

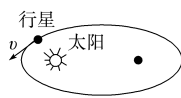
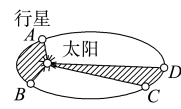
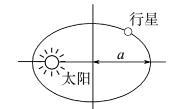
有的同学认为太阳每天东升西落,说明太阳是绕地球运动的,他们的观点是否正确?

提示:他的观点错误,造成“太阳东升西落”的原因是地球的自转,实际上地球是绕太阳运动的,而非太阳绕地球运动。

## [判一判]

- (1) 宇宙的中心是太阳,所有行星都在绕太阳做匀速圆周运动。 ( × )
- (2) 日心说比地心说更科学。 ( × )

## 知识点三 开普勒行星运动定律

定律	内容	公式或图示
开普勒第一定律	所有的行星绕太阳运动的轨道都是①椭圆,太阳处在椭圆的一个②焦点上	
开普勒第二定律	从太阳到行星的连线在③相等的时间内扫过④相等的面积	
开普勒第三定律	行星轨道⑤半长轴的三次方跟⑥公转周期的二次方的比是⑦一个常量	公式: $\frac{a^3}{T^2} = k$ , $k$ 是一个与行星无关的常量 

## [科学思维]

行星绕太阳在椭圆轨道上运行,行星距太阳较近处与距太阳较远处相比较,运动速率在何处较大?  
提示:由开普勒第二定律可知,由于在相等的时间内,行星与太阳的连线扫过相等的面积,显然相距较近时相等时间内经过的弧长必须较长,因此运动速率较大。

## [判一判]

- (1) 围绕太阳运动的行星的速率是一成不变的。 ( × )
- (2) 开普勒三定律仅适用于行星绕太阳的运动。 ( × )
- (3) 行星轨道的半长轴越长,行星公转的周期越长。 ( √ )

## 任务型课堂

### 任务一 对开普勒行星运动定律的理解

1. 下列关于行星绕太阳运动的说法正确的是 ( D )

- A. 所有行星都在同一椭圆轨道上绕太阳运动
- B. 行星绕太阳运动时太阳位于行星轨道的中心处
- C. 离太阳越近的行星运动周期越长
- D. 所有绕太阳公转的行星其轨道半长轴的三次方跟公转周期的二次方的比值都相等

2. (多选) 对开普勒第一定律的理解, 下列说法正确的是 ( BC )

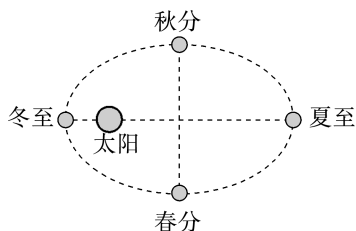
- A. 在行星绕太阳运动一周的时间内, 它到太阳的距离是不变化的
- B. 在行星绕太阳运动一周的时间内, 它到太阳的距离是变化的
- C. 如果太阳固定不动, 一个行星绕太阳运动的轨道一定是在某一固定的平面内
- D. 如果太阳固定不动, 一个行星绕太阳运动的轨道一定不在一个固定的平面内

3. 火星和木星沿各自的椭圆轨道绕太阳运行, 根据开普勒行星运动定律可知 ( )

- A. 太阳位于木星运行轨道的中心
- B. 火星和木星绕太阳运行的速度大小始终相等
- C. 火星与木星公转周期之比的二次方等于它们轨道半长轴之比的三次方
- D. 相同时间内, 火星与太阳连线扫过的面积等于木星与太阳连线扫过的面积

**解析:** 根据开普勒行星运动定律, 火星和木星沿各自的椭圆轨道绕太阳运行, 太阳位于椭圆的一个焦点上, 选项 A 错误; 不同行星绕太阳运行的轨道不同, 周期不同, 运行速度的大小也不同, 选项 B 错误; 由行星运行的轨道半长轴的三次方与公转周期的二次方之比是一个常量推测可知, 选项 C 正确; 火星与太阳连线在相同时间内扫过的面积相等, 木星与太阳连线在相同时间内扫过的面积相等, 但这两个面积不相等, 选项 D 错误。

4. 我国农历中的春分、夏至、秋分、冬至是四季中的四个节点, 在天文学上, 春分、夏至、秋分、冬至时地球绕太阳运行的大致位置如图所示。从地球绕太阳的运动规律入手, 下列判断正确的是 ( )



- A. 在夏至前后, 地球绕太阳运行的速率较大

B. 在冬至前后, 地球绕太阳运行的速率较大

C. 秋冬两季与春夏两季时间相等

D. 秋冬两季比春夏两季时间长

**解析:** 由开普勒第二定律可知, 地球在椭圆轨道上运动的速率不断变化。地球经过近日点时速率大, 所以在冬至前后, 地球绕太阳的运行速率较大, A 错误, B 正确; 地球经过近日点时速率大, 经过远日点时速率小, 故春夏两季比秋冬两季时间长, C、D 错误。

5. 2024 年 9 月 19 日, 我国在西昌卫星发射中心用长征三号乙运载火箭与远征一号上面级, 以“一箭双星”方式成功发射第五十九颗和第六十颗北斗导航卫星。若发射成功后第五十九颗北斗导航卫星的某一运行轨道为椭圆轨道, 周期为  $T_0$ , 如图所示, 则 ( )

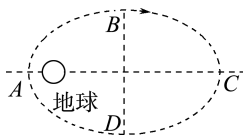
A. 地球处于椭圆的中心

B. 卫星在  $A \rightarrow B \rightarrow C$  的过程中, 速率逐渐变大

C. 卫星在  $A \rightarrow B$  过程所用的

时间小于  $\frac{T_0}{4}$

D. 卫星的速率在 C 点有最大值



**解析:** 由开普勒第一定律可知, 地球处于椭圆的一个焦点上, 选项 A 错误; 根据开普勒第二定律可知, 在  $A \rightarrow B \rightarrow C$  的过程中, 卫星与地球间的距离逐渐变大, 速率逐渐变小, 选项 B 错误; 卫星由  $A \rightarrow B \rightarrow C$  所用的时间是半个周期, 这段运动过程中, 速率逐渐变小, 而  $A \rightarrow B$ 、 $B \rightarrow C$  的路程相等, 所以卫星在  $A \rightarrow B$  过程所用的时间小于在  $B \rightarrow C$  过程所用的时间, 则卫星在  $A \rightarrow B$  过程所用的时间小于  $\frac{T_0}{4}$ , 选项 C 正确; 根据开普勒第二定律可知, 卫星的速率在 C 点有最小值, 选项 D 错误。

### 任务总结

#### 对开普勒定律的理解

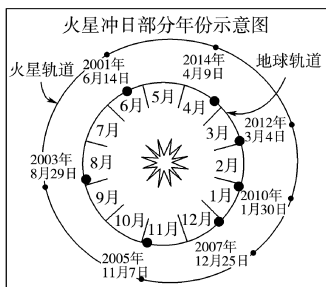
(1) 开普勒三定律不仅适用于行星绕太阳的运动, 也适用于卫星绕地球的运动, 更一般地讲, 适用于任何天体绕某一中心天体的运动。当然, 对于不同的中心天体, 开普勒第三定律中的比例常数  $k$  是不同的。

(2) 开普勒行星运动定律是总结行星运动的观测结果而归纳出来的规律。它们每一条都是经验定律, 都是从观测行星运动所取得的资料中总结出来的。

## 任务二 开普勒行星运动定律的综合应用

## [探究活动]

如图所示为“火星冲日”部分年份(北京时间)示意图。



(1)观察图中地球、火星的位置,地球和火星哪个的公转周期更长?

**提示:**由题图可知,地球到太阳的距离小于火星到太阳的距离,根据开普勒第三定律可得,火星的公转周期更长一些。

(2)已知地球的公转周期是一年,由此计算火星的公转周期还需要知道哪些数据?

**提示:**由开普勒第三定律有  $\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2}$ ,要计算火星公转周期,还需知道地球、火星各自轨道的半长轴。

## [评价活动]

1.有一个名叫“谷神”的矮行星质量约为  $m = 1.00 \times 10^{21}$  kg,它的轨道半长轴约为地球绕太阳运动的轨道半长轴的 2.77 倍,则它绕太阳一周所需要的时间约为 ( D )

- A. 1 年                      B. 2.77 年  
C.  $2.77^2$  年                D.  $2.77\sqrt{2.77}$  年

2.某行星沿椭圆轨道运行,远日点与太阳的距离为  $a$ ,近日点与太阳的距离为  $b$ ,该行星过远日点时的速率为  $v_a$ ,则该行星过近日点时的速率为 ( )

- A.  $v_b = \frac{b}{a}v_a$                 B.  $v_b = \frac{a}{b}v_a$   
C.  $v_b = \sqrt{\frac{a}{b}}v_a$               D.  $v_b = \sqrt{\frac{b}{a}}v_a$

**B 解析:**根据开普勒第二定律可知,在相等时间内行星与太阳的连线扫过的面积相等,即在很短的时间  $t$  内有  $\frac{1}{2}a \cdot v_a t = \frac{1}{2}b \cdot v_b t$ ,解得  $v_b = \frac{a}{b}v_a$ ,故选 B。

3.(2025·云南卷)国际编号为 192391 的小行星绕太阳公转的周期约为 5.8 年,该小行星与太阳系内八大行星几乎在同一平面内做圆周运动。规定地球绕太阳公转的轨道半径为 1 AU,八大行星绕太阳公转的轨道半径如下表所示。忽略其他行星对该

小行星的引力作用,则该小行星的公转轨道半径应介于 ( )

行星	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
轨道半径/AU	0.39	0.72	1.0	1.5	5.2	9.5	19	30

- A. 金星与地球的公转轨道半径之间  
B. 地球与火星的公转轨道半径之间  
C. 火星与木星的公转轨道半径之间  
D. 天王星与海王星的公转轨道半径之间

**C 解析:**根据开普勒第三定律可知  $\frac{r_{\text{行}}^3}{T_{\text{行}}^2} = \frac{r_{\text{地}}^3}{T_{\text{地}}^2}$ ,

其中  $r_{\text{地}} = 1$  AU,  $T_{\text{地}} = 1$  年,  $T_{\text{行}} = 5.8$  年,代入解得  $r_{\text{行}} \approx 3.23$  AU,可知该小行星的公转轨道半径应介于火星与木星的公转轨道半径之间。故 C 正确。

4.两个质量分别是  $m_1$ 、 $m_2$  的人造地球卫星,分别绕地球做匀速圆周运动,若它们的轨道半径分别是  $R_1$  和  $R_2$ ,则它们的运行周期之比是多少?

**解析:**所有人造地球卫星在绕地球运转时,都遵循开普勒第三定律。因此,对这两颗卫星有  $\frac{R_1^3}{T_1^2} =$

$$\frac{R_2^3}{T_2^2}, \text{所以它们的运行周期之比 } \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{\frac{3}{2}}.$$

**答案:**  $\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{\frac{3}{2}}$

5.地球的公转轨道接近圆,但彗星的运动轨道则是一个非常扁的椭圆。天文学家哈雷曾经跟踪过一颗彗星,并预言这颗彗星每隔一定时间就会出现,后来哈雷的预言得到证实,该彗星被命名为哈雷彗星。哈雷彗星最近出现的时间是 1986 年,假设这颗彗星轨道的半长轴约等于地球轨道半径的 17.8 倍,请你根据开普勒行星运动第三定律(即  $\frac{r^3}{T^2} = k$ ,其中  $T$  为行星绕太阳公转的周期, $r$  为轨道的半长轴)估算它下次飞近地球的年份。

**解析:**将地球的公转轨道半径近似成椭圆轨道的半长轴,设其周期为  $T_1$ ,半长轴为  $r_1$ ;哈雷彗星的周期为  $T_2$ ,轨道半长轴为  $r_2$ 。根据开普勒第三定律有  $\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2}$

已知  $r_2 = 17.8r_1$ ,  $T_1 = 1$  年

可求得哈雷彗星的公转周期为  $T_2 = \sqrt{\frac{r_2^3}{r_1^3}} \times T_1 \approx 75$  年

所以它下次飞近地球是在 2061 年。

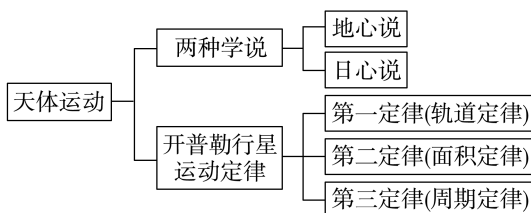
**答案:**2061 年

### 任务总结

#### 应用开普勒第三定律的步骤

- (1) 首先判断两个行星的中心天体是否相同, 只有对同一个中心天体开普勒第三定律才成立。
- (2) 明确题中给出的关系, 如周期关系、半径关系等。
- (3) 根据开普勒第三定律  $\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2} = k$  列式求解, 作出判断。

### ► 提质归纳



## 课后素养评价(八) 天体运动

### 基础性·能力运用

#### 知识点 1 对开普勒行星运动定律的理解

1. (多选) 关于行星的运动规律, 下列说法正确的是 ( )

- A. 地球是宇宙的中心, 太阳、月亮及其他行星都绕地球运动
- B. 太阳是宇宙的中心, 地球是围绕太阳运动的一颗行星
- C. 宇宙每时每刻都是运动的, 静止是相对的
- D. 不论是日心说还是地心说, 在研究行星运动时都是有局限的

CD 解析: 宇宙是一个无限的空间, 时刻都在运动, 太阳系只是其中很小的一个星系, 地心说与日心说在研究行星运动时都是有局限的, 故选项 C、D 正确。

2. 下列关于行星运动的描述正确的是 ( )

- A. 所有围绕太阳运动的行星的轨道都是椭圆, 太阳处在椭圆的一个焦点上
- B. 所有围绕太阳运动的行星的轨道都是圆形, 太阳处在圆心上
- C. 所有行星轨道半长轴的三次方跟自转周期的二次方的比值都相等
- D. 所有行星轨道半长轴的二次方跟公转周期的三次方的比值都相等

A 解析: 根据开普勒第一定律的内容, 所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆, 太阳处在椭圆的一个焦点上, A 项正确, B 项错误; 根据开普勒第三定律的内容, 所有绕同一中心天体运行的行星, 其轨道的半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比值都相等, C、D 两项错误。

#### 知识点 2 开普勒行星运动定律的综合应用

3. 已知金星绕太阳公转的周期小于地球绕太阳公转的周期, 它们绕太阳的公转均可看作匀速圆周运动, 则可判定 ( )

- A. 金星的质量大于地球的质量
- B. 金星的半径大于地球的半径
- C. 金星到太阳的距离大于地球到太阳的距离
- D. 金星到太阳的距离小于地球到太阳的距离

D 解析: 根据开普勒第三定律  $\frac{a^3}{T^2} = k$ , 因为金星绕太阳公转的周期小于地球绕太阳公转的周期, 所以金星到太阳的距离小于地球到太阳的距离, C 错误, D 正确; 由题意无法判断金星的半径与地球的半径之间的大小关系, B 错误; 由题意无法判断金星的质量和地球质量之间的大小关系, A 错误。

4. 若太阳系八大行星公转轨道可近似看作圆轨道, 地球与太阳之间平均距离约为  $1.5 \times 10^8$  km, 结合下表可知, 火星与太阳之间的平均距离约为 ( )

行星	水星	金星	地球	火星	木星	土星
公转周期/年	0.241	0.615	1.0	1.88	11.86	29.5

- A.  $1.2 \times 10^8$  km
- B.  $2.3 \times 10^8$  km
- C.  $4.6 \times 10^8$  km
- D.  $6.9 \times 10^8$  km

B 解析: 由表中数据知  $T_{地} = 1$  年,  $T_{火} = 1.88$  年, 由  $\frac{r_{地}^3}{T_{地}^2} = \frac{r_{火}^3}{T_{火}^2}$  得  $r_{火} = \sqrt[3]{\frac{T_{火}^2 r_{地}^3}{T_{地}^2}} \approx 2.3 \times 10^8$  km, 故 B 正确。

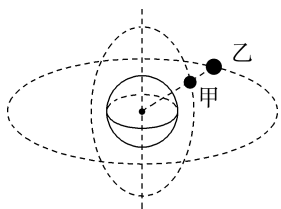
## 综合性·创新提升

5. 假设太阳系中某两颗行星绕太阳运转周期之比为 8:1, 则这两颗行星的公转速度之比为 ( )

A. 2:1                      B. 4:1  
C. 1:2                      D. 1:4

**C 解析:** 由开普勒第三定律得  $\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2}$ , 解得  $\frac{R_1}{R_2} = \sqrt[3]{\frac{T_1^2}{T_2^2}} = \frac{4}{1}$ , 由  $v = \frac{2\pi R}{T}$  得  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} = \frac{4}{1} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{2}$ , C 正确。

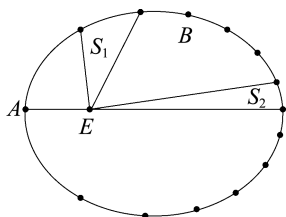
6. 人造卫星甲、乙分别绕地球做匀速圆周运动, 卫星甲、乙的轨道平面互相垂直, 乙的轨道半径是甲的轨道半径的  $\sqrt[3]{25}$  倍, 某时刻两卫星和地心在同一直线上, 且乙在甲的正上方(称为相遇), 如图所示。在这以后, 甲运行 8 周的时间内, 它们相遇了 ( )



A. 4 次                      B. 3 次  
C. 2 次                      D. 1 次

**B 解析:** 两卫星只能在图示位置或由图示位置转过半圆的位置才能相遇, 由  $T = \sqrt{\frac{r^3}{k}} \propto \sqrt{r^3}$  知  $T_B = 5T_A$ , 当乙运行 0.5 周、1 周、1.5 周时, 甲刚好运行了 2.5 周、5 周、7.5 周, 即甲运行 8 周的时间内, 二者相遇了 3 次。

7. 高分六号光学遥感卫星是我国第一颗实现精准农业观测的高分卫星。假设其运行轨道为如图所示的绕地球 E 运动的椭圆轨道, 地球 E 位于椭圆的一个焦点上。轨道上标记了高分六号经过相等时间间隔 ( $\Delta t = \frac{T}{14}$ , T 为轨道周期) 的有关位置。下列说法正确的是 ( )



A. 面积  $S_1 > S_2$   
B. 卫星在轨道上 A 点的速度小于在 B 点的速度  
C.  $T^2 = ka^3$ , 其中 k 为常数, a 为椭圆半长轴

D.  $T^2 = k'b^3$ , 其中 k' 为常数, b 为椭圆半短轴

**C 解析:** 根据开普勒第二定律可知, 卫星与地球的连线在相同时间内扫过的面积相等, 故面积  $S_1 = S_2$ , A 项错误; 根据开普勒第二定律可知, 卫星在轨道上 A 点的速度大于在 B 点的速度, B 项错误; 根据开普勒第三定律可知  $\frac{a^3}{T^2} = k$ , a 为椭圆半长轴, 故 C 项正确, D 项错误。

8. 天文学家观察到哈雷彗星的运行周期约为 76 年, 它到太阳最近的距离是  $8.9 \times 10^{10}$  m。试根据开普勒行星运动定律计算哈雷彗星到太阳的最远距离。(对太阳系, 开普勒第三定律中的常量  $k = 3.354 \times 10^{18} \text{ m}^3/\text{s}^2$ , 一年取 365 天)

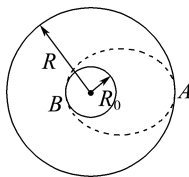
**解析:** 设哈雷彗星的周期为 T, 其轨道半长轴为 R, 由开普勒第三定律  $\frac{R^3}{T^2} = k$  得

$$R = \sqrt[3]{T^2 k} \approx 2.68 \times 10^{12} \text{ m}$$

则最远距离  $d' = 2R - d_0 \approx 5.27 \times 10^{12} \text{ m}$ 。

**答案:**  $5.27 \times 10^{12} \text{ m}$

9. 2024 年 5 月 3 日, 中国用长征五号遥八运载火箭成功发射嫦娥六号探测器, 并将其送入预定轨道。假设嫦娥六号升空后, 先进入近地圆轨道, 然后在地面控制中心发出的指令下经过一系列的变轨后被月球“捕获”, 经两次制动后绕月球做半径为 R 的圆周运动, 其运行周期为 T, 如图所示。当嫦娥六号快运动到 A 点时地面控制中心发出指令, 使其速率降低到适当数值, 从而使其沿着以月心为焦点的椭圆轨道运动, 椭圆轨道和月球表面在 B 点相切, 这样就可实现嫦娥六号在月球的表面登陆。如果月球半径为  $R_0$ , 求嫦娥六号由 A 点运动到 B 点所经历的时间。



**解析:** 嫦娥六号绕月球做圆周运动时, 有  $\frac{R^3}{T^2} = k$

嫦娥六号进入椭圆轨道运动时, 其椭圆轨道的半长

轴为  $\frac{R+R_0}{2}$ , 有  $\frac{\left(\frac{R+R_0}{2}\right)^3}{T'^2} = k$

解得嫦娥六号在椭圆轨道上运动的周期

$$T' = \sqrt{\frac{(R+R_0)^3}{8R^3}} T$$

嫦娥六号由 A 点运动到 B 点所经历的时间为

$$t = \frac{1}{2} T' = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(R+R_0)^3}{2R^3}} T$$

**答案:**  $\frac{1}{4} \sqrt{\frac{(R+R_0)^3}{2R^3}} T$

## 2 万有引力定律

### 学习任务目标

- 1.了解万有引力定律的发现历程,知道什么是万有引力。(物理观念)
- 2.通过研究行星与太阳间的引力,推出万有引力定律。(科学思维)
- 3.掌握万有引力定律,知道引力常量的意义和数值。(科学思维)
- 4.通过学习引力常量的测量,体会卡文迪许实验方案设计的巧妙之处,认识科学实验在科学历史发展上的重要作用。(科学态度与责任)

### 问题式预习

#### 知识点一 苹果落地引发的思考

##### 1.牛顿的思考

苹果由于受到地球的吸引力而落向地面;月球不沿直线运动,而是绕地球做圆周运动,表明月球受到方向指向地心的向心力作用。

##### 2.猜想

- (1)月球必定受到地球对它的引力作用。
- (2)苹果与月球在运动中受到的都是地球对它们的引力。
- (3)行星围绕太阳运动的向心力是太阳对行星的引力。

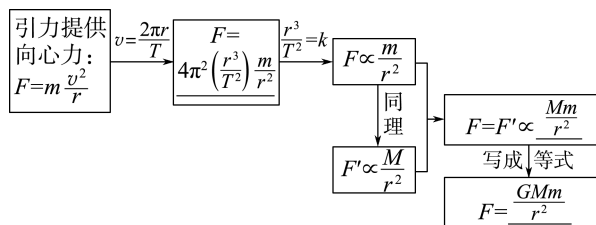
##### [科学思维]

行星绕太阳运动的轨迹实际是椭圆,本节乃至本章均把行星的运动看作匀速圆周运动,这样做属于什么物理分析方法?是否违背客观事实?

**提示:**属于建立理想化物理模型的方法,目的是简化对问题的分析过程,降低对问题分析的难度。由于太阳系中行星绕太阳做椭圆运动的椭圆轨迹的两个焦点靠得很近,椭圆非常接近于圆,因此在现阶段只要没有特殊说明,我们就将天体的运动看作匀速圆周运动。

#### 知识点二 万有引力定律的建立

##### 1.万有引力定律的推导



##### 2.月-地检验

如果重力和星体间的引力是同一性质的力,则

$$F_{\text{地对物}} = \frac{GMm_{\text{物}}}{R^2} = m_{\text{物}}g, F_{\text{地对月}} = \frac{GMm_{\text{月}}}{r^2} = m_{\text{月}}a, \text{根据}$$

$\frac{R}{r} = \frac{1}{60}$  得  $\frac{a}{g} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{1}{3600}$ ; 根据月球绕地球做圆周运动得  $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \approx 2.7 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ , 地球表面重力加速度  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ , 则  $\frac{a}{g} \approx \frac{1}{3600}$ 。假设成立。

##### 3.万有引力定律

(1)内容:任何两个物体之间都存在相互作用的引力,引力的大小与这两个物体的质量的乘积成正比,与这两个物体之间的距离的平方成反比。

(2)表达式:  $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ , 式中  $G$  称为引力常量。

##### [判一判]

- (1)万有引力定律只适用于两个天体间的相互作用。 ( × )
- (2)一个均匀球体与球外一个质点间的引力可用万有引力定律求出,其中  $r$  为球心到质点间的距离。 ( √ )
- (3)匀速圆周运动的规律同样适用于做圆周运动的行星运动。 ( √ )

#### 知识点三 引力常量

##### 1.引力常量的测定

英国物理学家卡文迪许在实验室里通过扭秤装置,比较准确地得出了  $G$  的值,当时测得  $G = 6.745 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 。2002年,国际科学联盟理事会科技数据委员会推荐的数值为  $G = 6.672(10) \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ , 通常取  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 。

##### 2.引力常量测定的意义

- (1)卡文迪许利用扭秤装置通过改变小球的质量和距离,证实了万有引力的存在及万有引力定律的正确性。
- (2)使万有引力定律能够广泛地应用于生产生活实践中,具有了真正意义上的实用价值。

## [做一做]

(多选)关于引力常量,下列说法正确的是 ( )

- A. 引力常量是两个质量均为 1 kg 的质点相距 1 m 时的相互吸引力  
 B. 牛顿发现了万有引力定律,测出了引力常量的值  
 C. 引力常量的确定,证明了万有引力的存在  
 D. 引力常量的确定,使人们可以测出天体的质量
- CD 解析:引力常量在数值上等于两个质量均为

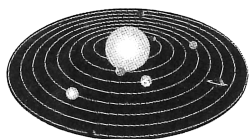
1 kg 的质点相距 1 m 时的相互吸引力的大小,而引力常量不能说是两质点间的吸引力,故 A 项错误;牛顿发现了万有引力定律,但他并未测出引力常量,引力常量是卡文迪许巧妙地利用扭秤装置,第一次在实验室中比较精确地测出的,故 B 项错误;引力常量的确定,不仅证明了万有引力的存在,而且使人们可以测出天体的质量,这也是测出引力常量的意义所在,故 C、D 两项正确。

## 任务型课堂

## 任务一 万有引力定律的推导

1.(多选)八大行星绕太阳运动的情境示意图如图所示,关于太阳对行星的引力,下列说法正确的是

( AD )



- A. 太阳对行星的引力充当行星做匀速圆周运动的向心力  
 B. 太阳对行星的引力大小与行星的质量成正比,与行星和太阳间的距离成反比  
 C. 太阳对行星的引力规律是由实验得出的  
 D. 太阳对行星的引力规律是由开普勒定律和行星绕太阳做匀速圆周运动的规律推导出来的

2.(多选)下列说法正确的是 ( AB )

- A. 在探究太阳对行星的引力规律时,我们引用了公式  $F = m \frac{v^2}{r}$ ,这个公式实际上应用了牛顿第二定律,是可以在实验室中得到验证的  
 B. 在探究太阳对行星的引力规律时,我们引用了公式  $v = \frac{2\pi r}{T}$ ,这个公式实际上是匀速圆周运动的一个公式,它是由线速度的定义式得来的  
 C. 在探究太阳对行星的引力规律时,我们引用了公式  $\frac{r^3}{T^2} = k$ ,这个公式是开普勒第三定律,是可以在实验室中得到验证的  
 D. 在探究太阳对行星的引力规律时,使用的三个公式都是可以在实验室中得到验证的

3.(多选)科学家在天文望远镜中看到太阳系外某一恒星周围有一行星,并测得它围绕该恒星运动一周所用的时间为 1 200 年,它与该恒星的距离为地球到太阳距离的 100 倍。假定该行星绕恒星运动的轨道和地球绕太阳运动的轨道都是圆周。仅利用以上两个数据可以求出的量有 ( AD )

- A. 恒星质量与太阳质量之比  
 B. 恒星密度与太阳密度之比  
 C. 行星质量与地球质量之比  
 D. 行星运行速度与地球公转速度大小之比

4.(多选)关于太阳与行星间的引力,下列说法正确的是 ( )

- A. 由于地球比木星离太阳更近,因此太阳对地球的引力一定比对木星的引力大  
 B. 行星绕太阳沿椭圆轨道运动时,在从近日点向远日点运动时所受引力变小  
 C. 由  $F = \frac{GMm}{r^2}$  可知  $G = \frac{Fr^2}{Mm}$ ,由此可见  $G$  与  $F$  和  $r^2$  的乘积成正比,与  $M$  和  $m$  的乘积成反比  
 D. 行星绕太阳运行的椭圆轨道可近似看成圆形轨道,其向心力来源于太阳对行星的引力

BD 解析:由  $F = \frac{GMm}{r^2}$  可知,太阳对行星的引力大小与  $m$ 、 $r$  有关,对同一行星, $r$  越大, $F$  越小,选项 B 正确;对不同行星, $r$  越小, $F$  不一定越大,还要考虑行星的质量,选项 A 错误;公式中  $G$  为比例系数,是一常量,与  $F$ 、 $r$ 、 $M$ 、 $m$  均无关,选项 C 错误;通常在研究中,行星绕太阳运行的椭圆轨道可近似看成圆形轨道,向心力由太阳对行星的引力提供,选项 D 正确。

## 任务总结

太阳与行星间引力的规律也适用于行星和卫星。假定卫星绕行星做匀速圆周运动,设轨道半径为  $R$ ,运行周期为  $T$ ,行星和卫星质量分别为  $M$  和  $m$ ,卫星做圆周运动的向心力由行星对其的引力提供。若行星和卫星之间的引力满足太阳与行星之间引力的规律,则  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$ ,  $\frac{R^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2} = C$ ,  $C$  为常量。通过观测卫星的运行轨道半径  $R$  和周期  $T$ ,若它们的数值满

足  $\frac{R^3}{T^2} = C$ ,  $C$  为常量, 则说明太阳与行星间引力的规律也适用于行星和卫星。

## 任务二 对万有引力定律的理解

1. (多选) 下列关于万有引力的说法和对万有引力定律的理解正确的是 ( CD )

- A. 不能看作质点的两物体间不存在相互作用的引力
- B. 只有能看作质点的两物体间的引力才能用  $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$  计算
- C. 由  $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$  可知, 两物体间的距离  $r$  减小时, 它们之间的引力增大
- D. 引力常量  $G$  的测出, 证明了万有引力定律的正确性

2. (多选) 关于引力常量  $G$ , 下列说法正确的是 ( AC )

- A.  $G$  值的测出使万有引力定律有了真正的实用价值
- B. 引力常量  $G$  的大小与两物体质量的乘积成反比, 与两物体间距离的平方成正比
- C. 引力常量  $G$  在数值上等于两个质量都是 1 kg 的可视作质点的物体相距 1 m 时的相互吸引力
- D. 引力常量  $G$  是不变的, 其数值大小与单位制的选择无关

3. 从“玉兔”登月到“祝融”探火, 我国星际探测事业实现了由地月系到行星际的跨越。已知火星质量约为月球的 9 倍, 半径约为月球的 2 倍, “祝融”火星车的质量约为“玉兔”月球车的 2 倍。在着陆前, “祝融”和“玉兔”都会经历一个由着陆平台支撑的悬停过程, 如图所示。悬停时, “祝融”与“玉兔”所受着陆平台的作用力大小之比为 ( B )



- A. 9 : 1                      B. 9 : 2
- C. 36 : 1                     D. 72 : 1

4. 两个大小相同的实心小铁球紧靠在一起, 它们之间的万有引力为  $F$ 。若将两个用同种材料制成的半径是小铁球 2 倍的实心大铁球紧靠在一起, 则两大铁球之间的万有引力为 ( D )

- A.  $2F$     B.  $4F$     C.  $8F$     D.  $16F$

5. 对于质量为  $m_1$  和质量为  $m_2$  的两个物体间的万有引力的表达式  $F = G \frac{m_1m_2}{r^2}$ , 下列说法正确的是 ( )

- A.  $m_1$  和  $m_2$  所受引力总是大小相等的
- B. 当两物体间的距离  $r$  趋于零时, 万有引力趋于无穷大
- C. 当有第 3 个物体  $m_3$  放入  $m_1$ 、 $m_2$  之间时,  $m_1$  和  $m_2$  间的万有引力将增大
- D.  $m_1$  和  $m_2$  所受的引力性质可能相同, 也可能不同

**A 解析:** 物体间的万有引力是一对相互作用力, 是同种性质的力, 且始终等大、反向, 故 A 正确, D 错误。当物体间距离趋于零时, 物体就不能看成质点, 物体间的万有引力不会变得无穷大, B 错误; 两物体间万有引力的大小只与各自的质量  $m_1$ 、 $m_2$  和两者间的距离  $r$  有关, 与是否存在其他物体无关, 故 C 错误。

## 任务总结

### 1. 万有引力定律的应用技巧

万有引力定律的表达式  $F = G \frac{m_1m_2}{r^2}$  只适用于质点之间、质量分布均匀的球体之间、质点和质量分布均匀的球体之间的万有引力的计算, 而形状不规则、质量分布不均匀的物体间  $r$  不易确定。

### 2. 应用万有引力定律时的注意事项

- (1) 任何物体间的万有引力都是同种性质的力。
- (2) 万有引力定律只适用于两个质点之间, 当物体间距  $r \rightarrow 0$  时, 物体不能视为质点, 故不能得出  $r \rightarrow 0$  时, 物体间万有引力  $F \rightarrow \infty$  的结果。

## 任务三 万有引力与重力的关系

### [探究活动]

把地球视为质量分布均匀的球体, 人站在地球的不同位置, 比如赤道、两极或者其他位置。

(1) 人在地球的不同位置, 受到的万有引力大小一样吗?

**提示:** 根据万有引力定律  $F = G \frac{m_1m_2}{r^2}$  可知, 人在地球上的不同位置, 受到的万有引力大小一样。

(2) 人在地球的不同位置, 受到的重力大小一样吗?

**提示:** 重力是万有引力的一个分力, 由于人随地

球转动,还需要向心力,在地球的不同位置,向心力不同;根据受力分析可知,人在地球的不同位置,受到的重力大小不一样。

[评价活动]

1.(多选)假如地球自转的角速度增大,关于物体所受的重力,下列说法正确的是 ( ABC )

- A. 位于赤道上的物体万有引力大小不变
- B. 位于两极上的物体重力不变
- C. 位于赤道上的物体重力减小
- D. 位于两极上的物体重力增加

2.设地球表面的重力加速度为  $g_0$ 。某物体在距离地心  $4R$  ( $R$  是地球的半径) 处,由于地球的吸引作用而产生的加速度为  $g$ ,则  $\frac{g}{g_0}$  为 ( D )

- A. 1
- B.  $\frac{1}{9}$
- C.  $\frac{1}{4}$
- D.  $\frac{1}{16}$

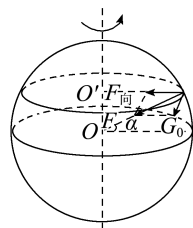
3.(2024·全国甲卷)2024年5月,嫦娥六号探测器发射成功,开启了人类首次从月球背面采样返回之旅。将采得的样品带回地球,飞行器需经过月面起飞、环月飞行、月地转移等过程。月球表面自由落体加速度约为地球表面自由落体加速度的  $\frac{1}{6}$ 。下列说法正确的是 ( D )

- A. 在环月飞行时,样品所受合力为零
- B. 若将样品放置在月球正面,它对月球表面的压力等于零
- C. 样品在不同过程中受到的引力不同,所以质量也不同
- D. 样品放置在月球背面时对月球的压力,比放置在地球表面时对地球的压力小

4.(1)如果到某一天,因某种原因地球自转加快,则除两极外地球上其他地方的物体所受重力将发生怎样的变化?

(2)当角速度等于多少时,赤道上的物体重力为零? (已知地球半径  $R = 6.37 \times 10^6$  m,地球质量  $M = 5.98 \times 10^{24}$  kg,引力常量  $G = 6.67 \times 10^{-11}$  N·m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>)

解析:(1)如图所示为物体在某一纬度为  $\alpha$  的位置的示意图, $O$  为地心, $O'$  为物体随地球自转的轨道圆心, $F_{向}$  为向心力(实际上, $F_{向}$  很小,图为显著适当画长), $F$  为地球引力,则有  $F_{向} = m\omega^2 r = m\omega^2 R \cos \alpha$ 。



对于在某一纬度上的物体  $m$ ,当  $\omega$  增大时, $F_{向}$  增大,而引力  $F$  一定,根据平行四边形定则可知重力  $G_0$  将减小,即地球自转加快时,重力将减小。

(2)对于在赤道上的物体, $\alpha = 0$ , $F_{向} = m\omega^2 R$ ,且  $F_{向}$ 、 $G$ 、 $F$  均指向  $O$ ,在同一直线上,则有

$$G_0 = F - F_{向} = G \frac{Mm}{R^2} - m\omega^2 R$$

$$\text{令 } G_0 = 0, \text{ 则 } \omega = \sqrt{\frac{GM}{R^3}} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24}}{(6.37 \times 10^6)^3}}$$

$$\text{rad/s} \approx 1.24 \times 10^{-3} \text{ rad/s}$$

所以当地球自转角速度为  $1.24 \times 10^{-3}$  rad/s 时,赤道上的物体重力为零(完全失重)。

答案:(1)重力将减小 (2)  $1.24 \times 10^{-3}$  rad/s

任务总结 ■■■■

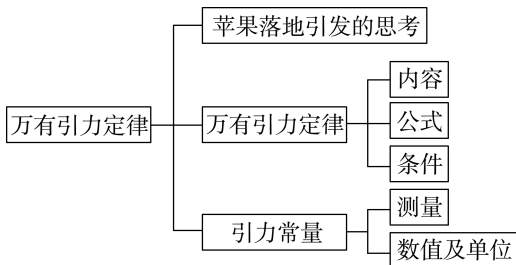
关于重力与万有引力关系的理解

(1)物体随地球自转时,由于地球自转角速度很小,物体转动需要的向心力很小,一般情况下,认为重力约等于万有引力,即  $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ 。

(2)对于地球的卫星,所受重力等于万有引力,即  $mg = G \frac{Mm}{(R+h)^2}$ 。

(3)求比例关系时,可先写出一般表达式,找出相关量间的正比或反比关系等,例如,由  $g = G \frac{M}{R^2}$  得  $g \propto \frac{M}{R^2}$ ,然后再计算所求比值,此方法使题目解起来更简捷。

► 提质归纳



## 课后素养评价(九) 万有引力定律

## 基础性·能力运用

## 知识点 1 太阳与行星间的引力

1. 行星之所以绕太阳运行, 是因为 ( )

- A. 行星运动时具有惯性  
 B. 太阳是宇宙的中心, 所有星体都绕着太阳旋转  
 C. 太阳对行星有约束其运动的引力作用  
 D. 行星对太阳有排斥力作用, 所以不会落向太阳

**C 解析:** 行星的惯性使行星沿直线运动, A 错误; 太阳不是宇宙的中心, 并非所有星体都绕太阳运动, B 错误; 行星绕太阳做曲线运动, 轨迹向太阳方向弯曲是因为太阳对行星有引力作用, C 正确; 行星之所以没有落向太阳, 是因为行星在引力作用下做圆周运动, 引力提供行星做圆周运动的向心力, 并不是因为行星对太阳有排斥力, D 错误。

2. (多选) 根据开普勒关于行星运动的规律和圆周运动的知识: 太阳对行星的引力  $F \propto \frac{m}{r^2}$ , 行星对太阳

的引力  $F' \propto \frac{M}{r^2}$  等, 其中  $M$ 、 $m$ 、 $r$  分别为太阳质量、行星质量和太阳与行星间的距离。判断下列说法正确的是 ( )

- A. 由  $F' \propto \frac{M}{r^2}$  和  $F \propto \frac{m}{r^2}$ ,  $F : F' = m : M$   
 B.  $F$  和  $F'$  大小相等, 是作用力与反作用力  
 C.  $F$  和  $F'$  大小相等, 是同一个力  
 D. 太阳对行星的引力提供行星绕太阳做圆周运动的向心力

**BD 解析:** 根据牛顿第三定律, 太阳对行星的引力与行星对太阳的引力是作用力与反作用力, 两个力大小相等, 方向相反, 故 A 错误, B 正确; 太阳对行星的引力受力物体是行星, 行星对太阳的引力受力物体是太阳, 这两个力不是同一个力, 故 C 错误; 行星绕太阳做匀速圆周运动, 太阳对行星的引力提供行星绕太阳做圆周运动的向心力, 故 D 正确。

## 知识点 2 对万有引力定律的理解

3. 两个质量相等的均匀球体, 两球心之间的距离为  $r$ , 它们之间的万有引力为  $F$ 。若它们的质量都加倍, 两球心之间的距离也加倍, 它们之间的万有引力为

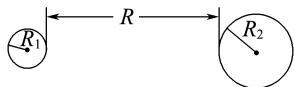
- ( )  
 A.  $4F$                       B.  $F$   
 C.  $\frac{1}{4}F$                       D.  $\frac{1}{2}F$

**B 解析:** 由万有引力定律得  $F = G \frac{m^2}{r^2}$ ,  $F' =$

$$G \frac{(2m)^2}{(2r)^2} = G \frac{m^2}{r^2} = F, \text{ B 正确。}$$

4. 如图所示, 两球的半径均小于  $R$ , 两球质量均匀分布, 质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$ , 则两球间的万有引力大小为

- ( )  
 A.  $\frac{Gm_1m_2}{R_1^2}$   
 B.  $\frac{Gm_1m_2}{R_2^2}$   
 C.  $\frac{Gm_1m_2}{(R_1+R_2)^2}$   
 D.  $\frac{Gm_1m_2}{(R_1+R_2+R)^2}$



**D 解析:** 由万有引力定律公式中“ $r$ ”应为两球重心之间的距离, 得  $r = R_1 + R_2 + R$ , 故两球之间的万有引力为  $F = G \frac{m_1m_2}{(R_1+R_2+R)^2}$ , D 正确。

## 知识点 3 万有引力与重力的关系

5. 某个星球的质量是地球质量的一半, 半径也是地球半径的一半, 那么一个物体在此星球表面上的重力是在地球表面上重力的

- ( )  
 A.  $\frac{1}{4}$                       B.  $\frac{1}{2}$   
 C. 4 倍                      D. 2 倍

**D 解析:** 物体在此星球表面的重力等于万有引力,

$$\text{即 } G_{\text{星}} = G \frac{M_{\text{星}}m}{r_{\text{星}}^2} = G \frac{\frac{1}{2}M_{\text{地}}m}{\left(\frac{1}{2}r_{\text{地}}\right)^2} = 2G_{\text{地}}, \text{ D 正确。}$$

6. 假设地球的质量是月球质量的  $n$  倍, 一飞行器处在地球与月球之间, 当它受到地球和月球的引力的合力为零时, 该飞行器到地心的距离与到月心的距离之比为 \_\_\_\_\_。

**解析:** 设月球和地球对飞行器的引力的合力为零时, 飞行器到地心的距离为  $r_1$ , 到月心的距离为  $r_2$ ,

根据公式  $F = G \frac{Mm}{r^2}$ , 可得  $\frac{GM_{\text{地}}m}{r_1^2} = G \frac{M_{\text{月}}m}{r_2^2}$ , 所以

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_{\text{地}}}{M_{\text{月}}}} = \sqrt{n}。$$

**答案:**  $\sqrt{n} : 1$

## 综合性·创新提升

7. 若把质量为  $m$  的物体放在地球的中心, 地球的质量为  $M$ , 半径为  $R$ , 则物体与地球间的万有引力是 ( )

- A. 零  
B. 无穷大  
C.  $G \frac{Mm}{R^2}$   
D. 无法确定

**A 解析:** 将地球分成无数块, 每一块都对物体有引力作用, 根据力的对称性, 可知最终引力的合力为零, 则物体与地球间的万有引力等于零。

8. (多选) 月球表面的重力加速度约为地球表面的重力加速度的  $\frac{1}{6}$ , 一个质量为  $600 \text{ kg}$  的飞行器到达月球后 (地球表面处的重力加速度取  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ) ( )

- A. 在月球上的质量仍为  $600 \text{ kg}$   
B. 在月球表面上受到的重力为  $980 \text{ N}$   
C. 在月球表面上的高空中重力小于  $980 \text{ N}$   
D. 在月球上的质量将小于  $600 \text{ kg}$

**ABC 解析:** 物体的质量与物体所处的位置及运动状态无关, A 正确, D 错误; 由题意知, 月球表面的重力加速度为地球表面的重力加速度的  $\frac{1}{6}$ , 即  $F =$

$m \times \frac{1}{6}g = 980 \text{ N}$ , B 正确; 由  $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$  知,  $r$  增大时, 引力  $F$  减小, C 正确。

9. 已知某星球的质量是地球质量的  $\frac{1}{8}$ , 直径是地球直径的  $\frac{1}{2}$ 。假设一名航天员来到该星球, 该航天员在该星球上所受的万有引力大小是他在地球上所受万有引力大小的 ( )

- A.  $\frac{1}{4}$   
B.  $\frac{1}{2}$   
C. 2 倍  
D. 4 倍

**B 解析:** 航天员在地球上所受的万有引力  $F_1 = G \frac{m_1m}{R_1^2}$ , 航天员在该星球上所受的万有引力  $F_2 =$

$G \frac{m_2m}{R_2^2}$ , 由题意知  $m_2 = \frac{1}{8}m_1, R_2 = \frac{1}{2}R_1$ , 解得  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{m_2R_1^2}{m_1R_2^2} = \frac{1}{2}$ , 故 B 正确。

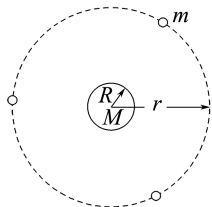
10. 天都一号 导航技术试验卫星测距试验的成功, 标志着我国在深空轨道精密测量领域取得了技术新突破。天都一号在环月椭圆轨道上运行时 ( )

- A. 受月球的引力大小保持不变  
B. 相对月球的速度大小保持不变  
C. 离月球越近, 其相对月球的速度越大  
D. 离月球越近, 其所受月球的引力越小

**C 解析:** 天都一号在环月椭圆轨道上运行时与月球之间的距离不断发生变化, 根据  $F = G \frac{Mm}{r^2}$  可知

其受月球的引力大小不断发生变化, 离月球越近, 其所受月球的引力越大, 故 A、D 错误; 根据开普勒第二定律可知天都一号在环月椭圆轨道上运行时相对月球的速度大小在不断改变, 近月点速度最大, 远月点速度最小, 即离月球越近, 相对月球的速度越大, 故 B 错误, C 正确。

11. (多选) 如图所示, 三颗质量均为  $m$  的地球同步卫星等间隔分布在半径为  $r$  的圆轨道上, 设地球质量为  $M$ , 半径为  $R$ 。下列说法正确的是 ( )

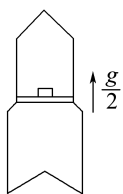


- A. 地球对一颗卫星的引力大小为  $\frac{GMm}{(r-R)^2}$   
B. 一颗卫星对地球的引力大小为  $\frac{GMm}{r^2}$   
C. 两颗卫星之间的引力大小为  $\frac{Gm^2}{3r^2}$   
D. 三颗卫星对地球引力的合力大小为  $\frac{3GMm}{r^2}$

**BC 解析:** 地球对三颗卫星的引力均为  $F = G \frac{Mm}{r^2}$ , 根据牛顿第三定律, 一颗卫星对地球的引力大小为  $\frac{GMm}{r^2}$ , A 错误, B 正确; 两颗卫星之间距

离  $d = \sqrt{3}r$ , 引力为  $F' = \frac{Gm^2}{(\sqrt{3}r)^2} = \frac{Gm^2}{3r^2}$ , C 正确; 三颗卫星对地球的引力大小相等, 互成  $120^\circ$  角, 合力为零, D 错误。

12. 如图所示, 火箭内平台上放有测试仪器, 火箭从地面启动后, 以  $\frac{g}{2}$  的加速度竖直向上匀加速运动, 升到某一高度时, 测试仪器对平台的压力为启动前压力的  $\frac{17}{18}$ 。已知地球半径为  $R$ , 求火箭此时离地面的高度。(  $g$  为地面附近的重力加速度)



**解析:**火箭上升过程中,物体受竖直向下的重力和向上的支持力,设高度为  $h$  时,重力加速度为  $g'$ 。

启动前  $N_1 = mg$

启动后  $N_2 = \frac{17}{18}N_1$

由牛顿第二定律得  $N_2 - mg' = m \frac{g}{2}$

联立解得  $g' = \frac{4}{9}g$

由万有引力定律知  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$

$G \frac{Mm}{(R+h)^2} = mg'$

联立可得  $h = \frac{R}{2}$ 。

答案:  $\frac{R}{2}$

### 3 预言未知星体 计算天体质量

#### 学习任务目标

- 1.了解万有引力定律在天文学上的重要应用。(物理观念)
- 2.会用万有引力定律计算天体质量,掌握计算太阳等中心天体质量和密度的方法。(科学思维)
- 3.掌握“称量”地球的质量和计算太阳的质量的思路。(科学思维)
- 4.了解人们探究自然奥秘的科学思想方法,激发对科学的热情。(科学态度与责任)

#### 问题式预习

##### 知识点一 预言彗星回归

- 1.哈雷根据万有引力理论对 1682 年出现的哈雷彗星的运动轨道进行了计算,指出其与 1531 年、1607 年出现的彗星为同一颗,并预言了其再次出现的时间。
- 2.1743 年,克雷洛计算了遥远的木星和土星对哈雷彗星运动规律的影响,指出了哈雷彗星运动经过近日点的时间。
- 3.由万有引力理论对哈雷彗星每次临近地球的时间的预言,都被验证是正确的。

##### 知识点二 预言未知星体

###### 1.已发现天体的轨道推算

1781 年,人们通过望远镜发现了天王星,经过仔细地观测发现:天王星的运行轨道与由万有引力定律计算出来的轨道之间存在明显的偏差。

###### 2.未知天体的发现

根据已发现的天体的运行轨道并结合万有引力定律推算出还没发现的未知天体的轨道,如海王星就是这样发现的。

###### [判一判]

- (1)“笔尖下发现的行星”是冥王星。 ( × )

(2)海王星的发现表明了万有引力理论在太阳系内的正确性。 ( √ )

(3)英国天文学家哈雷成功预言了哈雷彗星的回归时间。 ( √ )

###### [做一做]

关于万有引力定律应用于天文学研究的历史事实,下列说法正确的是 ( )

- A. 天王星、海王星都是运用万有引力定律,经过大量计算发现的
- B. 18 世纪时人们发现太阳的第七颗行星的运动轨道总是同根据万有引力定律计算出来的结果有比较大的偏差,于是人们推测出在这颗行星的轨道外还有一颗行星
- C. 太阳的第八颗行星是牛顿运用自己发现的万有引力定律,经过大量计算而发现的
- D. 以上说法都正确

**B 解析:**海王星是运用万有引力定律并经过大量的计算后发现的,天王星不是计算发现的,故 A 错误。在 18 世纪已经发现的七颗行星中,人们发现第七颗行星——天王星的运动轨道总是同根据万有引力定律计算出来的结果有比较大的偏差,

于是有人推测,在天王星轨道外还有一颗行星,是它的存在引起了上述偏差,故 B 正确。第八颗行星是在 1843 年至 1845 年间被英国剑桥大学的学生亚当斯和法国天文爱好者勒维耶预言的,并由加勒于 1846 年观测发现,也就是海王星,故 C、D 错误。

### 知识点三 计算天体质量

#### 1. 地球质量的计算

若不考虑地球自转,质量为  $m$  的物体受到的重力等于地球对物体的万有引力,即  $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ , 则

$M = \frac{gR^2}{G}$ , 只要知道  $g$ 、 $R$  的值,就可计算出地球的质量。

#### 2. 太阳质量的计算

根据某一质量为  $m$  的行星绕太阳做匀速圆周运动的情况:行星与太阳间的万有引力充当向心力,即

$G \frac{m_s m}{r^2} = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r$ , 由此可得太阳质量  $m_s = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ , 由此式可知只要测出行星绕太阳运动的轨

道半径和周期就可以计算出太阳的质量。

#### [科学思维]

已知月球绕地球转动的周期  $T$  和半径  $r$ , 由此可以求出地球的质量吗? 能否求出月球的质量呢?

提示:能求出地球的质量,不能求出月球的质量。

利用  $G \frac{m_{\text{地}} m_{\text{月}}}{r^2} = m_{\text{月}} \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r$ , 求出地球(中心天体)的质量  $m_{\text{地}} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ 。做圆周运动的月球(环绕天体)的质量  $m_{\text{月}}$  在等式中已消掉,所以根据月球的公转周期  $T$ 、公转半径  $r$ , 无法求出月球的质量。

#### [判一判]

(1) 利用地球绕太阳做匀速圆周运动的信息,可求出地球的质量。 ( × )

(2) 根据  $m_s = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$  可知,行星做匀速圆周运动的轨道半径越大,太阳的质量就越大。 ( × )

(3) 在知道了引力常量  $G$ 、行星绕太阳运动的周期  $T$  和轨道半径  $r$  的前提下,如果再知道太阳的半径,可进一步求出太阳的平均密度。 ( √ )

## 任务型课堂

### 任务一 天体质量和密度的计算

#### [探究活动]

(1) 如果知道自己的重力(因随地球自转所需的向心力很小,可忽略),你能否求出地球的质量?

提示:若知道自己的重力,就能结合自己的质量确定该处地球的重力加速度  $g$ , 再结合地球的半径和引力常量  $G$ , 就能依据  $mg = G \frac{Mm}{R^2}$  计算出地球的质量。

(2) 如何计算太阳的质量呢?

提示:地球绕太阳转动时,向心力由万有引力提供,根据  $\frac{GMm}{r^2} = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r$  可求出太阳的质量。

#### [评价活动]

1. (多选)要计算地球的质量,除已知的一些常数外还需知道某些数据,现给出下列各组数据,可以用来计算出地球质量的有 ( ABC )

- A. 地球半径  $R$
- B. 卫星绕地球做匀速圆周运动的轨道半径  $r$  和线速度  $v$
- C. 卫星绕地球做匀速圆周运动的线速度  $v$  和周期  $T$

D. 地球公转的周期  $T'$  及公转半径  $r'$

2. 嫦娥一号是我国首次发射的探月卫星,它在距月球表面高度为 200 km 的圆形轨道上运行,运行周期为 127 min。已知月球半径约为  $1.74 \times 10^3$  km, 引力常量  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 。利用以上数据估算出月球的质量约为 ( D )

- A.  $8.1 \times 10^{10} \text{ kg}$
- B.  $7.4 \times 10^{13} \text{ kg}$
- C.  $5.4 \times 10^{19} \text{ kg}$
- D.  $7.4 \times 10^{22} \text{ kg}$

3. (2024 · 山东卷)鹊桥二号中继通信卫星环绕月球运行,其 24 小时椭圆轨道的半长轴为  $a$ 。已知地球同步卫星的轨道半径为  $r$ , 则月球与地球质量之比可表示为 ( D )

- A.  $\sqrt{\frac{r^3}{a^3}}$
- B.  $\sqrt{\frac{a^3}{r^3}}$
- C.  $\frac{r^3}{a^3}$
- D.  $\frac{a^3}{r^3}$

4. 假设在半径为  $R$  的某天体上发射一颗该天体的卫星。若卫星贴近该天体的表面做匀速圆周运动的周期为  $T_1$ , 已知引力常量为  $G$ 。

- (1) 该天体的密度是多少?
- (2) 若这颗卫星距该天体表面的高度为  $h$ , 测得在

该轨道做圆周运动的周期为  $T_2$ , 则该天体的密度又可以怎样表示?

**解析:** (1) 设卫星的质量为  $m$ , 天体的质量为  $M$ , 卫星贴近天体表面运动时有

$$G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T_1^2} R$$

$$\text{解得 } M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT_1^2}$$

$$\text{天体的体积为 } V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$\text{故该天体密度为 } \rho = \frac{M}{V} = \frac{3\pi}{GT_1^2}$$

(2) 卫星距该天体表面的高度为  $h$  时, 有

$$G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \frac{4\pi^2}{T_2^2} (R+h)$$

$$\text{解得 } M = \frac{4\pi^2 (R+h)^3}{GT_2^2}$$

$$\text{故该天体密度为 } \rho = \frac{M}{V} = \frac{3\pi(R+h)^3}{GT_2^2 R^3}$$

$$\text{答案: (1) } \frac{3\pi}{GT_1^2} \quad (2) \frac{3\pi(R+h)^3}{GT_2^2 R^3}$$

## 任务总结

### 1. 天体质量的计算

(1) 基本思路

绕中心天体运动的其他天体做匀速圆周运动时, 做圆周运动的天体所需的向心力等于它与中心天体间的万有引力, 利用此关系建立方程可求解中心天体的质量。

(2) 计算方法

已知物理量	计算方法
运行周期 $T$ 、 轨道半径 $r$	由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ , 得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$
轨道半径 $r$ 、 线速度 $v$	由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ , 得 $M = \frac{v^2 r}{G}$
线速度 $v$ 、 运行周期 $T$	由 $G \frac{Mm}{r^2} = mv \cdot \frac{2\pi}{T}$ 和 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ , 得 $M = \frac{v^3 T}{2\pi G}$
地球半径 $R$ 、 地球表面重力加速度 $g$	由 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ , 得 $M = \frac{gR^2}{G}$

### 2. 天体密度的计算

$$\text{若天体的半径为 } R, \text{ 则天体的密度 } \rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

方法一: 利用天体的重力加速度

$$\text{由 } mg = G \frac{Mm}{R^2} \text{ 和 } \rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$$\text{得 } \rho = \frac{3g}{4\pi GR}$$

其中  $g$  为天体表面的重力加速度。

方法二: 利用天体的卫星

设卫星绕天体运动的半径为  $r$ , 周期为  $T$ , 对卫星而言, 万有引力提供向心力, 则

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

$$\text{又由 } \rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$$\text{代入上式得 } \rho = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$$

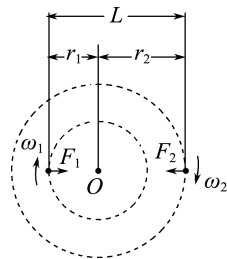
当卫星环绕天体表面运动时, 其轨道半径  $r$  等

$$\text{于天体半径 } R, \text{ 则 } \rho = \frac{3\pi}{GT^2}$$

## 任务二 双星问题

### [探究活动]

宇宙中存在两个相距较近的天体, 它们以二者连线上的某一点为圆心做匀速圆周运动, 而不会因万有引力的作用吸引到一起, 如图所示, 这样的两个天体组成的系统称为“双星”。



(1) 不计其他天体的引力, 双星做匀速圆周运动的向心力由哪个力提供?

**提示:** 它们所需的向心力由彼此间的万有引力相互提供。

(2) 两个天体做匀速圆周运动过程中, 哪些运动参量相同?

**提示:** 它们的周期及角速度都相同, 即  $T_1 = T_2, \omega_1 = \omega_2$ 。

(3) 两个天体的运动半径与它们之间的距离有什么关系?

**提示:**两个天体的运动半径  $r_1$ 、 $r_2$  与它们间距  $L$  的关系为  $r_1 + r_2 = L$ 。

[评价活动]

1. (多选) 双星中的两个天体都绕两者连线上的某点做匀速圆周运动, 因而不至于由于万有引力而吸引到一起。以下说法正确的是 ( BD )

- A. 它们做圆周运动的角速度与各自的质量成反比  
 B. 它们做圆周运动的线速度大小与各自的质量成反比  
 C. 它们做圆周运动的半径与各自的质量成正比  
 D. 它们做圆周运动的半径与各自的质量成反比

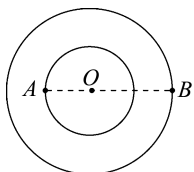
2. (多选) 2017 年, 人类第一次直接探测到来自双中子星合并的引力波。根据科学家们复原的过程, 在两颗中子星合并前约 100 s 时, 它们相距约 400 km, 绕二者连线上的某点每秒转动 12 圈。将两颗中子星都看作质量均匀分布的球体, 由这些数据、引力常量并利用牛顿力学知识, 可以估算出这一时刻两颗中子星 ( BC )

- A. 质量之积  
 B. 质量之和  
 C. 速率之和  
 D. 各自的自转角速度

3. 银河系的恒星中大约四分之一是双星。某双星由质量不等的星体  $S_1$  和  $S_2$  构成, 两星在相互之间的万有引力作用下绕两者连线上某一定点  $C$  做匀速圆周运动。已知由天文观察测得其运动周期为  $T$ ,  $S_1$  到  $C$  点的距离为  $r_1$ ,  $S_1$  和  $S_2$  间的距离为  $r$ , 引力常量为  $G$ 。由此可求出  $S_2$  的质量为 ( D )

- A.  $\frac{4\pi r^2}{GT^2}$       B.  $\frac{4\pi r_1^2}{GT^2}$   
 C.  $\frac{4\pi^2 r^2}{GT^2}$       D.  $\frac{4\pi^2 r^2 r_1}{GT^2}$

4. 两个靠得很近的天体, 离其他天体非常遥远, 它们以其连线上某一点  $O$  为圆心各自做匀速圆周运动, 两者的距离保持不变, 科学家把这样的两个天体称为“双星”, 如图所示。已知双星  $A$ 、 $B$  的质量分别为  $m_1$  和  $m_2$ , 它们之间的距离为  $L$ , 引力常量为  $G$ 。求双星的运行轨道半径  $r_1$  和  $r_2$  及运行周期  $T$ 。



**解析:** 双星间的万有引力提供了各自做圆周运动的

向心力, 对  $A$  有  $\frac{Gm_1 m_2}{L^2} = m_1 r_1 \omega^2$

对  $B$  有  $\frac{Gm_1 m_2}{L^2} = m_2 r_2 \omega^2$

且  $r_1 + r_2 = L$

解得  $r_1 = \frac{Lm_2}{m_1 + m_2}$ ,  $r_2 = \frac{Lm_1}{m_1 + m_2}$

由  $G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 r_1 \frac{4\pi^2}{T^2}$  及  $r_1 = \frac{Lm_2}{m_1 + m_2}$  得

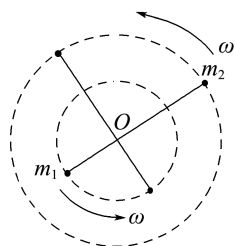
周期  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 L^3}{G(m_1 + m_2)}}$

**答案:**  $\frac{Lm_2}{m_1 + m_2}$      $\frac{Lm_1}{m_1 + m_2}$      $\sqrt{\frac{4\pi^2 L^3}{G(m_1 + m_2)}}$

5. 如图所示为某一双星系统, 它们以其连线上某一点  $O$  为圆心各自做匀速圆周运动, 设二者的质量分别为  $m_1$  和  $m_2$ , 二者相距  $L$ 。

(1) 试证明它们的轨道半径之比、线速度大小之比都等于质量的反比;

(2) 试写出它们角速度的表达式。



**解析:** 要保持两天体间的距离  $L$  不变, 二者做圆周运动的角速度  $\omega$  必须相同, 故二者轨迹圆的圆心均为  $O$  点, 设二者圆周运动的轨道半径分别为  $R_1$  和  $R_2$ 。

(1) 对两天体, 分别由万有引力提供向心力得

$$G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 R_1 \omega^2 \quad ①$$

$$G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_2 R_2 \omega^2 \quad ②$$

$$\text{故 } \frac{R_1}{R_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

因为  $v = \omega R$

$$\text{所以 } \frac{v_1}{v_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

$$(2) \text{ 由 } ① \text{ 式得 } \omega^2 = \frac{Gm_2}{L^2 R_1} = \frac{Gm_2}{L^2(L - R_2)}$$

$$\text{由 } ② \text{ 式得 } R_2 = \frac{Gm_1}{L^2 \omega^2}$$

$$\text{联立解得 } \omega = \sqrt{\frac{G(m_1 + m_2)}{L^3}}$$

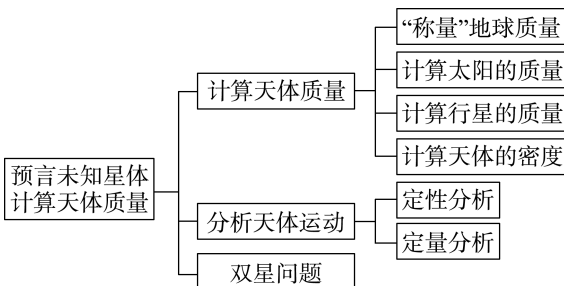
**答案:** (1) 见解析 (2)  $\sqrt{\frac{G(m_1 + m_2)}{L^3}}$

## 任务总结

### 双星问题的处理方法

- (1)关于“双星”问题及类似“双星”问题,要抓住角速度相等的特点。
- (2)“双星”做圆周运动的向心力是它们之间的万有引力,即它们的向心力大小相同。
- (3)“双星”做圆周运动的圆心是它们连线上的一点,它们的轨道半径之和等于它们之间的距离。

## ► 提质归纳



# 课后素养评价(十) 预言未知星体 计算天体质量

## 基础性·能力运用

### 知识点 1 天体质量和密度的计算

1.如果我们能测出月球表面的重力加速度  $g$ 、月球的半径  $r$  和月球绕地球运转的周期  $T$ ,就能根据万有引力定律“称量”月球的质量了。已知引力常量  $G$ ,用  $M$  表示月球的质量,关于月球的质量,下列算式正确的是 ( )

- A.  $M = \frac{gr^2}{G}$                       B.  $M = \frac{G}{gr^2}$   
 C.  $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$                       D.  $M = \frac{T^2 r^3}{4\pi^2 G}$

**A 解析:**月球表面物体的重力等于万有引力,有  $mg = G \frac{Mm}{r^2}$ ,解得  $M = \frac{gr^2}{G}$ ,故 A 正确,B 错误;由月球绕地球的运动不能求出月球的质量,故 C、D 错误。

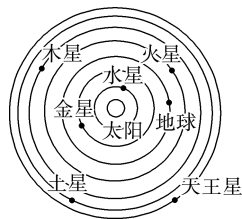
2.若月球绕地球的运动可近似看成匀速圆周运动,并且已知月球的轨道半径为  $r$ ,它绕地球运动的周期为  $T$ ,引力常量是  $G$ ,由此可以知道 ( )

- A. 月球的质量  $m = \frac{\pi^2 r^3}{GT^2}$   
 B. 地球的质量  $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$   
 C. 月球的平均密度  $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$   
 D. 地球的平均密度  $\rho' = \frac{3\pi}{GT^2}$

**B 解析:**对月球有  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ ,可得地球质量  $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ ,而月球质量无法求出,其密度也无法计算,故 B 正确,A、C 错误;因不知道地球自身半径,故无法计算地球的密度,故 D 错误。

### 知识点 2 天体运动的分析与计算

3.如图所示为部分行星绕太阳运动的轨道示意图,设图中各行星只受到太阳引力作用,绕太阳做匀速圆周运动。下列说法正确的是 ( )



- A. 水星公转的周期最小  
 B. 地球公转的线速度最大  
 C. 火星公转的向心加速度最小  
 D. 天王星公转的角速度最大

**A 解析:**由  $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$  知选项 A 正确;由  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$  知选项 B 错误;由  $a = \frac{GM}{r^2}$  知选项 C 错误;由  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$  知选项 D 错误。

4.某行星绕太阳的运动可近似看作匀速圆周运动,已知该行星运动的轨道半径为  $R$ ,周期为  $T$ ,引力常量为  $G$ ,则该行星的线速度大小为多少? 太阳的质量为多少?

**解析:**该行星的线速度  $v = \frac{2\pi R}{T}$

由万有引力提供向心力,得  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$

解得太阳的质量  $M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$ 。

**答案:**  $\frac{2\pi R}{T}$      $\frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$

### 知识点 3 双星问题

5. 经长期观测,人们在宇宙中已经发现了“双星系统”,“双星系统”由两颗相距较近的恒星组成,每颗恒星(可视为球体)的直径远小于两颗星体之间的距离,而且双星系统一般远离其他天体。假设两颗恒星组成的双星在相互之间的万有引力作用下,绕连线上的  $O$  点做周期相同的匀速圆周运动。现测得两颗恒星  $S_1$ 、 $S_2$  之间的距离为  $L$ ,质量之比为  $m_1 : m_2 = 3 : 2$ 。可知 ( )

- A.  $S_1$ 、 $S_2$  做圆周运动的角速度之比为  $2 : 3$   
 B.  $S_1$ 、 $S_2$  做圆周运动的线速度大小之比为  $3 : 2$   
 C.  $S_1$  做圆周运动的半径为  $\frac{2}{5}L$   
 D.  $S_2$  做圆周运动的半径为  $\frac{2}{5}L$

**C 解析:**“双星系统”在相互之间的万有引力作用下绕连线上的  $O$  点做周期相同的匀速圆周运动,角速度相同, A 项错误;由  $G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 \omega^2 r_1 = m_2 \omega^2 r_2$  得  $r_1 : r_2 = m_2 : m_1 = 2 : 3$ ,由  $v = \omega r$  得  $S_1$ 、 $S_2$  做圆周运动的线速度大小之比为  $v_1 : v_2 = r_1 : r_2 = 2 : 3$ , B 项错误;由  $r_1 + r_2 = L$  与  $r_1 : r_2 =$

$2 : 3$  可知,  $S_1$  做圆周运动的半径为  $\frac{2}{5}L$ ,  $S_2$  做圆周运动的半径为  $\frac{3}{5}L$ , C 项正确, D 项错误。

6. 天文学家将相距较近、仅在彼此的引力作用下运行的两颗恒星称为“双星”。双星系统在银河系中很普遍,利用双星系统中两颗恒星的运动特征可推算出它们的总质量。已知某双星系统中两颗恒星围绕它们连线上的某一固定点分别做匀速圆周运动,周期均为  $T$ ,两颗恒星之间的距离为  $L$ ,试推算这个双星系统的总质量。(引力常量为  $G$ )

**解析:**设两颗恒星的质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$ ,做圆周运动的半径分别为  $r_1$ 、 $r_2$ ,角速度分别为  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 。根据题意有  $\omega_1 = \omega_2$ ,  $r_1 + r_2 = L$

根据万有引力定律和牛顿运动定律,有

$$G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 \omega_1^2 r_1, G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_2 \omega_2^2 r_2$$

根据角速度与周期的关系知  $\omega_1 = \omega_2 = \frac{2\pi}{T}$

联立解得  $m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2 L^3}{T^2 G}$ 。

**答案:**  $\frac{4\pi^2 L^3}{T^2 G}$

## 综合性 · 创新提升

7. (多选)在研究宇宙发展演变的理论中,有一种学说叫“宇宙膨胀说”,这种学说认为引力常量  $G$  在缓慢地减小。根据这一理论,在很久很久以前,太阳系中地球的公转情况与现在相比 ( )

- A. 公转半径  $R$  较大  
 B. 公转周期  $T$  较小  
 C. 公转速率  $v$  较大  
 D. 公转角速率  $\omega$  较小

**BC 解析:**由于引力常量  $G$  在缓慢减小,地球所受的万有引力在变化,故地球的公转半径  $R$ 、速率  $v$ 、周期  $T$ 、角速度  $\omega$  等都在变化,则地球做的不是匀速圆周运动,但由于  $G$  变化缓慢,在并不太长的时间内,可认为是做匀速圆周运动。由  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R} = m \frac{4\pi^2 R}{T^2} = m \omega^2 R$ , 得  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ,  $T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$ , 对于漫长的演变过程而言,由于  $G$  在减小,地球所受万有引力在逐渐减小,有  $G \frac{Mm}{R^2} < m$

$\frac{v^2}{R}$ , 则地球做离心运动,公转半径  $R$  增大,由此可知,  $v$  减小、 $T$  增大、 $\omega$  减小,故 B、C 正确。

8. 假设一卫星在某一行星表面附近做匀速圆周运动,其线速度大小为  $v$ ,一航天员在该行星表面上用弹簧测力计测量一质量为  $m$  的物体的重力,物体静止时,弹簧测力计的示数为  $F$ 。已知引力常量为  $G$ ,则这颗行星的质量为 ( )

- A.  $\frac{mv^2}{GF}$     B.  $\frac{mv^4}{GF}$     C.  $\frac{Fv^2}{Gm}$     D.  $\frac{Fv^4}{Gm}$

**B 解析:**由  $F = mg$  得  $g = \frac{F}{m}$ , 在行星表面有  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ , 卫星绕行星做匀速圆周运动,万有引力提供向心力,则  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$ , 联立以上各式得  $M = \frac{mv^4}{GF}$ , 故 B 正确。

9. 太阳系各行星几乎在同一平面内沿同一方向绕太阳做圆周运动。当地球恰好运行到某地外行星和太阳之间,且三者几乎排成一条直线的现象,称为

“行星冲日”，已知地球及各地外行星绕太阳运动的轨道半径如下表：

行星名称	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
轨道半径 $R/AU$	1.0	1.5	5.2	9.5	19	30

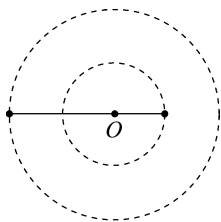
则下列相邻两次“冲日”时间间隔约为 ( )

- A. 火星 365 天  
 B. 火星 800 天  
 C. 天王星 365 天  
 D. 天王星 800 天

**B 解析：**根据开普勒第三定律有  $\frac{T^2}{R^3} = \frac{T_{地}^2}{R_{地}^3}$ ，解得  $T = \sqrt{\left(\frac{R}{R_{地}}\right)^3} T_{地}$ ，设相邻两次“冲日”时间间隔为  $t$ ，则  $2\pi = \left(\frac{2\pi}{T_{地}} - \frac{2\pi}{T}\right)t$ ，解得  $t = \frac{TT_{地}}{T - T_{地}} = \frac{T_{地}}{1 - \sqrt{\frac{R_{地}^3}{R^3}}}$ ，

由表格中的数据可得火星“冲日”的时间间隔约为 800 天，天王星“冲日”的时间间隔约为 369 天，故选 B。

10. 如图所示，双星系统可简化为理想的圆周运动模型，两星球在相互的万有引力作用下，绕  $O$  点做匀速圆周运动。若双星间的距离逐渐减小，则 ( )



- A. 两星体的运动周期均逐渐减小  
 B. 两星体运动的角速度均逐渐减小  
 C. 两星体的向心加速度均逐渐减小  
 D. 两星体运动的线速度均逐渐减小

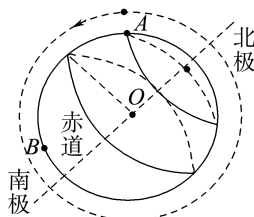
**A 解析：**双星做匀速圆周运动时具有相同的角速度，靠相互间的万有引力提供向心力。根据

$$G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 r_1 \omega^2 = m_2 r_2 \omega^2, \text{ 得 } m_1 r_1 = m_2 r_2, \text{ 可知轨道半径之比等于质量之反比, 双星间的距离减小, 则双星的轨道半径都变小, 根据万有引力提供向心力知, 角速度变大, 周期变小, 故 A 项正确, B 项错误; 根据 } G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 a_1 = m_2 a_2 \text{ 知, } L \text{ 变小, 两星体的向心加速度均增大, 故 C 项错误; 根}$$

据  $G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 a_1 = m_2 a_2$  知,  $L$  变小, 两星体的向心加速度均增大, 故 C 项错误; 根

据  $G \frac{m_1 m_2}{L^2} = \frac{m_1 v_1^2}{r_1}$ ，解得  $v_1 = \sqrt{\frac{G m_2 r_1}{L^2}}$ ，由于  $L^2$  的减小量比  $r_1$  的减小量大，则线速度增大，故 D 项错误。

11. 如图所示，极地卫星的运行轨道平面通过地球的南北两极(轨道可视为圆轨道)。若已知一颗极地卫星从北纬  $30^\circ$  处  $A$  点的正上方，按图示方向第一次运行至南纬  $60^\circ$  处  $B$  点的正上方时所用时间为  $t$ 。已知地球半径为  $R$ (地球可看作球体)，地球表面的重力加速度为  $g$ ，引力常量为  $G$ 。由以上条件不能求出的是 ( )



- A. 卫星运行的周期  
 B. 卫星距地面的高度  
 C. 卫星的质量  
 D. 地球的质量

**C 解析：**卫星从北纬  $30^\circ$  的正上方，第一次运行至南纬  $60^\circ$  正上方时，刚好为运行周期的  $\frac{1}{4}$ ，所以卫星运行的周期为  $4t$ ，A 项能求出；知道卫星的运行周期、地球的半径与地球表面重力加速度，由

$\frac{GMm}{(R+h)^2} = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 (R+h)$  和  $\frac{GMm}{R^2} = mg$ ，可以算出卫星距地面的高度，B 项能求出；通过上面的公式可以看出，只能算出中心天体地球的质量，即 D 项能求出，C 项不能求出。

12. (2025·重庆卷)“金星凌日”时，从地球上观，金星就像镶嵌在太阳表面的小黑点。若在地球上间距为  $d$  的两点同时观测，测得金星在太阳表面的两个小黑点相距  $L$ ，如图所示。已知地球和金星绕太阳的运动均可视为匀速圆周运动，太阳直径远小于金星的轨道半径，则地球和金星绕太阳运动的 ( )



- A. 轨道半径之比为  $\frac{L}{d}$

B. 周期之比为  $\sqrt[3]{\left(\frac{L+d}{L}\right)^2}$

C. 线速度大小之比为  $\sqrt{\frac{L+d}{L}}$

D. 向心加速度大小之比为  $\left(\frac{L}{L+d}\right)^2$

D 解析: 太阳直径远小于金星的轨道半径, 太阳直径忽略不计, 根据题意并结合几何知识可知地球和金星绕太阳运动的轨道半径之比为  $\frac{r_{地}}{r_{金}} =$

$\frac{d+L}{L}$ , 故 A 错误; 根据万有引力提供向心力, 有

$$\frac{Gm_0m}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r = m \frac{v^2}{r} = ma, \text{ 解得 } T =$$

$$\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{Gm_0}}, v = \sqrt{\frac{Gm_0}{r}}, a = \frac{Gm_0}{r^2}, \text{ 故可得周期之比为}$$

$$\frac{T_{地}}{T_{金}} = \sqrt{\left(\frac{d+L}{L}\right)^3}, \text{ 线速度大小之比为 } \frac{v_{地}}{v_{金}} =$$

$$\sqrt{\frac{L}{d+L}}, \text{ 向心加速度大小之比为 } \frac{a_{地}}{a_{金}} = \left(\frac{L}{d+L}\right)^2,$$

故 B、C 错误, D 正确。

13. 假设一航天员在地球表面以一定初速度竖直上抛一小球, 经过时间  $t$  后小球落回原处; 若他在某星球表面以相同的初速度竖直上抛同一小球, 需经过时间  $5t$  后小球落回原处。(取地球表面附近重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 空气阻力不计)

(1) 求该星球表面附近重力加速度的大小  $g'$ ;

(2) 已知该星球的半径与地球半径之比为  $R_{星} : R_{地} = 1 : 4$ , 求该星球的质量与地球质量之比  $M_{星} : M_{地}$ 。

解析: (1) 在地球表面竖直上抛小球时有  $t = \frac{2v_0}{g}$

在某星球表面竖直上抛小球时有  $5t = \frac{2v_0}{g'}$

所以  $g' = \frac{1}{5}g = 2 \text{ m/s}^2$ 。

(2) 由  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$  得

$$M = \frac{gR^2}{G}$$

所以  $\frac{M_{星}}{M_{地}} = \frac{g'R_{星}^2}{gR_{地}^2} = \frac{1}{5} \times \left(\frac{1}{4}\right)^2 = \frac{1}{80}$ 。

答案: (1)  $2 \text{ m/s}^2$  (2)  $1 : 80$

14. 假设在某行星上, 一航天员用弹簧测力计测得质量为  $m$  的砝码重力为  $F$ , 宇宙飞船在靠近该行星表面的空间飞行, 测得其环绕周期为  $T$ 。请根据这些数据求出该行星的质量和密度。(已知引力常量为  $G$ )

解析: 设行星的质量为  $M$ , 半径为  $R$ , 表面的重力加速度为  $g$ , 由万有引力定律得  $F = mg = G \frac{Mm}{R^2}$

飞船沿星球表面做匀速圆周运动, 由牛顿第二定律和向心力公式得

$$G \frac{Mm'}{R^2} = m' \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

联立解得  $M = \frac{F^3 T^4}{16G\pi^4 m^3}$

由万有引力提供飞船的向心力得

$$G \frac{Mm'}{R^2} = m' \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

$$M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$$

将  $M$  代入  $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$  得  $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$ 。

答案:  $\frac{F^3 T^4}{16G\pi^4 m^3} \quad \frac{3\pi}{GT^2}$

## 4 人造卫星 宇宙速度

### 学习任务目标

1. 了解人造地球卫星的初步构想, 会解决较简单的涉及人造地球卫星运动的问题。(科学思维)
2. 知道三个宇宙速度的含义和数值, 会推导第一宇宙速度。(物理观念)
3. 通过对地球卫星运动的分析, 掌握不同高度卫星的线速度、角速度、周期和加速度的特点。(科学思维)
4. 通过人类探索太空的成就, 感受人类对客观世界不断探究的精神。(科学态度与责任)

### 问题式预习

#### 知识点一 从幻想到现实——人造卫星

1. 在地球上将物体抛出, 当速度足够大时, 物体就永远不会落到地面上来, 而绕地球运动, 成为人造地球卫星。
2. 卫星运动: 人造地球卫星的运动可看作匀速圆周运动, 其向心力为地球对它的万有引力, 其动力学方程为  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r = \underline{ma}$ 。

#### [科学思维]

(1) 人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动, 运动轨道的圆心是地球的球心, 运动半径是卫星到地球球心的距离。

(2) 地球的自转是地球绕地轴的转动, 自转周期是 24 h。

(3) 人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动的周期

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

#### [判一判]

(1) 人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动的向心力由火箭推力提供。 ( × )

(2) 卫星绕地球的轨道半径越大, 运行速度越大。 ( × )

(3) 绕地球做匀速圆周运动的人造地球卫星的圆心与地心重合。 ( √ )

#### 知识点二 宇宙速度

1. 第一宇宙速度: 使卫星能环绕地球运行所需的最小发射速度叫作第一宇宙速度, 其表达式是  $v = \sqrt{\frac{Gm_E}{R}}$  (或  $v = \sqrt{gR}$ ), 其大小是 7.9 km/s。
2. 第二宇宙速度: 使人造卫星脱离地球的引力束缚, 不再绕地球运行, 从地球表面发射所需的最小速度, 其大小为 11.2 km/s。
3. 第三宇宙速度: 要使物体脱离太阳的束缚而飞离太阳系, 从地球表面发射所需的最小速度, 其大小为 16.7 km/s。

#### [科学思维]

推导第一宇宙速度的过程是如何建立模型的? 推导的依据是什么?

提示: 建立匀速圆周运动的模型。卫星绕地球做匀速圆周运动, 由万有引力(重力)提供向心力; 卫星运行的轨道半径  $r$  近似等于地球半径  $R$ 。

推导依据:  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$  或  $mg = m \frac{v^2}{R}$ 。

#### [判一判]

(1) 绕地球做圆周运动的人造卫星的速度可能大于 7.9 km/s。 ( × )

(2) 在地面上发射人造卫星的最小速度是 7.9 km/s。 ( √ )

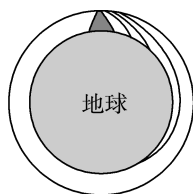
(3) 要发射一颗绕月球飞行的人造卫星, 在地面的发射速度应大于 11.2 km/s。 ( × )

### 任务型课堂

#### 任务一 第一宇宙速度的理解与计算

#### [探究活动]

牛顿曾提出过一个著名的设想: 如图所示, 从山上水平抛出一个物体, 当抛出的速度足够大时, 物体将环绕地球运动, 成为人造地球卫星。



(1)当抛出速度较小时,物体做什么运动?当物体刚好不落回地面时,物体做什么运动?

**提示:**当抛出速度较小时,物体做平抛运动。当物体刚好不落回地面时,物体绕地球做匀速圆周运动。

(2)若地球的质量为  $M$ ,物体到地心的距离为  $r$ ,引力常量为  $G$ ,试推导物体刚好不落回地面时的运行速度。

**提示:**若物体刚好不落回地面,应绕地球做匀速圆周运动,由万有引力提供向心力,则有  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ,解得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 。

(3)若物体紧贴地面飞行,地球半径为  $R$ ,其速度大小为多少?

**提示:**当物体紧贴地面飞行时, $r=R$ ,则有  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ 。

#### [评价活动]

1.下列关于三个宇宙速度的说法正确的是 ( D )

- A. 第一宇宙速度  $v_1 = 7.9 \text{ km/s}$ ,第二宇宙速度  $v_2 = 11.2 \text{ km/s}$ ,则人造卫星绕地球在圆轨道上运行时的速度大于等于  $v_1$  且小于  $v_2$
- B. “天问一号”火星探测器的发射速度大于第三宇宙速度
- C. 第三宇宙速度是使地面附近的物体可以挣脱地球引力束缚,成为绕太阳运行的小行星的最大运行速度
- D. 第一宇宙速度是人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动的最大运行速度

2.恒星演化发展到一定阶段,可能成为恒星世界的“侏儒”——中子星。中子星的半径较小,一般在  $7 \sim 20 \text{ km}$ ,但它的密度大得惊人。若某中子星的半径为  $10 \text{ km}$ ,密度为  $1.2 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$ ,引力常量  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ,那么该中子星的第一宇宙速度约为 ( D )

- A.  $7.9 \text{ km/s}$                       B.  $16.7 \text{ km/s}$   
C.  $2.9 \times 10^4 \text{ km/s}$               D.  $5.8 \times 10^4 \text{ km/s}$

3.(2024·湖南卷)(多选)2024年5月3日,嫦娥六号探测器顺利进入地月转移轨道,正式开启月球之旅。相较于嫦娥四号和嫦娥五号,本次的主要任务是登陆月球背面进行月壤采集,并通过升空器将月壤转移至绕月运行的返回舱,返回舱再通过返回轨道返回地球。设返回舱绕月运行的轨道为圆轨道,半径近似为月球半径。已知月球表面重力加速度

约为地球表面的  $\frac{1}{6}$ ,月球半径约为地球半径的  $\frac{1}{4}$ 。

关于返回舱在该绕月轨道上的运动,下列说法正确的是 ( )

- A. 其相对于月球的速度大于地球第一宇宙速度
- B. 其相对于月球的速度小于地球第一宇宙速度
- C. 其绕月飞行周期约为地球上近地圆轨道卫星周  
期的  $\sqrt{\frac{2}{3}}$  倍
- D. 其绕月飞行周期约为地球上近地圆轨道卫星周  
期的  $\sqrt{\frac{3}{2}}$  倍

**BD 解析:**地球上的第一宇宙速度等于卫星在近地轨道的环绕速度,根据万有引力定律知  $\frac{GMm}{R^2} =$

$m \frac{v^2}{R}$ ,结合  $mg = \frac{GMm}{R^2}$  得第一宇宙速度  $v = \sqrt{gR}$ ,又  $g_{\text{月}} = \frac{1}{6} g_{\text{地}}$ ,  $R_{\text{月}} = \frac{1}{4} R_{\text{地}}$ ,可知返回舱相对月球

的速度小于地球上的第一宇宙速度,选项 A 错误, B 正确;根据万有引力定律知,在近地(月)轨道上有  $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$ ,又  $GM = gR^2$ ,得  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R}{g}}$ ,可得  $\frac{T_{\text{月}}}{T_{\text{地}}} = \sqrt{\frac{R_{\text{月}}}{R_{\text{地}}}} \cdot \sqrt{\frac{g_{\text{地}}}{g_{\text{月}}}} = \sqrt{\frac{3}{2}}$ ,可知选项 C 错误, D 正确。

4.1990年5月,紫金山天文台将1965年9月20日发现的第2752号小行星命名为“吴健雄星”,其直径为  $32 \text{ km}$ 。若该小行星的密度和地球相同,已知地球半径约为  $R_0 = 6400 \text{ km}$ ,地球的第一宇宙速度约为  $8 \text{ km/s}$ 。求该小行星的第一宇宙速度。

**解析:**设小行星的第一宇宙速度为  $v_2$ ,其质量为  $M$ ,地球质量为  $M_0$ ,则有  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v_2^2}{R}$ ,

$$\text{得 } v_2 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

而地球第一宇宙速度  $v_1 = \sqrt{\frac{GM_0}{R_0}}$

$$M = \frac{4}{3} \rho \pi R^3, M_0 = \frac{4}{3} \rho \pi R_0^3$$

$$\text{故 } \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{MR_0}{M_0 R}} = \sqrt{\frac{R^2}{R_0^2}} = \frac{R}{R_0}$$

$$\text{所以 } v_2 = \frac{R v_1}{R_0} = \frac{16 \times 8}{6400} \text{ km/s} = 20 \text{ m/s}.$$

**答案:**  $20 \text{ m/s}$

5. 假设某人一星球上以速率  $v$  竖直上抛一物体, 经时间  $t$  后, 物体以速率  $v$  落回该人的手中。已知该星球的半径为  $R$ , 求该星球的第一宇宙速度。

解析: 根据匀变速直线运动的规律可得, 该星球表面的重力加速度为  $g = \frac{2v}{t}$

$$g = \frac{2v}{t}$$

该星球的第一宇宙速度  $v_1$  即为卫星绕其表面做匀速圆周运动的线速度, 该星球对卫星的引力(重力)

$$提供卫星做圆周运动的向心力, 则 mg = \frac{mv_1^2}{R}$$

$$该星球的第一宇宙速度为 v_1 = \sqrt{gR} = \sqrt{\frac{2vR}{t}}$$

$$答案: \sqrt{\frac{2vR}{t}}$$

### 任务总结

#### 对第一宇宙速度的理解

(1) 第一宇宙速度是人造卫星的最小发射速度, 也是人造卫星的最大绕行速度。

①“最小发射速度”: 向高轨道发射卫星比向低轨道发射卫星困难, 因为发射卫星要克服地球对它的引力, 所以近地轨道的发射速度(第一宇宙速度)是发射人造卫星的最小发射速度。

②“最大绕行速度”: 由  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$  可得  $v =$

$$\sqrt{\frac{GM}{r}}, 轨道半径越小, 线速度越大, 所以近地卫星$$

的线速度(第一宇宙速度)是最大绕行速度。

(2) 第一宇宙速度的推广

由第一宇宙速度的两种表达式可以看出, 第一宇宙速度的值由中心天体决定, 可以说任何一颗天体都有自己的第一宇宙速度, 都应以  $v =$

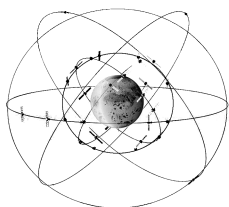
$$\sqrt{\frac{GM}{R}} 或 v = \sqrt{gR} 表示, 式中 G 为引力常量, M$$

为中心天体的质量,  $g$  为中心天体表面的重力加速度,  $R$  为中心天体的半径。

## 任务二 人造地球卫星的运动

### [探究活动]

在地球的周围, 有许多的卫星在不同的轨道上绕地球转动。



(1) 这些卫星的轨道平面有什么特点?

提示: 卫星所受的向心力由地球对其的万有引力提供, 故所有卫星的轨道平面都经过地心。

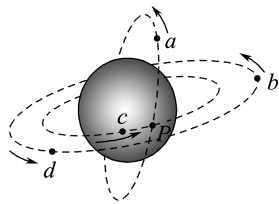
(2) 这些卫星的线速度、角速度、周期跟什么因素有关呢?

$$提示: 由 G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r 得 v =$$

$$\sqrt{\frac{GM}{r}}, \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}, T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}, 可知卫星的线速度、角速度、周期等与地球质量及其轨道半径有关。$$

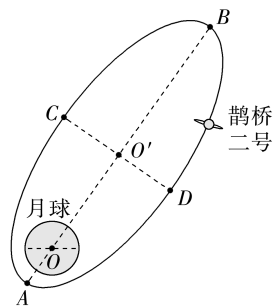
### [评价活动]

1.  $a, b, c, d$  是在地球大气层外的圆形轨道上运行的四颗人造卫星。其中  $a, c$  的轨道相交于  $P$  点,  $b, d$  在同一个圆轨道上,  $b, c$  轨道在同一平面上。某时刻四颗卫星的运行方向及位置如图所示, 下列说法正确的是 ( A )



- A.  $a, c$  的加速度大小相等, 且大于  $b$  的加速度
- B.  $b, c$  的角速度相等, 且小于  $a$  的角速度大小
- C.  $a, c$  的线速度大小相等, 且小于  $d$  的线速度大小
- D.  $a, c$  存在在  $P$  点相撞的危险

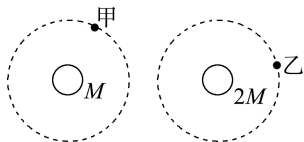
2. (2024 · 河北卷) (多选) 2024 年 3 月 20 日, 鹊桥二号中继通信卫星成功发射升空, 为嫦娥六号在月球背面的探月任务提供地月间中继通信。鹊桥二号采用周期为 24 h 的环月椭圆冻结轨道(如图), 近月点  $A$  距月心约为  $2.0 \times 10^3$  km, 远月点  $B$  距月心约为  $1.8 \times 10^4$  km,  $CD$  为椭圆轨道的短轴。下列说法正确的是 ( BD )



- A. 鹊桥二号从  $C$  点经  $B$  点到  $D$  点的运动时间为 12 h
- B. 鹊桥二号在  $A, B$  两点的加速度大小之比约为 81 : 1
- C. 鹊桥二号在  $C, D$  两点的速度方向垂直于其与月心的连线

D. 鹊桥二号在地球表面附近的发射速度大于 7.9 km/s 且小于 11.2 km/s

3. 如图所示, 假设甲、乙两颗卫星以相同的轨道半径分别绕质量为  $M$  和  $2M$  的行星做匀速圆周运动。下列说法正确的是 ( A )



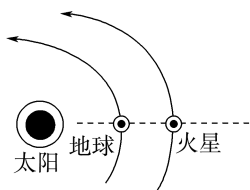
- A. 甲的向心加速度比乙的小  
B. 甲的运行周期比乙的小  
C. 甲的角速度比乙的大  
D. 甲的线速度比乙的大
4. (多选) 质量为  $m$  的探月航天器在接近月球表面的轨道上飞行, 其运动视为匀速圆周运动。已知月球质量为  $M$ , 月球半径为  $R$ , 月球表面重力加速度为  $g$ , 引力常量为  $G$ , 不考虑月球自转的影响, 则航天器的 ( )

- A. 线速度  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$   
B. 角速度  $\omega = \sqrt{gR}$   
C. 运行周期  $T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$   
D. 向心加速度  $a = \frac{Gm}{R^2}$

AC 解析: 探月航天器在接近月球表面的轨道上飞行, 万有引力提供向心力, 有  $G\frac{Mm}{R^2} = ma = m\frac{v^2}{R} = m\omega^2 R = m\frac{4\pi^2}{T^2}R$ , 可得  $a = \frac{GM}{R^2}$ ,  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$ ,  $T = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$ , 所以 A 正确, D 错误; 又由于不考虑月球自转的影响, 则  $G\frac{Mm}{R^2} = mg$ , 即  $GM = gR^2$ , 因此  $\omega = \sqrt{\frac{g}{R}}$ ,  $T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ , 所以 B 错误, C 正确。

5. 火星、地球和太阳处于一条直线时, 会形成“火星冲日”的天象奇观。“火星冲日”的模拟图如图所示。试回答以下问题:

- (1) 该时刻火星和地球哪个的速度大?  
(2) 再经过 1 年时间, 火星是否又回到了原位置?



解析: 火星和地球均绕太阳做匀速圆周运动, 太阳对它们的万有引力提供向心力。

$$(1) \text{ 由 } \frac{GMm}{r^2} = m\frac{v^2}{r} \text{ 得, } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

地球轨道半径  $r_{地}$  小于火星轨道半径  $r_{火}$ , 地球的速度大。

$$(2) \text{ 由 } \frac{GMm}{r^2} = mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \text{ 得 } T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

则  $T_{地} < T_{火}$ , 由于  $T_{地} = 1$  年, 则  $T_{火} > 1$  年, 因此经过 1 年后火星还没有回到原位置。

答案: (1) 地球 (2) 没有回到原位置

### 任务总结

#### 关于天体运动的分析与计算

(1) 基本思路

一般行星或卫星的运动可看作匀速圆周运动, 所需向心力由中心天体对它的万有引力提供。

(2) 常用关系

① 设质量为  $m$  的天体绕另一质量为  $M$  的中心天体做半径为  $r$  的匀速圆周运动, 由天体做匀速圆周运动得

$$G\frac{Mm}{r^2} = ma_n = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m\frac{4\pi^2}{T^2}r.$$

②  $mg = G\frac{Mm}{R^2}$  (物体在天体表面时受到的万有引力等于物体重力,  $g$  为天体表面的重力加速度,  $R$  为天体半径), 整理可得  $gR^2 = GM$ , 该公式通常被称为“黄金代换公式”。

(3) 天体运动的各物理量与轨道半径的关系

① 由  $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$  得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,  $r$  越大,  $v$  越小。

② 由  $G\frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$  得  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ,  $r$  越大,  $\omega$  越小。

③ 由  $G\frac{Mm}{r^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$  得  $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,  $r$  越大,  $T$  越大。

④ 由  $G\frac{Mm}{r^2} = ma_n$  得  $a_n = \frac{GM}{r^2}$ ,  $r$  越大,  $a_n$  越小。

### 任务三 地球同步卫星

1. 地球同步卫星相对地面静止不动, 犹如悬在高空。下列说法正确的是 ( B )

- A. 同步卫星处于平衡状态  
B. 同步卫星的速率是唯一的

- C. 不同同步卫星的轨道半径都相同,且一定在赤道的正上方,它们以第一宇宙速度运行
- D. 它们可在我国北京上空运行,故可用于我国的电视广播
2. 中国“北斗”卫星导航系统是我国自行研制的全球卫星定位与通信系统,该系统由空间端、地面端和用户端组成,其中空间端包括地球同步卫星和非地球同步卫星。下列说法正确的是 ( B )
- A. 地球同步卫星的运行速度大于地球的第一宇宙速度
- B. 地球同步卫星的运行周期都与地球自转周期相等
- C. 地球同步卫星运行的加速度大小不一定相等
- D. 为避免相撞,不同国家发射的地球同步卫星必须运行在不同的轨道上
3. 1970年4月24日我国首次成功发射的人造卫星东方红一号,目前仍然在椭圆轨道上运行,其轨道近地点高度约为430 km,远地点高度约为2 000 km。1984年4月8日成功发射的东方红二号卫星运行在赤道上空约36 000 km的地球同步轨道上。设东方红一号在远地点的加速度为 $a_1$ ,东方红二号的加速度为 $a_2$ ,固定在地球赤道上的物体随地球自转的加速度为 $a_3$ ,则 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 的大小关系为

( D )

- A.  $a_2 > a_1 > a_3$
- B.  $a_3 > a_2 > a_1$
- C.  $a_3 > a_1 > a_2$
- D.  $a_1 > a_2 > a_3$
4. (多选) 已知地球质量为 $M$ ,半径为 $R$ ,自转周期为 $T$ ,某一地球同步卫星质量为 $m$ ,引力常量为 $G$ 。有关该同步卫星,下列表述正确的有 ( )

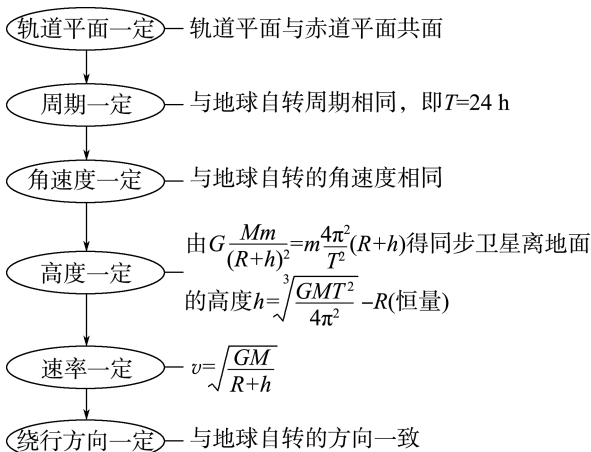
- A. 卫星距地面的高度为 $\sqrt{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$
- B. 卫星的运行速度小于地球的第一宇宙速度
- C. 卫星运行时受到的向心力大小为 $G \frac{Mm}{R^2}$

D. 卫星运行的向心加速度小于地球表面的重力加速度

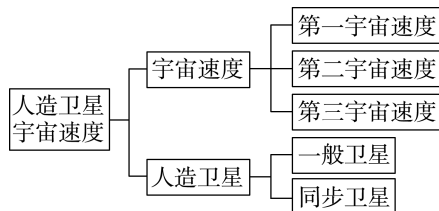
BD 解析: 地球同步卫星由万有引力提供向心力, 得 $G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m(R+h) \frac{4\pi^2}{T^2}$ , 所以 $h = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} - R$ , A 错误; 第一宇宙速度是最大的环绕速度, B 正确; 同步卫星运动的向心力等于万有引力, 应为 $F = \frac{GMm}{(R+h)^2}$ , C 错误; 同步卫星的向心加速度为 $a = \frac{GM}{(R+h)^2}$ , 地球表面的重力加速度 $g = \frac{GM}{R^2}$ , 所以 $g > a$ , D 正确。

### 任务总结

地球同步卫星相对于地球静止, 和地球的自转周期相同, 故同步卫星距地面的高度有确定值, 且必须在地球的赤道平面内, 即所有的同步卫星有相同的轨道。所以同步卫星具有以下特点:



### ► 提质归纳



## 课后素养评价(十一) 人造卫星 宇宙速度

### 基础性·能力运用

#### 知识点 1 第一宇宙速度的理解与计算

1. 某同学这样来推导第一宇宙速度:  $v = \frac{2\pi R}{T} \approx$

$\frac{2 \times 3.14 \times 6.4 \times 10^6}{24 \times 3\ 600} \text{ m/s} \approx 465 \text{ m/s}$ , 其结果与正确值相差很远, 这是由于他在近似处理中, 错误地假设 ( )

- A. 卫星的轨道是圆形  
 B. 卫星的向心力等于它在地球上所受的地球引力  
 C. 卫星的轨道半径等于地球的半径  
 D. 卫星的周期等于地球自转的周期

D 解析:第一宇宙速度是近地卫星绕地球做匀速圆周运动的线速度,其运行周期约为 85 min,该同学错误地认为近地卫星的周期为 24 h,因此得出错误的结果,故 D 正确。

- 2.(多选)已知地球半径为  $R$ ,质量为  $M$ ,自转角速度为  $\omega$ ,地面重力加速度为  $g$ ,引力常量为  $G$ ,地球同步卫星的运行速度为  $v$ ,则第一宇宙速度的值可表示为 ( )

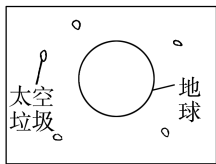
- A.  $\sqrt{gR}$                       B.  $\sqrt{\frac{v^3}{\omega R}}$   
 C.  $\sqrt{\frac{GM}{R}}$                       D.  $\omega R$

ABC 解析:第一宇宙速度等于近地卫星运行的速度,由  $mg = \frac{GMm}{R^2} = \frac{mv_1^2}{R}$ ,解得第一宇宙速度  $v_1 =$

$\sqrt{gR} = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ , A、C 正确;对同步卫星,设其运行半径为  $r$ ,由  $v = \omega r$ ,  $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ ,结合  $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{v_1^2}{R}$  得

$v_1 = \sqrt{\frac{v^3}{\omega R}}$ , B 正确, D 错误。

- 3.不可回收的航天器在使用后,将成为太空垃圾。如图所示是漂浮在地球附近的太空垃圾示意图,对此有如下说法,正确的是 ( )



- A. 离地面越低的太空垃圾运行周期越长  
 B. 离地面越高的太空垃圾运行角速度越小  
 C. 由公式  $v = \sqrt{gr}$  得,离地球越远的太空垃圾运行速率越大  
 D. 太空垃圾一定能跟同一轨道上同向飞行的航天器相撞

B 解析:由  $\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R = m \frac{4\pi^2 R}{T^2} = ma$  可知,绕地球运行的卫星或者太空垃圾随着离地面高度的增大,它们的线速度、角速度、向心加速度均变小,而周期变大,故 B 正确, A、C 错误;在同一轨

道上的太空垃圾和航天器运行速率相等,又因为它们同向飞行,故不会相撞,故 D 错误。

#### 知识点 2 地球同步卫星

- 4.(多选)假设地球同步卫星到地心的距离为  $r$ ,运行速率为  $v_1$ ,向心加速度为  $a_1$ ,地球赤道上的物体随地球自转的向心加速度为  $a_2$ ,第一宇宙速度为  $v_2$ ,地球的半径为  $R$ ,则下列比值正确的是 ( )

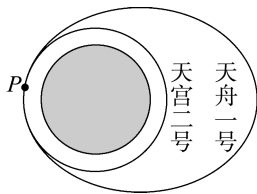
- A.  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r}{R}$                       B.  $\frac{a_1}{a_2} = \left(\frac{r}{R}\right)^2$   
 C.  $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{r}{R}}$                       D.  $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{R}{r}}$

AD 解析:先研究  $a_1$  与  $a_2$  的关系,由于地球同步卫星的运行周期与地球自转周期相同,因此,同步卫星与赤道上的物体的角速度相等,由  $a = r\omega^2$  得

$\frac{a_1}{a_2} = \frac{r}{R}$ ,选项 A 正确, B 错误;再研究  $v_1$  与  $v_2$  的关系,由万有引力提供向心力可得  $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ ,则

$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,故  $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{R}{r}}$ ,选项 D 正确, C 错误。

- 5.(多选)天舟一号货运飞船是中国首个货运飞船,曾成功完成与天宫二号的首次推进剂在轨补加试验。它们的运行轨迹示意图如图所示。假设天宫二号绕地球做圆周运动的轨道半径为  $r$ ,周期为  $T$ ,引力常量为  $G$ ,则以下说法正确的是 ( )



- A. 根据题中条件可以计算出地球的质量  
 B. 根据题中条件可以计算出地球对天宫二号的引力大小  
 C. 在近地点  $P$  处,天舟一号的速度比天宫二号的大  
 D. 要实现天舟一号与天宫二号在近地点  $P$  处安全对接,天舟一号需在靠近  $P$  处制动减速

ACD 解析:地球对天宫二号的万有引力提供向心力,即  $G \frac{M_{\text{地}} m}{r^2} = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ ,得  $M_{\text{地}} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ , A 项正确;由于天宫二号的质量未知,故不能求出地球对天宫二号的引力大小, B 项错误;在近地点  $P$  处,天舟一号要做“离心”运动进入椭圆轨道,所需要的速度比天宫二号的大,要实现安全对接(两者的速度相等),需对天舟一号制动减速, C、D 两项正确。

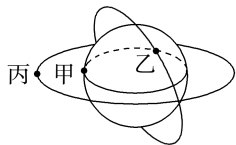
## 综合性 · 创新提升

6. 2025年7月15日,世界现役运输能力最大的货运飞船天舟九号,携带约6 500 kg的物资进入距离地面约400 km(小于地球同步卫星与地面的距离)的轨道,顺利对接中国空间站后近似做匀速圆周运动。对接后,这批物资 ( )

- A. 质量比静止在地面上时小
- B. 所受合力比静止在地面上时小
- C. 所受地球引力比静止在地面上时大
- D. 做圆周运动的角速度大小比地球自转的角速度大

**D 解析:** 物体的质量不随位置的变化而变化, A 错误; 对接后, 物资环绕地球做匀速圆周运动时, 所受的万有引力提供向心力, 即合力  $F_{\text{合}} = G \frac{m_{\text{地}}m}{r^2}$ , 物资在地面上静止时, 所受合力为 0, B 错误; 空间站所处轨道半径比地球半径大, 由万有引力定律可知, 对接后物资所受的地球引力比静止在地面上时小, C 错误; 地球自转的角速度等于地球同步卫星的角速度, 由  $G \frac{m_{\text{地}}m}{r^2} = m\omega^2 r$  得  $\omega = \sqrt{\frac{Gm_{\text{地}}}{r^3}}$ , 由于空间站的轨道半径小于同步卫星的轨道半径, 因此空间站的角速度大于同步卫星的角速度, 即对接后物资的角速度比地球自转的角速度大, D 正确。

7. (多选) 如图所示, 甲是地球赤道上的一个物体, 乙是神舟二十一号飞船(周期约 90 min), 丙是地球的同步卫星, 它们都绕地心做匀速圆周运动, 运行的轨道示意图如图所示。下列有关说法正确的是 ( )

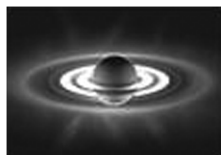


- A. 它们运动的向心加速度大小关系是  $a_{\text{乙}} > a_{\text{丙}} > a_{\text{甲}}$
- B. 它们运动的线速度大小关系是  $v_{\text{乙}} < v_{\text{丙}} < v_{\text{甲}}$
- C. 已知甲运动的周期  $T_{\text{甲}} = 24 \text{ h}$ , 可计算出地球的密度  $\rho = \frac{3\pi}{GT_{\text{甲}}^2}$
- D. 已知乙运动的周期  $T_{\text{乙}}$  及轨道半径  $r_{\text{乙}}$ , 可计算出地球质量  $M = \frac{4\pi^2 r_{\text{乙}}^3}{GT_{\text{乙}}^2}$

**AD 解析:** 对于乙和丙, 由  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r = ma =$

$m \frac{v^2}{r}$  可得  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$ ,  $a = G \frac{M}{r^2}$ ,  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ , 又  $T_{\text{乙}} < T_{\text{丙}}$ , 所以  $r_{\text{乙}} < r_{\text{丙}}$ , 可知  $a_{\text{乙}} > a_{\text{丙}}$ ,  $v_{\text{乙}} > v_{\text{丙}}$ , B 错误; 又因为甲和丙的角速度相同, 由  $a = \omega^2 r$  可得,  $a_{\text{丙}} > a_{\text{甲}}$ , 故  $a_{\text{乙}} > a_{\text{丙}} > a_{\text{甲}}$ , A 正确; 甲是赤道上的一个物体, 不是近地卫星, 故不能由  $\rho = \frac{3\pi}{GT_{\text{甲}}^2}$  计算地球的密度, C 错误; 由  $G \frac{Mm}{r_{\text{乙}}^2} = m r_{\text{乙}} \frac{4\pi^2}{T_{\text{乙}}^2}$  可得, 地球质量  $M = \frac{4\pi^2 r_{\text{乙}}^3}{GT_{\text{乙}}^2}$ , D 正确。

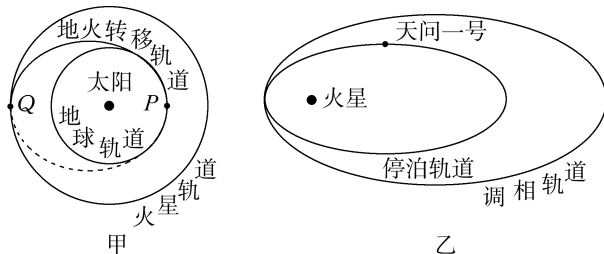
8. (多选) 土星外层上的环如图所示, 为了判断它是土星的一部分还是土星的卫星群, 可以通过测量环中各层的线速度大小  $v$  与该层到土星中心的距离  $R$  之间的关系来判断。下列判断正确的是 ( )



- A. 若  $v \propto R$ , 则该环是土星的一部分
- B. 若  $v^2 \propto R$ , 则该环是土星的卫星群
- C. 若  $v \propto \frac{1}{R}$ , 则该环是土星的一部分
- D. 若  $v^2 \propto \frac{1}{R}$ , 则该环是土星的卫星群

**AD 解析:** 若该环是土星的一部分, 则各层转动的角速度相等, 根据  $v = \omega R$  得  $v \propto R$ , 故 A 正确, C 错误; 若该环是土星的卫星群, 则向心力由万有引力提供, 根据  $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$ , 得  $v^2 = \frac{GM}{R}$ , 即  $v^2 \propto \frac{1}{R}$ , 故 B 错误, D 正确。

9. 天问一号从地球发射后, 在如图甲所示的 P 点沿地火转移轨道运动到 Q 点, 再依次进入如图乙所示的调相轨道和停泊轨道, 则天问一号 ( )



- A. 发射速度介于 7.9 km/s 与 11.2 km/s 之间
- B. 从 P 点转移到 Q 点的时间小于 6 个月
- C. 在环绕火星的停泊轨道运行的周期比在调相轨道上短

D. 在地火转移轨道运动时的速度均大于地球绕太阳的速度

C 解析:因发射的卫星要能变轨到绕太阳转动,则发射速度要大于第二宇宙速度,即发射速度介于  $11.2 \text{ km/s}$  与  $16.7 \text{ km/s}$  之间,故 A 错误;因从 P 点转移到 Q 点的转移轨道的半长轴大于地球公转轨道半径,则其周期大于地球公转周期(1 年,即 12 个月),则从 P 点转移到 Q 点的时间,即轨道周期的一半,应大于 6 个月,故 B 错误;因环绕火星的停泊轨道的半长轴小于调相轨道的半长轴,则由开普勒第三定律可知在环绕火星的停泊轨道运行的周期比在调相轨道上短,故 C 正确;卫星从 Q 点变轨时要加速,即在地火转移轨道 Q 点的速度小于火星轨道的速度,而由  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$  可得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,可知火星轨道速度小于地球轨道速度,因此卫星在地火转移轨道上 Q 点的速度小于地球绕太阳的速度,故 D 错误。

10. 已知地球半径为  $R$ , 地球表面的重力加速度为  $g$ , 地球自转的周期为  $T$ 。试求地球同步卫星的向心加速度大小。

解析:设地球同步卫星离地面高度为  $h$ , 万有引力提供其做圆周运动的向心力, 由牛顿第二定律有

$$G \frac{Mm}{(R+h)^2} = ma = m \frac{4\pi^2}{T^2} (R+h)$$

在地球表面, 有  $mg = G \frac{Mm}{R^2}$

$$\text{联立解得 } a = \sqrt[3]{\frac{16\pi^4 g R^2}{T^4}}.$$

$$\text{答案: } \sqrt[3]{\frac{16\pi^4 g R^2}{T^4}}$$

11. 据报道:某国发射了一颗质量为  $100 \text{ kg}$ 、周期为  $1 \text{ h}$  的人造环月卫星。一位同学记不住引力常量  $G$  的数值,且手边没有可查找的资料,但他记得月球半径约为地球半径的  $\frac{1}{4}$ , 月球表面重力加速度约为地球表面重力加速度的  $\frac{1}{6}$ , 经过推理,他认定该报道是一则假新闻。试写出他的论证方案。(地球半径约为  $6.4 \times 10^3 \text{ km}$ , 取  $g_{\text{地}} = 9.8 \text{ m/s}^2$ )

解析:对环月卫星,根据万有引力定律和牛顿第二定律得

$$\frac{GMm}{r^2} = ma = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

$$\text{解得 } T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

$$r = R_{\text{月}} \text{ 时, } T \text{ 有最小值, 又 } \frac{GM}{R_{\text{月}}^2} = g_{\text{月}}$$

$$\text{故 } T_{\min} = 2\pi \sqrt{\frac{R_{\text{月}}}{g_{\text{月}}}} = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{1}{4} R_{\text{地}}}{\frac{1}{6} g_{\text{地}}}} = 2\pi \sqrt{\frac{3R_{\text{地}}}{2g_{\text{地}}}}$$

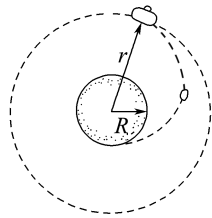
代入数据得  $T_{\min} \approx 1.73 \text{ h}$

即环月卫星最小周期为  $1.73 \text{ h}$ , 故该报道是一则假新闻。

答案:见解析

12. 设想一台返回式月球软着陆器完成了对月球表面的考察任务后,由月球表面回到围绕月球做圆周运动的轨道舱,其过程如图所示。设轨道舱的质量为  $m$ , 月球表面的重力加速度为  $g$ , 月球的半径为  $R$ , 轨道舱到月球中心的距离为  $r$ , 引力常量为  $G$ 。试求:

- (1) 月球的质量;
- (2) 轨道舱的线速度大小和周期。



解析:(1) 设月球的质量为  $M$ , 则在月球表面有

$$G \frac{Mm'}{R^2} = m'g$$

$$\text{得月球质量 } M = g \frac{R^2}{G}.$$

(2) 设轨道舱的速度为  $v$ , 周期为  $T$ , 则

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

$$\text{代入解得 } v = R \sqrt{\frac{g}{r}}$$

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

$$\text{代入解得 } T = \frac{2\pi r}{R} \sqrt{\frac{r}{g}}.$$

$$\text{答案: (1) } g \frac{R^2}{G} \quad (2) R \sqrt{\frac{g}{r}} \quad \frac{2\pi r}{R} \sqrt{\frac{r}{g}}$$



## 单元活动构建

## 单元活动 3 万有引力与宇宙航行

## 「单元任务」

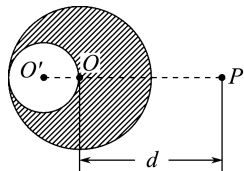
任务内容	
任务一	割补法在万有引力定律中的应用
任务二	三星及多星问题
任务三	卫星的变轨问题
任务四	同步卫星、近地卫星和赤道上的物体
任务五	卫星的“追及”“相遇”问题

## 「任务引导」

自古以来,当人们仰望星空时,天空中壮丽璀璨的景象便吸引了他们的注意。智慧的头脑开始探索星体运动的奥秘。到了17世纪,牛顿以他伟大的工作把天空中的现象与地面上的现象统一起来,成功地解释了天体运行的规律。时至今日,上千颗人造地球卫星正在按照万有引力定律为它们“设定”的轨道绕地球运转着。牛顿发现的万有引力定律取得了如此辉煌的成就,以至于阿波罗8号从月球返航的途中,当地面控制中心问及“是谁在驾驶”的时候,宇航员回答:“我想现在是牛顿在驾驶。”

## 任务一 割补法在万有引力定律中的应用

**活动** 有一个质量分布均匀的球体,其内部被挖去了一部分。该球体外距离球心 $d$ 的位置有一个质点 $P$ ,如图所示。已知被挖去部分的形状也为一球体,质点 $P$ 在其球心位置 $O'$ 点与大球球心的连线上。



(1)球体挖去一部分后还能直接应用万有引力定律吗?

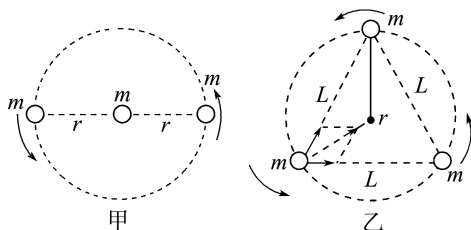
**提示:**球体挖去一部分后,不再是规则球体,不能直接应用万有引力定律进行计算。

(2)如果将挖去的部分“填满”,则挖去后剩余的部分与质点 $P$ 间的万有引力 $F_1$ 、被挖“小球”对质点 $P$ 的万有引力 $F_2$ 与被“填满”后完整球体与质点 $P$ 间的万有引力 $F$ 之间有什么关系?怎么计算?

**提示:**设想将被挖部分重新补回,则完整球体对质点 $P$ 的万有引力为 $F$ ,可以看作是剩余部分对质点 $P$ 的万有引力 $F_1$ 与被挖的“小球”对质点的万有引力 $F_2$ 的合力,即 $F=F_1+F_2$ 。

## 任务二 三星及多星问题

**活动** 太空中存在一些离其他恒星较远的、由质量相等的三颗星体组成的三星系统,通常可忽略其他星体对它们的引力作用。已观测到的稳定三星系统存在两种基本的构成形式:一种是三颗星体位于同一直线上,两颗星体围绕中央星体在同一半径为 $r$ 的圆轨道上运行,如图甲所示;另一种是三颗星体位于等边三角形的三个顶点上,并沿外接于等边三角形的圆形轨道运行,如图乙所示。各星体质量均为 $m_0$ 。



(1)在两种形式中,运转的星体做匀速圆周运动的向心力由哪些力提供?合力多大?

**提示:**在题图甲的形式中,运转的星体由其余两颗星体对其引力的合力提供向心力, $F_{\text{合}} = \frac{Gm^2}{r^2} + \frac{Gm^2}{(2r)^2} =$

$\frac{5Gm^2}{4r^2}$ ;在题图乙的形式中,每颗星体运行所需的向心力都由其余两颗星体对其引力的合力来提供,有

$F_{\text{合}} = \frac{Gm^2}{L^2} \times 2 \times \cos 30^\circ$ ,其中 $L = 2r \cos 30^\circ$ ,则

$F_{\text{合}} = \frac{\sqrt{3}Gm^2}{3r^2}$ 。

(2)在两种形式中,运转的星体做匀速圆周运动的哪些运动参量相同或相等?

**提示:**在题图甲的形式中,运转的两颗星体转动的方向相同,周期、角速度与线速度的大小相等。在题图乙的形式中,三颗星体转动的方向相同,周期、角速度与线速度的大小相等。

## 任务三 卫星的变轨问题

**活动** 有一宇宙飞船和空间站在同一轨道上运行,该宇宙飞船要追上空间站实施对接任务。

(1)宇宙飞船做匀速圆周运动的向心力由哪个力提

供? 与运行速度满足什么关系?

提示:宇宙飞船做匀速圆周运动的向心力是由地球对

它的万有引力提供的,由牛顿第二定律有  $\frac{Gm_{地}m}{R^2} =$

$m\frac{v^2}{R}$ ,得  $v = \sqrt{\frac{Gm_{地}}{R}}$ ,其中  $m_{地}$  为地球质量,  $R$  为飞船的轨道半径。

(2)如果使宇宙飞船加速,则会出现什么现象? 能否完成对接?

提示:如果加速,飞船会做离心运动,在更高轨道稳定

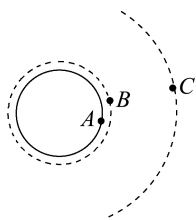
后,由  $v = \sqrt{\frac{Gm_{地}}{R}}$  知,速度会变小,无法完成对接。

(3)要想完成对接应怎么操作?

提示:要想完成对接,飞船应先减速,轨道半径减小后,速度增大了,故在低轨道上飞船可接近或超过空间站。当飞船运动到合适的位置后再加速,则其轨道半径增大,同时速度减小,当刚好运动到空间站所在轨道处与空间站相遇,并使飞船的速度刚好等于空间站的速度,即可完成对接。

#### 任务四 同步卫星、近地卫星和赤道上的物体

活动 如图所示,  $A$  为赤道上的待发射卫星,  $B$  为近地圆轨道卫星,  $C$  为地球同步卫星。已知三颗卫星质量相同,地球半径记作  $R$ ,  $C$  的轨道半径记作  $r$ 。



(1)  $A$ 、 $B$ 、 $C$  做匀速圆周运动的圆心在哪里?  $A$ 、 $B$  做匀速圆周运动的半径为多少?  $A$ 、 $C$  做匀速圆周运动的哪些运动参量相同?

提示:  $A$ 、 $B$ 、 $C$  都是以地球球心为圆心做匀速圆周运动;  $A$ 、 $B$  做匀速圆周运动的半径近似相同,都为地球的半径  $R$ ;  $A$ 、 $C$  做匀速圆周运动过程中角速度和周期相同。

(2)  $A$ 、 $B$ 、 $C$  做匀速圆周运动的向心力与万有引力分别是怎样的关系?

提示:  $B$ 、 $C$  是卫星,均由万有引力提供向心力,有

$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ ;而赤道上的  $A$  随地球自转做圆周运动

需要的向心力很小,是万有引力的一个分力,  $G\frac{Mm}{R^2}$

$\neq m\frac{v^2}{R}$ 。

(3)  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的向心加速度分别为  $a_A$ 、 $a_B$ 、 $a_C$ ,请写出  $a_B$ 、 $a_C$  间的关系式和  $a_A$ 、 $a_C$  间的关系式。

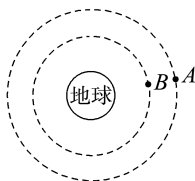
提示:  $B$ 、 $C$  是卫星,均由万有引力提供向心力,有

$\frac{GMm}{r^2} = ma$ ,所以  $a = \frac{GM}{r^2}$ ,得  $\frac{a_B}{a_C} = \frac{r^2}{R^2}$ ;  $A$ 、 $C$  有相同

的角速度,由  $a = \omega^2 r$  得  $\frac{a_A}{a_C} = \frac{R}{r}$ 。

#### 任务五 卫星的“追及”“相遇”问题

活动 如图所示,  $A$ 、 $B$  是地球的卫星,它们的轨道位于赤道平面内,角速度分别是  $\omega_A$ 、 $\omega_B$ 。



(1) 卫星  $A$ 、 $B$  的角速度  $\omega_A$ 、 $\omega_B$  哪个大?

提示: 根据  $\frac{GMm}{r^2} = mr\omega^2$  得  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ,判断出  $\omega_A < \omega_B$ 。

(2) 若初始时刻,两卫星与地球在同一直线上且在同一侧。当它们再一次在同一直线上且在地球的另一侧时,  $B$  转过的角度比  $A$  最少多多少? 此时经过了多长时间?

提示: 它们再一次在同一直线上时,  $B$  比  $A$  多转了一

圈,即  $2\pi$ ,则  $(\omega_B - \omega_A)t = 2\pi$ ,  $t = \frac{2\pi}{\omega_B - \omega_A}$ 。

(3) 若初始时刻,两卫星与地球在同一直线上且在地球的另一侧。当它们再一次在同一直线上,但分居地球两侧时,  $B$  转过的角度比  $A$  最少多多少? 此时经过了多长时间?

提示: 它们再一次在同一直线上且分居地球两侧时,  $B$  比  $A$  多转了半圈,即  $\pi$ ,则  $(\omega_B - \omega_A)t = \pi$ ,

$t = \frac{\pi}{\omega_B - \omega_A}$ 。

### 「知识链接」

#### 1. 割补法计算万有引力的应用

万有引力公式  $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$  的适用条件是质点或质

量分布均匀的球体之间的万有引力计算。对本来是非对称的物体,通过填补后构成对称物体,然后再利用对称物体所满足的物理规律进行求解的方法称为“填补法”。

基本思想:一补一挖。

解决方法:先把从均匀球体上挖去的部分补上,然后计算完整球体所受的万有引力,再计算补上部分所受的万有引力,则两者之差就是所求球体剩余部分所受的万有引力。

## 2. 关于“三星”及“多星”问题的处理方法

关于“三星”及“多星”问题,要抓住各颗星做匀速圆周运动的相同参量的特点,由几何关系确定做匀速圆周运动的半径。“三星”及“多星”做圆周运动的向心力是它们间的万有引力提供的,求向心力时注意各引力的方向及星体间的距离与运动的关系。

## 3. 卫星变轨问题

卫星变轨时,先是线速度  $v$  发生变化导致需要的向心力发生变化,进而使轨道半径  $r$  发生变化。

(1)当卫星减速时,卫星所需的向心力  $F_{\text{向}} = m \frac{v^2}{r}$  减小,万有引力大于所需的向心力,卫星将做近心运动,向低轨道变迁。

(2)当卫星加速时,卫星所需的向心力  $F_{\text{向}} = m \frac{v^2}{r}$  增大,万有引力不足以提供卫星所需的向心力,卫星将做离心运动,向高轨道变迁。

## 4. 同步卫星、近地卫星、赤道上物体的比较

(1)同步卫星和近地卫星

相同点:都是由万有引力提供向心力,即都满足  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r = ma$ ,由上式比较各物理量的大小关系,可知  $r$  越大, $v$ 、 $\omega$ 、 $a$  越小, $T$  越大。

(2)同步卫星和赤道上物体

相同点:周期和角速度相同。

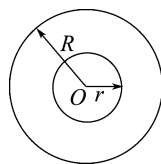
不同点:对于同步卫星,有  $\frac{GMm}{r^2} = ma = m\omega^2 r$ ;对于赤道上物体,有  $\frac{GMm}{R^2} = mg + m\omega^2 R$ 。因此要通过  $v = \omega r$ 、 $a = \omega^2 r$  比较两者的线速度和向心加速度的大小。

## 5. 卫星的“追及”“相遇”的条件

某星体的两颗卫星之间的距离有最近和最远之分,距离最近或最远时,两颗卫星都处在同一条直径上。由于它们的轨道不是重合的,因此在最近和最远的相遇问题上不能通过位移或弧长相来处理,而应通过卫星运动的圆心角来衡量。若它们初始位置在同一直线上,实际上内轨道所转过的圆心角与外轨道所转过的圆心角之差为  $\pi$  的整数倍时就是出现距离最近或最远的时刻。

### 「活动达标」

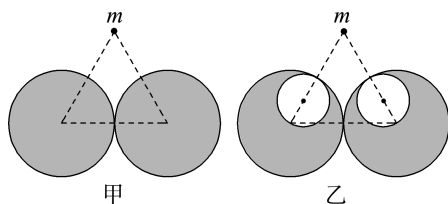
1. 如图所示,一个质量均匀分布的半径为  $R$  的球体对球外质点  $P$  (图中未画出) 的万有引力为  $F$ 。如果在球体中央挖去半径为  $r$  的一部分球体,且  $r = \frac{R}{2}$ , 则原球体剩余部分对质点  $P$  的万有引力变为 ( )



- A.  $\frac{F}{2}$       B.  $\frac{F}{8}$   
C.  $\frac{7F}{8}$       D.  $\frac{F}{4}$

C 解析:原来球体和质点  $P$  间的万有引力为  $F$ ,挖去半径为  $\frac{R}{2}$  的球体的质量为原来球体质量的  $\frac{1}{8}$ ,其他条件不变,故剩余部分对质点  $P$  的万有引力为  $F - \frac{F}{8} = \frac{7F}{8}$ , C 项正确。

2. 如图甲所示,两个半径均为  $R$ 、质量均为  $M$  的均匀球体靠在一起,与两球心相距均为  $2R$ 、质量为  $m$  的质点受到的两球对它的万有引力的合力为  $F_1$ 。现紧贴球的边缘各挖去一个半径为  $\frac{R}{2}$  的球形空穴,空穴球心在质点与原球心的连线上,如图乙所示,挖去后,质点受到的合力为  $F_2$ , 则 ( )



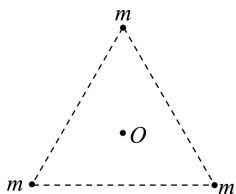
- A.  $F_2 = \frac{2}{9} F_1$       B.  $F_2 = \frac{4}{9} F_1$   
C.  $F_2 = \frac{5}{9} F_1$       D.  $F_2 = \frac{7}{9} F_1$

D 解析:把整个球体对质点的引力看成挖去的小球体和剩余部分对质点的引力之和。其中完整的均匀球体对球外质点  $m$  的引力为  $F_1 = \frac{GMm}{(2R)^2} \cdot 2\cos 30^\circ = \frac{GMm}{4R^2} \cdot 2\cos 30^\circ$ , 此力可以看成挖去后的剩余部分对质点的引力  $F_2$  与半径为  $\frac{R}{2}$  的小球对质点的引力  $F'$  之和,即  $F_1 = F_2 + F'$ 。因半径为  $\frac{R}{2}$  的小球质量  $M' = \frac{4}{3}\pi \cdot \left(\frac{R}{2}\right)^3 \cdot \rho = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{R}{2}\right)^3 \cdot \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{M}{8}$ , 则有  $F' = G \frac{\frac{1}{8}Mm}{\left(\frac{3}{2}R\right)^2} \cdot 2\cos 30^\circ = \frac{GMm}{18R^2} \cdot 2\cos 30^\circ$ , 所以挖去后的剩余部分对球外质点的引力为  $F_2 = F_1 - F' = \left(\frac{GMm}{4R^2} - \frac{GMm}{18R^2}\right) \cdot 2\cos 30^\circ$ 。

$$2\cos 30^\circ = \frac{7GMm}{36R^2} \cdot 2\cos 30^\circ, \text{ 所以有 } \frac{F_2}{F_1} = \frac{7}{9}, \text{ 故 D}$$

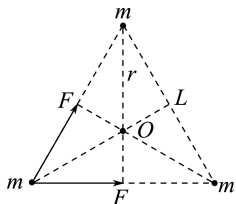
正确, A、B、C 错误。

3. 宇宙间存在一些离其他恒星较远的三星系统, 其中一种三星系统如图所示, 三颗质量均为  $m$  的星体位于等边三角形的三个顶点上, 三角形边长为  $L$ , 忽略其他星体对它们的引力作用, 三星在同一平面内绕三角形中心  $O$  点做匀速圆周运动, 引力常量为  $G$ 。下列说法正确的是 ( )



- A. 每颗星体做圆周运动的角速度为  $\sqrt{\frac{Gm}{L^3}}$   
 B. 每颗星体做圆周运动的加速度大小与三星的质量无关  
 C. 若距离  $L$  和每颗星体的质量  $m$  都变为原来的 2 倍, 则周期变为原来的 2 倍  
 D. 若距离  $L$  和每颗星体的质量  $m$  都变为原来的 2 倍, 则线速度变为原来的 4 倍

**C 解析:** 任意两星体间的万有引力  $F = G\frac{m^2}{L^2}$ , 对任意一星体进行受力分析, 如图所示, 由图中几何关系知  $r = \frac{\sqrt{3}}{3}L$ ,  $F_{\text{合}} = 2F\cos 30^\circ = \sqrt{3}F$ , 由牛顿第二定律和向心力公式可得  $F_{\text{合}} = m\omega^2 r$ , 联立可得  $\omega = \sqrt{\frac{3Gm}{L^3}}$ ,  $a = \omega^2 r = \frac{\sqrt{3}Gm}{L^2}$ , 故 A、B 两项错误; 由周期公式可得  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{L^3}{3Gm}}$ ,  $L$  和  $m$  都变为原来的 2 倍, 则周期  $T' = 2T$ , 故 C 项正确; 由速度公式可得  $v = \omega r = \sqrt{\frac{Gm}{L}}$ ,  $L$  和  $m$  都变为原来的 2 倍, 则线速度  $v' = v$ , 大小不变, 故 D 项错误。



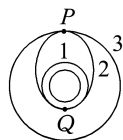
4. (多选) 宇宙中存在一些质量相等且离其他恒星较远的四颗星体组成的四星系统, 通常可忽略其他星体对它们的引力作用。设四星系统中每颗星体的质量均为  $m$ 、半径均为  $R$ , 四颗星体稳定分布在边长为  $a$  的正方形的四个顶点上。已知引力常量为

$G$ , 关于宇宙中的四星系统, 下列说法正确的是 ( )

- A. 四颗星体围绕正方形对角线的交点做匀速圆周运动  
 B. 四颗星体的轨道半径均为  $\frac{a}{2}$   
 C. 四颗星体表面的重力加速度均为  $\frac{Gm}{R^2}$   
 D. 四颗星体的周期均为  $2\pi a \sqrt{\frac{2a}{(4+\sqrt{2})Gm}}$

**ACD 解析:** 四星系统中, 其中一颗星体受其他三颗星体的万有引力作用, 合力方向指向对角线的交点, 围绕正方形对角线的交点做匀速圆周运动, 由几何知识可得轨道半径均为  $\frac{\sqrt{2}}{2}a$ , 故 A 正确, B 错误; 在每颗星体表面, 根据万有引力近似等于重力, 可得  $G\frac{mm'}{R^2} = m'g$ , 解得  $g = \frac{Gm}{R^2}$ , 故 C 正确; 由万有引力定律和向心力公式得  $\frac{Gm^2}{(\sqrt{2}a)^2} + \frac{\sqrt{2}Gm^2}{a^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot \frac{\sqrt{2}a}{2}$ , 解得  $T = 2\pi a \sqrt{\frac{2a}{(4+\sqrt{2})Gm}}$ , 故 D 正确。

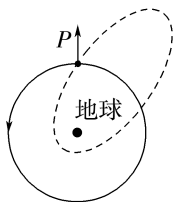
5. 如图所示为卫星发射过程的示意图, 先将卫星发射至近地圆轨道 1, 然后点火, 使其沿椭圆轨道 2 运行, 再一次点火, 将卫星送入同步圆轨道 3。轨道 1、2 相切于  $Q$  点, 轨道 2、3 相切于  $P$  点, 则当卫星分别在 1、2、3 轨道上正常运行时, 以下说法正确的是 ( )



- A. 卫星在轨道 3 上的速率大于在轨道 1 上的速率  
 B. 卫星在轨道 3 上的周期大于在轨道 2 上的周期  
 C. 卫星在轨道 1 上经过  $Q$  点时的速率大于它在轨道 2 上经过  $Q$  点时的速率  
 D. 卫星在轨道 2 上经过  $P$  点时的加速度小于它在轨道 3 上经过  $P$  点时的加速度

**B 解析:** 卫星在圆轨道上做匀速圆周运动时有  $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ ,  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ , 因为  $r_1 < r_3$ , 所以  $v_1 > v_3$ , A 项错误; 由开普勒第三定律知  $T_3 > T_2$ , B 项正确; 卫星在  $Q$  点从轨道 1 到轨道 2 做离心运动, 所以在  $Q$  点  $v_{2Q} > v_{1Q}$ , C 项错误; 在同一点  $P$ , 由  $\frac{GMm}{r^2} = ma_n$  知, 卫星在轨道 2 上经过  $P$  点的加速度等于它在轨道 3 上经过  $P$  点的加速度, D 项错误。

6. (2024·湖北卷) 太空碎片会对航天器带来危害。设空间站在地球附近沿逆时针方向做匀速圆周运动, 如图中实线所示。为了避开碎片, 空间站在  $P$  点向图中箭头所指径向方向极短时间喷射气体, 使空间站获得一定的反冲速度, 从而实现变轨。变轨后的轨道如图中虚线所示, 其半长轴大于原轨道半径, 则 ( )



- A. 空间站变轨前后在  $P$  点的加速度相同  
 B. 空间站变轨后的运动周期比变轨前的小  
 C. 空间站变轨后在  $P$  点的速度比变轨前的小  
 D. 空间站变轨前的速度比变轨后在近地点的大

**解析:** 变轨前后, 根据  $a = \frac{GM}{r^2}$  可知, 空间站在  $P$  点的加速度相同, A 正确; 由于变轨后的轨道半长轴大于变轨前的轨道半径, 则根据开普勒第三定律可知, 空间站变轨后的运动周期比变轨前的大, B 错误; 变轨时, 空间站喷气加速, 因此变轨后其在  $P$  点的速度比变轨前的大, C 错误; 变轨后, 空间站在近地点的速度最大, 大于变轨后在  $P$  点的速度, 结合 C 项分析可知, 变轨后空间站在近地点的速度大于变轨前的速度, D 错误。

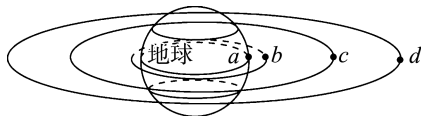
7. 地球赤道上的物体随地球自转的向心加速度为  $a_1$ , 地球同步卫星绕地球做匀速圆周运动的轨道半径为  $r$ , 向心加速度为  $a_2$ 。已知引力常量为  $G$ , 地球半径为  $R$ , 地球赤道表面的重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是 ( )

- A. 地球质量  $M = \frac{gr^2}{G}$   
 B. 地球质量  $M = \frac{a_1 r^2}{G}$   
 C.  $a_1, a_2, g$  的关系是  $g > a_2 > a_1$   
 D. 向心加速度大小之比  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r^2}{R^2}$

**解析:** 对地球同步卫星, 根据万有引力定律可得  $\frac{GMm}{r^2} = ma_2$ , 解得地球的质量  $M = \frac{a_2 r^2}{G}$ , 故 A、B 错误。地球赤道上的物体和地球同步卫星的角速度相等, 根据  $a = \omega^2 r$  知,  $a_1 < a_2$ ; 对于地球近地卫星有  $\frac{GMm}{R^2} = mg$ , 得  $g = \frac{GM}{R^2}$ , 对于地球同步卫星有  $\frac{GMm}{r^2} = ma_2$ , 得  $a_2 = \frac{GM}{r^2}$ , 因为  $r > R$ , 所以  $a_2 < g$ , 综合得  $g > a_2 > a_1$ , 故 C 正确。地球赤道上的物体与地球同步卫星角速度相同, 则根据  $a = \omega^2 r$ , 地球赤道上的物体与地球同步卫星的向心力加速度

大小之比  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{R}{r}$ , 故 D 错误。

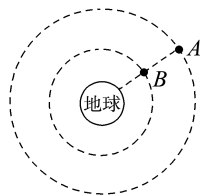
8. 有  $a, b, c, d$  四颗地球卫星, 卫星  $a$  在地球赤道上未发射, 卫星  $b$  在地面附近的近地轨道上正常运行, 卫星  $c$  是地球同步卫星, 卫星  $d$  是高空探测卫星。各卫星排列位置如图所示, 则有 ( )



- A. 卫星  $a$  的向心加速度等于重力加速度  $g$   
 B. 卫星  $b$  在相同时间内转过的弧长最长  
 C. 卫星  $c$  在 4 h 内转过的圆心角是  $\frac{\pi}{6}$   
 D. 卫星  $d$  的运行周期有可能是 20 h

**解析:** 同步卫星的周期与地球自转周期相同, 角速度相同, 根据  $a = \omega^2 r$  可知, 卫星  $c$  的向心加速度大于卫星  $a$  的向心加速度, 已知近地轨道上的卫星, 可近似认为向心力是由重力提供的, 故  $b$  的向心加速度约为  $g$ , 由  $\frac{GMm}{r^2} = ma$  知,  $a = \frac{GM}{r^2}$ , 轨道半径越大, 向心加速度越小, 则卫星  $c$  的向心加速度小于卫星  $b$  的向心加速度, 卫星  $a$  的向心加速度小于重力加速度  $g$ , A 项错误; 万有引力提供卫星做圆周运动所需的向心力, 由牛顿第二定律和向心力公式得  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ , 解得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ , 卫星轨道半径越大, 速度越小, 则  $b$  的速度最大, 在相同时间内转过的弧长最长, B 项正确; 卫星  $c$  是地球同步卫星, 周期是 24 h, 卫星  $c$  在 4 h 内转过的圆心角是  $\frac{\pi}{3}$ , C 项错误; 根据  $\frac{GMm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$  得  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$ , 轨道半径越大, 周期越大, 则卫星  $d$  的周期大于卫星  $c$  的周期, 大于 24 h, D 项错误。

9. 如图所示,  $A, B$  为地球的两个轨道共面的人造卫星, 运行方向相同,  $A$  为地球同步卫星,  $A, B$  卫星的轨道半径的比值为  $k$ , 地球自转周期为  $T_0$ 。某时刻  $A, B$  两卫星的距离达到最近, 从该时刻起到  $A, B$  间距离最远所经历的最短时间为 ( )



- A.  $\frac{T_0}{2(\sqrt{k^3} + 1)}$       B.  $\frac{T_0}{\sqrt{k^3} - 1}$

$$C. \frac{T_0}{2(\sqrt{k^3}-1)} \quad D. \frac{T_0}{\sqrt{k^3}+1}$$

C 解析:由开普勒第三定律得  $\frac{r_A^3}{T_A^2} = \frac{r_B^3}{T_B^2}$ , 故  $T_B =$

$$\sqrt{\left(\frac{r_B}{r_A}\right)^3} T_A = \frac{T_0}{\sqrt{k^3}}, \text{ 设两卫星至少经过时间 } t \text{ 距离}$$

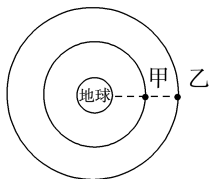
达到最远,即 B 比 A 多转半圈,有  $\frac{t}{T_B} - \frac{t}{T_A} = \frac{1}{2}$ , 又

$$T_A = T_0, \text{ 解得 } t = \frac{T_0}{2(\sqrt{k^3}-1)}, \text{ C 项正确, A、B、D 项}$$

错误。

10. 如图所示,甲、乙两颗卫星绕地球做圆周运动,已知甲卫星的周期为  $N$  h, 每过  $9N$  h, 乙卫星都要运动到与甲卫星同居于地球一侧且三者共线的位置上, 则甲、乙两颗卫星的线速度大小之比为

( )



- A.  $\frac{\sqrt[3]{9}}{2}$       B.  $\frac{\sqrt[3]{3}}{2}$   
C.  $\frac{2}{\sqrt[3]{3}}$       D.  $\frac{2}{\sqrt[3]{9}}$

A 解析:设甲、乙卫星的周期分别为  $T_1$ 、 $T_2$ , 由

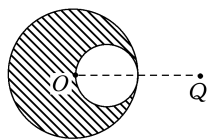
$$\left(\frac{2\pi}{T_1} - \frac{2\pi}{T_2}\right) \cdot 9N \text{ h} = 2\pi, T_1 = N \text{ h}, \text{ 解得 } \frac{T_2}{T_1} = \frac{9}{8};$$

根据开普勒定律得  $\frac{r_2}{r_1} = \left(\frac{9}{8}\right)^{\frac{2}{3}}$ , 线速度的大小为

$$v = \frac{2\pi r}{T}, \text{ 则 } \frac{v_1}{v_2} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{8}{9}\right)^{\frac{2}{3}} \times \frac{9}{8} = \frac{\sqrt[3]{9}}{2}, \text{ A}$$

正确。

11. 有一质量为  $M$ 、半径为  $R$  的密度均匀球体, 在距离球心  $O$  为  $2R$  的地方有一质量为  $m$  的质点  $Q$ , 现在从  $M$  中挖去一半径为  $\frac{R}{2}$  的球体, 如图所示, 剩下部分对质点  $Q$  的万有引力  $F$  为多大(引力常量为  $G$ )?



解析:设想将被挖部分重新补回, 则完整球体对质点  $Q$  的万有引力为  $F_1$ , 可以看作是剩余部分对质点  $Q$  的万有引力  $F$  与被挖小球对质点  $Q$  的万有引力  $F_2$  的合力, 即  $F_1 = F + F_2$

设被挖小球的质量为  $M'$ , 其球心到质点间的距离为  $R'$ , 由题意知  $M' = \frac{M}{8}$ ,  $R' = \frac{3R}{2}$ , 由万有引力定律得

$$F_1 = \frac{GMm}{(2R)^2} = G \frac{Mm}{4R^2}, F_2 = G \frac{M'm}{R'^2} = G \frac{Mm}{18R^2}$$

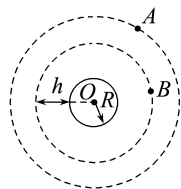
$$\text{故 } F = F_1 - F_2 = \frac{7GMm}{36R^2}.$$

答案:  $\frac{7GMm}{36R^2}$

12. 如图所示, A 是地球的同步卫星, 另一卫星 B 的圆形轨道位于赤道平面内, 离地面的高度为  $h$ . 已知地球半径为  $R$ , 地球自转角速度为  $\omega_0$ , 地球表面的重力加速度为  $g$ ,  $O$  为地球球心。

(1) 求卫星 B 的运行周期。

(2) 如果卫星 B 的绕行方向与地球自转方向相同, 某时刻 A、B 两卫星相距最近 ( $O$ 、 $B$ 、 $A$  在同一直线上), 则至少经过多长的时间, 它们再一次相距最近?



解析:(1) 地球对卫星的万有引力提供卫星做圆周运动的向心力, 故卫星 B 有

$$G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \frac{4\pi^2}{T_B^2} (R+h)$$

若不考虑地球自转的影响, 地面上质量为  $m'$  的物体所受的重力等于地球对物体的引力, 即  $m'g =$

$$\frac{GMm'}{R^2}$$

$$\text{联立解得 } T_B = 2\pi \sqrt{\frac{(R+h)^3}{gR^2}}.$$

(2) 它们再一次相距最近时, 一定是 B 比 A 多转了一圈, 有  $(\omega_B - \omega_0)t = 2\pi$

$$\text{又因为 } \omega_B = \frac{2\pi}{T_B} = \sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)^3}}$$

$$\text{所以解得 } t = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)^3}} - \omega_0} = \frac{2\pi \sqrt{(R+h)^3}}{\sqrt{gR^2} - \omega_0 \sqrt{(R+h)^3}}.$$

答案:(1)  $2\pi \sqrt{\frac{(R+h)^3}{gR^2}}$

(2)  $\frac{2\pi \sqrt{(R+h)^3}}{\sqrt{gR^2} - \omega_0 \sqrt{(R+h)^3}}$

## 章末质量评估(三)

### 万有引力定律

(时间:75分钟 分值:100分)

一、单项选择题:本题共7小题,每小题4分,共28分。每小题只有一项是符合题目要求的。

1. 下列说法正确的是 ( )

- A. 第一宇宙速度是人造卫星环绕地球运动的速度
- B. 第一宇宙速度是人造卫星在地面附近绕地球做匀速圆周运动所必须具有的速度
- C. 如果需要,地球同步卫星可以定点在地球上空的任何一点
- D. 地球同步卫星的轨道可以是圆形,也可以是椭圆形

**B 解析:**第一宇宙速度是人造卫星在地面附近绕地球做匀速圆周运动所必须具有的速度,而人造卫星环绕地球运动的速度随着半径的增大而减小,故A错误,B正确;地球同步卫星的运行轨道是位于地球赤道平面上的圆形轨道,运行周期与地球的自转周期相等,故C、D错误。

2. 关于开普勒第三定律,下列理解正确的是 ( )

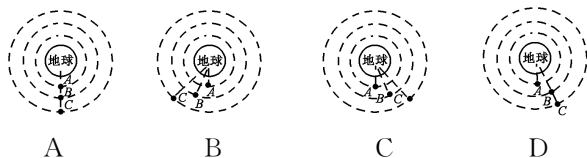
- ①公式  $\frac{R^3}{T^2} = k$ ,  $k$  是一个与行星无关的常量
  - ②若地球绕太阳运转轨道的半长轴为  $a$ , 周期为  $T_1$ , 月球绕地球运转轨道的半长轴为  $b$ , 周期为  $T_2$ , 则  $\frac{a^3}{T_1^2} = \frac{b^3}{T_2^2}$
  - ③公式  $\frac{R^3}{T^2} = k$  中的  $T$  表示行星运动的自转周期
  - ④公式  $\frac{R^3}{T^2} = k$  中的  $T$  表示行星运动的公转周期
- A. ①②    B. ③④    C. ②③    D. ①④

**D 解析:**由万有引力提供向心力得  $\frac{GMm}{R^2} = mR \frac{4\pi^2}{T^2}$ , 解得  $\frac{R^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$ , 则公式  $\frac{R^3}{T^2} = k$  中的  $k = \frac{GM}{4\pi^2}$ ,  $G$ 、 $\pi$  为常数,  $M$  是中心天体的质量, 故  $k$  是一个与行星无关的常量, ①正确; 因为地球和月球分别绕不同的中心天体运动, 故  $\frac{a^3}{T_1^2} \neq \frac{b^3}{T_2^2}$ , ②错误; 由①可知, 公式  $\frac{R^3}{T^2} = k$  中的  $T$  表示行星绕中心天体的公转周期, ③错误, ④正确。故D正确。

3. 如图所示,若三颗人造地球卫星A、B、C在同一平面内沿不同的轨道绕地球做匀速圆周运动,且绕行方向相同。已知它们的轨道半径  $R_A < R_B < R_C$ 。若在某一时刻,它们



正好运行到同一条直线上,如图所示。那么再经过卫星A的四分之一周期时,卫星A、B、C的位置可能是 ( )



**C 解析:**根据万有引力提供圆周运动的向心力有  $G \frac{Mm}{r^2} = mr\omega^2 = mr \frac{4\pi^2}{T^2}$ , 解得  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ,  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$ , 轨道半径越大, 周期越大, 角速度越小, 相同的时间内转过的角度越小。因为  $R_A < R_B < R_C$ , 所以  $\omega_A > \omega_B > \omega_C$ , 在卫星A转过  $\frac{1}{4}T$  的时间内, 三颗卫星相对地球转过的角度:  $\theta_A > \theta_B > \theta_C$ , 所以C正确, A、B、D错误。

4. 已知某星球的第一宇宙速度为8 km/s, 设该星球半径为  $R$ , 则在距离该星球表面高度为  $3R$  的轨道上做匀速圆周运动的宇宙飞船的运行速度为 ( )

- A.  $2\sqrt{2}$  km/s    B. 4 km/s
- C.  $4\sqrt{2}$  km/s    D. 8 km/s

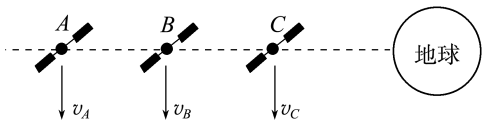
**B 解析:**第一宇宙速度  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = 8$  km/s, 而距该星球表面高度为  $3R$  的宇宙飞船的运行速度  $v' = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{4R}} = \frac{v}{2} = 4$  km/s。

5. 为了研究太阳演化的进程, 需要知道太阳的质量。已知地球的半径为  $R$ , 地球的质量为  $m$ , 日地中心的距离为  $r$ , 地球表面的重力加速度为  $g$ , 地球绕太阳公转的周期为  $T$ , 则太阳的质量为 ( )

- A.  $\frac{4\pi^2 mr^3}{T^2 R^2 g}$     B.  $\frac{T^2 R^2 g}{4\pi^2 mr^3}$
- C.  $\frac{4\pi^2 mgR^2}{r^3 T^2}$     D.  $\frac{r^3 T^2}{4\pi m R^2 g}$

**A 解析:**地球绕太阳公转所需的向心力由太阳对地球的引力提供, 则由万有引力定律和动力学知识得  $\frac{GMm}{r^2} = mr \frac{4\pi^2}{T^2}$ , 对地球表面物体, 根据万有引力等于重力得  $\frac{Gmm'}{R^2} = m'g$ , 两式联立得  $M = \frac{4\pi^2 mr^3}{T^2 R^2 g}$ 。

6. 如图所示, 在同一轨道平面上的几颗人造地球卫星 A、B、C 绕地球做匀速圆周运动, 某一时刻它们恰好在同一直线上。下列说法正确的是 ( )



- A. 根据  $v = \sqrt{gr}$  可知, 运行速度满足  $v_A > v_B > v_C$   
 B. 运转角速度大小满足  $\omega_A > \omega_B > \omega_C$   
 C. 向心加速度满足  $a_A < a_B < a_C$   
 D. 从此刻开始计时, A 最先回到图示位置

**C 解析:** 由  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$  得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,  $r$  越大, 则  $v$  越小, 故  $v_A < v_B < v_C$ , 选项 A 错误; 由  $\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r$  得  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ,  $r$  越大, 则  $\omega$  越小, 故  $\omega_A < \omega_B < \omega_C$ , 选项 B、D 错误; 由  $\frac{GMm}{r^2} = ma$  得  $a = \frac{GM}{r^2}$ ,  $r$  越大, 则  $a$  越小, 故  $a_A < a_B < a_C$ , 选项 C 正确。

7. (2025·湖南卷) 我国研制的“天问二号”探测器的任务是对伴地小行星及彗星交会等进行多目标探测。某同学提出以下探究方案: 释放卫星, 使其绕小行星做圆周运动, 可测得小行星的半径  $R$  和质量  $M$ 。为探测某自转周期为  $T_0$  的小行星, 卫星先在其同步轨道上运行, 测得卫星距离小行星表面高度为  $h$ , 接下来变轨到小行星表面附近绕其做匀速圆周运动, 测得周期为  $T_1$ 。已知引力常量为  $G$ , 不考虑其他天体对卫星的引力, 可根据以上物理量得到

$$R = \frac{a^{\frac{2}{3}}}{b^{\frac{2}{3}} - a^{\frac{2}{3}}} h, M = \frac{4\pi^2 R^3}{Gc^2}。 \text{下列选项正确的是}$$

- ( )  
 A.  $a$  为  $T_1$ ,  $b$  为  $T_0$ ,  $c$  为  $T_1$   
 B.  $a$  为  $T_1$ ,  $b$  为  $T_0$ ,  $c$  为  $T_0$   
 C.  $a$  为  $T_0$ ,  $b$  为  $T_1$ ,  $c$  为  $T_1$   
 D.  $a$  为  $T_0$ ,  $b$  为  $T_1$ ,  $c$  为  $T_0$

**A 解析:** 根据题意, 卫星在小行星同步轨道和表面附近轨道运行时轨道半径分别为  $R+h$ 、 $R$ , 设小行星和卫星的质量分别为  $m_0$ 、 $m$ , 由开普勒第三定律

$$\text{有 } \frac{(R+h)^3}{T_0^2} = \frac{R^3}{T_1^2}, \text{ 解得 } R = \frac{T_1^{\frac{2}{3}}}{T_0^{\frac{2}{3}} - T_1^{\frac{2}{3}}} h, \text{ 卫星绕小}$$

行星表面附近做匀速圆周运动, 由万有引力提供向

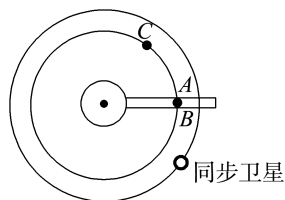
$$\text{心力有 } \frac{Gm_0 m}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T_1^2} R, \text{ 解得 } m_0 = \frac{4\pi^2 R^3}{GT_1^2}。 \text{ 根据对}$$

应结果可得  $a$  为  $T_1$ ,  $b$  为  $T_0$ ,  $c$  为  $T_1$ 。故 A 正确。

- 二、多项选择题: 本题共 3 小题, 每小题 6 分, 共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分, 选对但不全的得 3 分, 有选错的得 0 分。

8. 设想在地球赤道平面内有一垂直于地面延伸到太空的轻质电梯, 电梯顶端可超过地球的同步卫星高度  $R$  延伸到太空深处。这种所谓的太空电梯可用

于低成本地发射绕地人造卫星。其发射方法是将卫星通过太空电梯匀速提升到某高度, 然后启动推进装置将卫星从太空电梯发射出去。如图所示, 设在某次发射时, 卫星 A 在太空电梯中极其缓慢地匀速上升, 该卫星在上升到  $0.8R$  的 B 处意外和太空电梯脱离(脱离时卫星相对于太空电梯上脱离处的速度可视为零)而进入太空, 卫星 C 的轨道高度恰为  $0.8R$ 。设地球半径为  $r$ , 地球表面重力加速度为  $g$ , 则



- ( )  
 A. 卫星 A 在太空电梯上运动到 B 处时, 其角速度大小与卫星 C 相同  
 B. 卫星 A 在太空电梯上运动到 B 处时, 其周期与同步卫星相同  
 C. 此卫星脱离太空电梯的最初一段时间内将做逐渐靠近地心的曲线运动  
 D. 欲使卫星脱离太空电梯后做匀速圆周运动, 需要

在释放的时候沿原速度方向让它加速到  $\sqrt{\frac{5gr^2}{4R}}$

**BC 解析:** 卫星 A 在太空电梯上运动到 B 处时, 与地球的自转角速度相同, 即与同步卫星的角速度、周期都相同, 而卫星 C 的轨道高度小于同步卫星的轨道高度, 卫星 C 的角速度大于同步卫星的角速度, 所以卫星 A 在太空电梯上运动到 B 处时, 其角速度小于卫星 C 的角速度, 故 A 错误, B 正确; 离开电梯瞬间, 卫星 A 相对于太空电梯的速度为零, 万有引力大于需要的向心力, 此后会做向心运动, 即卫星脱离太空电梯的最初一段时间内将做逐渐靠近地心的曲线运动, 故 C 正确; 欲使卫星脱离太空电梯后做匀速圆周运动, 需要增大速度, 使得万有

引力等于向心力, 即  $G \frac{Mm}{(0.8R+r)^2} = m \frac{v^2}{0.8R+r}$ ,

$$\text{又 } \frac{GMm}{r^2} = mg, \text{ 故 } v = \sqrt{\frac{gr^2}{0.8R+r}}, \text{ 故 D 错误。}$$

9. 使物体成为卫星的最小发射速度称为第一宇宙速度  $v_1$ , 而使物体脱离星球引力所需要的最小发射速度称为第二宇宙速度  $v_2$ ,  $v_2$  与  $v_1$  的关系是  $v_2 = \sqrt{2}v_1$ 。已知某星球半径是地球半径  $R$  的  $\frac{1}{3}$ , 其表面的重力加速度是地球表面重力加速度  $g$  的  $\frac{1}{6}$ , 地球的平均密度为  $\rho$ , 不计其他星球的影响, 则 ( )

- A. 该星球的第一宇宙速度为  $\frac{\sqrt{3gR}}{3}$

B. 该星球的第二宇宙速度为  $\frac{\sqrt{gR}}{3}$

C. 该星球的平均密度为  $\frac{\rho}{2}$

D. 该星球的质量为  $\frac{8\pi R^3 \rho}{81}$

BC 解析: 该星球表面的重力加速度  $g' = \frac{g}{6}$ , 由

$$mg' = \frac{mv_1^2}{R} \text{ 可得该星球的第一宇宙速度 } v_1 = \sqrt{\frac{g'R}{3}}$$

$$= \sqrt{\frac{gR}{18}}, \text{ 该星球的第二宇宙速度 } v_2 = \sqrt{2} v_1 =$$

$$\frac{\sqrt{gR}}{3}, \text{ 故 A 错误, B 正确; 地球表面上物体的重力}$$

等于万有引力, 即  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ , 地球的质量为  $M =$

$$\frac{gR^2}{G} = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3, \text{ 同理, 该星球的质量为 } M' =$$

$$\frac{g'R'^2}{G} = \rho' \cdot \frac{4}{3} \pi R'^3, \text{ 联立解得 } \rho' = \frac{\rho}{2}, M' =$$

$$\frac{2\pi\rho R^3}{81}, \text{ 故 C 正确, D 错误.}$$

10. (2025·安徽卷) 2025年4月, 我国已成功构建国际首个基于 DRO(远距离逆行轨道) 的地月空间三星座, DRO 具有“低能进入、稳定停泊、机动转移”的特点。若卫星甲从 DRO 变轨进入环月椭圆轨道, 该轨道的近月点和远月点距月球表面的高度分别为  $a$  和  $b$ , 卫星的运行周期为  $T$ ; 卫星乙从 DRO 变轨进入半径为  $r$  的环月圆形轨道, 周期也为  $T$ 。月球的质量为  $m_{\text{月}}$ , 半径为  $R$ , 引力常量为  $G$ 。假设只考虑月球对卫星甲、乙的引力, 则 ( )

A.  $r = \frac{a+b+R}{2}$

B.  $r = \frac{a+b}{2} + R$

C.  $m_{\text{月}} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$

D.  $m_{\text{月}} = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$

BC 解析: 对于题述的环月椭圆轨道和环月圆轨道, 根据开普勒第三定律有  $\frac{(\frac{a+b+2R}{2})^3}{T^2} = \frac{r^3}{T^2}$ , 可

得  $r = \frac{a+b}{2} + R$ , 故 A 错误, B 正确; 对于环月圆轨道, 根据万有引力提供向心力可得  $\frac{Gm_{\text{月}}m}{r^2} =$

$$m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r, \text{ 解得 } m_{\text{月}} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}, \text{ 故 C 正确, D 错误.}$$

三、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。其中第 12~15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤; 有数值计算时, 答案中必须明确写出数值和单位。

11. (12 分) 假设一艘宇宙飞船飞近某一新发现的行星, 并进入靠近行星表面的圆形轨道绕行数圈后, 着陆在该行星上。飞船上备有以下实验器材:

- A. 精确停表一个;
- B. 已知质量为  $m$  的物体一个;
- C. 弹簧测力计一个;
- D. 天平一台(附砝码)。

已知一航天员在绕行时和着陆后各做了一次测量, 依据测量数据, 可求出该行星的半径  $R$  和行星密度  $\rho$ 。(已知引力常量为  $G$ )

(1) 两次测量所选用的器材分别为 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ (用序号表示)。

(2) 两次测量的物理量分别是 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ (写出物理量名称和表示的字母)。

(3) 用上述数据推导出半径  $R$ 、密度  $\rho$  的表达式:  $R =$  \_\_\_\_\_,  $\rho =$  \_\_\_\_\_。

解析: 飞船绕行时, 对质量为  $m$  的物体, 由万有引力提供向心力, 则有

$$G \frac{Mm}{R^2} = mR \frac{4\pi^2}{T^2} = F$$

$$\text{得 } R = \frac{FT^2}{4\pi^2 m}$$

由上式还可得

$$M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$$

$$\text{则 } \rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi}{GT^2}$$

因而需要用停表测量绕行周期  $T$ , 用弹簧测力计测量物体的重力  $F$ 。

答案: (1) A B 和 C (2) 绕行周期  $T$  物体的重力  $F$

(3)  $\frac{FT^2}{4\pi^2 m} \quad \frac{3\pi}{GT^2}$

12. (8 分) 我国自主研发的北斗卫星导航系统包括静止轨道卫星(同步卫星)和非静止轨道卫星, 将为全球用户提供高精度、高可靠性的定位、导航服务。假设 A 为地球同步卫星, 质量为  $m_1$ ; B 为绕地球做圆周运动的非静止轨道卫星, 质量为  $m_2$ , 离地面高度为  $h$ 。已知地球半径为  $R$ , 地球自转周期为  $T_0$ , 地球表面的重力加速度为  $g$ 。求:

- (1) 卫星 A 运行的角速度大小;
- (2) 卫星 B 运行的线速度大小。

解析: (1) 同步卫星 A 的周期与地球自转周期相等, 所以卫星 A 运行的角速度大小为  $\omega = \frac{2\pi}{T_0}$ 。

(2) 卫星  $B$  绕地球做匀速圆周运动, 设地球质量为  $M$ , 根据万有引力定律和牛顿第二定律, 有

$$G \frac{Mm_2}{(R+h)^2} = m_2 \frac{v^2}{R+h}$$

在地球表面有  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$

$$\text{联立解得 } v = R \sqrt{\frac{g}{R+h}}$$

$$\text{答案: (1) } \frac{2\pi}{T_0} \quad (2) R \sqrt{\frac{g}{R+h}}$$

13. (10分) 利用火箭发射宇宙飞船, 开始阶段火箭竖直升空, 设向上的加速度  $a = 5 \text{ m/s}^2$ , 在宇宙飞船中用弹簧测力计悬挂一个质量为  $m = 9 \text{ kg}$  的物体。当飞船上升到某高度时, 弹簧测力计示数为  $85 \text{ N}$ , 那么此时飞船距地面的高度是多少? (取地球半径  $R = 6400 \text{ km}$ , 地球表面重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

解析: 当上升到距地面  $h$  高处时, 对飞船中的物体进行受力分析, 运用牛顿第二定律有

$$F - mg' = ma$$

由万有引力近似等于物体重力得

$$\text{开始升空时 } mg = G \frac{Mm}{R^2}$$

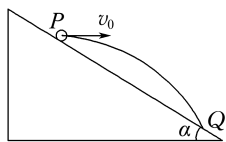
$$\text{在 } h \text{ 高处时 } mg' = G \frac{Mm}{(R+h)^2}$$

$$\text{由以上三式解得 } h = \frac{R}{2} = 3200 \text{ km}.$$

答案:  $3200 \text{ km}$

14. (12分) 假设一航天员站在某质量分布均匀的星球表面一斜坡上的  $P$  点, 沿水平方向以初速度  $v_0$  抛出一个小球, 测得小球经时间  $t$  落到斜坡另一点  $Q$  上, 已知斜坡的倾角为  $\alpha$ , 该星球的半径为  $R$ , 引力常量为  $G$ , 球的体积公式是  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ , 不计空气阻力。求:

- (1) 该星球表面的重力加速度  $g$ ;
- (2) 该星球的密度;
- (3) 该星球的第一宇宙速度。



解析: (1) 物体落在斜面上有

$$\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t}$$

$$\text{所以 } g = \frac{2v_0 \tan \alpha}{t}$$

(2) 根据万有引力等于重力得  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$

$$\text{解得星球的质量 } M = \frac{gR^2}{G}$$

$$\text{而 } V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

$$\text{则密度 } \rho = \frac{M}{V} = \frac{gR^2}{G} = \frac{3v_0 \tan \alpha}{2\pi GRt}$$

(3) 根据万有引力提供向心力得  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$

$$\text{则 } v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{gR} = \sqrt{\frac{2v_0 R \tan \alpha}{t}}$$

$$\text{答案: (1) } \frac{2v_0 \tan \alpha}{t} \quad (2) \frac{3v_0 \tan \alpha}{2\pi GRt}$$

$$(3) \sqrt{\frac{2v_0 R \tan \alpha}{t}}$$

15. (12分) 北斗卫星导航系统是我国自主研制的全球卫星导航系统, 其由若干地球静止轨道卫星、倾斜地球同步轨道卫星和中圆地球轨道卫星组成。

(1) 若已知地球的平均半径为  $R_0$ , 自转周期为  $T_0$ , 地表的重力加速度为  $g$ , 试求同步卫星的轨道半径  $R$ 。

(2) 有一颗与上述同步卫星在同一轨道平面的低轨道卫星, 自西向东绕地球运行, 其运行半径为同步轨道半径  $R$  的四分之一。试求该卫星至少每隔多长时间在同一城市的正上方出现一次。(计算结果只能用题中已知物理量的符号表示)

解析: (1) 设地球的质量为  $M$ , 同步卫星的质量为  $m$ , 运动周期为  $T$ , 因为卫星做圆周运动的向心力由万有引力提供, 故

$$G \frac{Mm}{R^2} = mR \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2$$

同步卫星的周期  $T = T_0$

而在地球表面附近, 万有引力等于重力,

$$\text{有 } G \frac{Mm}{R_0^2} = mg$$

$$\text{联立解得 } R = \sqrt[3]{\frac{gR_0^2 T_0^2}{4\pi^2}}$$

(2) 根据开普勒第三定律  $\frac{a^3}{T^2} = k$ , 得  $\frac{T'^2}{T_0^2} = \left( \frac{R}{4R} \right)^3$

$$\text{因而 } T' = \frac{T_0}{8}$$

设卫星至少每隔  $t$  时间在同一城市的正上方出现一次, 根据圆周运动角速度大小与所转过的圆心角的关系  $\theta = \omega t$  得  $\frac{2\pi}{T'} t = 2\pi + \frac{2\pi}{T_0} t$

$$\text{解得 } t = \frac{T_0}{7}$$

即卫星至少每隔  $\frac{T_0}{7}$  时间在同一城市的正上方出现一次。

$$\text{答案: (1) } \sqrt[3]{\frac{gR_0^2 T_0^2}{4\pi^2}} \quad (2) \frac{T_0}{7}$$

## 第四章

## 机械能及其守恒定律

## 1 功

## 学习任务目标

- 1.理解功的概念,知道力和物体在力的方向上发生位移是做功的两个不可缺少的因素。(物理观念)
- 2.掌握公式  $W = Fx \cos \alpha$  的应用条件,并能进行相关计算;理解正功和负功的概念,知道在什么情况下力做正功或负功。(科学思维)
- 3.掌握合力做功的意义和总功的含义,会计算多个力的总功。(科学思维)
- 4.体会科学研究方法对人类认识自然的重要作用,能运用功解决与生产和生活相关的实际问题。(科学态度与责任)

## 问题式预习

## 知识点一 功的概念

- 1.概念:物体受到力的作用,并在力的方向上发生了位移,这个力就对物体做了功。
- 2.因素:①力;②物体在力的方向上发生的位移。
- 3.物理意义:功是能量转化的量度。

## [科学思维]

物理学中的“做功”与日常生活中的“做工”一样吗?

**提示:**物理学中的“做功”必须满足做功的两个必要条件。日常生活中的“做工”泛指一切消耗脑力或体力的活动。因此“做工”不一定“做功”,但“做功”一定“做工”。

## [判一判]

- (1)凡是发生了位移的物体,作用在物体上的力一定对物体做功。 ( × )
- (2)只要有力作用在物体上,这个力就一定对物体做功。 ( × )
- (3)作用在做匀速运动的物体上的力一定对物体做功。 ( × )
- (4)作用在做匀变速运动的物体上的力一定对物体做功。 ( × )

## 知识点二 功的计算

## 1.公式

- (1)力  $F$  与位移  $x$  同向时:  $W = Fx$ ;
- (2)力  $F$  与位移  $x$  有夹角  $\alpha$  时:  $W = Fx \cos \alpha$ 。

2.符号含义:其中  $F$ 、 $x$ 、 $\cos \alpha$  分别表示力的大小、位移的大小、力与位移夹角的余弦。

3.单位及性质:  $F$  的单位是牛顿,  $x$  的单位是米,  $W$  的单位是牛·米,即焦耳;功是标量。

## 4.总功的计算

当一个物体在几个力的共同作用下发生一段位移时,这几个力对物体所做的总功等于:

- (1)各个分力分别对物体所做功的代数和;
- (2)这几个力的合力对物体所做的功。

## [科学思维]

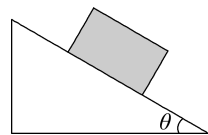
体育课上,甲同学踢足球的平均作用力大小为  $100 \text{ N}$ ,足球在地上滚动了  $20 \text{ m}$  后停止运动,乙同学这样计算甲同学对足球做的功:  $W = Fl = 100 \times 20 \text{ J} = 2\,000 \text{ J}$ 。这个结果对吗?为什么?

**提示:**不正确。踢球时的作用力仅在脚与球接触的时间内存在,球在地上滚动前进  $20 \text{ m}$  的过程中甲同学对它无作用力,即沿作用力方向的位移不是  $20 \text{ m}$ ,所以这种求功的方法不正确。

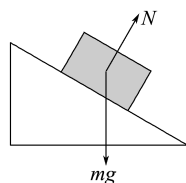
## [做一做]

如图所示,一质量为  $m$  的物块沿斜面长度为  $L$  的光滑斜面由顶端滑至底端,斜面倾角为  $\theta$ 。

- (1)物块受哪些力作用?画出力的示意图。
- (2)每个力做多少功?



**解析:**(1)物块受重力  $mg$ 、支持力  $N$ ,受力示意图如图所示。



(2) 支持力  $N$  与位移垂直, 做功为 0

重力做功  $W_G = mgL \cos(90^\circ - \theta) = mgL \sin \theta$ 。

答案: (1) 重力、支持力 见解析图

(2) 支持力做功为 0, 重力做功为  $mgL \sin \theta$

### 知识点三 功的正负

1. 当  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  时,  $\cos \alpha = 0$ , 则  $W = 0$ , 即力对物体 不 做功。

2. 当  $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$  时,  $\cos \alpha > 0$ , 则  $W > 0$ , 即力对物体做 正 功。

3. 当  $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$  时,  $\cos \alpha < 0$ , 则  $W < 0$ , 即力对物体做 负 功或物体克服该力做功。

### [科学思维]

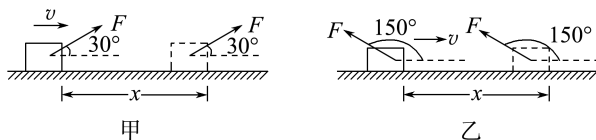
假设用力  $F_1$  拉小车做功 100 J, 用力  $F_2$  拉小车

做功 -120 J。于是一同学说,  $F_1$  做正功, 所以  $F_1$  做功多。这位同学的说法对吗?

提示: 不对。功是标量, 做功的正负仅表示是动力做功还是阻力做功, 不表示做功的多少, 故该同学的说法错误。

### [做一做]

某物体在力  $F$  作用下水平向右运动的位移为  $x$ , 拉力的方向分别如图甲、乙所示, 分别求两种情况下拉力对物体做的功。

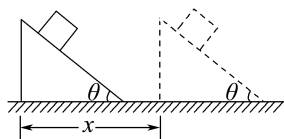


答案: 甲:  $\frac{\sqrt{3}}{2}Fx$  乙:  $-\frac{\sqrt{3}}{2}Fx$  (“-”说明物体克服拉力做功)

## 任务型课堂

### 任务一 功的理解与计算

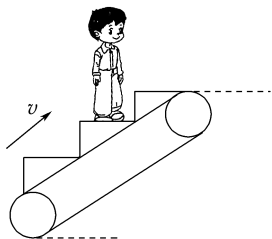
1. 质量为  $m$  的物体静止在倾角为  $\theta$  的斜面上, 斜面沿水平方向向右匀速移动了距离  $x$ , 如图所示。物体  $m$  始终相对斜面静止, 则下列说法不正确的是



( A )

- A. 重力对物体做正功
- B. 合力对物体做功为零
- C. 摩擦力对物体做负功
- D. 支持力对物体做正功

2. (多选) 如图所示, 人站在自动扶梯上不动, 随扶梯向上匀速运动。下列说法正确的是 ( ACD )



- A. 重力对人做负功
- B. 摩擦力对人做正功
- C. 支持力对人做正功
- D. 合力对人做功为零

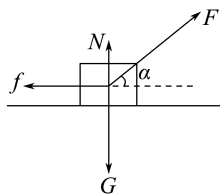
3. 如图所示, 雪橇在与水平方向成  $\alpha$  角的拉力  $F$  的作

用下, 在水平雪面上沿直线匀速前进了距离  $x$ 。

- (1) 求作用在雪橇上的各个力所做的功。
- (2) 外力对雪橇做的总功是多少?



解析: 如图所示, 雪橇受到重力  $G$ 、支持力  $N$ 、拉力  $F$  和摩擦力  $f$  的作用。



(1) 由于雪橇做匀速直线运动, 因此摩擦力  $f = F \cos \alpha$

则重力做功为  $W_G = Gx \cos 90^\circ = 0$

支持力做功为  $W_N = Nx \cos 90^\circ = 0$

拉力  $F$  做功为  $W_F = Fx \cos \alpha$

摩擦力做功为  $W_f = fx \cos 180^\circ = -Fx \cos \alpha$ 。

(2) 外力做的总功为  $W_{\text{总}} = W_G + W_N + W_F + W_f = 0$ 。

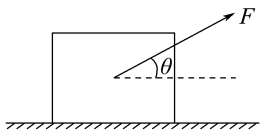
答案: (1)  $W_G = 0$   $W_N = 0$   $W_F = Fx \cos \alpha$

$W_f = -Fx \cos \alpha$  (2) 零

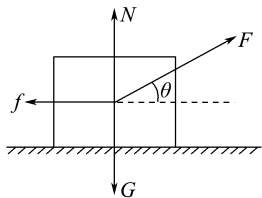
4. 如图所示, 质量为  $m = 2 \text{ kg}$  的物体静止在水平地面上, 受到与水平地面夹角  $\theta = 37^\circ$ 、大小  $F = 10 \text{ N}$  的

拉力作用,物体移动了  $x=2\text{ m}$ ,物体与地面间的动摩擦因数  $\mu=0.3$ 。取  $g=10\text{ m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ=0.6$ ,  $\cos 37^\circ=0.8$ 。求:

- (1) 拉力  $F$  所做的功  $W_1$ ;
- (2) 摩擦力  $f$  所做的功  $W_2$ ;
- (3) 重力  $G$  所做的功  $W_3$ ;
- (4) 弹力  $N$  所做的功  $W_4$ ;
- (5) 合力  $F_{\text{合}}$  所做的功  $W$ 。



**解析:** (1) 对物体进行受力分析,如图所示,拉力  $F$  做的功  $W_1 = Fx \cos \theta = 10 \times 2 \times 0.8\text{ J} = 16\text{ J}$ 。



(2) 竖直方向有  $N = G - F \sin \theta = 2 \times 10\text{ N} - 10 \times 0.6\text{ N} = 14\text{ N}$

摩擦力  $f = \mu N = 0.3 \times 14\text{ N} = 4.2\text{ N}$

摩擦力做的功

$W_2 = fx \cos 180^\circ = -4.2 \times 2\text{ J} = -8.4\text{ J}$ ,“-”表明物体克服摩擦力做功。

(3) 重力做功  $W_3 = Gx \cos 90^\circ = 0$ 。

(4) 弹力做功  $W_4 = Nx \cos 90^\circ = 0$ 。

(5) 合力所做的功  $W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 7.6\text{ J}$ 。

**答案:** (1) 16 J (2) -8.4 J (3) 零 (4) 零

(5) 7.6 J

### 任务总结

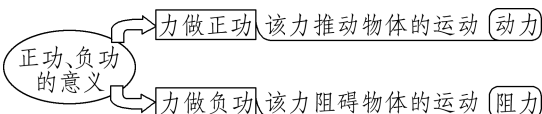
#### 1. 对功的公式 $W = Fx \cos \alpha$ 的理解

(1) 公式中的  $F$  是恒力,即公式  $W = Fx \cos \alpha$  并不是普遍适用的,它只适用于大小和方向均不变的恒力做功。如果  $F$  是变力, $W = Fx \cos \alpha$  就不再适用了。

(2)  $F$  与  $x$  必须具备同时性,即  $x$  必须是力  $F$  作用过程中物体在力的方向上的位移。如果力消失后物体继续运动,力所做的功就只跟力作用的那段位移有关,跟其余的位移无关。

#### 2. 正功、负功的意义

功的正负由力和位移之间的夹角决定,功的正负不表示方向,只是用来说明做功的力对物体来说是动力还是阻力。力与位移之间的夹角为钝角时力做负功。

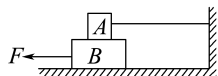


#### 3. 求总功的两种方法

- (1) 先确定物体所受的合外力,再根据公式  $W_{\text{合}} = F_{\text{合}} x \cos \alpha$  求解合外力的功。
- (2) 先根据  $W = Fx \cos \alpha$ , 求出每个分力做的功  $W_1, W_2, \dots, W_n$ , 再根据  $W_{\text{合}} = W_1 + W_2 + \dots + W_n$ , 求解合力的功,即合力做的功等于各个分力做功的代数和。

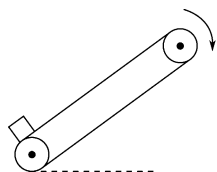
### 任务二 关于摩擦力的功的计算

1. (多选) 如图所示,物体  $B$  在拉力  $F$  的作用下向左运动,在运动过程中, $A, B$  之间有相互作用的摩擦力( $B$  与地面之间无摩擦力),则对摩擦力做功的情况,下列说法正确的是 ( BC )



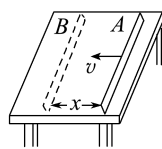
- A.  $A, B$  都克服摩擦力做功
- B. 摩擦力对  $A$  不做功
- C. 摩擦力对  $B$  做负功
- D. 摩擦力对  $A, B$  都不做功

2. (多选) 如图所示,传送带以恒定速率顺时针运行。将物体轻放在传送带底端,第一阶段物体被加速,第二阶段物体做匀速运动到达传送带顶端。下列说法正确的是 ( AC )



- A. 第一阶段摩擦力对物体做正功
- B. 第二阶段摩擦力对物体不做功
- C. 第一阶段重力做负功
- D. 第二阶段弹力做负功

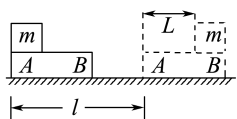
3. 一张桌子始终静止在地面上,一根木棒沿着水平桌面从  $A$  运动到  $B$ ,发生的位移为  $x$ ,如图所示。若棒与桌面间的摩擦力大小为  $f$ ,则棒对桌面的摩擦力和桌面对棒的摩擦力做的功各为 ( C )



- A.  $-fx, -fx$
- B.  $fx, -fx$
- C. 零,  $-fx$
- D.  $-fx, 零$

4. 质量为  $M$  的木板放在光滑的水平面上,一个质量为  $m$  的滑块以某一速度沿木板表面从  $A$  点滑至  $B$  点,在木板上前进了  $L$ ,此过程中木板前进了  $l$ ,如图所示。若滑块与木板间的动摩擦因数为  $\mu$ ,重力

加速度为  $g$ , 则摩擦力对滑块、木板各做功多少? 摩擦力做的总功为多少?



**解析:** 滑块所受摩擦力  $f = \mu mg$ , 位移为  $(l+L)$ , 且摩擦力与位移方向相反, 故摩擦力对滑块做的功为  $W_1 = -\mu mg(l+L)$

木板受到的摩擦力  $f' = f = \mu mg$ , 方向与其位移  $l$  方向相同, 故摩擦力对木板做的功  $W_2 = \mu mgl$   
摩擦力做的总功  $W = W_1 + W_2 = -\mu mgL$ 。

**答案:**  $-\mu mg(l+L)$     $\mu mgl$     $-\mu mgL$

### 任务总结

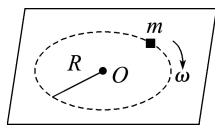
摩擦力(静摩擦力或滑动摩擦力)有可能做负功, 有可能做正功, 还有可能不做功, 举例如下:

项目	例证
图例	
做负功	<p>滑动摩擦力</p> <p>如图甲所示, 物体在力 <math>F</math> 作用下向右运动, 地面对它的滑动摩擦力做负功</p>
	<p>静摩擦力</p> <p>如图乙所示, 物体 <math>A</math>、<math>B</math> 在力 <math>F</math> 作用下一起向右加速运动 (<math>A</math>、<math>B</math> 相对静止), 物体 <math>B</math> 对 <math>A</math> 的静摩擦力做负功</p>
做正功	<p>滑动摩擦力</p> <p>如图乙所示, 物体 <math>A</math>、<math>B</math> 在力 <math>F</math> 作用下一起向右加速运动 (<math>A</math>、<math>B</math> 相对滑动), 物体 <math>A</math> 对 <math>B</math> 的滑动摩擦力做正功</p>
	<p>静摩擦力</p> <p>如图乙所示, 物体 <math>A</math>、<math>B</math> 在力 <math>F</math> 作用下一起向右加速运动 (<math>A</math>、<math>B</math> 相对静止), 物体 <math>A</math> 对 <math>B</math> 的静摩擦力做正功</p>
不做功	<p>滑动摩擦力</p> <p>如图甲所示, 物体 <math>A</math> 在力 <math>F</math> 作用下向右运动, 由于地面静止, 位移为零, 地面受到的滑动摩擦力对地面不做功</p>
	<p>静摩擦力</p> <p>如图甲所示, 物体 <math>A</math> 在力 <math>F</math> 作用下在地面上保持静止时, 地面对它的静摩擦力不做功</p>

### 任务三 变力做功的计算

#### [探究活动]

如图所示, 使质量为  $m$  的木块在固定的水平面内做圆周运动, 摩擦力大小始终为  $f$ , 运动半径为  $R$ 。



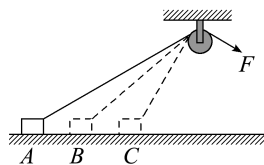
木块运动一周克服摩擦力做的功为多少?

**提示:** 将木块的圆周运动分为若干小段, 则每一小段可看成直线, 摩擦力在每一小段所做的功可用  $f\Delta x$  表示, 则  $W_f = f \cdot \Delta x_1 + f \cdot \Delta x_2 + f \cdot \Delta x_3 + \dots = f(\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots) = 2\pi Rf$ 。

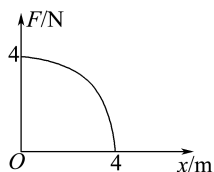
#### [评价活动]

1. 如图所示, 水平粗糙地面上的物体被绕过光滑定滑轮的轻绳系着。现以大小恒定的拉力  $F$  拉绳的另一端, 使物体从  $A$  点起由静止开始运动。若从  $A$  点运动至  $B$  点和从  $B$  点运动至  $C$  点的过程中拉力  $F$  做的功分别为  $W_1$ 、 $W_2$ , 图中  $AB = BC$ , 且动摩擦因数处处相同, 则在物体的运动过程中 ( D )

- A. 摩擦力增大,  $W_1 > W_2$   
B. 摩擦力减小,  $W_1 < W_2$   
C. 摩擦力增大,  $W_1 < W_2$   
D. 摩擦力减小,  $W_1 > W_2$



2. 静止在水平面上的物体, 受到一水平向右的推力作用, 在推力作用下向右运动了  $4\text{ m}$ , 水平推力的大小随物体位移变化的图像如图所示, 推力的最大值为  $4\text{ N}$ , 且力随位移变化的图线恰好为四分之一圆周。求水平推力在此过程中所做的功。(取  $\pi = 3.14$ )

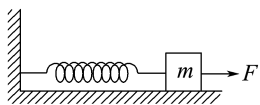


**解析:** 推力随位移逐渐减小, 属于变力做功, 不能直接用功的定义式求解。由分析可知力的方向始终与位移方向相同, 仅大小变化, 可把位移分成无数小段, 在每一小段位移内, 力可认为是恒力, 则每一小段恒力做的功可以求解, 再对各小段恒力做的功求和。由  $F-x$  图像的物理意义可知, 图线与坐标轴所包围的面积恰好是推力所做的功, 所以可根据面积求推力做的功,  $W = \frac{1}{4} \pi R^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 4^2\text{ J} = 12.56\text{ J}$ 。

**答案:**  $12.56\text{ J}$

3. 如图所示, 轻质弹簧一端与竖直墙壁连接, 另一端

与一质量为  $m$  的木块连接,放在光滑的水平面上,弹簧的劲度系数为  $k$ ,此时弹簧处于自然状态。现用水平力  $F$  缓慢拉木块,使木块前进  $x_0$ 。求这一过程中拉力对木块做的功。



解析:方法一 平均值法

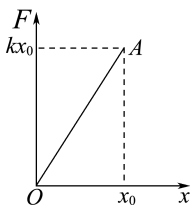
因为拉力与位移成正比,所以这一过程中拉力的平均值

$$\bar{F} = \frac{kx_0}{2}$$

$$\text{则 } W = \bar{F}x_0 = \frac{1}{2}kx_0^2.$$

方法二 图像法

由题意及力的平衡条件分析可知,拉力  $F$  与弹簧弹力大小相等,则  $F-x$  图像如图所示:

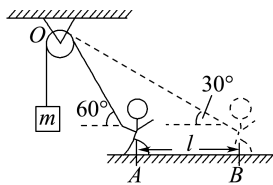


$0 \sim x_0$ , 图像与  $x$  轴所围的面积大小即为拉力做的

功,则  $W = \frac{1}{2}kx_0^2$ 。

答案:  $\frac{1}{2}kx_0^2$

4. 人在 A 点拉着绳,通过一定滑轮吊起一质量  $m = 50 \text{ kg}$  的物体,如图所示。开始时绳与水平方向间的夹角为  $60^\circ$ 。在匀速提起物体的过程中,人由 A 点沿水平方向运动了  $l = 2 \text{ m}$  到达 B 点,此时绳与水平方向成  $30^\circ$  角。求人对绳的拉力做的功。(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 结果保留整数)



解析:人对绳的拉力方向时刻在变,是变力,故不能用  $W = Fx \cos \alpha$  直接求拉力做的功。但人对绳的拉力所做的功和绳对物体的拉力所做的功是相等的,物体匀速上升,则绳的拉力恒等于物体的重力。设滑轮距人手的高度为  $h$ , 则

$$\frac{h}{\tan 30^\circ} - \frac{h}{\tan 60^\circ} = l$$

人由 A 点运动到 B 点的过程中,重物上升的高度

$$\Delta h = \frac{h}{\sin 30^\circ} - \frac{h}{\sin 60^\circ}$$

故人对绳的拉力所做的功  $W = mg \Delta h$

代入数据解得  $W \approx 732 \text{ J}$ 。

答案: 732 J

### 任务总结

#### 1. 将变力做功转化为恒力做功

(1) 平均值法

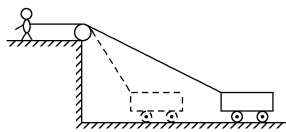
当力与位移的夹角不变,大小随位移按线性规律变化时,可先求出力在该段位移的平均值  $\bar{F} = \frac{F_1 + F_2}{2}$ ,再由  $W = \bar{F}x \cos \alpha$  计算功,如弹簧弹力做的功。

(2) 微元法

当力的大小不变,方向时刻与速度同向(或反向)时,可把物体的运动过程分为很多小段,这样每一小段可以看成恒力做功,先求力在每一小段上做的功,再求代数和即可。

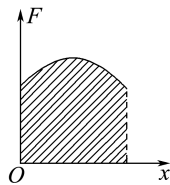
(3) 转换研究对象法

如图所示,人站在地面上以恒力拉绳,绳对小车的拉力是变力(大小不变,方向改变),但人拉绳的力是恒力,于是转换研究对象,用人对绳子所做的功来求绳子对小车所做的功。

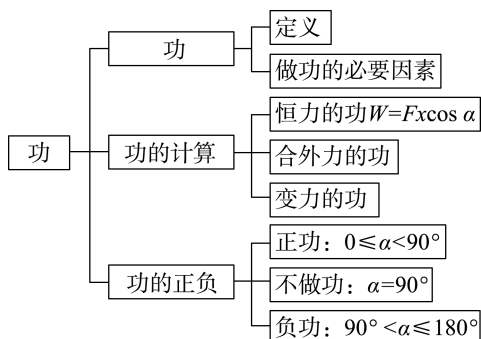


#### 2. 利用图像求解

如图所示,在  $F-x$  图像中,若能求出图线与  $x$  轴所围的面积,则这个面积即为  $F$  在这段位移  $x$  上所做的功。这与在  $v-t$  图像中用图线与  $t$  轴所围成的面积表示位移类似。



### ► 提质归纳



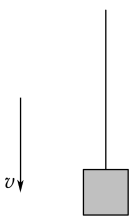
## 课后素养评价(十二) 功

## 基础性·能力运用

## 知识点1 功的正、负的判断

1. 用一根轻绳拴了一个物体, 如图所示, 当整体以加速度  $a$  向下做减速运动时, 作用在物体上的各力做功的情况是 ( )

- A. 重力做正功, 拉力做负功, 合力做负功  
 B. 重力做正功, 拉力做负功, 合力做正功  
 C. 重力做正功, 拉力做正功, 合力做正功  
 D. 重力做负功, 拉力做负功, 合力做正功



**A 解析:** 物体在向下的重力、向上的拉力共同作用下向下做减速运动, 所受合力方向向上, 则重力做正功, 拉力做负功, 合力做负功, A 正确。

2. 图甲为一女士站立在台阶式自动扶梯上匀速上楼, 图乙为一男士站立在履带式自动人行道上匀速上楼。下列关于两人受到的力的做功情况, 判断正确的是 ( )

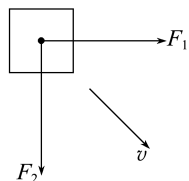


- A. 图甲中支持力对人做正功  
 B. 图乙中支持力对人做正功  
 C. 图甲中摩擦力对人做负功  
 D. 图乙中摩擦力对人做负功

**A 解析:** 题图甲中支持力竖直向上, 对人做正功, A 正确; 题图乙中支持力垂直人行道斜向上, 对人不做功, B 错误; 题图甲中摩擦力为 0, C 错误; 题图乙中摩擦力沿人行道向上, 对人做正功, D 错误。

## 知识点2 功的计算

3. 如图所示, 两个互相垂直的恒力  $F_1$  和  $F_2$  作用在同一物体上, 使物体发生一段位移后, 力  $F_1$  对物体做功为 4 J, 力  $F_2$  对物体做功为 3 J, 则力  $F_1$  与  $F_2$  的合力对物体做的功为 ( )



- A. 1 J  
 B. 3.5 J  
 C. 5 J  
 D. 7 J

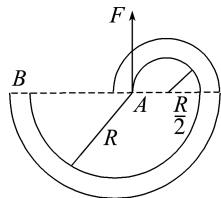
**D 解析:** 力  $F_1$  与  $F_2$  的合力对物体做的功等于力  $F_1$  和力  $F_2$  分别对物体做功的代数和, 即  $W_{\text{合}} = W_{F_1} + W_{F_2} = 4 \text{ J} + 3 \text{ J} = 7 \text{ J}$ , D 项正确。

4. 若一辆汽车正在路面上行驶, 司机看到前方有人横穿马路时, 立即紧急制动, 之后汽车经过距离  $x$  停下来, 避免了一起车祸的发生。若汽车与地面间的摩擦力大小为  $f$ , 则关于汽车与地面间摩擦力做的功, 以下说法正确的是 ( )

- A. 摩擦力对汽车、地面均不做功  
 B. 摩擦力对汽车做  $-fx$  的功, 对地面做  $fx$  的功  
 C. 摩擦力对汽车、地面均做  $-fx$  的功  
 D. 摩擦力对汽车做  $-fx$  的功, 对地面不做功

**D 解析:** 因地面在摩擦力方向上的位移为零, 故摩擦力对地面不做功; 汽车在摩擦力方向上的位移为  $-x$ , 摩擦力对汽车做功  $W = -fx$ , D 项正确, A、B、C 三项错误。

5. 如图所示, 在水平面上, 有一弯曲的槽道 AB, 槽道 AB 由半径分别为  $\frac{R}{2}$  和  $R$  的两个半圆槽构成。现用大小恒为  $F$  的拉力将一光滑小球从 A 点沿槽道拉至 B 点, 若拉力  $F$  的方向时时刻刻与小球运动方向一致, 则此过程中拉力所做的功为 ( )



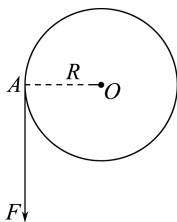
- A. 零  
 B.  $FR$   
 C.  $\frac{3}{2}\pi FR$   
 D.  $2\pi FR$

**C 解析:** 虽然拉力方向时刻改变, 但拉力方向与运动方向始终一致, 用微元法, 在很小的一段位移内  $F$  可以看成恒力, 小球的路程为  $x = \pi R + \pi \cdot \frac{R}{2} = \frac{3}{2}\pi R$ , 则拉力做的功为  $W = Fx = \frac{3}{2}\pi FR$ , 故 C 正确。

## 综合性 · 创新提升

6. (多选) 如图所示,  $F=10\text{ N}$  的力作用于半径  $R=1\text{ m}$  的固定转盘的边缘上的 A 点, 力  $F$  的大小保持不变, 但方向始终保持与作用点的切线方向一致, 则转盘转动一周的过程中 ( )

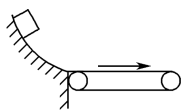
- A. 这个力  $F$  做的总功为 0
- B. 这个力  $F$  做的总功为  $20\pi\text{ J}$
- C. A 处的质点所需的向心力做的总功为 0
- D. A 处的质点所需的向心力做的总功为  $20\pi\text{ J}$



BC 解析: A 点转一周通过的弧长为  $x=2\pi R=2\pi\text{ m}$ , 因为  $F$  的方向始终与速度方向相同, 力  $F$  做的功为力与转过的弧长的乘积, 则转动一周  $F$  做的功为  $W=Fx=10\times 2\pi\text{ J}=20\pi\text{ J}$ , 选项 A 错误, B 正确; A 处的质点所需的向心力方向始终与速度方向垂直, 则向心力做的总功为 0, 选项 C 正确, D 错误。

7. (多选) 如图所示, 物体沿弧形轨道滑下后进入足够长的水平传送带, 传送带沿图示方向匀速转动, 则传送带对物体的做功情况可能是 ( )

- A. 始终不做功
- B. 先做负功, 后做正功
- C. 先做正功, 后不做功
- D. 先做负功, 后不做功



ACD 解析: 要判断传送带对物体的做功情况, 需分析物体所受摩擦力的情况。设传送带速度大小为  $v_1$ , 物体刚滑上传送带时的速度大小为  $v_2$ 。当  $v_2=v_1$  时, 物体随传送带一起匀速运动, 故传送带与物体之间不存在摩擦力, 即传送带对物体始终不做功, A 正确; 当  $v_2>v_1$  时, 物体相对传送带向右运动, 物体受到的滑动摩擦力方向向左, 则物体先做匀减速运动, 直到速度减为  $v_1$ , 再做匀速运动, 故传送带对物体先做负功, 后不做功, B 错误, D 正确; 当  $v_2<v_1$  时, 物体相对传送带向左运动, 物体受到的滑动摩擦力方向向右, 则物体先做匀加速运动, 直到速度达到  $v_1$ , 再做匀速运动, 故传送带对物体先做正功, 后不做功, C 正确。

8. 载人飞行包是一个单人低空飞行装置, 如图所示, 其发动机可使用汽油作为燃料提供动力, 可以垂直起降, 也可以快速前进。关于飞行包(包括人)竖直匀速降落的过程(空气阻力不可忽略), 下列说法正确的是 ( )

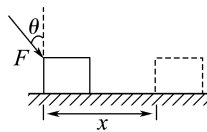


- A. 发动机对飞行包做正功
- B. 飞行包的重力做负功
- C. 空气阻力对飞行包做负功
- D. 飞行包的合力做负功

C 解析: 飞行包(包括人)在竖直匀速降落的过程中, 发动机的动力向上, 则发动机对飞行包做负功, 故 A 错误; 高度下降, 飞行包的重力做正功, 故 B 错误; 空气阻力竖直向上, 与位移方向相反, 则空气阻力对飞行包做负功, 故 C 正确; 飞行包匀速运动, 合力为零, 则飞行包的合力不做功, 故 D 错误。

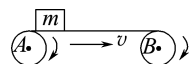
9. 如图所示, 一个物体放在水平面上, 在与竖直方向成  $\theta$  角的斜向下的推力  $F$  的作用下沿平面移动了距离  $x$ 。若物体的质量为  $m$ , 物体与地面之间的摩擦力大小为  $f$ , 则在此过程中 ( )

- A. 摩擦力做的功为  $fx\cos\theta$
- B. 力  $F$  做的功为  $Fx\cos\theta$
- C. 力  $F$  做的功为  $Fx\sin\theta$
- D. 重力做的功为  $mgx$



C 解析: 摩擦力做的功  $W=-fx$ , 故 A 错误; 力  $F$  做的功为  $Fx\cos(90^\circ-\theta)=Fx\sin\theta$ , 故 B 错误, C 正确; 重力与位移相互垂直, 则重力不做功, 故 D 错误。

10. 如图所示, 足够长的水平传送带以  $2\text{ m/s}$  的速度匀速运行, 将一质量为  $2\text{ kg}$  的工件  $m$  沿竖直向下的方向轻轻放在传送带上(假设传送带的速度不变)。若工件与传送带之间的动摩擦因数为  $0.2$ , 则放手后工件在  $5\text{ s}$  内的位移是多少? 摩擦力对工件做的功为多少? (取  $g=10\text{ m/s}^2$ )



解析: 工件放在传送带上瞬间, 工件所受合外力为工件所受到的摩擦力, 所以工件的加速度  $a=\mu g=0.2\times 10\text{ m/s}^2=2\text{ m/s}^2$ , 经过  $t=\frac{v}{a}=1\text{ s}$ , 工件的速度与传送带速度相同, 之后工件就随传送带一起做匀速直线运动, 所以工件在  $5\text{ s}$  内的位移  $x=\frac{1}{2}at^2+v(t_0-t)=\frac{1}{2}\times 2\times 1\text{ m}+2\times 4\text{ m}=9\text{ m}$

工件在  $1\text{ s}$  内的位移  $x_0=\frac{1}{2}at_0^2=1\text{ m}$

摩擦力对工件做正功, 有  $W_f=\mu mgx_0=0.2\times 2\times 10\times 1\text{ J}=4\text{ J}$ 。

答案:  $9\text{ m}$   $4\text{ J}$

## 2 功率

### 学习任务目标

- 1.理解功率的概念;能运用功率的公式进行有关计算;体会利用比值法建立物理概念。(物理观念)
- 2.理解额定功率和实际功率的区别,了解平均功率和瞬时功率的含义。(科学思维)
- 3.能根据功率的定义导出公式  $P=Fv$ ,并用于分析、计算和解释物理现象。(科学思维)
- 4.通过体验功率概念的形成过程,学会运用功率的不同表达式分析和解决动力机械的运动问题,提高理论联系实际、解决实际问题的能力。(科学态度与责任)

### 问题式预习

#### 知识点一 功率的含义

1.概念:在物理学中,做功的快慢用功率表示。功  $W$  跟完成这些功所用时间  $t$  的比值,叫作功率,定义式

$$P = \frac{W}{t}.$$

2.功率的单位:在国际单位制中,功率的单位是瓦特,简称瓦,符号为W,另外常用单位还有千瓦,符号为kW。

3. $P = \frac{W}{t}$ 实际上表示一段时间内的平均功率。

#### [科学思维]

起重机甲在 60 s 内提升货物做功  $1.5 \times 10^5$  J,另一台起重机乙在 30 s 内提升货物做功  $1.8 \times 10^5$  J,你能比较谁做功快吗?你是如何比较的?以前学过的哪些物理量也是这样比较的?

**提示:**乙做功快。比较方法是用功与时间的比值的大小反映做功的快慢,以前学过的速度、加速度都是采用的这种方法。

#### [做一做]

质量  $m = 3$  kg 的物体,在水平力  $F = 6$  N 的作用下,在光滑水平面上从静止开始运动,运动时间  $t = 3$  s。求力  $F$  在 0~3 s 对物体所做功的平均功率。

**解析:**物体的加速度  $a = \frac{F}{m} = \frac{6}{3} \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2$

0~3 s 物体的位移

$$x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 3^2 \text{ m} = 9 \text{ m}$$

0~3 s 力  $F$  所做的功  $W = Fx = 6 \times 9 \text{ J} = 54 \text{ J}$

力  $F$  做功的平均功率  $\bar{P} = \frac{W}{t} = \frac{54}{3} \text{ W} = 18 \text{ W}$ 。

**答案:**18 W

#### 知识点二 额定功率

1.额定功率:电动机、内燃机等动力机械可以长时间

正常工作允许输出的最大功率。

2.实际功率:电动机、内燃机等动力机械工作时实际输出的功率。

3.关系:实际输出功率一般情况下小于额定功率,但在特殊情况下,如汽车越过障碍时,可以使实际功率在短时间内大于额定功率。

#### [科学思维]

如图甲所示是某品牌电动三轮车,其铭牌如图乙所示。



型号:XYG150ZH  
 ××电动型(货)款(技术参数)  
 外形规格:  
 3 000 mm × 1 100 mm × 1 200 mm  
 排量:25 mL  
 最高车速:25 km/h  
 制动方式:鼓动  
 启动方式:电源启动  
 发动机功率:700 W

甲

乙

(1)该三轮车发动机的额定功率是 700 W。

(2)三轮车发动机的功率是指牵引力的功率,而不是合外力或阻力的功率。

#### [判一判]

(1)功率是表示做功多少的物理量。 ( × )

(2)各种机械铭牌上所标功率一般是指额定功率。 ( √ )

(3)某动力机械工作时的实际功率一定比额定功率小。 ( × )

#### 知识点三 输出功率、作用力和速度之间的关系

1.功率也可以用力 and 速度来表示,当作用力方向和速度方向相同时, $P = Fv$ , $F$  恒定时,若  $v$  是平均速度,则功率  $P$  为平均功率,若  $v$  是瞬时速度,则功率  $P$  为瞬时功率。

2.从  $P = Fv$  可以看出,汽车、火车等交通工具,当发动机的功率  $P$  一定时,牵引力  $F$  与速度  $v$  成反比,因此要增大牵引力,就要减小速度。

[科学思维]

(1) 一辆汽车载重时和空车时, 在公路上以相同的速度匀速行驶, 试讨论这两种情况下汽车的输出功率是否相同, 为什么?

**提示:** 根据  $P = Fv$ , 汽车载重时和空车时以相同速度匀速行驶,  $v$  相同, 由  $F = f$  知空车时阻力小, 汽车输出功率小, 载重时阻力大, 汽车输出功率大。

(2) 一辆汽车以恒定的功率载重启动, 速度不同时发动机提供的牵引力大小一样吗? 爬坡时应该换用高速挡还是低速挡?

**提示:** 根据  $P = Fv$ , 可知功率恒定时,  $v$  越大, 发动机提供的牵引力越小; 爬坡时要提供更大的牵引力, 速度要小, 应该换用低速挡。

[做一做]

汽车发动机的额定功率为 60 kW, 汽车的质量为

5 t, 汽车在水平路面上行驶时所受阻力为车重的  $\frac{1}{10}$  (取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )。当汽车保持额定功率不变从静止启动后, 求:

- (1) 汽车所能达到的最大速度的大小;
- (2) 当汽车速度为 4 m/s 时的加速度大小。

**解析:** (1)  $f = 0.1mg = 0.1 \times 5 \times 10^3 \times 10 \text{ N} = 5 \times 10^3 \text{ N}$

当达到最大速度时  $F_{\text{牵}} = f$

由  $P = F_{\text{牵}}v_m$  得

$$v_m = 12 \text{ m/s}.$$

(2) 当  $v = 4 \text{ m/s}$  时, 设牵引力为  $F$ , 由  $P = Fv$  得  $F = 1.5 \times 10^4 \text{ N}$

由牛顿第二定律有  $F - f = ma$

解得  $a = 2 \text{ m/s}^2$ 。

**答案:** (1) 12 m/s (2) 2 m/s<sup>2</sup>

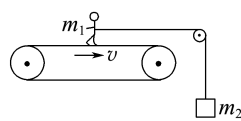
## 任务型课堂

### 任务一 功率的计算

1. 下列关于功率公式  $P = \frac{W}{t}$  和  $P = Fv$  的说法正确的是 ( D )

- A. 由  $P = \frac{W}{t}$  知, 只要知道  $W$  和  $t$  就可求出任意时刻的功率
- B. 由  $P = Fv$ , 只能求某一时刻的瞬时功率
- C. 由  $P = Fv$  知, 随着汽车速度的增大, 它的功率就可以无限制增大
- D. 由  $P = Fv$  知, 当汽车发动机功率一定时, 牵引力与速度成反比

2. (多选) 如图所示是一种测定运动员体能的装置的示意图, 运动员的质量为  $m_1$ , 绳的一端拴在运动员腰间并沿水平方向跨过定滑轮 (不计绳与滑轮的质量及摩擦), 绳的下端悬挂一个质量为  $m_2$  的重物。运动员用力蹬传送带且其重心不动, 使传送带以速率  $v$  匀速转动。下列说法正确的是

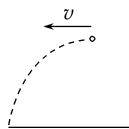


( BC )

- A. 绳子拉力对人做正功
- B. 绳子拉力对人不做功
- C. 运动员对传送带做功的瞬时功率为  $m_2gv$
- D. 运动员对传送带做功的瞬时功率为  $(m_1 + m_2)gv$

3. 如图所示, 从空中以 40 m/s 的初速度平抛一重为

10 N 的物体, 其在空中运动 3 s 后落地 (四周无人), 不计空气阻力, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 则物体落地前瞬间, 重力的瞬时功率为 ( A )



- A. 300 W
- B. 400 W
- C. 500 W
- D. 700 W

4. 一台起重机将静止在地面上、质量为  $m = 1.0 \times 10^3 \text{ kg}$  的货物匀加速竖直吊起, 在 2 s 末货物的速度  $v = 4 \text{ m/s}$ 。 (取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 不计额外功) 求:

- (1) 起重机在这 2 s 内的平均功率;
- (2) 起重机在 2 s 末的瞬时功率。

**解析:** (1) 设货物所受的拉力为  $F$ , 加速度为  $a$ , 则由

$$a = \frac{v}{t} \text{ 得}$$

$$a = 2 \text{ m/s}^2$$

结合牛顿第二定律, 得牵引力  $F = mg + ma = 1.0 \times 10^3 \times 10 \text{ N} + 1.0 \times 10^3 \times 2 \text{ N} = 1.2 \times 10^4 \text{ N}$

$$2 \text{ s 内货物上升的高度 } h = \frac{1}{2}at^2 = 4 \text{ m}$$

起重机在这 2 s 内对货物所做的功

$$W = Fh = 1.2 \times 10^4 \times 4 \text{ J} = 4.8 \times 10^4 \text{ J}$$

起重机在这 2 s 内的平均功率

$$\bar{P} = \frac{W}{t} = \frac{4.8 \times 10^4}{2} \text{ W} = 2.4 \times 10^4 \text{ W}.$$

(2) 起重机在 2 s 末的瞬时功率

$$P' = Fv = 1.2 \times 10^4 \times 4 \text{ W} = 4.8 \times 10^4 \text{ W}.$$

答案: (1)  $2.4 \times 10^4 \text{ W}$  (2)  $4.8 \times 10^4 \text{ W}$

5. 如图所示, 质量为  $m = 2 \text{ kg}$  的木块在倾角  $\theta = 37^\circ$  的固定斜面上由静止开始下滑, 木块与斜面间的动摩擦因数为 0.5, 斜面足够长。取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$ ,  $\cos 37^\circ = 0.8$ 。求:

- (1) 前 2 s 内重力做的功;  
 (2) 前 2 s 内重力的平均功率;  
 (3) 2 s 末重力的瞬时功率。

解析: (1) 木块所受的合力

$$F_{\text{合}} = mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta$$

代入数据解得  $F_{\text{合}} = 4 \text{ N}$

$$\text{木块的加速度 } a = \frac{F_{\text{合}}}{m} = 2 \text{ m/s}^2$$

$$\text{前 2 s 内木块的位移 } x = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

所以重力在前 2 s 内做的功

$$W = mg \sin \theta \cdot x = 2 \times 10 \times 0.6 \times 4 \text{ J} = 48 \text{ J}.$$

(2) 重力在前 2 s 内的平均功率

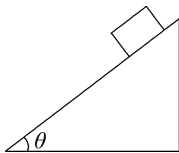
$$\bar{P} = \frac{W}{t} = \frac{48}{2} \text{ W} = 24 \text{ W}.$$

(3) 木块在 2 s 末的速度  $v = at = 2 \times 2 \text{ m/s} = 4 \text{ m/s}$

重力在 2 s 末的瞬时功率

$$P = mg \sin \theta \cdot v = 2 \times 10 \times 0.6 \times 4 \text{ W} = 48 \text{ W}.$$

答案: (1) 48 J (2) 24 W (3) 48 W



### 任务总结

#### 求解功率的步骤

(1) 首先明确求哪个力的功率, 分清是求某个力的功率, 还是求物体所受合力的功率。

(2) 若求平均功率, 应该明确是求哪段时间内的

平均功率, 然后根据公式  $P = \frac{W}{t}$  或  $P = F \bar{v}$  求解。

(3) 若求瞬时功率, 需要明确是求哪一时刻或哪一位置的功率, 再确定该时刻或该位置的速度, 应用公式  $P = Fv \cos \alpha$  进行求解。尤其应该注意  $F$  与  $v$  的同时性。

## 任务二 机车启动的两种方式

### [探究活动]

汽车以两种不同的方式启动, 一次保持发动机的功率不变, 另一次保持加速度不变。请结合以上情境进行探究。

(1) 当发动机的功率不变时, 汽车的加速度能否保持不变?

提示: 根据  $P = Fv$ , 功率不变, 速度增大时, 牵引力必定减小, 由牛顿第二定律可知, 汽车的加速度将减小。

(2) 当汽车的加速度不变时, 发动机的功率能否保持不变?

提示: 加速度不变, 由牛顿第二定律可知牵引力不变, 由  $P = Fv$  可知, 随着速度的增大, 发动机的功率将不断增大。

### [评价活动]

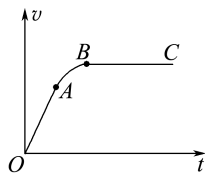
1. 质量为  $m$  的汽车启动后沿平直路面行驶, 如果发动机的功率恒为  $P$ , 且行驶过程中受到的摩擦阻力大小一定, 汽车速度能够达到的最大值为  $v$ , 那么当汽车的车速为  $\frac{v}{4}$  时, 汽车的瞬时加速度的大小为

( C )

- A.  $\frac{P}{mv}$                       B.  $\frac{2P}{mv}$   
 C.  $\frac{3P}{mv}$                       D.  $\frac{4P}{mv}$

2. (多选) 如图所示为一汽车在平直的公路上由静止开始运动的速度-时间图像, 汽车所受阻力恒定。图中  $OA$  为一段直线,  $AB$  为一段曲线,  $BC$  为平行于时间轴的直线, 则

( BCD )



- A.  $OA$  段汽车发动机的功率是恒定的  
 B.  $OA$  段汽车发动机的牵引力是恒定的  
 C.  $AB$  段汽车发动机的功率可能是恒定的  
 D.  $BC$  段汽车发动机的功率是恒定的

3. 两节动车的额定功率分别为  $P_1$  和  $P_2$ , 在某平直铁轨上能达到的最大速度分别为  $v_1$  和  $v_2$ 。现将它们编成动车组, 设每节动车运行时受到的阻力在编组前后不变, 则该动车组在此铁轨上能达到的最大速度为

( D )

- A.  $\frac{P_1 v_1 + P_2 v_2}{P_1 + P_2}$                       B.  $\frac{P_1 v_2 + P_2 v_1}{P_1 + P_2}$   
 C.  $\frac{(P_1 + P_2) v_1 v_2}{P_1 v_1 + P_2 v_2}$                       D.  $\frac{(P_1 + P_2) v_1 v_2}{P_1 v_2 + P_2 v_1}$

4. 假设额定功率为 80 kW 的汽车在平直公路上行驶时, 其最大速度可达 20 m/s, 汽车的质量为 2 t。如果汽车从静止开始做匀加速直线运动, 设运动过程中阻力不变, 加速度为  $2 \text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) 汽车所受的阻力;  
 (2) 第 3 s 末汽车的瞬时功率。

解析:(1)当  $F=f$  时,  $v=v_{\max}$

则  $P=Fv=fv_{\max}$

$$\text{故 } f = \frac{P}{v_{\max}} = \frac{80 \times 10^3}{20} \text{ N} = 4 \times 10^3 \text{ N}.$$

(2)设汽车做匀加速运动时的牵引力为  $F'$ ,由牛顿第二定律得  $F'-f=ma$

$$\text{故 } F' = ma + f = 8 \times 10^3 \text{ N}$$

汽车做匀加速运动能达到的最大速度

$$v'_{\max} = \frac{P}{F'} = \frac{80 \times 10^3}{8 \times 10^3} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$$

匀加速运动阶段的时间为

$$t = \frac{v'_{\max}}{a} = \frac{10}{2} \text{ s} = 5 \text{ s} > 3 \text{ s}$$

故第 3 s 末汽车的瞬时功率

$$P_3 = F'v_3 = F'at_3 = 8 \times 10^3 \times 2 \times 3 \text{ W} = 48 \text{ kW}.$$

答案:(1) $4 \times 10^3 \text{ N}$  (2) $48 \text{ kW}$

5.若一在水平路面上运动的汽车的额定功率为 100 kW,质量为 10 t,设阻力恒定,且为车重的  $\frac{1}{10}$ .

(取  $g=10 \text{ m/s}^2$ )

- (1)求汽车在运动过程中所能达到的最大速度。
- (2)若汽车以  $0.5 \text{ m/s}^2$  的加速度从静止开始做匀加速直线运动,这一过程能维持多长时间?
- (3)若汽车以不变的额定功率从静止启动,当汽车的加速度为  $2 \text{ m/s}^2$  时,汽车的速度多大?

解析:(1)当汽车速度最大时,  $a_1=0$ ,  $F_1=f=\frac{1}{10}mg$ ,  $P=P_{\text{额}}$ ,由  $P_{\text{额}}=F_1v_{\max}$  得

$$v_{\max} = \frac{P_{\text{额}}}{f} = \frac{100 \times 10^3}{0.1 \times 10 \times 10^3 \times 10} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}.$$

(2)汽车从静止开始做匀加速直线运动的过程中,  $a_2$  不变,  $v$  变大,  $P$  也变大,当  $P=P_{\text{额}}$  时,此过程结束。

$$F_2 = f + ma_2 = (0.1 \times 10^4 \times 10 + 10^4 \times 0.5) \text{ N} = 1.5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$v_2 = \frac{P_{\text{额}}}{F_2} = \frac{10^5}{1.5 \times 10^4} \text{ m/s} = \frac{20}{3} \text{ m/s}$$

$$\text{则 } t = \frac{v_2}{a_2} = \frac{3}{0.5} \text{ s} \approx 13.3 \text{ s}.$$

(3)当汽车的加速度为  $a_3=2 \text{ m/s}^2$  时,牵引力

$$F_3 = f + ma_3 = (0.1 \times 10^4 \times 10 + 10^4 \times 2) \text{ N} = 3 \times 10^4 \text{ N}$$

$$v_3 = \frac{P_{\text{额}}}{F_3} = \frac{10^5}{3 \times 10^4} \text{ m/s} \approx 3.3 \text{ m/s}.$$

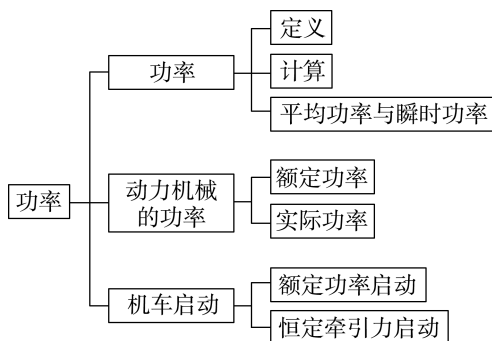
答案:(1) $10 \text{ m/s}$  (2) $13.3 \text{ s}$  (3) $3.3 \text{ m/s}$

### 任务总结

#### 机车启动类问题的处理思路

- (1)解决机车启动类问题时,首先要分清是哪一类启动,然后注意所研究的过程处于哪个阶段,同时注意匀加速过程的最大速度  $v'_m$  和全程的最大速度  $v_m$  的区别和求解方法。
- (2)机车启动的方式不同,运动的规律就不同,即其功率、速度、加速度、牵引力等物理量的变化规律不相同,分析图像时应注意坐标轴的意义及图像所描述的规律。
- (3)恒定功率下的启动过程中,机车一定不做匀加速运动,匀变速直线运动的公式不再适用,这种加速过程发动机做的功可用  $W=Pt$  计算,不能用  $W=Fx$  计算(因为牵引力  $F$  为变力)。
- (4)以恒定牵引力加速时,功率一定不恒定,这种加速过程中发动机做的功常用  $W=Fx$  计算,不能用  $W=Pt$  计算(因为功率  $P$  是变化的)。

### ► 提质归纳



## 课后素养评价(十三) 功率

### 基础性·能力运用

#### 知识点 1 对功率的理解与计算

1.(多选)关于功率,下列说法正确的是 ( )

A. 不同时间内做相同的功,功率一定相同

B. 物体做功越多,它的功率就越大

C. 物体做功越快,它的功率就越大

D. 发动机的额定功率与实际功率可能相等,也可能不相等

CD 解析:功率是表示做功快慢的物理量,不仅与做功的多少有关,而且与做功所用的时间有关,故 C 正确,A、B 错误;发动机的实际功率可能等于额定功率,也可能不等于额定功率,故 D 正确。

2. 一个质量为  $m$  的小球做自由落体运动,那么,在前  $t$  秒内重力对它做功的平均功率  $\bar{P}$  及在  $t$  秒末重力做功的瞬时功率  $P$  分别为( $t$  秒末小球未着地)

A.  $\bar{P} = mg^2 t^2, P = \frac{1}{2} mg^2 t^2$

B.  $\bar{P} = mg^2 t^2, P = mg^2 t^2$

C.  $\bar{P} = \frac{1}{2} mg^2 t, P = mg^2 t$

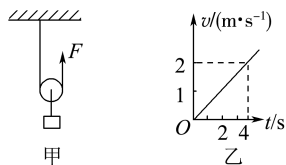
D.  $\bar{P} = mg^2 t, P = 2mg^2 t$

C 解析: $t$  秒内小球下落高度  $h = \frac{1}{2} gt^2$ ,重力做功

$$W = mgh = \frac{1}{2} mg^2 t^2, \text{重力做功的平均功率 } \bar{P} = \frac{W}{t} =$$

$\frac{1}{2} mg^2 t$ ;  $t$  秒末小球速度  $v = gt$ ,重力做功的瞬时功率  $P = mgv = mg^2 t$ ,C 正确。

3. 如图甲所示,滑轮质量、摩擦均不计,质量为  $2 \text{ kg}$  的物体在力  $F$  作用下由静止开始向上做匀加速运动,其速度随时间的变化关系如图乙所示,由此可知(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



A. 物体加速度大小为  $2 \text{ m/s}^2$

B.  $4 \text{ s}$  末  $F$  的功率大小为  $42 \text{ W}$

C.  $F$  的大小为  $21 \text{ N}$

D.  $4 \text{ s}$  内  $F$  做功的平均功率为  $42 \text{ W}$

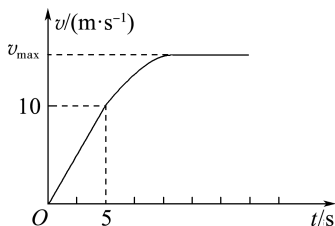
B 解析:由速度-时间图像可得加速度  $a = 0.5 \text{ m/s}^2$ ,A 项错误;由牛顿第二定律有  $2F - mg = ma$ ,得  $F = \frac{mg + ma}{2} = 10.5 \text{ N}$ ,C 项错误; $4 \text{ s}$  末  $F$  的功率  $P = F \cdot 2v = 10.5 \times 2 \times 2 \text{ W} = 42 \text{ W}$ ,B 项正确, $4 \text{ s}$  内  $F$  的平均功率  $\bar{P} = \frac{W}{t} = \frac{Fx}{t} = \frac{10.5 \times 2 \times 4}{4} \text{ W} =$

$21 \text{ W}$ ,D 项错误。

### 知识点 2 机车启动方式

4. 一辆汽车在水平路面上由静止启动,在前  $5 \text{ s}$  内做匀加速直线运动, $5 \text{ s}$  末达到额定功率,之后保持额定功率运动,其  $v-t$  图像如图所示。已知汽车的质

量为  $m = 2 \times 10^3 \text{ kg}$ ,汽车受到地面的阻力为车重的  $\frac{1}{10}$ ,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,则



- A. 汽车在前  $5 \text{ s}$  内的阻力为  $200 \text{ N}$   
 B. 汽车在前  $5 \text{ s}$  内的牵引力为  $6 \times 10^3 \text{ N}$   
 C. 汽车的额定功率为  $40 \text{ kW}$   
 D. 汽车的最大速度为  $20 \text{ m/s}$

B 解析:汽车受到地面的阻力为车重的  $\frac{1}{10}$ ,则阻力  $f = \frac{1}{10} mg = \frac{1}{10} \times 2 \times 10^3 \times 10 \text{ N} = 2000 \text{ N}$ ,选项 A

错误;由题图知前  $5 \text{ s}$  内的加速度  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2 \text{ m/s}^2$ ,

由牛顿第二定律知  $F - f = ma$ ,得前  $5 \text{ s}$  内的牵引力  $F = f + ma = (2000 + 2 \times 10^3 \times 2) \text{ N} = 6 \times 10^3 \text{ N}$ ,选项 B 正确; $5 \text{ s}$  末达到额定功率,则  $P_{\text{额}} = Fv_5 = 6 \times 10^3 \times 10 \text{ W} = 6 \times 10^4 \text{ W} = 60 \text{ kW}$ ,最大速度

$v_{\text{max}} = \frac{P_{\text{额}}}{f} = \frac{6 \times 10^4}{2000} \text{ m/s} = 30 \text{ m/s}$ ,选项 C、D 错误。

5. 如图所示,汽车停在缓坡上,要求驾驶员在保证汽车不后退的前提下向上启动,这就是汽车驾驶中的“坡道起步”。驾驶员的正确操作是将变速杆挂入低速挡,徐徐踩下加速踏板,然后慢慢松开离合器,同时松开手刹,汽车慢慢启动。下列说法正确的是

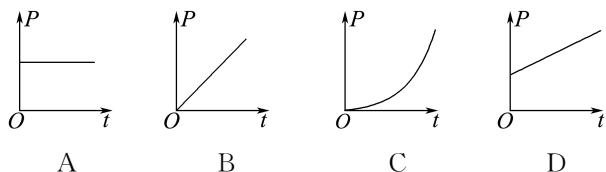
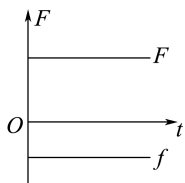


- A. 将变速杆挂入低速挡,是为了提供较大的牵引力  
 B. 将变速杆挂入低速挡,是为了增大汽车的输出功率  
 C. 徐徐踩下加速踏板,是为了让牵引力对汽车做更多的功  
 D. 徐徐踩下加速踏板,是为了让汽车的输出功率保持为额定功率

A 解析:根据  $P = Fv$  可知,将变速杆挂入低速挡是为了增大牵引力,A 正确,B 错误;徐徐踩下加速踏板时发动机的输出功率缓慢增大,根据  $P = Fv$  可知,可以逐渐增大牵引力,C、D 错误。

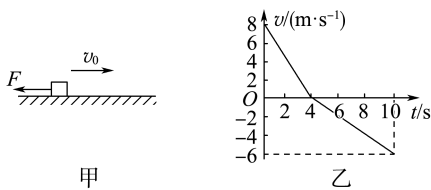
## 综合性 · 创新提升

6. 一辆小车在水平面上做匀速直线运动,从某时刻起,小车所受牵引力和阻力随时间变化的规律如图所示,则作用在小车上的牵引力  $F$  的功率随时间变化的规律是下图中的 ( )



**D 解析:** 小车在水平面上做匀速直线运动,则初速度不为零,所以初始功率不为零;小车所受的牵引力  $F$  和阻力  $f$  都恒定不变,且牵引力  $F$  大于阻力  $f$ ,所以小车做匀加速直线运动,速度均匀增大,根据  $P = Fv$  可知,功率  $P$  随时间  $t$  均匀增大,所以  $D$  正确,A、B、C 错误。

7. (多选) 质量为  $m = 2 \text{ kg}$  的物体沿水平面向右做直线运动, $t = 0$  时刻受到一个水平向左的恒力  $F$ ,如图甲所示,此后物体的  $v-t$  图像如图乙所示,取水平向右为正方向。取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,则 ( )



- A. 物体与水平面间的动摩擦因数为  $\mu = 0.5$   
 B. 10 s 末恒力  $F$  的瞬时功率为 6 W  
 C. 10 s 末物体在计时起点左侧 2 m 处  
 D. 10 s 内物体克服摩擦力做功 34 J

**CD 解析:** 由  $v-t$  图像得两段时间内的加速度大小分别为  $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$ ,  $a_2 = 1 \text{ m/s}^2$ 。根据牛顿第二定律有  $F + \mu mg = ma_1$ ,  $F - \mu mg = ma_2$ , 解得  $F = 3 \text{ N}$ ,  $\mu = 0.05$ , A 错误; 10 s 末恒力  $F$  的瞬时功率  $P = Fv = 18 \text{ W}$ , B 错误; 10 s 内物体的位移  $x = \frac{8}{2} \times 4 \text{ m} - \frac{6}{2} \times 6 \text{ m} = -2 \text{ m}$ , 说明 10 s 末物体在计时起

点左侧 2 m 处, C 正确; 整个过程的路程  $s = \frac{8}{2} \times 4 \text{ m} + \frac{6}{2} \times 6 \text{ m} = 34 \text{ m}$ , 所以 10 s 内物体克服摩擦力做功  $W = \mu mgs = 34 \text{ J}$ , D 正确。

8. 一只花盆从 10 楼(距地面高度约为  $h = 30 \text{ m}$ ) 的窗台上不慎掉落,忽略空气阻力。已知花盆的质量  $m = 2 \text{ kg}$ ,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) 在花盆下落到地面的过程中,重力对花盆做的功  $W_G$ ;  
 (2) 花盆下落 2 s 末时重力的瞬时功率  $P$ ;  
 (3) 花盆下落第 2 s 内重力的平均功率  $\bar{P}$ 。

**解析:** (1)  $W_G = mgh = 2 \times 10 \times 30 \text{ J} = 600 \text{ J}$ 。

(2)  $P = mg \cdot v = mg^2 t = 400 \text{ W}$ 。

(3)  $\Delta h = \frac{1}{2}gt_2^2 - \frac{1}{2}gt_1^2 = 15 \text{ m}$

$\bar{P} = \frac{W}{t'} = \frac{mg\Delta h}{t'} = \frac{2 \times 10 \times 15}{1} \text{ W} = 300 \text{ W}$ 。

**答案:** (1) 600 J (2) 400 W (3) 300 W

9. 一辆重 5 t 的汽车,发动机的额定功率为 80 kW。汽车从静止开始以加速度  $a = 1 \text{ m/s}^2$  做匀加速直线运动,车受到的阻力与车重之比为 0.06。取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) 汽车做匀加速直线运动的最长时间;  
 (2) 汽车开始运动后,第 5 s 末和第 15 s 末的瞬时功率。

**解析:** (1) 设汽车匀加速运动所能达到的最大速度为  $v_0$ ,对汽车由牛顿第二定律得  $F - f = ma$

即  $\frac{P_{\text{额}}}{v_0} - kmg = ma$

代入数据得  $v_0 = 10 \text{ m/s}$

所以汽车做匀加速直线运动的时间

$t_0 = \frac{v_0}{a} = \frac{10}{1} \text{ s} = 10 \text{ s}$ 。

(2) 由于 10 s 末汽车达到了额定功率,因此第 5 s 末汽车还处于匀加速运动阶段,  $P = Fv = (f + ma)at = (0.06 \times 5 \times 10^3 \times 10 + 5 \times 10^3 \times 1) \times 1 \times 5 \text{ W} = 40 \text{ kW}$   
 第 15 s 末汽车已经达到了额定功率,  $P' = P_{\text{额}} = 80 \text{ kW}$ 。

**答案:** (1) 10 s (2) 40 kW 80 kW

### 3 动能 动能定理

#### 学习任务目标

1. 知道动能的单位和表达式,理解动能定理的意义。(物理观念)
2. 能用牛顿第二定律与运动学公式导出动能定理,会根据动能定理的表达式进行有关计算。(科学思维)
3. 通过实例掌握应用动能定理处理相关问题的基本思路,体会应用动能定理解题的优势。(科学思维)

#### 问题式预习

##### 知识点一 动能 动能定理

###### 1. 动能

(1) 定义:物体由于运动而具有的能。

(2) 表达式: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 。

(3) 单位:与功的单位相同,国际制单位为焦耳;  $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ 。

(4) 物理量特点

- ① 具有瞬时性,是状态量。
- ② 具有相对性,选取不同的参考系,同一物体的动能一般不同。无特殊说明时,一般是指相对于地面的动能。
- ③ 是标量,有大小,没有方向。

###### 2. 动能定理

(1) 内容: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量。

(2) 表达式

$$\textcircled{1} W = E_{k2} - E_{k1};$$

$$\textcircled{2} W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2.$$

说明:式中  $W$  为外力所做的功,它等于各力做功的代数和。如果外力做正功,物体的动能增加;如果外力做负功,物体的动能减少。

(3) 适用范围:不仅适用于恒力做功和直线运动,也适用于变力做功和曲线运动。

###### [判一判]

- (1) 速度大的物体动能也大。 ( × )
- (2) 质量一定的物体,速度加倍,它的动能也加倍。 ( × )
- (3) 运动物体的速度发生变化,则物体的动能一定变化。 ( × )
- (4) 两质量相同的物体动能相同,速度一定相同。 ( × )
- (5) 物体在合外力作用下做变速运动,动能一定变化。 ( × )

(6) 物体的动能不变,所受的合外力必定为零。

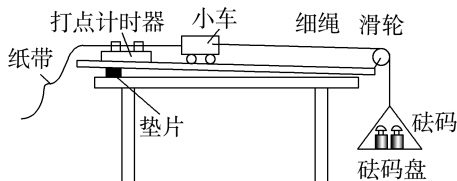
( × )

(7) 合外力做功不等于零,物体的动能一定变化。

( √ )

##### 知识点二 动能定理的实验证明

借用“探究加速度与力、质量之间关系”的实验装置验证动能定理。



(1) 实验时需要把砝码及砝码盘受到的总重力近似视为细绳对小车的拉力,条件是砝码及砝码盘的质量远小于小车的质量。

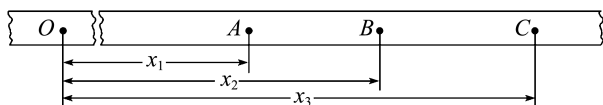
(2) 实验时如果把对小车的拉力视为小车受到的合外力,实验前需平衡小车受到的摩擦力,方法是:把木板靠近打点计时器一侧垫高到适当高度,让小车不挂砝码及砝码盘时恰好在木板上做匀速直线运动。

(3) 取纸带上适当距离的两个计数点,分别计算这两个点对应的速度,计算出小车的动能变化量;测量出这两个点间的距离,计算拉力对小车做的功。

(4) 如果小车的动能变化量与拉力对小车做的功在误差允许的范围相等,则验证了在这个过程中外力对小车做的功等于它动能的增量。

###### [做一做]

某次实验按正确操作打出的纸带如图所示, $O$  为打点计时器打出的第一个点, $A$ 、 $B$ 、 $C$  为三个相邻的计数点,已知相邻计数点间的时间间隔为  $T$ 。测得  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点到  $O$  点的距离为  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 。实验中满足砝码及砝码盘的质量  $m$  远小于小车质量  $M$ 。从打  $O$  点到打  $B$  点的过程中,拉力对小车做的功  $W = \underline{\hspace{2cm}}$  (重力加速度用  $g$  表示),打  $B$  点时小车的动能  $E_k = \underline{\hspace{2cm}}$  (结果用题中给出的字母表示)。若在误差允许的范围内有  $W = E_k$ ,则实验成功。



提示:根据做功公式可知,从O点到B点的过程,拉力对小车做的功为  $W = mgx_{OB} = mgx_2$ , 因为  $v_B =$

$$\bar{v}_{AC} = \frac{x_{AC}}{2T} = \frac{x_3 - x_1}{2T}, \text{ 所以打 } B \text{ 点时小车的动能 } E_k = \frac{1}{2} M v_B^2 = \frac{M(x_3 - x_1)^2}{8T^2}.$$

答案:  $mgx_2 \quad \frac{M(x_3 - x_1)^2}{8T^2}$

## 任务型课堂

### 任务一 对动能定理的理解

1. (多选) 一物体做变速运动, 下列说法正确的有 ( BD )

- A. 合力一定对物体做功, 使物体动能改变
- B. 物体所受合力一定不为零
- C. 合力一定对物体做功, 但物体动能可能不变
- D. 物体加速度一定不为零

2. (多选) 关于动能, 下列说法正确的是 ( ABC )

- A. 动能是普遍存在的机械能的一种基本形式, 凡是运动的物体都具有动能
- B. 动能总是正值, 但对于不同的参考系, 同一物体的动能大小一般不同
- C. 一定质量的物体, 动能变化时, 速度一定变化, 但速度变化时, 动能不一定变化
- D. 动能不变的物体, 一定处于平衡状态

3. 在水平路面上有一辆以 36 km/h 的速度行驶的客车, 在车厢后方座位有一位乘客甲, 把一个质量为 4 kg 的行李以相对客车 5 m/s 的速度抛给前方座位的另一位乘客乙, 则以地面为参考系行李的动能和以客车为参考系行李的动能分别是 ( B )

- A. 200 J, 50 J
- B. 450 J, 50 J
- C. 50 J, 50 J
- D. 450 J, 450 J

4. 下列关于运动物体所受的合外力、合外力做功和动能变化的关系, 说法正确的是 ( )

- A. 如果物体所受的合外力为零, 那么合外力对物体做的功一定为零
- B. 如果合外力对物体做的功为零, 则合外力一定为零
- C. 物体在合外力作用下做匀变速直线运动, 则动能在一段过程中变化量一定不为零
- D. 如果物体的动能不发生变化, 则物体所受合外力一定为零

A 解析: 根据力对物体做功的定义可知, 合外力为零时, 合外力对物体做的功一定为零, 故 A 正确; 若

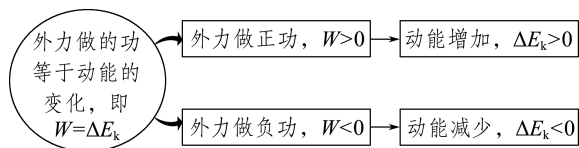
物体在合外力的方向上的位移为零, 那么合外力对物体做的功为零, 但合外力不一定为零, 故 B 错误; 物体在合外力作用下做匀变速直线运动, 动能在一段过程中变化量可能为零, 例如, 竖直上抛运动, 经过一段时间后物体回到原来的位置, 位移为零, 合外力做功为零, 动能变化为零, 故 C 错误; 合外力对物体做的功等于物体动能的变化量, 物体的动能不发生变化, 说明合外力做功为零, 但是物体所受的合外力不一定为零, 故 D 错误。

### 任务总结

#### 1. 动能与速度的三种关系

- (1) 数值关系:  $E_k = \frac{1}{2} m v^2$ , 质量  $m$  一定时, 速度  $v$  越大, 动能  $E_k$  越大。
- (2) 瞬时关系: 动能和速度均为状态量, 二者具有瞬时对应关系。
- (3) 变化关系: 动能是标量, 速度是矢量, 质量一定的物体, 当动能发生变化时, 物体的速度 (大小) 一定发生了变化; 当速度发生变化时, 可能仅是速度方向发生了变化, 物体的动能可能不变。

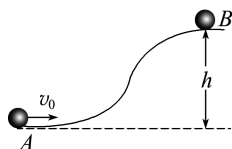
#### 2. 外力做功与动能变化的关系



### 任务二 动能定理的应用

#### [探究活动]

如图所示, 质量为  $m$  的小球以初速度  $v_0$  从山坡底部 A 处恰好冲上高为  $h$  的坡顶 B。



(1) 小球运动过程中哪些力做了功?

提示: 小球受到的重力和阻力都对小球做了负功, 支持力不做功。

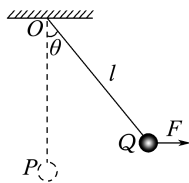
(2) 如何求得小球克服阻力做的功?

提示: 根据动能定理有  $-mgh - W_f = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$ , 可求得小球克服阻力做的功  $W_f = \frac{1}{2}mv_0^2 - mgh$ 。

### [评价活动]

1. 一质量为  $m$  的小球, 用长为  $l$  的轻绳悬挂于  $O$  点。

小球在水平拉力  $F$  的作用下, 从平衡位置  $P$  点缓慢地移动到  $Q$  点, 轻绳与竖直方向的夹角为  $\theta$ , 如图所示, 则拉力  $F$  所做的功为 ( B )



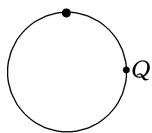
- A.  $mgl \cos \theta$                       B.  $mgl(1 - \cos \theta)$   
C.  $F l \cos \theta$                       D.  $F l \sin \theta$

2. 如图所示, 某人骑自行车下坡, 坡长  $x = 500$  m, 坡高  $h = 8$  m, 人和车总质量为  $100$  kg, 下坡时初速度为  $4$  m/s, 人不踏车的情况下, 到达坡底时车速为  $10$  m/s, 取  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>, 则下坡过程中阻力所做的功为 ( B )



- A.  $-4\ 000$  J                      B.  $-3\ 800$  J  
C.  $-5\ 000$  J                      D.  $-4\ 200$  J

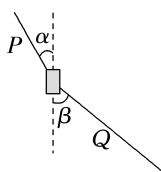
3. (2024 · 全国甲卷) 如图, 一光滑大圆环固定在竖直平面内, 质量为  $m$  的小环套在大圆环上, 小环从静止开始由大圆环顶端经  $Q$  点自由下滑至其底部,  $Q$  为竖直线与大圆环的切点, 则小环下滑过程中对大圆环的作用力大小 ( C )



- A. 在  $Q$  点最大                      B. 在  $Q$  点最小  
C. 先减小后增大                      D. 先增大后减小

4. (2024 · 新课标卷) 将重物从高层楼房的窗外运到地面时, 为安全起见, 要求下降过程中重物与楼墙保持一定的距离。如图, 一种简单的操作方法是一

人在高处控制一端系在重物上的绳子  $P$ , 另一人在地面控制另一端系在重物上的绳子  $Q$ , 二人配合可使重物缓慢竖直下降。若重物的质量  $m = 42$  kg, 取重力加速度大小  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>。当  $P$  绳与竖直方向的夹角  $\alpha = 37^\circ$  时,  $Q$  绳与竖直方向的夹角  $\beta = 53^\circ$ 。(  $\sin 37^\circ = 0.6$  )



(1) 求此时  $P$ 、 $Q$  两绳中拉力的大小;

(2) 若开始竖直下降时重物距地面的高度  $h = 10$  m, 求在重物下降到地面的过程中, 两根绳子拉力对重物做的总功。

解析: (1) 由题意可知重物下降过程中受力平衡, 设此时  $P$  绳中拉力的大小为  $F_P$ 、 $Q$  绳中拉力的大小为  $F_Q$ , 则

在竖直方向上有  $F_P \cos \alpha = F_Q \cos \beta + mg$

在水平方向上有  $F_P \sin \alpha = F_Q \sin \beta$

联立并代入数据解得  $F_P = 1\ 200$  N、 $F_Q = 900$  N。

(2) 重物下降到地面的过程, 根据动能定理有

$$mgh + W_{\text{总}} = 0$$

代入数据解得  $W_{\text{总}} = -4\ 200$  J。

答案: (1)  $1\ 200$  N  $900$  N (2)  $-4\ 200$  J

5. 假设一质量  $M = 6.0 \times 10^3$  kg 的客机, 从静止开始沿平直的跑道匀加速滑行, 当滑行距离  $x = 720$  m 时, 达到起飞速度  $v = 60$  m/s。则:

(1) 起飞时飞机的动能多大?

(2) 若不计滑行过程中飞机所受的阻力, 则飞机受到的牵引力为多大?

(3) 若滑行过程中飞机受到的平均阻力大小为  $f = 3.0 \times 10^3$  N, 牵引力与第(2)问中求得的值相等, 则要达到上述起飞速度, 飞机的滑行距离应为多大?

解析: (1) 飞机起飞时的动能  $E_k = \frac{1}{2}Mv^2$

代入数据得  $E_k = 1.08 \times 10^7$  J。

(2) 设牵引力为  $F_1$ , 由动能定理得

$$F_1 x = E_k - 0$$

代入数据解得  $F_1 = 1.5 \times 10^4$  N。

(3) 设滑行距离为  $x'$ , 由动能定理得

$$F_1 x' - f x' = E_k - 0$$

整理得  $x' = \frac{E_k}{F_1 - f}$

代入数据解得  $x' = 900$  m。

答案: (1)  $1.08 \times 10^7$  J (2)  $1.5 \times 10^4$  N (3)  $900$  m

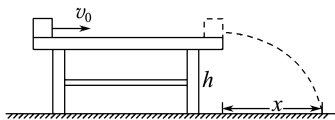
### 任务总结

#### 对动能定理的理解

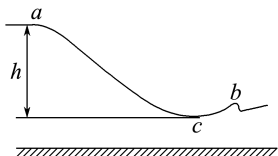
- (1) 动能定理的研究对象可以是单一物体,也可以是由多个物体组成的系统。
- (2) 动能定理是求解物体位移或速率的简捷方法。
- (3) 若运动过程包含了几个运动性质不同的分过程,则既可分段考虑,也可直接对整个过程中进行分析。
- (4) 应用动能定理时,必须明确各力做功的正、负。当一个力做负功时,可设物体克服该力做功为  $W$ ,将该力做功表达为  $-W$ ,也可以直接用字母  $W$  表示该力做功,使其字母本身含有负号。

### 任务三 动能定理与曲线运动的综合

1. 如图所示,质量为  $0.1 \text{ kg}$  的小物块在粗糙水平桌面上滑行  $4 \text{ m}$  后以  $3.0 \text{ m/s}$  的速度飞离桌面,最终落在水平地面上。已知物块与桌面间的动摩擦因数为  $0.5$ ,桌面高  $0.45 \text{ m}$ 。若不计空气阻力,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,则 ( D )

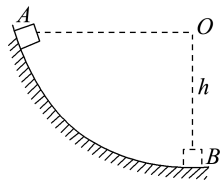


- 小物块的初速度是  $5 \text{ m/s}$
  - 小物块的水平射程为  $1.2 \text{ m}$
  - 小物块在桌面上克服摩擦力做了  $8 \text{ J}$  的功
  - 小物块落地时的动能为  $0.9 \text{ J}$
2. 北京 2022 年冬奥会首钢滑雪大跳台局部示意图如图所示。运动员从  $a$  处由静止自由滑下,到  $b$  处起跳, $c$  点为  $a$ 、 $b$  之间的最低点, $a$ 、 $c$  两处的高度差为  $h$ 。要求运动员经过  $c$  点时对滑雪板的压力不大于自身所受重力的  $k$  倍,运动过程中将运动员视为质点并忽略所有阻力,则  $c$  点处这一段圆弧雪道的半径不应小于 ( D )



- $\frac{h}{k+1}$
  - $\frac{h}{k}$
  - $\frac{2h}{k}$
  - $\frac{2h}{k-1}$
3. 如图所示,物体(可看成质点)沿一曲面从  $A$  点无初速度下滑,当滑至曲面的最低点  $B$  点时,下滑的竖直高度  $h = 5 \text{ m}$ ,此时物体的速度  $v = 6 \text{ m/s}$ 。若物体的质量  $m = 1 \text{ kg}$ ,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,求物体在下滑

过程中克服阻力所做的功。



解析:物体在曲面上受到的力为重力、弹力、摩擦力,其中弹力始终与速度方向垂直,不做功。设摩擦力做功为  $W_f$ ,由  $A$  点到  $B$  点,由动能定理知

$$mgh + W_f = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

解得  $W_f = -32 \text{ J}$

故物体在下滑过程中克服阻力所做的功为  $32 \text{ J}$ 。

答案:  $32 \text{ J}$

4. 如图所示装置是一种过山车模型,轨道可看作是光滑的,从左侧斜轨道合适位置释放小球,小球会沿轨道做两次圆周运动滑至轨道末端。若小球质量为  $m$ ,大圆轨道半径为  $R$ ,小圆轨道半径是大圆轨道半径的  $\frac{2}{3}$ 。要使小球刚好能沿轨道运动,则:

- (1) 释放小球的位置距轨道最低点有多高?
- (2) 到达小圆轨道最高点时,小球对轨道的压力为多大?



解析:(1) 若小球刚好能沿轨道运动,小球到达大圆轨道最高点对轨道无压力,由重力提供向心力,则

$$mg = \frac{mv^2}{R}$$

得  $v = \sqrt{gR}$

设释放位置的高度为  $h$ ,由动能定理得

$$mg(h - 2R) = \frac{1}{2}mv^2$$

解得  $h = \frac{5}{2}R$ 。

(2) 设到达小圆轨道最高点时的速度为  $v'$ ,根据动能定理有

$$mg\left(h - \frac{4}{3}R\right) = \frac{1}{2}mv'^2$$

由向心力公式得  $N + mg = \frac{mv'^2}{\frac{2}{3}R}$

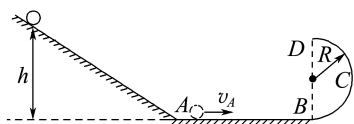
$$\text{解得 } N = \frac{5}{2}mg$$

由牛顿第三定律可知,小球对轨道的压力为  $\frac{5}{2}mg$ 。

$$\text{答案: (1) } \frac{5}{2}R \quad (2) \frac{5}{2}mg$$

5. 如图所示,质量  $m=0.1 \text{ kg}$  的金属小球从距水平面  $h=2.0 \text{ m}$  的光滑斜面上由静止开始释放,经过 A 点时无能量损耗,水平面 AB 是长为  $2.0 \text{ m}$  的粗糙平面,与半径为  $R=0.4 \text{ m}$  的光滑半圆形轨道 BCD 相切于 B 点,其中半圆形轨道在竖直平面内, D 为轨道的最高点,小球恰能通过最高点 D。取  $g=10 \text{ m/s}^2$ ,不计空气阻力。求:

- (1) 小球运动到 A 点时的速度大小;
- (2) 小球从 A 点运动到 B 点时摩擦阻力所做的功;
- (3) 小球从 D 点飞出后落点 E (图中未画出) 与 A 点间的距离。



**解析:** (1) 根据题意和题图可得,小球运动到 A 点的过程中由动能定理得

$$mgh = \frac{1}{2}mv_A^2$$

$$\text{所以 } v_A = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 2.0} \text{ m/s} = 2\sqrt{10} \text{ m/s}.$$

(2) 小球运动到 D 点时,由重力提供向心力,则

$$F_n = mg = m \frac{v_D^2}{R}$$

$$\text{则 } v_D = \sqrt{gR} = 2 \text{ m/s}$$

在小球由 B 点运动到 D 点过程中,由动能定理得

$$-mg \times 2R = \frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$\text{解得 } v_B = \sqrt{4gR + v_D^2} = 2\sqrt{5} \text{ m/s}$$

所以从 A 点到 B 点的过程中,由动能定理得

$$W_f = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2} \times 0.1 \times (20 - 40) \text{ J} = -1 \text{ J}.$$

(3) 小球从 D 点飞出后做平抛运动,故有

$$\text{竖直位移 } y = 2R = \frac{1}{2}gt^2$$

$$\text{则 } t = \sqrt{\frac{4R}{g}} = 0.4 \text{ s}$$

$$\text{水平位移 } x_{BE} = v_D t = 0.8 \text{ m}$$

$$\text{所以 } x_{AE} = x_{AB} - x_{BE} = 1.2 \text{ m}.$$

$$\text{答案: (1) } 2\sqrt{10} \text{ m/s} \quad (2) -1 \text{ J} \quad (3) 1.2 \text{ m}$$

### 任务总结

#### 处理动能定理与曲线运动结合问题的注意事项

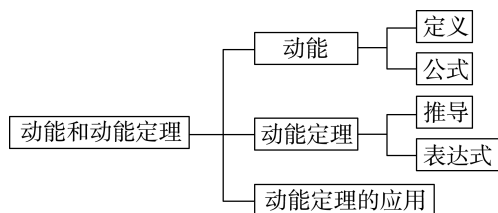
(1) 与平抛运动相结合时,要注意应用运动的合成与分解的方法,如分解位移或分解速度求平抛运动的有关物理量。

(2) 与竖直平面内的圆周运动相结合时,应特别注意隐藏临界条件。

① 有支撑效果的竖直平面内的圆周运动,物体能过最高点的临界条件为  $v_{\min} = 0$ 。

② 没有支撑效果的竖直平面内的圆周运动,物体能过最高点的临界条件为  $v_{\min} = \sqrt{gR}$ 。

### ► 提质归纳



## 课后素养评价(十四) 动能 动能定理

### 基础性·能力运用

#### 知识点 1 对动能及动能定理的理解

1. 下面有关动能的说法正确的是 ( )

- 物体只有做匀速运动时,动能才不变
- 物体做平抛运动时,水平方向速度不变,动能不变
- 物体做自由落体运动时,速度逐渐变大,物体的动能增加

D. 物体的动能变化时,速度不一定变化;速度变化时,动能一定变化

**C 解析:** 只要物体速率不变,动能就不变,故 A 错误;物体做平抛运动时,速率增大,动能增加,动能是标量,讨论某一方向上的动能变化没有意义,故 B 错误;物体做自由落体运动时,由  $v=gt$  知,速度逐渐变大,物体的动能增加,故 C 正确;物体的动能变化时,速度的大小一定变化,故 D 错误。

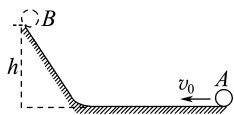
2. A、B 两物体在光滑水平面上, 分别在相同的水平恒力  $F$  作用下, 由静止开始通过相同的位移  $x$ 。若 A 的质量大于 B 的质量, 则在这一过程中 ( )

- A. A 获得的动能较大
- B. B 获得的动能较大
- C. A、B 获得的动能一样大
- D. 无法比较 A、B 获得的动能大小

**C 解析:** 由动能定理可知, 合外力做功相同, 则动能变化量相同, 故 C 选项正确。

**知识点 2 动能定理的应用**

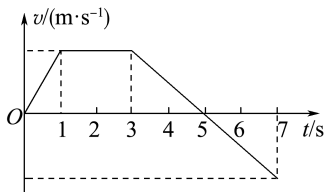
3. 如图所示, 小球以初速度  $v_0$  从 A 点沿粗糙的轨道运动到高为  $h$  的 B 点后沿原路返回, 其返回途中仍经过 A 点, 则再次经过 A 点时的速度大小为 ( )



- A.  $\sqrt{v_0^2 - 4gh}$
- B.  $\sqrt{4gh - v_0^2}$
- C.  $\sqrt{v_0^2 - 2gh}$
- D.  $\sqrt{2gh - v_0^2}$

**B 解析:** 从 A 到 B 的过程中, 重力和摩擦力都做负功, 根据动能定理可得  $0 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -mgh - W_f$ ; 从 B 到 A 的过程中, 重力做正功, 摩擦力做负功 (因为是沿原路返回, 所以两种情况下摩擦力做功大小相等), 根据动能定理可得  $mgh - W_f = \frac{1}{2}mv^2$ , 两式联立得再次经过 A 点时的速度大小为  $\sqrt{4gh - v_0^2}$ , B 正确。

4. (多选) 物体沿直线运动的  $v-t$  关系如图所示。已知在第 1 s 内合外力对物体做的功为  $W$ , 则 ( )



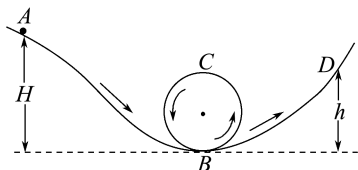
- A. 从第 1 s 末到第 3 s 末合外力做的功为  $4W$
- B. 从第 3 s 末到第 5 s 末合外力做的功为  $-2W$
- C. 从第 5 s 末到第 7 s 末合外力做的功为  $W$
- D. 从第 3 s 末到第 4 s 末合外力做的功为  $-0.75W$

**CD 解析:** 由题图知, 第 1 s 末、第 3 s 末、第 7 s 末

速度的大小关系为  $v_1 = v_3 = v_7$ , 由题知  $W = \frac{1}{2}mv_1^2 - 0$ , 则由动能定理知第 1 s 末到第 3 s 末合外力做功  $W_1 = \frac{1}{2}mv_3^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = 0$ , 故 A 错误; 第 3 s 末到第 5 s 末合外力做功  $W_2 = 0 - \frac{1}{2}mv_3^2 = -W$ , 故 B 错误; 第 5 s 末到第 7 s 末合外力做功  $W_3 = \frac{1}{2}mv_7^2 - 0 = W$ , 故 C 正确; 第 3 s 末到第 4 s 末合外力做功  $W_4 = \frac{1}{2}mv_4^2 - \frac{1}{2}mv_3^2$ , 因为  $v_4 = \frac{1}{2}v_3$ , 所以  $W_4 = -0.75W$ , 故 D 正确。

**知识点 3 动能定理与曲线运动的结合**

5. (多选) 如图所示, 一个小球 (可视为质点) 从  $H = 12$  m 高处, 由静止开始沿光滑弯曲轨道 AB 进入半径  $R = 4$  m 的竖直圆环内侧。小球与圆环间的动摩擦因数处处相等, 当到达圆环顶点 C 时, 刚好对轨道的压力为零。然后小球沿 CB 圆弧滑下, 进入光滑弧形轨道 BD, 到达高度为  $h$  的 D 点时速度为零, 则  $h$  的值可能为 ( )



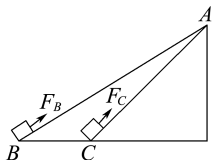
- A. 10 m
- B. 9.5 m
- C. 8.5 m
- D. 8 m

**BC 解析:** 小球到达圆环顶点 C 时, 对轨道的压力刚好为零, 在 C 点, 由重力提供向心力, 则根据牛顿第二定律得  $mg = m\frac{v^2}{R}$ , 小球从  $H = 12$  m 高处由静止释放后通过光滑弧形轨道 AB 上升到顶点 C 过程中, 根据动能定理得  $mg(H - 2R) - W_f = \frac{1}{2}mv^2$ , 得  $W_f = \frac{1}{2}mgR$ 。从 C 到 D 由动能定理得  $mg(2R - h) - W_f' = 0 - \frac{1}{2}mv^2$ , 因为摩擦力做负功, 所以上升过程的平均速度比下降过程的平均速度大, 对轨道的压力和摩擦力也更大, 所以  $0 < W_f' < W_f$ , 解得  $8 \text{ m} < h < 10 \text{ m}$ , 所以 B、C 正确。

## 综合性·创新提升

6. 分别沿两个光滑斜面由 B、C 两点将同一物体匀速提升到 A 点, 如图所示。若沿两个斜面的拉力分别为  $F_B$ 、 $F_C$ , 两个过程中拉力做的功分别为  $W_B$ 、 $W_C$ , 则 ( )

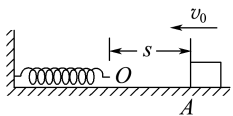
- A.  $W_B > W_C$   $F_B < F_C$   
 B.  $W_B = W_C$   $F_B < F_C$   
 C.  $W_B > W_C$   $F_B = F_C$   
 D.  $W_B = W_C$   $F_B = F_C$



B 解析: 设斜面高度为  $h$ , 倾角为  $\theta$ , 物体的质量为  $m$ 。根据平衡条件得, 拉力  $F = mg \sin \theta$ , 由题图知斜面 AC 的倾角  $\theta$  较大, 对应的拉力  $F_C$  较大; 根据动能定理  $W - mgh = 0$ , 即沿斜面匀速上升过程中拉力做的功  $W = mgh$ , 故  $W_B = W_C$ 。所以选项 B 正确。

7. 质量为  $m$  的物体以初速度  $v_0$  沿水平面向左运动, 起始点 A 与一轻质弹簧 O 端相距  $s$ , 如图所示。已知物体与水平面间的动摩擦因数为  $\mu$ , 物体与弹簧相碰后, 弹簧的最大压缩量为  $x$ , 则从开始碰撞到弹簧被压缩至最短的过程中, 物体克服弹簧弹力所做的功为 ( )

- A.  $\frac{1}{2}mv_0^2 - \mu mg(s+x)$   
 B.  $\frac{1}{2}mv_0^2 - \mu mgx$   
 C.  $\mu mgs$   
 D.  $\mu mg(s+x)$

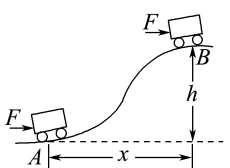


A 解析: 对全过程由动能定理得  $-W - \mu mg(s+x) = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$ , 故物体克服弹簧弹力做功  $W =$

$\frac{1}{2}mv_0^2 - \mu mg(s+x)$ , A 正确。

8. (多选) 如图所示, 质量为  $m$  的小车在水平恒力  $F$  的推动下, 从山坡(粗糙)底部 A 处由静止开始运动至高为  $h$  的坡顶 B 处。已知小车获得速度为  $v$ , A、B 之间的水平距离为  $x$ , 重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是 ( )

- A. 小车克服重力所做的功是  $mgh$   
 B. 合外力对小车做的功是  $\frac{1}{2}mv^2$   
 C. 推力对小车做的功是  $\frac{1}{2}mv^2 + mgh$   
 D. 阻力对小车做的功是  $\frac{1}{2}mv^2 + mgh - Fx$



ABD 解析: 重力做的功  $W_G = -mgh$ , A 正确; 根据动能定理, 可知合外力做的功  $W = E_k = \frac{1}{2}mv^2$ , B 正确; 推力做的功  $W = Fx = \frac{1}{2}mv^2 + mgh - W_f$ , C 错误; 由上述分析得阻力做的功  $W_f = \frac{1}{2}mv^2 + mgh - Fx$ , D 正确。

9. 将质量为  $m$  的物体以速度  $3v_0$  竖直向上抛出, 物体落回原处时速度大小为  $\frac{3v_0}{4}$ 。求:

- (1) 物体运动过程中所受的平均空气阻力;  
 (2) 物体以初速度  $2v_0$  竖直向上抛出时能到达的最大高度。(假设空气阻力大小不变)

解析: (1) 设平均空气阻力大小为  $f$ , 由动能定理

$$\text{上升时, 有 } -mgh - fh = 0 - \frac{1}{2}m \times (3v_0)^2$$

$$\text{对全程, 有 } -2fh = \frac{1}{2}m \times \left(\frac{3}{4}v_0\right)^2 - \frac{1}{2}m \times (3v_0)^2$$

由以上两式可解得  $f = \frac{15}{17}mg$ 。

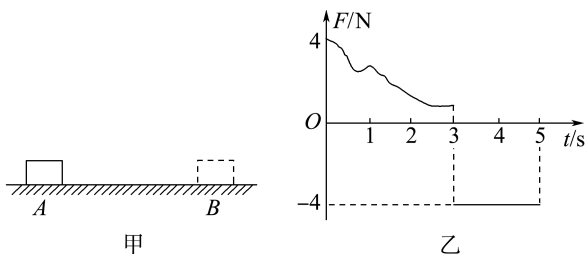
- (2) 设物体以  $2v_0$  速度竖直上抛时能到达的最大高度为  $H$ , 由动能定理有  $-fH - mgH = 0 - \frac{1}{2}m \times (2v_0)^2$

$$\text{得 } H = \frac{17v_0^2}{16g}。$$

答案: (1)  $\frac{15}{17}mg$  (2)  $\frac{17v_0^2}{16g}$

10. 如图甲所示, 质量为  $m = 1 \text{ kg}$  的物块静止在粗糙水平面上的 A 点, 从  $t = 0$  时刻开始, 物块受到按图乙所示规律变化的水平力  $F$  作用并向右运动, 第 3 s 末物块运动到 B 点时速度刚好为 0, 第 5 s 末物块刚好回到 A 点。已知物块与粗糙水平面之间的动摩擦因数  $\mu = 0.2$ , 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) A 点与 B 点间的距离;  
 (2) 水平力  $F$  在 5 s 内对物块所做的功。



解析: (1) 在 3~5 s 物块在水平恒力  $F$  作用下由 B

点匀加速运动到 A 点。设物块的加速度的大小为  $a$ , A 点与 B 点间的距离为  $x$ , 时间间隔  $t=2\text{ s}$ , 由牛顿第二定律得

$$F - \mu mg = ma$$

$$\text{又 } x = \frac{1}{2}at^2$$

解得  $a=2\text{ m/s}^2$ ,  $x=4\text{ m}$ 。

(2) 设物块回到 A 点时的速度为  $v_A$ , 则

$$v_A^2 = 2ax$$

解得  $v_A=4\text{ m/s}$

设整个过程中  $F$  做的功为  $W$ , 由动能定理得

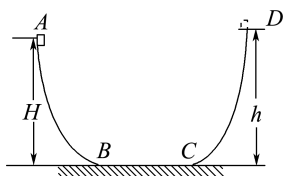
$$W - 2\mu mgx = \frac{1}{2}mv_A^2 - 0$$

解得  $W=24\text{ J}$ 。

答案: (1) 4 m (2) 24 J

11. 如图所示, ABCD 为同一竖直平面内的轨道示意图, 其中 BC 水平, A 点比 BC 高出 10 m, BC 长 1 m, AB 和 CD 轨道光滑。一质量为 1 kg 的物体, 从 A 点以 4 m/s 的速度开始运动, 经过 BC 后运动到高出 C 点 10.3 m 的 D 点时速度为零 (不计物体在 B、C 处的能量损失, 取  $g=10\text{ m/s}^2$ )。求:

- (1) 物体与 BC 轨道间的动摩擦因数;
- (2) 物体第 5 次经过 B 点时的速度;
- (3) 物体最后停止的位置。



解析: (1) 对物体从 A 点经 BC 到达 D 点的过程, 由动能定理得

$$-mg(h-H) - \mu mgl_{BC} = 0 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

解得  $\mu=0.5$ 。

(2) 物体第 5 次经过 B 点时, 已在 BC 轨道上运动了 4 次, 由动能定理得

$$mgH - \mu mg \cdot 4l_{BC} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

解得  $v_2 \approx 13.3\text{ m/s}$ 。

(3) 分析整个过程, 由动能定理得

$$mgH - \mu mgl = 0 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

解得  $l=21.6\text{ m}$

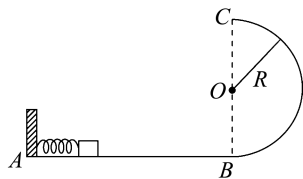
所以物体在 ABCD 轨道上来回运动了 10 次后, 还可以在 BC 段运动 1.6 m, 故最后停止的位置到 B

点的距离为  $x=2\text{ m}-1.6\text{ m}=0.4\text{ m}$ 。

答案: (1) 0.5 (2) 13.3 m/s (或  $4\sqrt{11}\text{ m/s}$ )  
(3) BC 上距 B 点 0.4 m 处

12. 如图所示, 光滑水平面 AB 与一半圆形轨道在 B 点相连, 半圆形轨道位于竖直面内, 其半径为  $R$ 。一个质量为  $m$  的物块静止在水平面上, 现向左推物块使其压紧弹簧, 然后放手, 物块在弹力作用下由静止获得一速度, 在它经 B 点进入半圆形轨道瞬间, 对轨道的压力为其重力的 7 倍, 之后向上运动恰能完成半圆周运动到达 C 点。重力加速度为  $g$ 。求:

- (1) 弹簧弹力对物块做的功;
- (2) 物块从 B 点到 C 点克服阻力所做的功;
- (3) 物块离开 C 点后, 再次落回到水平面上时的动能 (不计空气阻力)。



解析: (1) 设弹簧弹力对物体做的功为  $W$ , 由动能

$$\text{定理有 } W = \frac{1}{2}mv_B^2 - 0$$

在 B 点由牛顿第二定律得  $7mg - mg = m\frac{v_B^2}{R}$

解得  $W=3mgR$ 。

(2) 设物块从 B 点到 C 点克服阻力所做的功为  $W_f$ , 由动能定理得

$$-W_f - 2mgR = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

物块在 C 点时, 有  $mg = m\frac{v_C^2}{R}$

解得  $W_f = \frac{1}{2}mgR$

即物块从 B 点到 C 点克服阻力做功为  $\frac{1}{2}mgR$ 。

(3) 物块从 C 点平抛到落回水平面的过程中, 由动能定理得

$$2mgR = E_k - \frac{1}{2}mv_C^2$$

解得  $E_k = \frac{5}{2}mgR$ 。

答案: (1)  $3mgR$  (2)  $\frac{1}{2}mgR$  (3)  $\frac{5}{2}mgR$

## 单元活动构建

## 单元活动 4 动能定理的灵活应用

## 「单元任务」

任务内容	
任务一	利用动能定理求变力做的功
任务二	利用动能定理处理多过程问题
任务三	动能定理与图像结合的问题

## 「任务引导」

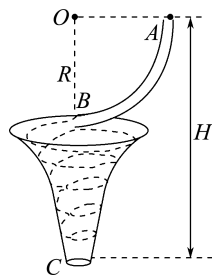
资料 1: 航空母舰上可供战斗机起飞的跑道比较短。为了让战斗机能够获得足够的动能起飞, 根据动能定理, 需要对战斗机做更多的功。因此, 工程师们研发了弹射器, 使战斗机在起飞时能够获得更多的动能以缩短起飞距离。

资料 2: 从安全的角度考虑, 在设计儿童滑梯时, 需要保证儿童从滑梯顶端滑到底部时速度不会过大。应用动能定理分析运动过程可知, 重力做正功, 摩擦力做负功。因此, 滑梯不能设计得过高, 以适当控制重力做功的大小; 滑梯的倾斜度也不能太陡, 以保证摩擦力做功的大小。

资料 3: 在高速公路上, 常常能看到车距确认标志, 提醒我们注意保持车距。根据动能定理, 车辆从紧急刹车到静止, 动能变化量较大, 需要克服摩擦力做功, 并有一定的制动距离。因此, 高速公路上, 车辆之间需要保持必要的安全距离, 以防止发生交通事故。

## 任务一 利用动能定理求变力的功

活动 如图所示是一个类似锥形的漏斗容器。现在该容器的上方固定一个半径为  $R$  的四分之一光滑弧管道  $AB$ , 管道下端刚好贴着锥形漏斗容器的边缘, 将一个质量为  $m$  的小球从管道的  $A$  点由静止释放, 小球从管道  $B$  点射出后刚好贴着锥形容器内壁运动。由于摩擦阻力的作用, 小球运动的高度越来越低, 最后从容器底部  $C$  处的孔掉下 (轨迹大致如图虚线所示)。已知小球离开  $C$  点时的速度为  $v$ ,  $A$  点到  $C$  点的高度为  $H$ , 忽略空气阻力。请回答下列问题:



(1) 小球从  $A$  点运动到  $B$  点的过程中, 小球受到的力有几种? 其中做功的力是哪种力?

提示: 小球受到轨道的支持力和重力, 只有重力做功。

(2) 小球运动到  $B$  点时的速度大小是多少?

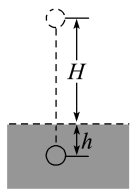
提示: 小球从  $A$  点运动到  $B$  点的过程中, 由动能定理得  $mgR = \frac{1}{2}mv_B^2$ , 可得  $v_B = \sqrt{2gR}$ 。

(3) 小球从  $B$  点到  $C$  点过程中受到的摩擦力是恒力吗? 如何求出小球从  $B$  点到  $C$  点的过程中摩擦阻力所做的功?

提示: 小球从  $B$  点到  $C$  点的过程中受到的摩擦阻力是变力。可直接由动能定理求出小球从  $B$  点到  $C$  点的过程中摩擦阻力所做的功  $W_f$ , 即从  $A$  点到  $C$  点, 根据动能定理得  $mgH + W_f = \frac{1}{2}mv^2$ , 解得  $W_f = \frac{1}{2}mv^2 - mgH$ ,  $W_f < 0$ , 即小球克服摩擦力做功。

## 任务二 利用动能定理处理多过程问题

活动 如图所示, 将一块质量  $m = 2 \text{ kg}$  的石头从离地面  $H = 2 \text{ m}$  高处由静止开始释放, 该石头落入泥潭并陷入泥中  $h = 5 \text{ cm}$  深处, 不计空气阻力。按以下要求计算泥潭对石头的平均阻力。(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



(1) 应用牛顿第二定律与运动学公式求解。

提示: 石头在空中做自由落体运动, 落地速度

$$v = \sqrt{2gH}$$

在泥潭中的运动阶段, 设石头做减速运动的平均加速度大小为  $\bar{a}$ , 则有  $v^2 = 2\bar{a}h$ , 解得  $\bar{a} = \frac{H}{h}g$

由牛顿第二定律有  $\overline{F} - mg = m\overline{a}$

所以泥潭对石头的平均阻力

$$\overline{F} = m(g + \overline{a}) = m\left(g + \frac{H}{h}g\right) = \frac{H+h}{h}mg = \frac{2+0.05}{0.05}$$

$\times 2 \times 10 \text{ N} = 820 \text{ N}$ 。

(2)应用动能定理分段求解。

提示:设石头着地时的速度为  $v$ ,对石头在空中运动

阶段应用动能定理,有  $mgH = \frac{1}{2}mv^2 - 0$

对石头在泥潭中运动阶段应用动能定理,有

$$mgh - \overline{F}h = 0 - \frac{1}{2}mv^2$$

由以上两式解得泥潭对石头的平均阻力

$$\overline{F} = \frac{H+h}{h}mg = \frac{2+0.05}{0.05} \times 2 \times 10 \text{ N} = 820 \text{ N}。$$

(3)在全过程中应用动能定理求解。

提示:对石头下落的全过程应用动能定理,有

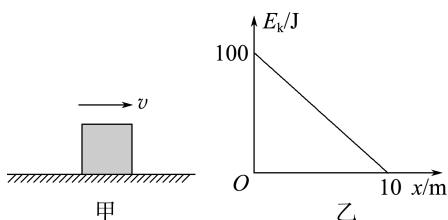
$$mg(H+h) - \overline{F}h = 0 - 0$$

$$\text{解得 } \overline{F} = \frac{H+h}{h}mg = \frac{2+0.05}{0.05} \times 2 \times 10 \text{ N} = 820 \text{ N}。$$

### 任务三 动能定理与图像结合的问题

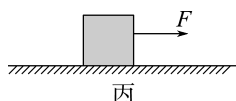
**活动** 分析动能定理和图像结合的问题时,一定要弄清图像的物理意义,要特别注意图像的坐标轴、形状、交点、截距、斜率、面积等信息,并结合运动图像构建相应的物理模型,选择合适的规律求解有关问题。

(1)如图甲所示,一物块在粗糙水平地面上向右滑行,其动能与位移的关系图像如图乙所示,则物块与地面间的摩擦力有多大?物块的初动能为多少?



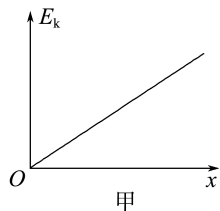
提示:物块在粗糙水平地面上滑行,合外力为摩擦力,由动能定理知  $-fx = E_k - E_{k0}$ ,变形得  $E_k = E_{k0} - fx$ ,故直线的斜率等于物体受到的合外力,即摩擦力,大小是  $10 \text{ N}$ ;纵轴截距是初动能,故物块的初动能是  $100 \text{ J}$ 。

(2)如图丙所示,一物块在光滑水平地面上受到水平向右的力  $F$  后从静止出发。写出物块的动能与滑行位移的关系式,并画出  $E_k - x$  图像。



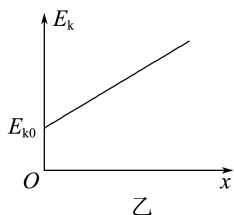
提示:由动能定理得  $Fx = E_k - 0$ ,变形得  $E_k = Fx$ ,

$E_k - x$  的图像如图甲所示。



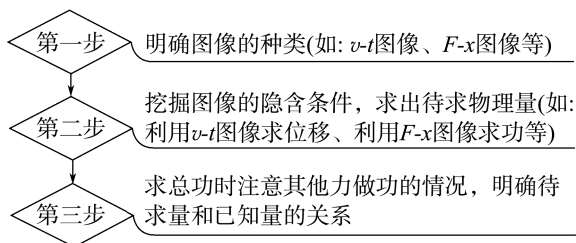
(3)如果在(2)中的物体有一定的初速度,其  $E_k - x$  图像又如何?

提示:若物体有一定的初速度,由动能定理得  $Fx = E_k - E_{k0}$ ,变形得  $E_k = Fx + E_{k0}$ , $E_k - x$  的图像如图乙所示。



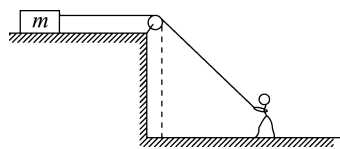
### 「知识链接」

- 利用动能定理求变力做的功是最常用的方法。当物体受到一个变力和几个恒力作用时,可以用动能定理间接求变力做的功,即  $W_{\text{变}} + W_{\text{其他}} = \Delta E_k$ 。
- 利用动能定理处理多过程问题的方法
  - 可以将多过程看成很多个分过程,分析每一个分过程的合力做功和动能变化,列出每一个分过程的动能定理表达式,然后联立求解。
  - 可以对全过程应用动能定理。需弄清物体在全过程中每一个力及对应的位移,哪些力做功,做正功还是负功,然后写出每一个力做功的代数和,再列动能定理表达式求解。
- 利用动能定理解决图像问题的步骤



### 「活动达标」

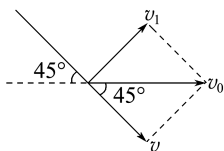
- 如图所示,质量为  $m$  的物体静置于光滑的水平平台上,系在物体上的绳子跨过光滑的定滑轮,由地面上的人向右匀速拉动。已知人



从平台边缘的下方(虚线处)开始以速度  $v_0$  沿水平地面向右匀速行至绳与水平方向夹角为  $45^\circ$  处,则在此过程中人所做的功为 ( )

- A.  $\frac{mv_0^2}{2}$       B.  $\frac{\sqrt{2}mv_0^2}{2}$   
C.  $\frac{mv_0^2}{4}$       D.  $mv_0^2$

**C 解析:** 如图所示,人从平台边缘的下方开始沿水平地面向右行至绳与水平方向夹角为  $45^\circ$  处时,沿绳方向的速度  $v = v_0 \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0$ , 故质量为  $m$  的物体的速度  $v' = v = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0$ , 由动能定理可知,在此过程中人所做的功为  $W = \frac{1}{2}mv'^2 = \frac{mv_0^2}{4}$ , 故 C 项正确。

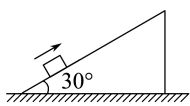


2. 一个小球从水面上方 4 m 处自由下落,不计空气阻力,设水对小球的阻力等于小球重力的 3 倍,则小球可进入水中的深度为 ( )

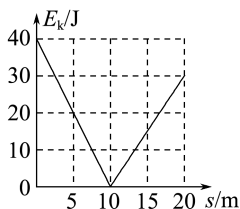
- A.  $\frac{4}{3}$  m    B. 2 m    C. 3 m    D. 4 m

**B 解析:** 设小球可进入水中的深度为  $x$ , 对全过程利用动能定理有  $mg(h+x) - fx = 0$ , 则  $x = \frac{mgh}{f-mg}$ , 代入数据解得  $x = 2$  m。故 B 项正确。

3. 如图甲所示,一物块以一定初速度沿倾角为  $30^\circ$  的固定斜面上滑,运动过程中摩擦力大小  $F_f$  恒定,物块动能  $E_k$  与运动路程  $s$  的关系如图乙所示。重力加速度  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ 。物块质量  $m$  和所受摩擦力大小  $F_f$  分别为 ( )



甲

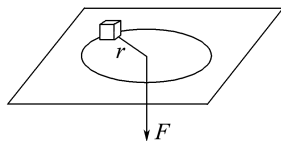


乙

- A.  $m = 0.7 \text{ kg}, F_f = 0.5 \text{ N}$   
B.  $m = 0.7 \text{ kg}, F_f = 1.0 \text{ N}$   
C.  $m = 0.8 \text{ kg}, F_f = 0.5 \text{ N}$   
D.  $m = 0.8 \text{ kg}, F_f = 1.0 \text{ N}$

**A 解析:** 由题图乙可知,  $0 \sim 10 \text{ m}$  物块上滑,由动能定理得  $-mg \sin 30^\circ \cdot s - F_f s = E_k - E_{k0}$ , 整理得  $E_k = E_{k0} - (mg \sin 30^\circ + F_f)s$ , 结合  $0 \sim 10 \text{ m}$  的  $E_k - s$  图像得,斜率的绝对值  $|k| = mg \sin 30^\circ + F_f = 4 \text{ N}$ 。  
 $10 \sim 20 \text{ m}$  物块下滑,由动能定理得  $(mg \sin 30^\circ - F_f)(s - s_1) = E_k$ , 整理得  $E_k = (mg \sin 30^\circ - F_f)s - (mg \sin 30^\circ - F_f)s_1$ , 结合  $10 \sim 20 \text{ m}$  的  $E_k - s$  图像得,斜率  $k' = mg \sin 30^\circ - F_f = 3 \text{ N}$ , 联立解得  $F_f = 0.5 \text{ N}$ ,  $m = 0.7 \text{ kg}$ , 故选 A。

4. 如图所示,质量为  $m$  的物体被线牵引着在光滑的水平面上做匀速圆周运动,拉力为  $F$  时,转动半径为  $r$ 。当拉力增至  $8F$  时,物体仍做匀速圆周运动,其转动半径为  $\frac{r}{2}$ 。求在此过程中拉力对物体做的功。



**解析:** 对物体由牛顿第二定律得

$$\text{拉力为 } F \text{ 时, } F = m \frac{v_1^2}{r}$$

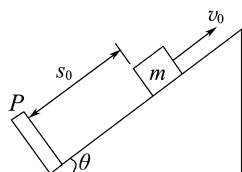
$$\text{拉力为 } 8F \text{ 时, } 8F = m \frac{v_2^2}{\frac{r}{2}}$$

联立各式,运用动能定理可得拉力做功

$$W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = 2Fr - \frac{1}{2}Fr = \frac{3}{2}Fr。$$

**答案:**  $\frac{3}{2}Fr$

5. 如图所示,斜面倾角为  $\theta$ 。滑块质量为  $m$ ,与固定斜面间的动摩擦因数为  $\mu$ 。该滑块从距挡板  $P$  为  $s_0$  的位置以速度  $v_0$  沿斜面向上滑行。设重力沿斜面的分力大于滑动摩擦力,且滑块每次与  $P$  碰撞前后的速度大小保持不变,挡板与斜面垂直,斜面足够长。求滑块从开始运动到最后停止滑行的总路程  $s$ 。



**解析:** 滑块在斜面上运动时受到的摩擦力大小

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

整个过程滑块下落的总高度  $h = s_0 \sin \theta$

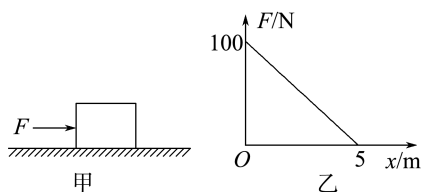
对全过程利用动能定理有  $mgh - fs = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$

联立以上各式得  $s = \frac{s_0 \tan \theta}{\mu} + \frac{v_0^2}{2\mu g \cos \theta}$

答案:  $\frac{s_0 \tan \theta}{\mu} + \frac{v_0^2}{2\mu g \cos \theta}$

6. 如图甲所示, 在水平地面上放置一个质量为  $m = 4 \text{ kg}$  的物体, 让其在随位移均匀减小的水平推力作用下运动, 推力  $F$  随位移  $x$  变化的图像如图乙所示。已知物体与地面之间的动摩擦因数为  $\mu = 0.5$ , 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) 出发时物体运动的加速度大小;
- (2) 物体能够运动的最大位移。



解析: (1) 由牛顿第二定律得  $F - \mu mg = ma$

当物体刚出发时, 推力  $F_0 = 100 \text{ N}$ , 物体所受的合力最大, 加速度最大, 代入数据得  $a = 20 \text{ m/s}^2$ 。

(2) 根据图像得推力对物体做的功等于图线与  $x$  轴围成的面积, 则推力对物体做功

$$W = \frac{1}{2} F_0 x = 250 \text{ J}$$

设物体能够运动的最大位移为  $x_m$ , 根据动能定理可得

$$W - \mu mg x_m = 0$$

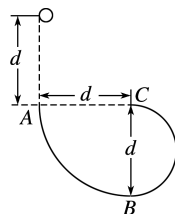
解得  $x_m = 12.5 \text{ m}$ 。

答案: (1)  $20 \text{ m/s}^2$  (2)  $12.5 \text{ m}$

7. 如图所示, 质量为  $m$  的小球由静止自由下落  $d$  后, 沿竖直面内的固定轨道  $ABC$  运动,  $AB$  是半径为  $d$

的  $\frac{1}{4}$  光滑圆弧轨道,  $BC$  是直径为  $d$  的粗糙半圆弧轨道 ( $B$  是轨道的最低点)。已知小球恰能通过圆弧轨道的最高点  $C$ , 重力加速度为  $g$ , 不计空气阻力。求:

- (1) 小球运动到  $B$  点时对轨道的压力大小 (可认为此时小球处在轨道  $AB$  上);
- (2) 小球在  $BC$  轨道上运动过程中, 摩擦力对小球做的功。



解析: (1) 小球由静止运动到  $B$  点的过程, 由动能定理得  $2mgd = \frac{1}{2}mv^2$

在  $B$  点, 由牛顿第二定律得  $F_N - mg = m \frac{v^2}{d}$

解得  $F_N = 5mg$

根据牛顿第三定律, 可知小球在  $B$  点对轨道的压力大小  $F'_N = F_N = 5mg$ 。

(2) 小球恰能通过  $C$  点, 则  $mg = m \frac{v_C^2}{\frac{d}{2}}$

小球从  $B$  点运动到  $C$  点的过程, 由动能定理得

$$-mgd + W_f = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv^2$$

得  $W_f = -\frac{3}{4}mgd$ 。

答案: (1)  $5mg$  (2)  $-\frac{3}{4}mgd$

## 4 势能

### 学习任务目标

1. 知道重力势能、弹性势能的概念,知道影响重力势能、弹性势能大小的相关因素。(物理观念)
2. 通过实例分析,认识重力做功的特点及重力势能的相对性,掌握重力做功与重力势能变化的关系。(科学思维)
3. 通过归纳和比较,了解和认识各种势能的共同特征——与相互作用的物体的相对位置有关,为以后学习其他势能打好基础。(科学思维)

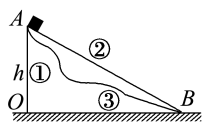
### 问题式预习

#### 知识点一 重力做功的特点

1. 做功表达式:  $W_G = mg \Delta h = mgh_1 - mgh_2$ , 式中  $\Delta h$  指初位置与末位置的高度差;  $h_1$ 、 $h_2$  分别指初位置、末位置的高度。
2. 做功的特点: 物体运动时, 重力对它做的功只跟它的质量和初、末位置有关, 而跟物体运动的路径无关。
3. 做功的正负: 物体下降时重力做正功; 物体被举高时重力做负功。

#### [科学思维]

如图所示, 质量为  $m$  的物块沿①、②、③三条不同的路径从 A 点滑到平面 OB 上。



沿路径①, 重力做的功  $W_1 = mgh$ ;

沿路径②, 重力做的功  $W_2 = mg \sin \alpha \cdot \frac{h}{\sin \alpha} = mgh$ ;

沿路径③, 我们可以把整个路径分成许多很短的曲线, 每小段曲线的长度都很小, 可以近似看成一段倾斜的直线, 设每小段的高度差分别为  $\Delta h_1$ 、 $\Delta h_2$ 、 $\Delta h_3$ 、……整个路径重力所做的功等于每小段上重力所做功的代数和, 即  $W_{\text{总}} = mg \Delta h_1 + mg \Delta h_2 + \dots = mgh$ 。

#### [判一判]

- (1) 物体运动时, 重力对它做的功跟物体的运动路径无关。 (  )
- (2) 物体运动时, 它的起点越高, 重力对它做的功就越多。 (  )
- (3) 物体向高处运动时, 重力一定做负功。 (  )

(4) 物体的高度只要发生变化, 其重力一定做功。 (  )

#### 知识点二 重力势能

1. 特点: 与零势能面的选取有关, 随高度而变化。
2. 大小: 等于物体所受重力与所处高度的乘积, 表达式为  $E_p = mgh$ 。
3. 单位: 焦耳, 与功的单位相同。
4. 重力做功与重力势能变化的关系

(1) 表达式:  $W_G = E_{p1} - E_{p2}$ 。

(2) 两种情况

① 当物体从高处运动到低处时, 重力做正功, 重力势能减少, 即  $W_G > 0$ ,  $E_{p1} > E_{p2}$ , 重力势能的减少量等于重力所做的功。

② 当物体由低处运动到高处时, 重力做负功, 重力势能增加, 即  $W_G < 0$ ,  $E_{p1} < E_{p2}$ , 重力势能的增加量等于物体克服重力所做的功。重力做负功也叫作物体克服重力做功。

5. 重力势能是状态量, 与物体相对零势能面的高度有关。

#### [科学思维]

山体滑坡会给人们带来巨大的灾难, 静止的山脉哪来如此大的能量? 为什么落差越大的瀑布水流速度越大?

**提示:** 巨大的山坡从高处滑落下来, 其本身具有较大的重力势能。瀑布的落差越大, 水流的重力势能的减少量越大, 动能的增加量越大, 水流速度也越大。

#### [判一判]

- (1) 同一物体在不同高度时, 重力势能不同。 (  )
- (2) 不同物体在同一高度, 重力势能可能不同。 (  )

- (3)重力做功与路径无关,但重力势能的变化与路径有关。 ( × )
- (4)某物体从一位置运动到另一位置,重力势能一定变化。 ( × )
- (5)重力做正功,则物体的重力势能一定减少。 ( √ )

### 知识点三 弹性势能

- 定义:发生弹性形变的物体的各部分之间由于有弹力的相互作用,也具有势能,这种势能叫作弹性势能。
- 弹簧的弹性势能:弹簧的长度为原长时,弹性势能为零;弹簧被拉长或被压缩时,就具有了弹性势能。
- 弹力做功与弹性势能的变化  
弹簧弹力做正功,弹簧的弹性势能减少;弹簧弹力做负功,弹簧的弹性势能增加。
- 弹簧弹性势能大小的影响因素  
(1)弹簧的形变量;  
(2)弹簧的劲度系数。

#### [判一判]

- (1)发生弹性形变的物体都具有弹性势能。 ( √ )
- (2)弹簧只有在发生弹性形变时才具有弹性势能。 ( √ )

- (3)弹性势能可以与其他形式的能相互转化。 ( √ )
- (4)弹性势能在国际单位制中的单位是焦耳。 ( √ )

### 知识点四 势能是系统所共有的

- 参考平面:物体的重力势能总是相对于某一水平面来说的,这个水平面叫作参考平面。在参考平面上,物体的重力势能取为零。
- 相对性:重力势能总是相对选定的参考平面而言的,该平面常被称为零势能面。
- 系统性:重力势能是地球与物体所组成的系统所共有的;弹性势能是弹力装置与受弹力作用的物体组成的系统所共有的。

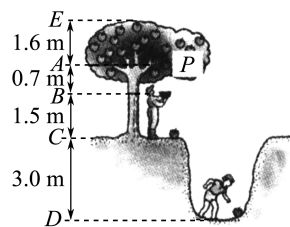
#### [判一判]

- (1)物体的位置一旦确定,它的重力势能的大小也随之确定。 ( × )
- (2)物体与参考平面间的距离越大,它的重力势能也越大。 ( × )
- (3)一个物体的重力势能从-5 J变化到-3 J,重力势能增加了。 ( √ )
- (4)在地面上的物体具有的重力势能一定等于零。 ( × )

## 任务型课堂

### 任务一 对重力势能的理解

- (多选)有关重力势能的变化,下列说法正确的是 ( ABC )
  - 物体受拉力和重力作用而向上运动,拉力做的功是 1 J,但物体重力势能的增加量有可能不是 1 J
  - 从同一高度将某一物体以相同的速率平抛或斜抛,落到同一地面上时,物体重力势能的变化量是相同的
  - 从同一高度落下的物体到达同一地面,考虑空气阻力和不考虑空气阻力的情况下重力势能的减少量是相同的
  - 物体运动过程中重力做的功是-1 J,但物体重力势能的增加量不是 1 J
- 一棵树上有一个质量为 0.3 kg 的熟透了的苹果 P,该苹果从树上与 A 面等高处先落到地面 C,最后滚入沟底 D,A、B、C、D、E 面之间的竖直距离如图所示。以地面 C 为参考平面,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,则该苹果从 A 面下落到 D 面的过程中重力势能的减少量和在 D 面的重力势能分别是 ( C )

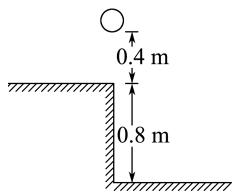


- 15.6 J 和 9 J
  - 9 J 和 -9 J
  - 15.6 J 和 -9 J
  - 15.6 J 和 -15.6 J
- 3.质量为 3 kg 的物体放在高 4 m 的平台上。取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,则:
- 物体相对于平台表面的重力势能是多少?
  - 物体相对于地面的重力势能是多少?
  - 物体从平台落到地面上,重力势能变化了多少?
- 解析:**(1)以平台表面为参考平面,物体的重力势能为零。
- (2)以地面为参考平面,物体的重力势能  $E_p = mgh = 3 \times 10 \times 4 \text{ J} = 120 \text{ J}$ 。
- (3)以地面为参考平面,物体从平台落到地面,重力

势能变化了  $\Delta E_p = 0 - 120 \text{ J} = -120 \text{ J}$ 。

答案:(1)零 (2)120 J (3)减少了 120 J

4. 如图所示,桌面距地面 0.8 m,一物体质量为 2 kg,放在距桌面 0.4 m 高的支架上(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,支架未画出)。以地面为参考平面,计算物体在支架上时具有的重力势能,并计算物体由支架下落到桌面的过程中重力势能的减少量。



解析:以地面为参考平面,物体的高度

$$h_1 = 1.2 \text{ m}$$

$$\text{物体的重力势能 } E_{p1} = mgh_1 = 2 \times 10 \times 1.2 \text{ J} = 24 \text{ J}$$

$$\text{物体落至桌面时的高度 } h_2 = 0.8 \text{ m}$$

$$\text{重力势能 } E_{p2} = mgh_2 = 2 \times 10 \times 0.8 \text{ J} = 16 \text{ J}$$

物体由支架下落到桌面的过程中,重力势能的减少量

$$\Delta E_p = E_{p1} - E_{p2} = 24 \text{ J} - 16 \text{ J} = 8 \text{ J}.$$

答案:24 J 8 J

## 任务总结

### 1. 对重力势能的理解

#### (1) 重力势能的相对性

由于重力势能表达式为  $E_p = mgh$ , 高度  $h$  的相对性决定了重力势能具有相对性。选取不同的水平面作为参考平面,重力势能具有不同的数值,即重力势能的大小与参考平面的选取有关。

#### (2) 重力势能变化的绝对性

物体在两个高度不同的位置时,由于高度差一定,重力势能之差也是一定的,即物体的重力势能的变化量与参考平面的选取无关。

#### (3) 重力势能的系统性

重力是由地球对物体的吸引而产生的,如果没有地球对物体的吸引,就不会有重力,也就不存在重力势能,所以重力势能是物体和地球组成的系统共同具有的。平时所说的“物体的重力势能”只是一种简化的说法。

### 2. 解决重力势能类问题的一般步骤

- (1) 选取研究对象。
- (2) 选择参考平面。
- (3) 确定物体初、末位置相对参考平面的高度。
- (4) 利用重力做功和重力势能改变的关系求解。

## 任务二 重力做功与重力势能改变之间的关系

### [探究活动]

如图所示,熟透的果实从离水面 2 m 处的树枝上落下后,又在水中(水中运动未显示)继续下降 2 m。根据以上情境,完成下列探究。



(1) 果实在空中下落及在水中下落的过程中,重力做功一样多吗?

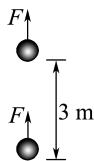
提示:由  $W = mgh$  知,这两个过程重力做功相同。

(2) 这两个过程中果实重力势能的改变量一样吗?

提示:物体重力势能的变化量仅与重力做功有关,与有无其他力做功无关,因此这两个过程中重力势能的改变量也相同。

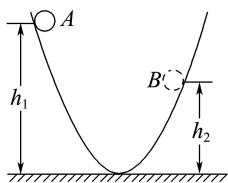
### [评价活动]

1. 一个 100 g 的球从 1.8 m 的高度处落到一个水平板上又弹回到 1.25 m 的高度,则整个过程中重力对球所做的功及球的重力势能的变化量是(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) ( C )
  - A. 重力做功为 1.8 J
  - B. 重力做了 0.55 J 的负功
  - C. 球的重力势能一定减少 0.55 J
  - D. 球的重力势能一定增加 1.25 J
2. (多选)用拉力  $F$  将一个重为 5 N 的小球匀速提升 3 m,如图所示。在这个过程中,下列说法正确的是 ( BC )



- A. 小球的重力做了 15 J 的功
  - B. 拉力  $F$  对小球做了 15 J 的功
  - C. 小球的重力势能增加了 15 J
  - D. 合力对小球做的功是 15 J
3. 如图所示,质量为  $m$  的小球从曲面左侧上的 A 点滚下,经过最低点后滚到曲面右侧上的 B 点。已知 A 点距最低点的高度为  $h_1$ , B 点距最低点的高度为

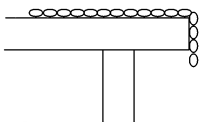
$h_2$ 。小球从 A 点滚到 B 点的过程中,重力做了多少功? 小球的重力势能变化了多少?



**解析:**重力做功与路径无关,只与初、末位置高度差有关,故重力做的功为  $W_G = mg \Delta h = mg(h_1 - h_2)$ 。因为高度减小,重力做正功,所以重力势能减少,且减少的重力势能等于重力所做的功,故小球的重力势能减少了  $mg(h_1 - h_2)$ 。

**答案:**  $mg(h_1 - h_2)$  减少了  $mg(h_1 - h_2)$

4. 如图所示,在光滑的桌面上有一根材质均匀且柔软的质量为  $m$ 、长度为  $l$  的绳子,绳子的  $\frac{1}{4}$  悬于桌面下。从绳子开始下滑至绳子刚好全部离开桌面的过程中,重力对绳子做的功为多少? 绳子的重力势能变化量为多少? (桌面离地面的高度大于  $l$ , 重力加速度大小为  $g$ )



**解析:**取桌面为参考平面,刚开始时绳子的重力势能为  $E_{p1} = \frac{1}{4}mg \times \left(-\frac{1}{8}l\right) = -\frac{1}{32}mgl$

$$E_{p1} = \frac{1}{4}mg \times \left(-\frac{1}{8}l\right) = -\frac{1}{32}mgl$$

当绳子刚好全部离开桌面时,绳子的重力势能为

$$E_{p2} = mg \times \left(-\frac{1}{2}l\right) = -\frac{1}{2}mgl$$

则绳子的重力势能变化量

$$\Delta E_p = E_{p2} - E_{p1} = -\frac{1}{2}mgl - \left(-\frac{1}{32}mgl\right) = -\frac{15}{32}mgl$$

负号表示重力势能减少

由  $W_G = -\Delta E_p$  知重力做功为  $\frac{15}{32}mgl$ 。

**答案:**  $\frac{15}{32}mgl$  减少  $\frac{15}{32}mgl$

### 任务总结

#### 1. 重力做功与重力势能的比较

项目	重力做功	重力势能
表达式	$W_G = mg \Delta h$	$E_p = mgh$
影响大小的因素	重力 $mg$ 和初、末位置的高度差 $\Delta h$	重力 $mg$ 和相对参考平面的高度 $h$

续表

项目	重力做功	重力势能
特点	与初、末位置的高度差有关,与路径及参考平面的选择无关	与参考平面的选择有关,位于同一位置的物体,选择不同的参考平面,其重力势能的值不同
	过程量	状态量
联系	重力做功的过程是重力势能改变的过程。重力做正功,重力势能减少;重力做负功,重力势能增加。重力做了多少功,重力势能就改变多少,即 $W_G = E_{p1} - E_{p2} = -\Delta E_p$	

#### 2. 重力做功与重力势能变化关系的理解与应用

- 无论物体是否受到其他力的作用,无论物体做何种运动,关系式  $W_G = -\Delta E_p$  总是成立的。
- 利用关系式  $W_G = -\Delta E_p$ , 可由重力做功的正负及大小判断重力势能的变化及变化量的大小,反之也可以由重力势能的变化及变化量的大小判断重力做功的正负及大小。

### 任务三 对弹性势能的理解

1. 关于弹性势能,下列说法正确的是 ( C )

- 当弹簧变长时,它的弹性势能一定增加
- 当弹簧变短时,它的弹性势能一定减少
- 在拉伸长度相同时,劲度系数越大的弹簧,它的弹性势能越大
- 弹簧拉伸时的弹性势能一定大于压缩时的弹性势能

2. 如图所示的几个运动过程,物体弹性势能增加的是 ( B )



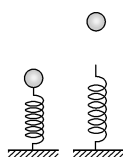
甲



乙



丙



丁

- 如图甲所示,撑竿跳高运动员从压竿到竿伸直的过程中,竿的弹性势能
- 如图乙所示,人拉长弹簧过程中弹簧的弹性势能

C. 如图丙所示,模型飞机用橡皮筋发射出去的过程中,橡皮筋的弹性势能

D. 如图丁所示,小球被弹簧向上弹起的过程中,弹簧的弹性势能

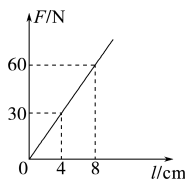
3. 一根弹簧的弹力-形变量图线如图所示,那么弹簧由伸长量为 8 cm 到伸长量为 4 cm 的过程中,弹力做功和弹性势能的变化量分别为 ( )

A. 3.6 J, -3.6 J

B. -3.6 J, 3.6 J

C. 1.8 J, -1.8 J

D. -1.8 J, 1.8 J

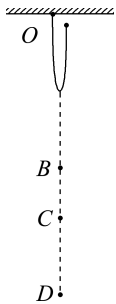


C 解析:弹簧由伸长量为 8 cm 到伸长量为 4 cm 的过程中, $F-l$  图线与坐标轴围成的面积表示弹力

做的功,结合题图可知,弹力做的功  $W = \frac{30+60}{2} \times 0.04$

$J = 1.8 J > 0$ ,故弹性势能减少 1.8 J,故选项 C 正确。

4. 蹦极运动是一种非常刺激的娱乐项目。现将蹦极运动简化为以下过程:将游客视为质点,他的运动始终沿竖直方向。如图所示,弹性绳的一端固定在 O 点,另一端和游客相连。游客从 O 点自由下落,至 B 点弹性绳自然伸直,经过合力为 0 的 C 点到达最低点 D,然后弹起,整个过程中弹性绳始终在弹性限度内。游客从静止下降到最低点的过程中,下列说法正确的是 ( )



A. 从 O 点到 B 点过程中,重力势能增大

B. 从 B 点到 D 点过程中,游客做匀减速运动

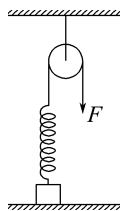
C. 从 B 点到 C 点过程中,弹性绳的弹性势能先增大后减小

D. 在蹦极运动过程中,游客的速度先增大后减小

D 解析:从 O 点到 B 点过程中,游客的高度降低,则重力势能减小,选项 A 错误;从 B 点到 D 点过程中,弹性绳的拉力先小于重力,后大于重力,则游客先加速后减速,游客的速度先增大后减小,选项 B 错误,D 正确;从 B 点到 C 点的过程中,弹性绳的长度一直增加,则弹性势能一直增大,选项 C 错误。

5. 某物理小组通过探究得到弹性势能的表达式为  $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ ,式中  $k$  为弹簧的劲度系数, $x$  为弹簧伸长

(或缩短)的长度。放在地面上的物体的上端系在劲度系数  $k = 200 \text{ N/m}$  的弹簧上,弹簧的另一端拴在跨过定滑轮的绳子上,如图所示。手拉绳子的另一端,当竖直往下拉 0.1 m 时物体恰好离开地面,继续拉绳子,使物体缓慢升高到离地高  $h = 0.5 \text{ m}$  处。不计弹簧重力和滑轮与绳子间的摩擦(取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )。求:



(1) 该过程中,弹簧弹性势能的最大值;

(2) 物体在整个运动过程中重力势能的增加量。

解析:(1) 物体离开地面后,弹簧的弹性势能达到最大

值,形变量  $x = 0.1 \text{ m}$ ,弹簧弹性势能最大值  $E_p = \frac{1}{2}kx^2 = 1 \text{ J}$ 。

(2) 绳子下拉 0.1 m 时物体开始离开地面,则有

$$kx = mg$$

解得物体的质量  $m = 2 \text{ kg}$

物体缓慢升高到离地高  $h = 0.5 \text{ m}$  处,重力势能的增量为  $\Delta E_p = mgh = 10 \text{ J}$ 。

答案:(1) 1 J (2) 10 J

## 任务总结

### 1. 弹性势能与弹力做功的关系

(1) 弹力做正功时,弹性势能减少。

(2) 弹力做负功时,弹性势能增加。

(3) 弹力做功与弹性势能变化的关系为  $W_{\text{弹}} = -\Delta E_p$ 。

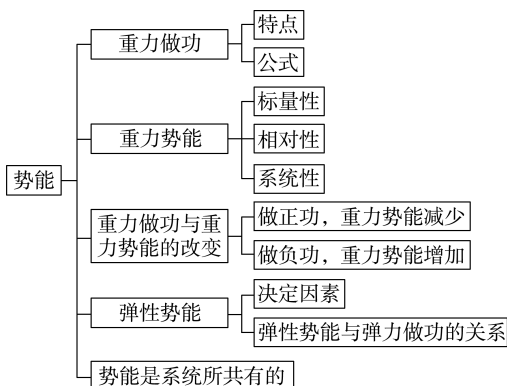
### 2. 弹性势能(以弹簧的弹性势能为例)与重力势能对比

物理量	弹性势能	重力势能
大小	与弹簧的劲度系数和形变量有关,劲度系数越大,形变量越大,弹性势能越大	与物体的质量和高度有关,质量越大,高度越高,重力势能越大
单位	焦耳(J)	焦耳(J)
标矢性	标量	标量
相对性	弹性势能与零势能位置的选取有关,通常选自然长度时势能为零	重力势能大小与零势能面的选取有关

续表

物理量	弹性势能	重力势能
系统性	弹性势能是弹力装置与受弹力作用的物体组成的系统所共有的能量	重力势能是物体与地球这一系统所共有的能量
联系	两种势能分别以弹力、重力的存在为前提,又都具有相对性。两者同属机械能的范畴,在一定条件下可相互转化	

### ► 提质归纳



## 课后素养评价(十五) 势能

### 基础性·能力运用

#### 知识点 1 对重力势能的理解

1. 关于重力势能, 下列说法正确的是 ( )

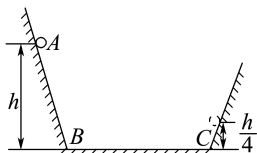
- A. 重力势能的大小只由物体本身决定
- B. 重力势能恒大于零
- C. 在地面上的物体, 它具有的重力势能一定等于零
- D. 重力势能是物体和地球所共有的

**D 解析:** 根据  $E_p = mgh$  知, 重力势能由物体所受的重力和它所处的高度共同决定, 故 A 错误; 重力势能是一个相对量, 只有相对一个参考平面(零势能面), 重力势能才有确定值, 在地面上的物体, 重力势能不一定为零, 故 C 错误; 重力势能有正有负, 故 B 错误; 重力势能是物体和地球组成的系统所共有的, 故 D 正确。

#### 知识点 2 重力做功与重力势能变化的关系

2. 如图所示, 质量为  $m$  的小球从高为  $h$  处的斜面上的 A 点滚下, 经过水平面 BC 后, 再滚上另一斜面, 当它到达  $\frac{h}{4}$  高处时, 速度减为零, 则整个过程中, 重力做的功为 ( )

- A.  $\frac{1}{4}mgh$
- B.  $\frac{3}{4}mgh$
- C.  $mgh$
- D. 零

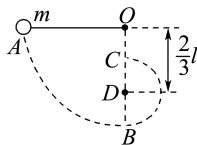


**B 解析:** 根据重力做功与路径无关的特点, 有  $W =$

$$mg\left(h - \frac{h}{4}\right) = \frac{3}{4}mgh, \text{ B 正确。}$$

3. 如图所示, 质量为  $m$  的小球, 用一长为  $l$  的细线悬于 O 点, 将悬线拉直成水平状态, 并给小球一个向下的初速度让小球竖直向下运动。O 点正下方 D 处有一钉子, 小球运动到 B 处时会以 D 点为圆心做圆周运动, 并经过 C 点。若已知  $OD = \frac{2}{3}l$ , 重力加速度为  $g$ , 则小球由 A 点运动到 C 点的过程中:

- (1) 重力势能变化了多少?
- (2) 重力做的功为多少?



**解析:** 小球做圆周运动的半径  $R = l - \frac{2}{3}l = \frac{1}{3}l$

从 A 点运动到 C 点, 小球下落的高度

$$h = l - 2R = \frac{1}{3}l$$

故重力做功  $W_G = mgh = \frac{1}{3}mgl$

重力势能的变化量  $\Delta E_p = -W_G = -\frac{1}{3}mgl$

负号表示小球的重力势能减少了。

**答案:** (1) 减少了  $\frac{1}{3}mgl$  (2)  $\frac{1}{3}mgl$

#### 知识点 3 对弹性势能的理解及计算

4. 如图所示, 撑竿跳高是运动会上常见的比赛项目, 用于撑起运动员的竿要求具有很好的弹性。下列关于运动员撑竿跳起过程的说法正确的是 ( )



- A. 运动员撑竿刚刚触地时,竿的弹性势能最大  
 B. 运动员撑竿跳起到达最高点时,竿的弹性势能最大  
 C. 运动员撑竿触地后上升到达最高点之前的某时刻,竿的弹性势能可能最大  
 D. 以上说法均正确

**C 解析:** 竿刚刚触地时,竿的弹性形变很小,所以弹性势能很小,故 A 错误;运动员撑竿跳起到达最高点时,重力势能最大,运动员的速度最小,竿的弹性形变最小,所以竿的弹性势能最小,故 B 错误;由于竿的最大弹性形变出现在从触地到上升到最高点

间的某一时刻,因此竿的弹性势能的最大值也出现在这一时刻,故 C 正确,D 错误。

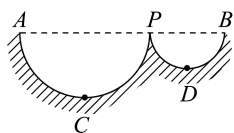
- 5.(多选)关于弹性势能,下列说法正确的是 ( )

- A. 任何发生弹性形变的物体,都具有弹性势能  
 B. 任何具有弹性势能的物体,一定发生了弹性形变  
 C. 物体只要发生形变,就一定具有弹性势能  
 D. 弹簧的弹性势能只跟弹簧被拉伸或压缩的长度有关

**AB 解析:** 发生弹性形变的物体的各部分之间由于弹力作用而具有的势能,叫作弹性势能。任何发生弹性形变的物体都具有弹性势能,任何具有弹性势能的物体一定发生了弹性形变,故 A、B 正确;物体发生了形变,若是非弹性形变,无弹力作用,则物体就不具有弹性势能,故 C 错误;弹簧的弹性势能除了跟弹簧被拉伸或压缩的长度有关,还跟弹簧的劲度系数有关,故 D 错误。

## 综合性·创新提升

- 6.如图所示,ACP 和 BDP 是竖直平面内两个半径不同的半圆光滑轨道,A、P、B 三点位于同一水平面上,C 点和 D 点分别为两轨道的最低点。现将两个质量相同的小球(可视为质点)分别从 A、B 两处同时无初速度释放,不计空气阻力则 ( )



- A. 沿 BDP 光滑轨道运动的小球的重力势能永远为正值  
 B. 两小球分别到达 C 点和 D 点时,重力做功相等  
 C. 两小球分别到达 C 点和 D 点时,重力势能相等  
 D. 两小球刚开始分别从 A 点和 B 点两处无初速度释放时,重力势能相等

**D 解析:** 不管选哪里为参考平面,A 点和 B 点相对于参考平面的高度均相等,所以小球在 A 点和 B 点的重力势能相等,D 正确;两小球到达 C 点和 D 点时,不在同一水平面,重力势能不相等,C 错误;重力势能  $E_p = mgh$  具有相对性,如果选 A、P、B 三点所在平面为参考平面,则两球在运动过程中其他位置的重力势能都为负值,A 错误;另外,重力做功跟路径无关,只取决于物体初、末位置之间的高度差,而两球从开始运动至到达 C 点和 D 点时下降高度不相等,所以重力做功不相等,B 错误。

- 7.一条长为  $L$ 、质量为  $m$  的匀质轻绳平放在水平地面上,在缓慢提起全部绳子的过程中,设提起前半段绳子过程中人做的功为  $W_1$ ,提起后半段绳子过程

中人做的功为  $W_2$ ,则  $W_1 : W_2$  等于 ( )

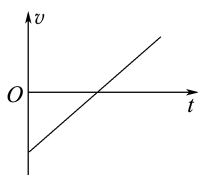
- A. 1:1 B. 1:2 C. 1:3 D. 1:4

**C 解析:** 提起前半段绳子时,前半段绳子的重心升高了  $\frac{1}{4}L$ ,所以做的功  $W_1 = \frac{1}{2}mg \times \frac{1}{4}L = \frac{1}{8}mgL$ 。

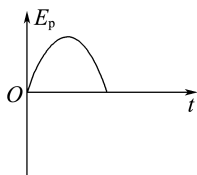
提起后半段绳子过程中,人做的功  $W_2 = mg \times \frac{1}{2}L -$

$W_1 = \frac{1}{2}mgL - \frac{1}{8}mgL = \frac{3}{8}mgL$ 。因此,  $W_1 : W_2 = 1 : 3$ ,C 正确。

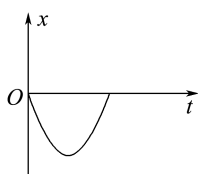
- 8.(多选)竖直上抛一个小球,从抛出到落回原抛出点的过程中,下列关于小球的速度、重力势能、位移、加速度随时间变化的图像(如图所示)正确的是(不计空气阻力,以竖直向下为正方向,图中曲线为抛物线,以抛出点为零势能点,取  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ) ( )



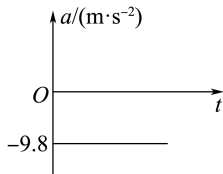
A



B



C



D

ABC 解析:以竖直向下为正方向,则初速度为负向最大,重力加速度为正,D 错误;小球匀减速运动到最高点时速度为零,然后反向匀加速运动,A 正确;因为抛出点为零势能点,所以重力势能最初为零,上升过程中重力势能增大,下落过程中重力势能减小,回到原点变为零,又  $E_p = mgx = mg\left(v_0t - \frac{1}{2}gt^2\right)$ ,可知图线为抛物线,B 正确;因为位移始终在抛出点上方,所以一直为正值,又  $x = v_0t - \frac{1}{2}gt^2$ ,可知图线为抛物线,C 正确。

9. 在离地面 80 m 处无初速度地释放一小球,小球质量为  $m = 200$  g,不计空气阻力,取  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>,取释放点所在水平面为参考平面。求:

- (1) 在第 2 s 末小球的重力势能;
- (2) 在第 3 s 内重力所做的功和重力势能的变化量。

解析:(1) 以释放点所在水平面为参考平面,在第 2 s 末小球所处的高度为

$$h = -\frac{1}{2}gt^2 = -\frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 \text{ m} = -20 \text{ m}$$

$$\text{重力势能 } E_p = mgh = 200 \times 10^{-3} \times 10 \times (-20) \text{ J} = -40 \text{ J}$$

负号说明小球在参考平面的下方。

- (2) 在第 3 s 末小球所处的高度为

$$h' = -\frac{1}{2}gt'^2 = -\frac{1}{2} \times 10 \times 3^2 \text{ m} = -45 \text{ m}$$

第 3 s 内重力做正功,为

$$W_G = mg(h - h') = 200 \times 10^{-3} \times 10 \times (-20 + 45) \text{ J} = 50 \text{ J}$$

由重力做功与重力势能改变的关系可知,小球的重力势能减少了 50 J。

答案:(1) -40 J (2) 50 J 减少了 50 J

10. 吊车以  $\frac{g}{4}$  的加速度将质量为  $m$  的物体匀减速地沿

竖直方向提升高度  $h$ ,则吊车钢索的拉力对物体做的功为多少? 物体克服重力做的功为多少? 物体的重力势能变化了多少?(不计空气阻力)

解析:设吊车钢索对物体的拉力为  $F$ ,物体的加速度  $a = \frac{g}{4}$ ,方向向下,由牛顿第二定律得

$$mg - F = ma$$

$$\text{故 } F = mg - ma = \frac{3}{4}mg, \text{ 方向竖直向上}$$

$$\text{所以拉力做的功 } W = Fh = \frac{3}{4}mgh$$

$$\text{重力做的功 } W_G = -mgh$$

即此过程中物体克服重力做功  $mgh$ ,物体的重力势能增加了  $mgh$ 。

答案: $\frac{3}{4}mgh$   $mgh$  增加了  $mgh$

## 5 机械能守恒定律

### 学习任务目标

1. 知道机械能的概念。(物理观念)
2. 通过对动能与势能的相互转化的探究,理解机械能守恒定律的内容和守恒条件。(科学思维)
3. 能用机械能守恒定律分析生活和生产中的有关问题。(科学思维)
4. 通过对“伽利略斜面实验”的探究,领会动能和重力势能转化过程中的守恒思想,从而初步形成能量概念;领会从守恒角度解决问题的优势。(科学思维)

### 问题式预习

#### 知识点一 动能和势能的相互转化

##### 1. 动能和势能的转化实例

(1) 荡秋千:秋千向下摆动时,重力做正功,重力势能减少,动能增加,这时重力势能转化成动能;秋千向上摆动时,重力做负功,重力势能增加,动能减少,这时动能转化成重力势能。

(2) 网球运动员在比赛中奋力回球:网球触拍减速时,克服网线弹力做功,网线的弹性势能增加,网球的动能减少,这时网球的动能转化为网线的弹性势能;当网球反弹加速时,网线弹力对网球做正功,网线的弹性势能减少,网球的动能增加,这时网线的弹性势能转化为网球的动能。

2. 动能和势能相互转化时的特点:重力或弹力做正功时,势能向动能转化;重力或弹力做负功时,动能向势能转化。

##### [判一判]

- (1) 物体的机械能一定是正值。 ( × )
- (2) 重力做正功的过程中,重力势能一定减少,动能一定增加。 ( × )
- (3) 物体自由下落过程中,重力势能转化为动能。 ( √ )
- (4) 弹性势能可以通过弹力做功转化为物体的动能。 ( √ )

#### 知识点二 机械能守恒定律

1. 内容:在只有重力或弹力做功的系统内,动能和势能会发生相互转化,但总机械能保持不变。

2. 表达式: $E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2}$ 。

3. 守恒条件:只有重力或弹力做功。

##### [判一判]

- (1) 物体所受的合外力为零,物体的机械能一定守恒。 ( × )

(2) 物体的机械能守恒时,则物体一定做匀速直线运动。 ( × )

(3) 物体的速度增大时,其机械能可能减少。 ( √ )

(4) 物体除受重力外,还受其他力,但其他力不做功,则物体的机械能一定守恒。 ( √ )

#### 知识点三 关于机械能转化与守恒的实验观察

##### 1. 摆球实验

(1) 在小球摆动过程中(忽略空气阻力),小球受到的力有重力和绳的拉力,它们中做功的力是重力,不做功的力是绳的拉力。

(2) 小球在摆动过程中总能回到原来的高度,好像“记得”自己原来的高度,从能量的角度看,这个现象说明了小球的机械能守恒。

##### 2. 伽利略斜面实验

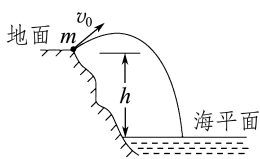
在伽利略斜面实验中(忽略空气和摩擦阻力),小钢球从左侧倾斜轨道某一位置由静止释放后,会沿着轨道来回运动。通过观察发现,小钢球总能回到原来释放点的高度。

(1) 在这个过程中,小球受到的力有重力和轨道的支持力,它们中做功的力是重力,不做功的力是轨道的支持力。

(2) 小球在运动过程中总能沿着轨道回到原来的高度,从能量的角度看,这个现象说明了小球的机械能守恒。

##### [做一做]

(多选)如图所示,在地面上以速度  $v_0$  抛出质量为  $m$  的物体,抛出后物体落到比地面低  $h$  的海平面上。若以地面为零势能面,而且不计空气阻力,则



下列说法正确的是 ( )

- A. 重力对物体做的功为  $mgh$   
 B. 物体在海平面上的势能为  $mgh$   
 C. 物体在海平面上的动能为  $\frac{1}{2}mv_0^2 - mgh$   
 D. 物体在海平面上的机械能为  $\frac{1}{2}mv_0^2$

AD 解析:从地面到海平面,重力对物体做功为  $mgh$ ,故 A 正确;以地面为零势能面,物体在海平面上的重力势能为  $E_p = -mgh$ ,故 B 错误;物体

在地面上的机械能  $E = \frac{1}{2}mv_0^2$ ,由机械能守恒得,

物体在海平面上的机械能也为  $\frac{1}{2}mv_0^2$ ,故 D 正确;

物体在海平面上的动能  $E_k = E - E_p = \frac{1}{2}mv_0^2 -$

$(-mgh) = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh$ ,故 C 错误。

#### 知识点四 机械能守恒定律的应用

应用机械能守恒定律时,相互作用的物体间的力可以是变力,也可以是恒力,只要符合守恒条件,机械能就守恒,而且机械能守恒定律只涉及系统的初、末状态,不需要分析中间的复杂过程,使处理问题得到简化。应用的基本思路如下:

(1)选取研究对象——物体及地球构成的系统。机械能守恒定律研究的是物体系统,如果研究对象是一个物体与地球构成的系统,一般只对物体进行研究。

(2)根据物体所经历的物理过程,进行受力、做功分析,判断机械能是否守恒。

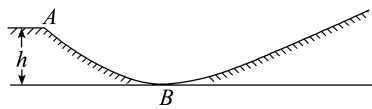
(3)恰当地选取参考平面,确定研究对象在运动过程的初、末状态时的机械能。

(4)选取方便计算的机械能守恒定律方程形式( $E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$ 、 $\Delta E_k = -\Delta E_p$  等)进行求解。

#### [做一做]

如图所示,假设一质量  $m = 70 \text{ kg}$  的运动员以  $10 \text{ m/s}$  的初速度,从高  $h = 10 \text{ m}$  的滑雪场 A 点沿斜坡自由滑下,以最低点 B 所在平面为零势能面,一切阻力可忽略不计。取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,求运动员:

- (1)在 A 点时的机械能;  
 (2)到达最低点 B 时的速度大小;  
 (3)在右侧斜坡上能到达的最大高度。



解析:(1)运动员在 A 点时的机械能

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \frac{1}{2} \times 70 \times 10^2 \text{ J} + 70 \times 10 \times 10 \text{ J} = 10\,500 \text{ J}.$$

(2)运动员从 A 点运动到 B 点的过程,根据机械能守恒定律得

$$E = \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$\text{解得 } v_B = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 10\,500}{70}} \text{ m/s} = 10\sqrt{3} \text{ m/s}.$$

(3)运动员从 A 点运动到右侧斜坡上最高点的过程,由机械能守恒得  $E = mgh'$

$$\text{解得 } h' = \frac{E}{mg} = \frac{10\,500}{70 \times 10} \text{ m} = 15 \text{ m}.$$

答案:(1)10 500 J (2) $10\sqrt{3} \text{ m/s}$  (3)15 m

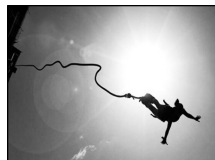
## 任务型课堂

### 任务一 对机械能守恒定律的理解

1.(多选)下列叙述正确的是 ( BD )

- A. 做匀速直线运动的物体的机械能一定守恒  
 B. 做变速直线运动的物体的机械能可能守恒  
 C. 合力对物体做功为零,物体的机械能一定守恒  
 D. 系统内只有重力或弹力做功时,系统的机械能一定守恒

2.(多选)如图所示,一蹦极运动员身系弹性蹦极绳从水面上方的高台下落,到最低点时距水面还有数米。假定空气阻力可忽略,运动员可视为质点。下列说法正确的是 ( ABC )



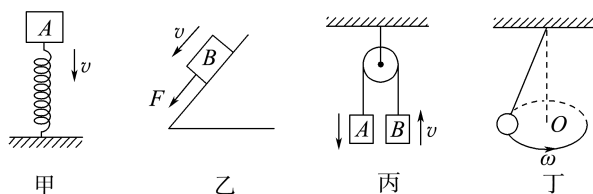
- A. 运动员到达最低点前重力势能始终减小  
 B. 蹦极绳张紧后的下落过程中,弹力做负功,弹性势能增加  
 C. 蹦极过程中,运动员、地球和蹦极绳所组成的系统机械能守恒  
 D. 蹦极过程中,重力势能的改变量与重力势能参考平面的选取有关

3. 关于以下四幅图, 下列说法正确的是 ( C )



- A. 图甲中蛟龙号被吊车吊下水的过程中机械能守恒  
 B. 图乙中火车在匀速转弯时动能不变, 故所受合外力为零  
 C. 图丙中握力器在手的压力作用下弹性势能增大  
 D. 图丁中撑竿跳高运动员在上升过程中机械能守恒

4. (多选) 如图所示, 下列关于机械能是否守恒的判断正确的是 ( )



- A. 图甲中, 物体 A 压缩弹簧的过程中, A 的机械能守恒  
 B. 图乙中, 物体 B 在大小等于摩擦力的拉力作用下沿斜面下滑时, 物体 B 的机械能守恒  
 C. 图丙中, 不计任何阻力时, A 加速下落与 B 加速上升的过程中, A、B 组成的系统机械能守恒  
 D. 图丁中, 小球沿水平面做速度大小不变的圆锥摆运动时, 小球机械能守恒

BCD 解析: 题图甲中只有重力和弹力对物体 A 做功, 物体 A 和弹簧组成的系统机械能守恒, 但物体 A 机械能不守恒, A 错误; 题图乙中物体 B 除受重力外, 还受支持力、拉力、摩擦力作用, 但当拉力与摩擦力大小相等时, 除重力之外的三个力做功的代数和为零, 故物体 B 机械能守恒, B 正确; 题图丙中绳子的张力对 A 做负功, 对 B 做正功, 两者代数和为零, 又不计任何阻力, 故物体 A、B 组成的系统机械能守恒, C 正确; 题图丁中小球的动能不变, 势能不变, 故机械能守恒, D 正确。

### 任务总结

#### 1. 判断机械能是否守恒的方法

(1) 能量转化分析法: 从能量转化的角度进行分析。若只有系统内物体间动能和重力势能及弹性势能的相互转化, 系统跟外界没有发生机械能的传递, 机械能也没有转化成其他形式的能 (如没有内能增加), 则系统的机械能守恒。

(2) 做功条件分析法: 应用系统机械能守恒的条件进行分析。若物体系统内只有重力和弹力做功, 其他力均不做功, 则系统的机械能守恒。

#### 2. 判断机械能是否守恒应注意的问题

(1) 合外力为零是物体处于平衡状态的条件。物体受到的合外力为零时, 它一定处于匀速直线运动状态或静止状态, 但它的机械能不一定守恒。

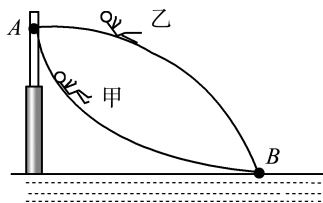
(2) 合外力做功为零是物体动能不变的条件。合外力对物体不做功, 物体的动能一定不变, 但它的机械能不一定守恒。

(3) 只有重力或系统内弹力做功是机械能守恒的条件。只有重力对物体做功时, 物体的机械能一定守恒; 只有重力或系统内弹力做功时, 系统的机械能一定守恒。

### 任务二 机械能守恒定律的应用

#### [探究活动]

如图所示, 游乐场中, 从高处 A 到水面 B 处有两条长度相同的光滑轨道, 甲、乙两个小孩沿不同轨道同时从 A 处自由滑向 B 处。

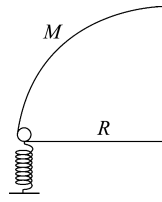


甲、乙分别到达 B 处时, 谁的速度更大?

提示: 甲、乙到达 B 处时速度大小相等。

#### [评价活动]

1. 如图所示是为了检验某种防护罩承受冲击能力的装置的一部分示意图, M 是半径为  $R = 1.0 \text{ m}$ 、固定于竖直平面内的四分之一光滑圆弧轨道, 轨道上端切线水平, M 的下端切



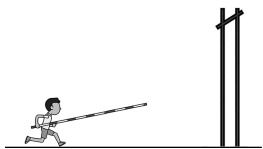
线处放置竖直向上的弹簧枪, 可发射速度不同的质量  $m = 0.01 \text{ kg}$  的小钢珠。假设某次发射的钢珠沿轨道内侧恰好能经过 M 的上端点水平飞出, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 弹簧枪的长度不计, 则发射该钢珠前, 弹簧的弹性势能为 ( B )

- A.  $0.10 \text{ J}$       B.  $0.15 \text{ J}$   
 C.  $0.20 \text{ J}$       D.  $0.25 \text{ J}$

2. 如图所示, 撑竿跳高运动中, 运动员经过助跑、撑竿起跳, 最终越过横杆。若运动员起跳前助跑速度为  $10 \text{ m/s}$ , 则理论上运动员助跑获得的动能可使其重

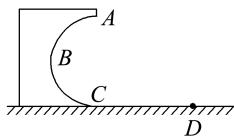
心提升的最大高度为(重力加速度取  $10 \text{ m/s}^2$ )

( B )



A.4 m B.5 m C.6 m D.7 m

3.如图所示,一固定在竖直平面内的光滑的半圆形轨道 ABC,其半径  $R=0.5 \text{ m}$ ,轨道在 C 处与水平地面相切,在 C 处放一小物块(图中未画出),给它一水平向左的初速度  $v_0=5 \text{ m/s}$ ,使它沿轨道 CBA 运动,通过 A 处后落在水平地面上的 D 处。求 C、D 间的距离  $x$ 。(取  $g=10 \text{ m/s}^2$ ,忽略空气阻力)



解析:方法一 应用机械能守恒定律求解

物块从 C 处到 A 处的过程中,只有重力做功,机械能守恒,则  $\Delta E_p = -\Delta E_k$

$$\text{即 } 2mgR = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$$

物块从 A 处到 D 处的过程中做平抛运动,则

$$\text{竖直方向有 } 2R = \frac{1}{2}gt^2$$

水平方向有  $x = vt$

联立以上各式并代入数据得  $x = 1 \text{ m}$ 。

方法二 应用动能定理求解

物块从 C 处到 A 处的过程中,只有重力做功,由动能定理得

$$-mg \cdot 2R = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

物块从 A 处到 D 处的过程中做平抛运动,则

$$\text{竖直方向有 } 2R = \frac{1}{2}gt^2$$

水平方向有  $x = vt$

联立以上各式并代入数据得  $x = 1 \text{ m}$ 。

答案:1 m

4.以  $10 \text{ m/s}$  的速度将质量为  $m$  的物体从地面上竖直向上抛出。若忽略空气阻力,以地面为参考平面,取  $g=10 \text{ m/s}^2$ ,则:

(1)物体上升的最大高度是多少?

(2)上升过程中在何处重力势能与动能相等?

解析:(1)由于物体在运动过程中只有重力做功,因此机械能守恒。以地面为参考平面,则  $E_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$

在最高点动能为零,故  $E_2 = mgh$

由机械能守恒定律有  $E_1 = E_2$ ,可得

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh$$

$$\text{所以 } h = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{10^2}{2 \times 10} \text{ m} = 5 \text{ m}。$$

(2)初态物体在地面上,  $E_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$ ,设重力势能与动能相等时在距离地面  $h_1$  高处,则

$$E_3 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = 2mgh_1$$

由机械能守恒定律有  $E_1 = E_3$ ,可得

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = 2mgh_1$$

$$\text{所以 } h_1 = \frac{v_0^2}{4g} = 2.5 \text{ m}。$$

答案:(1)5 m (2)距地面高 2.5 m 处

### 任务总结

#### 1.机械能守恒定律的表达式

项目	表达式	物理意义	注意
守恒角度	$E_1 = E_2$	表示系统前、后的机械能相等	(1)必须选择参考平面; (2)初、末重力势能要选择同一参考平面
转化角度	$\Delta E_k = -\Delta E_p$	表示系统增加的动能等于减少的势能	(1)不用选择参考平面,直接计算势能的差值; (2)关键是分清势能的增减
转移角度	$\Delta E_A = -\Delta E_B$	表示物体 A 的机械能增加量等于物体 B 的机械能减少量	(1)不用选择参考平面; (2)关键是要分清两部分机械能的变化

#### 2.应用机械能守恒定律解题的一般步骤

(1)确定研究对象,就是要明确以哪几个物体组成的系统为研究对象。

(2)正确分析研究对象内各物体所受的力。分析时应注意,弹力和摩擦力都是成对出现的,分清哪几个力是内力,哪几个力是外力。

(3)分析各力做功情况,明确守恒条件。

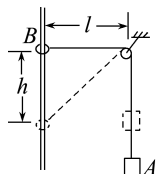
(4)选择参考平面,确定初、末状态的机械能(初、末状态必须选用同一参考平面计算势能)。

(5)按机械能守恒定律列出方程并求解。

## 任务三 多物体组成的系统机械能守恒

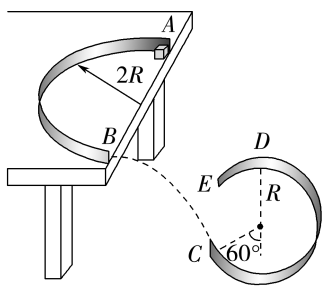
## 问题

1. 如图所示, 物体 A 的质量为  $M$ , 圆环 B 的质量为  $m$ , 通过绳子连接在一起, 圆环套在光滑的竖直杆上。开始时连接圆环的绳子处于水平状态, 长度  $l=4\text{ m}$ , 现从静止释放圆环。不计定滑轮和空气的阻力, 取  $g=10\text{ m/s}^2$ , 若圆环下降  $h=3\text{ m}$  时的速度  $v=5\text{ m/s}$ , 则 A 和 B 的质量关系为 ( A )



- A.  $\frac{M}{m} = \frac{35}{29}$       B.  $\frac{M}{m} = \frac{7}{9}$   
C.  $\frac{M}{m} = \frac{39}{25}$       D.  $\frac{M}{m} = \frac{15}{19}$

2. 如图为某游戏装置原理示意图。水平桌面上固定一半圆形竖直挡板, 其半径为  $2R$ 、内表面光滑, 挡板的两端 A、B 在桌面边缘, B 与半径为  $R$  的固定光滑圆弧轨道  $\widehat{CDE}$  在同一竖直平面内, 过 C 点的轨道半径与竖直方向的夹角为  $60^\circ$ 。小物块以某一水平初速度由 A 点切入挡板内侧, 从 B 点飞出桌面后, 在 C 点沿圆弧切线方向进入轨道  $\widehat{CDE}$  内侧, 并恰好能到达轨道的最高点 D。小物块与桌面之间的动摩擦因数为  $\frac{1}{2\pi}$ , 重力加速度大小为  $g$ , 忽略空气阻力, 小物块可视为质点。求:



- (1) 小物块到达 D 点的速度大小;  
(2) B 和 D 两点的高度差;  
(3) 小物块在 A 点的初速度大小。

解析: (1) 小物块恰好运动到光滑圆弧轨道  $\widehat{CDE}$  的

最高点时, 有  $mg = m \frac{v_D^2}{R}$

解得小物块到达 D 点的速度大小  $v_D = \sqrt{gR}$ 。

(2) 小物块由 C 到 D 的过程, 由动能定理有

$$-mgR(1 + \cos 60^\circ) = \frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_C^2$$

小物块由 B 到 C 做平抛运动, 由速度的分解可知  $v_B = v_C \cos 60^\circ$

设 B 和 D 两点的高度差为  $h$ , 小物块由 B 到 D 的过程, 由动能定理有

$$mgh = \frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

代入数据解得  $h=0$ 。

(3) 小物块由 A 到 B 的过程, 由动能定理有

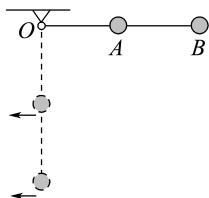
$$-\mu mg \cdot 2\pi R = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$$

解得小物块在 A 点的初速度大小  $v_A = \sqrt{3gR}$ 。

答案: (1)  $\sqrt{gR}$  (2) 0 (3)  $\sqrt{3gR}$

3. 如图所示, 在长为  $l$  的轻杆中点和端点各固定一质量为  $m$  的球 A、B, 杆可绕轴 O 无摩擦转动, 忽略空气阻力, 将杆从水平位置无初速度释放。当杆转到竖直位置时:

- (1) A、B 两球的速度分别为多大?  
(2) 杆对 A、B 两球分别做了多少功?



解析: (1) 设当杆转到竖直位置时, A 球和 B 球的速度分别为  $v_A$  和  $v_B$ 。如果把轻杆、两球组成的系统作为研究对象, 因为机械能没有转化为其他形式的能, 故系统机械能守恒, 可得

$$mgl + \frac{1}{2}mgl = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$$

因 A 球与 B 球在各个时刻对应的角速度大小相同, 由  $v = \omega r$  知  $v_B = 2v_A$

$$\text{联立以上两式得 } v_A = \sqrt{\frac{3gl}{5}}, v_B = \sqrt{\frac{12gl}{5}}$$

(2) 根据动能定理, 可分别解出杆对 A、B 两球做的功。

$$\text{对 A 有 } W_A + mg \cdot \frac{l}{2} = \frac{1}{2}mv_A^2 - 0$$

$$\text{所以 } W_A = -\frac{1}{5}mgl$$

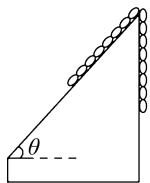
$$\text{对 B 有 } W_B + mgl = \frac{1}{2}mv_B^2 - 0$$

$$\text{所以 } W_B = \frac{1}{5}mgl$$

答案: (1)  $\sqrt{\frac{3gl}{5}}$   $\sqrt{\frac{12gl}{5}}$  (2)  $-\frac{1}{5}mgl$   $\frac{1}{5}mgl$

4. 如图所示, 有一条长为  $L$  的均匀金属链条, 一半长度在固定的光滑斜面上, 另一半长度沿竖直方向下

垂在空中,斜面倾角为  $\theta$ 。将链条从静止释放后,链条竖直部分向下滑动,求链条刚好全部滑出斜面时(未触地)的速度大小。(重力加速度为  $g$ )



**解析:**取斜面的最高点所在的水平面为参考平面,链条的总质量记为  $m$ ,则开始时斜面上的那部分链条

$$E_{p1} = -\frac{mg}{2} \cdot \frac{L}{4} \sin \theta$$

竖直的那部分链条的重力势能为

$$E_{p2} = -\frac{mg}{2} \cdot \frac{L}{4}$$

则开始时的机械能为

$$E_1 = E_{p1} + E_{p2} = -\frac{mg}{2} \cdot \frac{L}{4} \sin \theta + \left( -\frac{mg}{2} \cdot \frac{L}{4} \right) = -\frac{mgL}{8} (1 + \sin \theta)$$

当链条刚好全部滑出斜面时,重力势能为

$$E_p = -mg \cdot \frac{L}{2}$$

动能为  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ,则机械能为

$$E_2 = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mgL$$

因为只有重力做功,所以链条的机械能守恒,则由机械能守恒定律得  $E_1 = E_2$ ,即

$$-\frac{mgL}{8} (1 + \sin \theta) = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mgL$$

$$\text{解得 } v = \frac{1}{2}\sqrt{gL(3 - \sin \theta)}$$

$$\text{答案: } \frac{1}{2}\sqrt{gL(3 - \sin \theta)}$$

### 任务总结

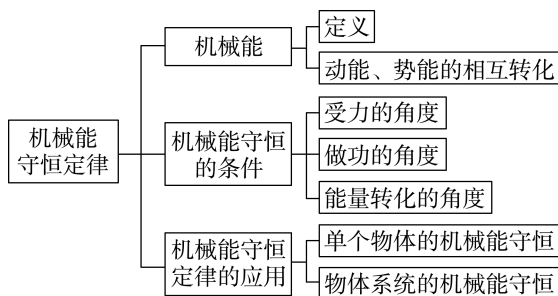
#### 多物体组成的系统机械能守恒

(1)轻质弹簧模型:系统内两个物体直接接触或通过弹簧连接。这类连接体问题应注意各物体间不同形式能量的转化关系。

(2)轻绳模型:系统内两个物体通过轻绳连接。如果和外界不存在摩擦力做功等问题,只有机械能在两物体之间相互转移,两物体组成的系统机械能守恒。解决此类问题的突破口是在绳的方向上两物体速度大小相等。

(3)轻杆模型:系统内两个物体通过轻杆连接。轻杆连接的两物体绕固定转轴转动时,两物体的角速度大小相等。

### ► 提质归纳



## 课后素养评价(十六) 机械能守恒定律

### 基础性·能力运用

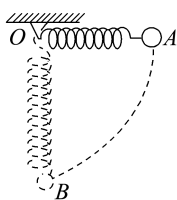
#### 知识点 1 对机械能是否守恒的判断

1. 下列说法正确的是 ( )

- A. 物体沿水平面做匀加速运动,机械能一定守恒
- B. 起重机匀速提升物体,物体机械能一定守恒
- C. 物体沿光滑曲面自由下滑过程中(不计空气阻力),机械能一定守恒
- D. 跳伞运动员在空中匀速下落过程中(不计空气阻力),机械能一定守恒

**C 解析:**A项,势能不变,动能增加;B项,动能不变,势能增加;C项,只有重力做功,机械能守恒;D项,动能不变,势能减少。综上所述,选项C正确。

2. 如图所示,一轻质弹簧固定于  $O$  点,另一端系一重物,将重物从与悬点  $O$  在同一水平面且弹簧保持原长的  $A$  点无初速度地释放,让它自由摆下,不计空气阻力。在重物由  $A$  点摆向最低点  $B$  的过程中,下列说法正确的是 ( )

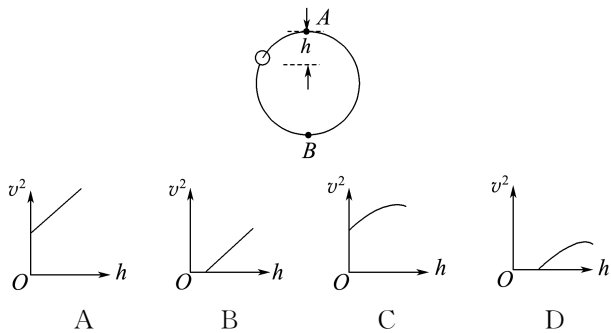


- A. 重物的机械能守恒
- B. 重物的机械能增加
- C. 重物的重力势能与弹簧的弹性势能之和不变
- D. 重物与弹簧组成的系统机械能守恒

D 解析:重物由A点下摆到B点的过程中,弹簧被拉长,弹簧的弹力对重物做了负功,所以重物的机械能减少,故选项A、B错误;此过程中,因为只有重力和弹簧的弹力做功,所以重物与弹簧组成的系统机械能守恒,即重物减少的重力势能等于重物获得的动能与弹簧获得的弹性势能之和,故选项C错误,D正确。

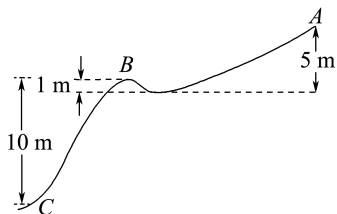
### 知识点2 机械能守恒定律的应用

3.如图所示,一个小环套在竖直放置的光滑圆形轨道上做圆周运动。小环从最高点A滑到最低点B的过程中,其线速度大小的二次方 $v^2$ 随下落高度 $h$ 变化的图像可能是下列选项中的( )



A 解析:设小环在A点的速度为 $v_0$ ,在B点的速度为 $v$ ,由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2$ ,则 $v^2 = v_0^2 + 2gh$ ,可见 $v^2$ 与 $h$ 呈线性关系。若 $v_0 = 0$ ,则 $v^2 = 2gh$ ,图像为过原点的直线;若 $v_0 \neq 0$ ,当 $h = 0$ 时,有纵截距。故A正确。

4.如图所示为一滑雪跳台的示意图。假设运动员从雪道的最高点A由静止开始滑下,不借助其他器械,他沿光滑雪道到达跳台的B点时速度是多大?当他落到离B点竖直高度为10 m的雪地C点时,速度又是多大?(设这一过程中运动员没有做其他动作,忽略摩擦和空气阻力,取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



解析:运动员在滑雪过程中只有重力做功,故运动员在滑雪过程中机械能守恒。取B点所在水平面为参考平面。由题意知A点到B点的高度差 $h_1 = 4 \text{ m}$   
B点到C点的高度差 $h_2 = 10 \text{ m}$

从A点到B点的过程,由机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = mgh_1$$

$$\text{故 } v_B = \sqrt{2gh_1} = 4\sqrt{5} \text{ m/s}$$

从B点到C点的过程,由机械能守恒定律得

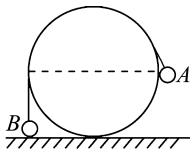
$$\frac{1}{2}mv_C^2 = -mgh_2 + \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$\text{故 } v_C = \sqrt{2g(h_1 + h_2)} = 2\sqrt{70} \text{ m/s}。$$

答案: $4\sqrt{5} \text{ m/s}$   $2\sqrt{70} \text{ m/s}$

### 知识点3 多物体组成的系统机械能守恒问题

5.如图所示,可视为质点的小球A、B用不可伸长的细软轻绳连接,跨过固定在地面上半径为 $R$ 的光滑圆柱,A的质量为B的2倍。当B与地面刚接触时,A恰与圆柱轴心等高。将A由静止释放,B上升的最大高度是( )

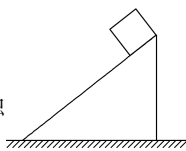


- A.  $2R$                       B.  $\frac{5R}{3}$   
C.  $\frac{4R}{3}$                       D.  $\frac{2R}{3}$

C 解析:A、B的质量分别记为 $2m$ 、 $m$ ,当A落到地面上时,B恰好运动到与圆柱轴心等高处,以A、B整体为研究对象,A、B组成的系统机械能守恒,故有 $2mgR - mgR = \frac{1}{2}(2m + m)v^2$ ,A落到地面上以后,B以速度 $v$ 竖直上抛,又上升的高度为 $h' = \frac{v^2}{2g}$ ,解得 $h' = \frac{1}{3}R$ ,此时绳子未绷直,即B上升的最大高度为 $R + h' = \frac{4}{3}R$ ,故C项正确。

6.(多选)如图所示,斜面置于光滑水平地面上,其光滑斜面上有一物体由静止沿斜面下滑,在物体下滑过程中,下列说法正确的是( )

- A. 物体的重力势能减少,动能增加  
B. 斜面的机械能不变  
C. 斜面对物体的作用力垂直于接触面,不对物体做功  
D. 物体和斜面组成的系统机械能守恒

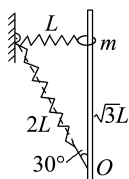


AD 解析:物体由静止开始下滑的过程中重力势能减少,动能增加,A项正确;物体在下滑过程中,斜面向右做加速运动,机械能增加,B项错误;物体沿斜面下滑时,既沿斜面向下运动,又随斜面向右运动,所受弹力方向垂直于接触面,但与其速度方向之间的夹角大于 $90^\circ$ ,所以斜面作用于物体的作用力对物体做负功,C项错误;对物体与斜面组成的系统,只有物体的重力和物体与斜面间的弹力做功,机械能守恒,D项正确。

## 综合性 · 创新提升

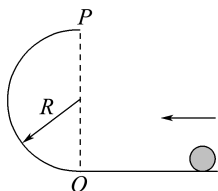
7. 如图所示, 固定的竖直光滑长杆上套有质量为  $m$  的小圆环, 圆环与处于水平状态的轻质弹簧一端连接, 弹簧的另一端连接在墙上, 且处于原长状态。现让圆环由静止开始下滑, 已知弹簧原长为  $L$ , 圆环下滑到最低点时弹簧的长度变为  $2L$  (未超过弹性限度), 则在圆环下滑到最低点的过程中 ( )

- A. 圆环的机械能守恒
- B. 弹簧弹性势能变化了  $\sqrt{3}mgL$
- C. 圆环下滑到最低点时, 所受合力为零
- D. 圆环重力势能与弹簧弹性势能之和保持不变



**B 解析:** 在圆环下滑过程中, 圆环的重力和弹簧的弹力对圆环做功, 圆环的机械能不守恒, 圆环和弹簧组成的系统机械能守恒, 系统的机械能等于圆环的动能和重力势能以及弹簧的弹性势能之和, 选项 A、D 错误; 对圆环进行受力分析, 可知圆环从静止开始先向下加速运动且加速度逐渐减小, 当弹簧对圆环的弹力沿竖直长杆方向的分力与圆环所受重力大小相等时, 加速度为零, 速度达到最大, 而后加速度反向且逐渐增大, 圆环开始做减速运动, 当圆环下滑到最低点时, 所受合力最大, 选项 C 错误; 由题图中几何关系知圆环的下降高度为  $\sqrt{3}L$ , 由系统机械能守恒可得  $mg \times \sqrt{3}L = \Delta E_p$ , 解得  $\Delta E_p = \sqrt{3}mgL$ , 选项 B 正确。

8. (多选) 如图所示, 小球 (可视为质点) 沿水平面通过 O 点进入半径为  $R$  的半圆弧轨道后恰能通过最高点 P, 然后落回水平面, 不计一切阻力。下列说法正确的是 ( )

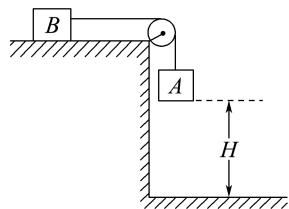


- A. 小球落地点到 O 点的水平距离为  $2R$
- B. 小球落地时的动能为  $\frac{5mgR}{2}$
- C. 小球运动到半圆弧最高点 P 时向心力恰好为零
- D. 若将半圆弧轨道上部的  $\frac{1}{4}$  圆弧截去, 其他条件不变, 则小球能达到的最大高度比 P 点高  $0.5R$

**ABD 解析:** 由题意知在 P 点时, 重力恰好提供向心力,  $mg = m \frac{v^2}{R}$ , 故小球经过 P 点时的速度大小

$v = \sqrt{gR}$ , C 错误; 由  $2R = \frac{1}{2}gt^2$ 、 $x = vt$  得小球落地点到 O 点的水平距离为  $2R$ , A 正确; 平抛运动过程中, 根据能量守恒定律有  $mg \cdot 2R + \frac{1}{2}mv^2 = E_k$ , 可知小球落地时的动能  $E_k = 2mgR + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{5}{2}mgR$ , B 正确; 若将圆弧轨道上部  $\frac{1}{4}$  截去, 则小球离开轨道后做竖直上抛运动, 设能达到的最大高度为  $h$ , 由  $mgh = \frac{5}{2}mgR$  得小球能达到的最大高度  $h = 2.5R$ , 比 P 点高  $0.5R$ , D 正确。

9. 如图所示, 用轻绳连接 A、B 两物体, A 物体悬在空中距地面 H 高处, B 物体放在水平面上。若 A 物体质量是 B 物体质量的 2 倍, 不计一切摩擦, 由静止释放 A 物体, 以地面为零势能参考面。当 A 的动能与其重力势能相等时, A 距地面的高度是 ( )

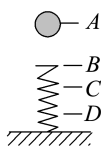


- A.  $\frac{1}{5}H$
- B.  $\frac{2}{5}H$
- C.  $\frac{3}{5}H$
- D.  $\frac{4}{5}H$

**B 解析:** 设 A 的动能与重力势能相等时 A 距地面的高度为  $h$ , 对 A、B 组成的系统, 由机械能守恒得  $m_A g(H - h) = \frac{1}{2}m_A v^2 + \frac{1}{2}m_B v^2$ , 又由题意得  $m_A g h = \frac{1}{2}m_A v^2$ ,  $m_A = 2m_B$ , 解得  $h = \frac{2}{5}H$ , 故 B 正确。

10. 如图所示, 一根轻质弹簧下端固定, 竖立在水平面上, 其正上方 A 位置有一个小球。小球从静止开始下落, 在 B 位置接触弹簧的上端, 在 C 位置小球所受弹力大小等于重力, 在 D 位置小球速度减小到零, 不计空气阻力。下列关于小球下落过程的说法正确的是 ( )

- A. 在 B 位置小球动能最大
- B. 从 A 位置 → D 位置的过程中小球机械能守恒
- C. 从 A 位置 → D 位置, 小球重力势能的减少量大于弹簧弹性势能的增加量

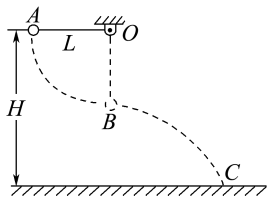


D. 从 A 位置→C 位置, 小球重力势能的减少量大于弹簧弹性势能的增加量

**D 解析:** 小球从 B 位置至 C 位置的过程中, 重力大于弹簧的弹力, 合力向下, 小球做加速运动; 从 C 位置到 D 位置过程中, 重力小于弹力, 合力向上, 小球做减速运动, 故在 C 点小球动能最大, A 错误。下落过程中小球受到的弹力做负功, 所以小球机械能不守恒, 但小球和弹簧组成的系统机械能守恒, 即小球的重力势能、动能和弹簧的弹性势能总和保持不变; 从 A 位置→D 位置, 小球的动能变化量为零, 根据系统的机械能守恒可知, 小球重力势能的减少量等于弹簧弹性势能的增加量; 从 A 位置→C 位置小球减少的重力势能一部分转化为小球的动能, 另一部分转化为弹簧的弹性势能, 故从 A 位置→C 位置小球重力势能的减少量大于弹簧弹性势能的增加量, D 正确, B、C 错误。

11. 如图所示, 质量  $m = 2 \text{ kg}$  的小球 (可视为质点) 用长  $L = 1.05 \text{ m}$  的轻质细绳悬挂在距水平地面高  $H = 6.05 \text{ m}$  的 O 点。现将细绳拉直至水平状态, 自 A 点无初速度释放小球, 小球运动至悬点 O 的正下方 B 点时细绳恰好断开, 接着小球做平抛运动, 落至水平地面上的 C 点。不计空气阻力, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) 细绳能承受的最大拉力;
- (2) 细绳断开后小球在空中运动所用的时间;
- (3) 小球落地瞬间速度的大小。



**解析:** (1) 从 A 点到 B 点的过程, 根据机械能守恒定律有  $mgL = \frac{1}{2}mv_B^2$

在 B 处, 由牛顿第二定律得

$$T_{\max} - mg = ma = \frac{mv_B^2}{L}$$

故最大拉力  $T_{\max} = 3mg = 60 \text{ N}$ 。

(2) 细绳断开后, 小球做平抛运动, 竖直方向上有

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

$$\text{解得 } t = \sqrt{\frac{2(H-L)}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times (6.05 - 1.05)}{10}} \text{ s} = 1 \text{ s}。$$

(3) 整个过程, 小球的机械能守恒, 故

$$mgH = \frac{1}{2}mv_C^2$$

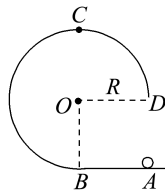
$$\text{解得 } v_C = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \times 10 \times 6.05} \text{ m/s} = 11 \text{ m/s}。$$

**答案:** (1) 60 N (2) 1 s (3) 11 m/s

12. 如图所示, 在竖直平面内有一固定光滑轨道, 其中 AB 是长为 R 的水平直轨道, BCD 是圆心为 O 点、半径为 R 的  $\frac{3}{4}$  圆弧轨道, 两轨道相切于 B 点。

在外力作用下, 一小球从 A 点由静止开始做匀加速直线运动, 到达 B 点时撤除外力。已知小球刚好能沿圆轨道经过最高点 C, 重力加速度大小为 g。求:

- (1) 小球在 AB 段运动的加速度的大小;
- (2) 小球从 D 点运动到 A 点所用的时间。



**解析:** (1) 小球在 BCD 段运动时, 受到重力  $mg$ 、轨道支持力  $N$  的作用, 小球在最高点 C 所受轨道支持力为零。设小球在 C 点的速度大小为  $v_C$ , 根据牛顿第二定律有

$$mg = m \frac{v_C^2}{R}$$

小球从 B 点运动到 C 点, 机械能守恒。设在 B 点处小球的速度大小为  $v_B$ , 有

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}mv_C^2 + 2mgR$$

由于小球在 AB 段由静止开始做匀加速运动, 设加速度大小为  $a$ , 由运动学公式有

$$v_B^2 = 2aR$$

联立以上各式解得  $a = \frac{5}{2}g$ 。

(2) 设小球在 D 点处的速度大小为  $v_D$ , 下落到 A 点时的速度大小为  $v$ , 由机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}mv_D^2 + mgR$$

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

设从 D 点运动到 A 点所用的时间为  $t$ , 由运动学公式得

$$gt = v - v_D$$

$$\text{解得 } t = (\sqrt{5} - \sqrt{3}) \sqrt{\frac{R}{g}}。$$

**答案:** (1)  $\frac{5}{2}g$  (2)  $(\sqrt{5} - \sqrt{3}) \sqrt{\frac{R}{g}}$

## 6 实验:验证机械能守恒定律

### 学习任务目标

1. 认真阅读教材,明确实验目的,理解实验原理和实验设计思路。(科学探究)
2. 能正确进行实验操作,并能进行相关物理量的测量。能分析实验数据得出结论,并定性分析产生误差的原因。(科学探究)
3. 通过误差分析,掌握减小实验误差的方法。(科学思维)

### 问题式预习

#### 「实验思路」

让物体自由下落,在忽略阻力的情况下,验证物体的机械能守恒有两种方案:

1. 以物体下落的起始点为基准,测出物体自由下落高度  $h$  时的速度大小  $v$ ,在误差允许的范围内,若

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \text{ 成立,则可验证物体的机械能守恒。}$$

2. 测出物体自由下落高度  $\Delta h$  过程的初、末时刻的速度  $v_1$ 、 $v_2$ ,在误差允许的范围内,若关系式  $\frac{1}{2}mv_2^2 -$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = mg\Delta h \text{ 成立,则可验证物体的机械能守恒。}$$

#### 「原理启示」

1. 本实验是验证性实验,验证的规律是机械能守恒定律,表达式是  $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_1 - mgh_2$  (或  $mg\Delta h$ )。

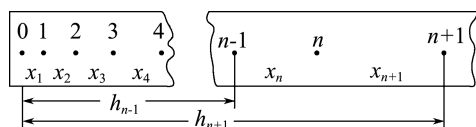
2. 为满足本实验的条件,应选择质量大、体积小的重物。

2. 为满足本实验的条件,应选择质量大、体积小的重物。

物;调整打点计时器,使两个限位孔沿竖直方向,减少纸带与限位孔之间的摩擦。

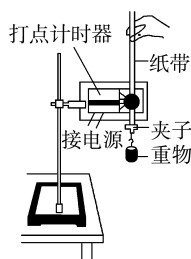
3. 如图所示,计算打第  $n$  个点时对应的速度的方法:测出第  $n$  个点与相邻前后点间的距离  $x_n$  和  $x_{n+1}$ ,

由公式  $v_n = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T}$  或  $v_n = \frac{h_{n+1} - h_{n-1}}{2T}$  算出。



#### 「实验器材」

铁架台(带铁夹)、打点计时器、重物(带夹子)、纸带、复写纸(或墨粉盘)、导线、毫米刻度尺、交流电源。



### 任务型课堂

#### 「原型实验」

1. 在“验证机械能守恒定律”的实验中,下面列出了一些实验步骤:

- A. 用天平称出重物和夹子的质量;
- B. 把重物系在夹子上;
- C. 将纸带穿过打点计时器限位孔,上端用手提着,下端夹上系住重物的夹子,再把纸带向上拉,让夹子靠近打点计时器并静止;
- D. 把打点计时器接在电源上(此时电源不接通);

- E. 把打点计时器固定在桌边的铁架台上,使两个限位孔在同一竖直线上;
- F. 在纸带上选取几个点,进行测量和记录数据;
- G. 用停表测出重物下落的时间;
- H. 接通电源,待计时器打点稳定后释放纸带;
- I. 切断电源;
- J. 更换纸带,再重复进行两次实验;
- K. 在三条纸带中选出点迹较清晰的一条;
- L. 进行计算,得出结论,完成报告;
- M. 拆下导线,整理器材。

以上步骤中,不必要的有\_\_\_\_\_,正确步骤的合理顺序是\_\_\_\_\_。

(均填写字母)

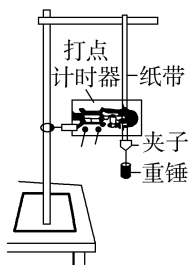
解析:验证机械能守恒的表达式为  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ,

$m$  可消掉,验证  $gh = \frac{1}{2}v^2$  即可,没必要称量重物和

夹子的质量。打点计时器本身就是计时仪器,不需要用停表计时。

答案:AG EDBCHIJKFL

- 2.用如图所示的实验装置验证机械能守恒定律,实验所用的电源有交流电和直流电两种。重锤从高处由静止开始落下,重锤上拖着的纸带通过打点计时器打出一系列的点,对纸带上点的痕迹进行测量,即可验证机械能守恒定律。



下面列举了该实验的几个操作步骤:

- 按照图示的装置安装器件;
- 将打点计时器接到电源的直流输出端上;
- 用天平测量出重锤的质量;
- 释放悬挂纸带的夹子,同时接通电源开关打出一条纸带;
- 测量打出的纸带上某些点之间的距离;
- 根据测量的结果计算重锤下落过程中减少的重力势能是否等于增加的动能。

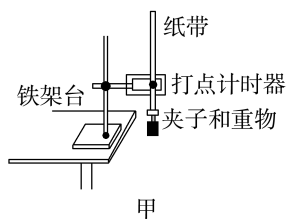
指出其中没有必要进行或者操作不恰当的步骤,将其对应的字母填在下面的横线上,并说明原因:\_\_\_\_\_。

解析:仔细分析可知,步骤B是错误的,应该将打点计时器接到电源的交流输出端;步骤D是错误的,应该先接通电源,待打点稳定后再释放纸带;步骤C不必要,根据测量原理,重锤的动能和重力势能中都包含了质量  $m$ ,可以约去。

答案:见解析

- 3.某实验小组用落体法验证机械能守恒定律,实验装置如图甲所示。实验中测出重物自由下落的高度  $h$  及对应的瞬时速度  $v$ ,计算出重物减少的重力势能  $mgh$  和增加的动能  $\frac{1}{2}mv^2$ ,然后进行比较,如果两者相等或近似相等,即可验证重物自由下落过程

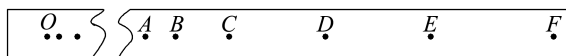
中机械能守恒。请根据实验原理和步骤回答下列问题:



(1)关于上述实验,下列说法正确的是\_\_\_\_\_。

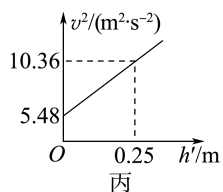
- 重物最好选择密度较小的木块
- 重物的质量可以不测量
- 实验中应先接通电源,后释放纸带
- 可以利用公式  $v = \sqrt{2gh}$  来求解瞬时速度

(2)如图乙所示是该实验小组获得的一条点迹清晰的纸带,纸带上的  $O$  点是起始点,选取纸带上连续的点  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  作为计数点,并测出各计数点到  $O$  点的距离依次为 27.94 cm、32.78 cm、38.02 cm、43.65 cm、49.66 cm、56.07 cm。已知打点计时器所用的电源是 50 Hz 的交流电源,重物的质量为 0.5 kg,则在打点计时器打下点  $O$  到打下点  $D$  的过程中,重物减少的重力势能  $\Delta E_p =$  \_\_\_\_\_ J; 重物增加的动能  $\Delta E_k =$  \_\_\_\_\_ J,两者不完全相等的原因可能是\_\_\_\_\_。(取  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ,结果均保留三位有效数字)



乙

(3)实验小组的同学正确计算出图乙中打下计数点  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  时重物的瞬时速度  $v$ ,以各计数点到  $A$  点的距离  $h'$  为横轴,  $v^2$  为纵轴作出图像,如图丙所示,根据作出的图线,能粗略验证自由下落的物体机械能守恒的依据是\_\_\_\_\_。



丙

解析:(1)重物最好选择密度较大的铁块,铁块受到的阻力对实验的影响较小,故 A 错误;本题是以自由落体运动为例来验证机械能守恒定律,需要验证的关系式是  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ,  $m$  可约去,不需要测量重物的质量,故 B 正确;实验中应先接通电源,后释放纸带,故 C 正确;不能利用公式  $v = \sqrt{2gh}$  来求解

瞬时速度,否则就成为用机械能守恒定律验证机械能守恒,故D错误。

(2)重力势能减少量  $\Delta E_p = mgh = 0.5 \times 9.8 \times 0.4365 \text{ J} \approx 2.14 \text{ J}$ 。利用匀变速直线运动的推论知

$$v_D = \frac{x_{CE}}{\Delta t} = \frac{0.4966 - 0.3802}{0.04} \text{ m/s} = 2.91 \text{ m/s},$$

$E_{kD} = \frac{1}{2}mv_D^2 = \frac{1}{2} \times 0.5 \times 2.91^2 \text{ J} \approx 2.12 \text{ J}$ ,动能增加量  $\Delta E_k = E_{kD} - 0 = 2.12 \text{ J}$ 。由于存在阻力作用,所以减少的重力势能大于增加的动能。

(3)根据表达式  $mgh' = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$ ,则有  $v^2 = 2gh' + v_A^2$ ,当  $v^2 - h'$  图像的斜率为重力加速度的2倍时,即可验证机械能守恒,而题图的斜率  $k = \frac{10.36 - 5.48}{0.25} \text{ m/s}^2 = 19.52 \text{ m/s}^2 \approx 2g$ ,因此能粗略验证自由下落的物体机械能守恒。

答案:(1)BC (2)2.14 2.12 重物下落过程中受到阻力作用 (3)图像的斜率为  $19.52 \text{ m/s}^2$ ,约为重力加速度  $g$  的2倍

**[特别提醒]**

**1. 计算各点对应的瞬时速度**

记下第1个点的位置O点,在纸带上从离O点适当距离开始选取几个计数点1、2、3...n,并测量出各计数点到O点的距离  $h_1, h_2, h_3 \dots h_n$ ,再根据公式  $v_n = \frac{h_{n+1} - h_{n-1}}{2T}$  计算出1、2、3...n点对应的瞬时速度  $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$ 。

**2. 机械能守恒定律的验证方法**

(1)利用起始点和第n个计数点

从起始点到第n个计数点,重力势能减少量为  $mgh_n$ ,动能增加量为  $\frac{1}{2}mv_n^2$ ,分别计算  $gh_n$  和

$\frac{1}{2}v_n^2$ ,如果在实验误差允许的范围内  $gh_n =$

$\frac{1}{2}v_n^2$ ,则机械能守恒定律得到验证。

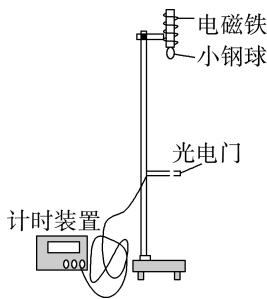
(2)任取两点A、B

从A点到B点,重力势能减少量为  $mgh_B - mgh_A = mgh_{BA}$ ,动能增加量为  $\frac{1}{2}mv_B^2 -$

$\frac{1}{2}mv_A^2$ ,分别计算  $gh_{BA}$  和  $\frac{1}{2}v_B^2 - \frac{1}{2}v_A^2$ ,如果在

实验误差允许的范围内  $gh_{BA} = \frac{1}{2}v_B^2 - \frac{1}{2}v_A^2$ ,则机械能守恒定律得到验证。

4.为了“验证机械能守恒定律”,我们提供了如图所示的实验装置。



某同学进行了如下操作并测出相应数据:

- ①用天平测出小钢球的质量为  $m = 0.40 \text{ kg}$ ;
- ②用游标卡尺测出小钢球的直径为  $d = 10.0 \text{ mm}$ ;
- ③用刻度尺测出电磁铁下端到光电门的距离为  $L = 129.0 \text{ cm}$ ;
- ④电磁铁先通电,让小钢球吸在电磁铁下端;
- ⑤电磁铁断电时,小钢球自由下落;
- ⑥在小钢球经过光电门时,计时装置记下小钢球经过光电门所用时间为  $t = 2.0 \times 10^{-3} \text{ s}$ 。

(1)由此可算得小钢球经过光电门的速度为 \_\_\_\_\_  $\text{m/s}$ 。

(2)计算得出小钢球重力势能的变化量为 \_\_\_\_\_  $\text{J}$ ,小钢球动能的变化量为 \_\_\_\_\_  $\text{J}$ 。(结果均保留三位有效数字,  $g$  取  $9.8 \text{ m/s}^2$ )

(3)试根据(2)对本实验下结论: \_\_\_\_\_。

解析:(1)小钢球的直径即为通过光电门的路程,则小钢球经过光电门的速度为  $v = \frac{d}{t} = 5 \text{ m/s}$ 。

(2)小钢球重力势能的变化量为  $\Delta E_p = -mgL \approx -5.06 \text{ J}$ ,小钢球动能的变化量为  $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = 5.00 \text{ J}$ 。

(3)根据(2)可知重力势能的减小量与动能的变化量近似相等,可得出结论:在误差允许的范围内,小钢球的机械能守恒。

答案:(1)5 (2)-5.06 5.00 (3)在误差允许的范围内,小钢球的机械能守恒

**[特别提醒]**

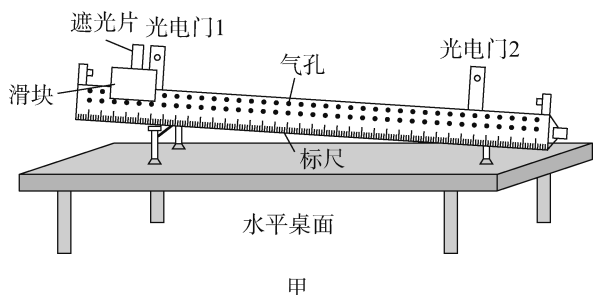
- ①两个光电门间的距离要大一些,以减小误差;
- ②应选用质量和密度较大的重物,以减小阻力的影响;
- ③没有必要使小球由静止下落。无论小球的初速

度是否为 0, 如果机械能守恒, 式子  $g\Delta h = \frac{1}{2}\left(\frac{d}{t_2}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{d}{t_1}\right)^2$  应该成立;

④实验误差: 由于重物与空气间的摩擦, 使减少的重力势能没有全部转化为动能, 一部分转化为热能, 即  $mg\Delta h > \frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t_2}\right)^2 - \frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t_1}\right)^2$ , 整理得:  $g\Delta h > \frac{1}{2}\left(\frac{d}{t_2}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{d}{t_1}\right)^2$ .

### 「创新实验」

5. (2025·江西卷) 某小组利用气垫导轨、两个光电门、滑块、遮光片等, 组成具有一定倾角的导轨装置, 研究机械能守恒定律。重力加速度  $g$  取  $9.80 \text{ m/s}^2$ 。



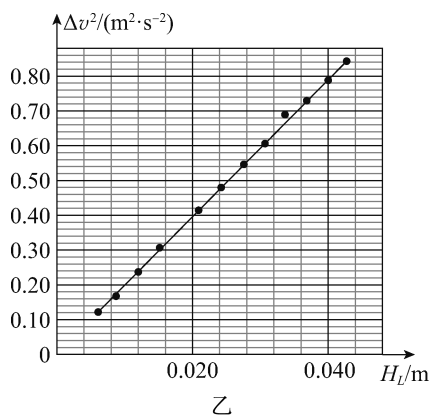
(1) 实验前, 应合理安装实验器材。图甲中光电门 \_\_\_\_\_ 的位置安装不合理, 应如何调整? \_\_\_\_\_。

(2) 实验时, 已知导轨倾斜角的正弦值  $\sin \theta = 0.0613$ , 光电门 1、2 相距  $L$ 。将宽度  $d = 4.82 \text{ mm}$  的遮光片固定于滑块上, 从导轨最左端静止释放滑块, 分别记录遮光片通过光电门 1、2 的时间  $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$ 。移动光电门 2 的位置改变  $L$ , 重复实验, 测得数据见下表:

$L/\text{cm}$	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	...	60.00	65.00	70.00
$\Delta t_1/\text{ms}$	9.982	9.883	10.019	10.068	10.049	...	10.073	10.066	10.170
$\Delta t_2/\text{ms}$	8.016	7.578	7.032	6.583	6.276	...	4.938	4.787	4.677

若滑块经过光电门 1、2 的速度分别为  $v_1$  和  $v_2$ 。当  $L = 65.00 \text{ cm}$  时,  $v_2 =$  \_\_\_\_\_  $\text{m/s}$ , 滑块通过两光电门下降的高度  $H_L =$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}$ 。(结果均保留两位小数)

(3) 处理上表数据, 并绘制  $\Delta v^2 - H_L$  关系曲线(其中  $\Delta v^2 = v_2^2 - v_1^2$ ), 如图乙所示。根据图乙中的信息, 分析滑块在下滑过程中机械能是否守恒: \_\_\_\_\_; 理由: \_\_\_\_\_。



解析: (1) 光电门 1 安装的位置不合理; 由题图甲可知, 光电门 1 靠近释放点, 滑块到光电门 1 的距离较短, 速度较小, 导致滑块通过光电门 1 的速度测量误差较大, 应适当向右移动光电门 1。

(2) 当  $L = 65.00 \text{ cm}$  时, 由表格可知通过光电门 2 的时间为  $\Delta t_2 = 4.787 \text{ ms}$ , 故通过光电门 2 的速度  $v_2 = \frac{d}{\Delta t_2} = \frac{4.82 \times 10^{-3}}{4.787 \times 10^{-3}} \text{ m/s} \approx 1.01 \text{ m/s}$ , 根据几何关系可得滑块通过两光电门下降的高度  $H_L = L \sin \theta = 65 \times 0.0613 \text{ cm} \approx 3.98 \text{ cm}$ 。

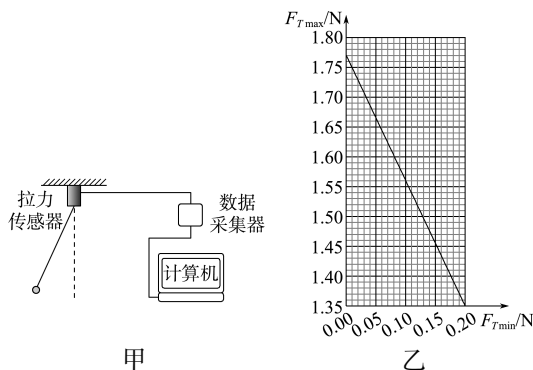
(3) 滑块在下滑过程中机械能守恒; 根据题图乙可知图线的斜率约为  $k = \frac{(0.790 - 0.398) \text{ m}^2/\text{s}^2}{(0.040 - 0.020) \text{ m}} = \frac{0.392}{0.020} \text{ m/s}^2 = 19.6 \text{ m/s}^2 = 2g$ , 故在误差范围内  $\Delta v^2 = 2gH_L$  成立, 说明下滑过程中滑块的动能增加量等于重力势能的减少量, 即机械能守恒。

答案: (1) 1 适当向右移动光电门 1

(2) 1.01 3.98

(3) 守恒 见解析

6. 某同学设计了一个用拉力传感器验证机械能守恒定律的实验。一根轻绳一端连接固定的拉力传感器, 另一端连接小钢球, 如图甲所示。拉起小钢球至某一位置由静止释放, 使小钢球在竖直平面内摆动, 记录小钢球摆动过程中拉力传感器示数的最大值  $F_{T\max}$  和最小值  $F_{T\min}$ 。改变小钢球的初始释放位置, 重复上述过程。根据测量数据在直角坐标系中绘制的  $F_{T\max} - F_{T\min}$  图像是一条直线, 如图乙所示。



(1) 若小钢球摆动过程中机械能守恒, 则图乙中直线斜率的理论值为 \_\_\_\_\_。

(2)由图乙得:直线的斜率为\_\_\_\_\_ ,小钢球的重力为\_\_\_\_\_ N。(结果均保留2位有效数字)

(3)该实验系统误差的主要来源是\_\_\_\_\_。

A. 小钢球摆动角度偏大

B. 小钢球初始释放位置不同

C. 小钢球摆动过程中有空气阻力

**解析:**(1)设小钢球在初始位置时,轻绳与竖直方向的夹角为 $\theta$ ,则轻绳拉力最小值为 $F_{T_{\min}}=mg\cos\theta$ ,到最低点时轻绳拉力最大,有 $mg l(1-\cos\theta)=$

$\frac{1}{2}mv^2, F_{T_{\max}}-mg=m\frac{v^2}{l}$ ,联立可得 $F_{T_{\max}}=3mg-2F_{T_{\min}}$ ,即若小钢球摆动过程中机械能守恒,则题图乙中直线斜率的理论值为 $-2$ 。

(2)由题图乙得直线的斜率为 $k=-\frac{1.77-1.35}{0.20}=-2.1$ , $3mg=1.77\text{ N}$ ,得小钢球的重力为 $mg=0.59\text{ N}$ 。

(3)该实验系统误差的主要来源是小钢球摆动过程中有空气阻力,使得机械能减小,故选C。

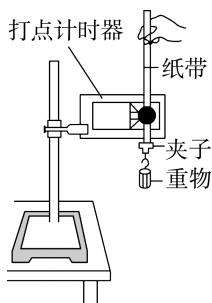
**答案:**(1) $-2$  (2) $-2.1$   $0.59$  (3)C

## 课后素养评价(十七) 实验:验证机械能守恒定律

### 一、实验思路及操作

1.如图所示为用打点计时器验证机械能守恒定律的实验装置。关于这一实验,下列说法正确的是

( )



A. 打点计时器应接直流电源

B. 应先释放纸带,后接通电源

C. 需使用秒表测出重物下落的时间

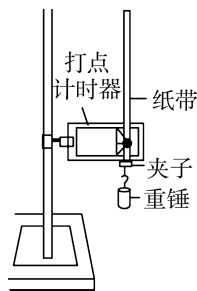
D. 测出纸带上两点迹间的距离,可知重物相应的下落高度

**D 解析:**打点计时器应接交流电源,故A项错误;实验时,应先给打点计时器通电,再释放纸带,让纸带随着重物一同落下,如果先放开纸带让重物下落,再接通电源,则纸带记录的重物起始速度不为零,不利于数据的采集和处理,会使实验产生较大的误差,故B项错误;该实验可以通过打点计时器计算时间,不需要秒表,故C项错误;测出纸带上两点迹间的距离,可知重物相应的下落高度,故D项正确。

### 二、数据处理及误差分析

2.利用如图所示的装置进行“验证机械能守恒定律”的实验。在实验中,某同学根据实验测得了数据,通过计算发现,在下落过程中,重锤动能的增加量

略大于重力势能的减少量,若实验测量与计算均无错误,则出现这一问题的原因可能是 ( )



A. 重锤的质量偏大

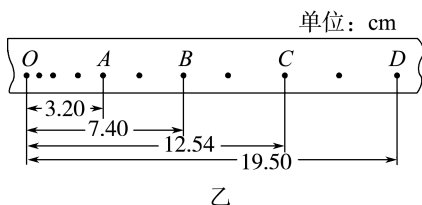
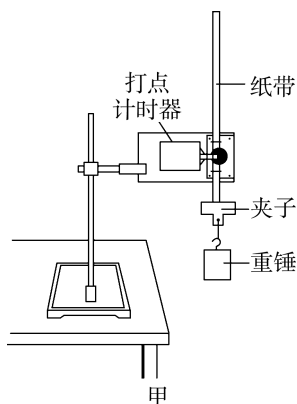
B. 交流电源的电压偏高

C. 交流电源的频率小于50 Hz

D. 重锤下落时受到的阻力过大

**C 解析:**根据 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$ 可知,测量结果与重锤质量 $m$ 无关,A项错误;本实验中的测量结果与电压无关,B项错误; $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv^2$ ,其中 $v=\frac{x_1+x_2}{2T}=\frac{(x_1+x_2)f}{2}$ ,所以若交流电源的实际频率小于50 Hz,而将 $f=50\text{ Hz}$ 代入上式求出的速度要大于实际速度,从而导致 $\Delta E_k>\Delta E_p$ ,C项正确;若重锤下落时受到的阻力过大,则重锤动能的增加量应小于重力势能的减少量,D项错误。

3.某同学用图甲所示的实验装置验证机械能守恒定律,图乙是用6 V、50 Hz的打点计时器打出的一条纸带,O点对应重锤下落的起点,选取的计数点A、B、C、D到O点的距离在图中已标出。取 $g=9.8\text{ m/s}^2$ ,重锤的质量为1 kg。(结果均保留两位有效数字)

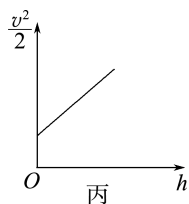


(1) 打点计时器打下  $B$  点时, 重锤下落的速度  $v_B =$  \_\_\_\_\_  $\text{m/s}$ , 重锤的动能  $E_{kB} =$  \_\_\_\_\_  $\text{J}$ 。

(2) 从起点  $O$  到打下  $B$  点过程中, 重锤的重力势能的减少量为 \_\_\_\_\_  $\text{J}$ 。

(3) 根据(1)(2)的计算结果, 在误差允许范围内, 从起点  $O$  到打下  $B$  点过程中, 你得到的结论是 \_\_\_\_\_。

(4) 如图丙所示是根据某次实验数据绘出的  $\frac{v^2}{2} - h$  图像, 图线不过坐标原点的原因是 \_\_\_\_\_。



**解析:** (1) 每相邻两个计数点之间有一个计时点, 则相邻两个计数点之间的时间间隔为  $t = 0.04 \text{ s}$ , 则

$$v_B = \frac{x_{AC}}{2t} = \frac{0.1254 - 0.0320}{2 \times 0.04} \text{ m/s} \approx 1.2 \text{ m/s}$$

$$E_{kB} = \frac{1}{2} m v_B^2 = 0.72 \text{ J}。$$

(2) 重锤的重力势能减少量

$$\Delta E_p = mgh = 1 \times 9.8 \times 0.0740 \text{ J} \approx 0.73 \text{ J}。$$

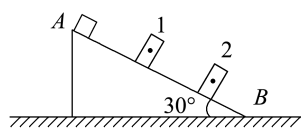
(3) 在误差允许范围内, 重锤重力势能减少量等于重锤动能的增加量, 则重锤下落的过程中机械能守恒。

(4) 由机械能守恒可知  $mgh = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$ , 图线不过坐标原点的原因是开始打点时重锤有一定的速度。

**答案:** (1) 1.2 0.72 (2) 0.73 (3) 重锤下落过程中机械能守恒 (4) 开始打点时重锤有一定的速度

### 三、创新实验

4. 现利用如图所示的装置验证机械能守恒定律。图中  $AB$  是固定的光滑斜面, 斜面的倾角为  $30^\circ$ , 1 和 2 是固定在斜面上适当位置的两个光电门, 与它们连接的数字计时器图中未画出。让滑块从斜面的顶端滑下, 光电门 1、2 各自连接的数字计时器显示的挡光时间分别为  $5.00 \times 10^{-2} \text{ s}$ 、 $2.00 \times 10^{-2} \text{ s}$ 。已知滑块质量为  $2.00 \text{ kg}$ , 滑块沿斜面方向的长度为  $5.00 \text{ cm}$ , 光电门 1 和 2 之间的距离为  $0.54 \text{ m}$ , 取  $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ , 取滑块经过光电门时的平均速度为其速度。(结果均保留三位有效数字)



(1) 滑块通过光电门 1 时的速度  $v_1 =$  \_\_\_\_\_  $\text{m/s}$ , 通过光电门 2 时的速度  $v_2 =$  \_\_\_\_\_  $\text{m/s}$ 。

(2) 滑块通过光电门 1、2 之间的动能增加量为 \_\_\_\_\_  $\text{J}$ , 重力势能的减少量为 \_\_\_\_\_  $\text{J}$ 。

(3) 从该实验可以得出结论: \_\_\_\_\_。

**解析:** (1)  $v_1 = \frac{l}{t_1} = \frac{5.00 \times 10^{-2}}{5.00 \times 10^{-2}} \text{ m/s} = 1.00 \text{ m/s}$

$$v_2 = \frac{l}{t_2} = \frac{5.00 \times 10^{-2}}{2.00 \times 10^{-2}} \text{ m/s} = 2.50 \text{ m/s}。$$

(2) 动能增加量

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = 5.25 \text{ J}$$

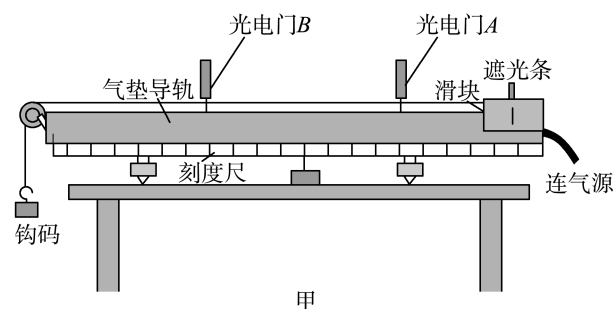
重力势能的减少量

$$\Delta E_p = mgh \sin 30^\circ \approx 5.29 \text{ J}。$$

(3) 由实验数据可知, 在实验误差允许的范围内, 滑块的机械能守恒。

**答案:** (1) 1.00 2.50 (2) 5.25 5.29 (3) 在实验误差允许的范围内, 滑块的机械能守恒

5. 图甲为某实验小组做“验证机械能守恒定律”的实验装置, 光电门 A、B 固定在气垫导轨上, 细线两端分别与钩码和滑块相连, 重力加速度为  $g$ 。



(1)实验的主要操作如下:

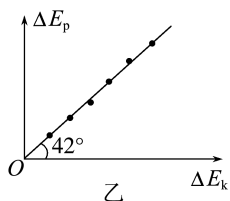
- ①按图甲组装好实验装置;
  - ②将滑块从气垫导轨上光电门 A 的右侧某位置由静止释放;
  - ③记录遮光条通过光电门 A、B 所用的时间,分别为  $t_1$ 、 $t_2$ ;
  - ④改变光电门 B 的位置,进行多次实验。
- 为完成该实验,还缺少的主要操作是\_\_\_\_\_。

(2)实验中还需要测量的物理量有\_\_\_\_\_。

- A. 滑块的长度  $D$
- B. 遮光条的宽度  $d$
- C. 两个光电门之间的距离  $L$
- D. 滑块(含遮光条)的质量  $M$
- E. 钩码的质量  $m$

(3)对于滑块(含遮光条)和钩码组成的系统,重力势能的减少量  $\Delta E_p =$ \_\_\_\_\_ ;动能的增加量  $\Delta E_k =$ \_\_\_\_\_。(均用上述所给物理量的符号表示)

(4)实验小组采集了多组数据并在坐标系  $\Delta E_p - \Delta E_k$  中描点作图,如图乙所示。若两轴的标度相同,造成该实验结果的原因可能是\_\_\_\_\_。



解析:(1)为完成该实验,还缺少的主要操作是将气垫导轨调节水平。

(2)滑块经过两个光电门时的速度分别为  $v_1 = \frac{d}{t_1}$ ,  $v_2 = \frac{d}{t_2}$ , 则要验证的关系式为  $mgL = \frac{1}{2}(M+m)(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2}(M+m) \left[ \left( \frac{d}{t_2} \right)^2 - \left( \frac{d}{t_1} \right)^2 \right]$ , 则还需要测量的物理量是遮光条的宽度  $d$ 、两个光电门之间的距离  $L$ 、滑块(含遮光条)的质量  $M$ 、钩码的质量  $m$ 。

(3)对于滑块(含遮光条)和钩码组成的系统,重力势能的减少量  $\Delta E_p = mgL$ ;动能的增加量  $\Delta E_k = \frac{1}{2}(M+m) \left[ \left( \frac{d}{t_2} \right)^2 - \left( \frac{d}{t_1} \right)^2 \right]$ 。

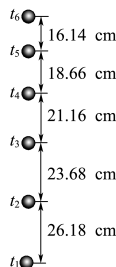
(4)若  $\Delta E_p = \Delta E_k$ , 则直线倾角为  $45^\circ$ , 而现在题图乙中直线倾角为  $42^\circ$ , 可知  $\Delta E_p < \Delta E_k$ , 原因可能是滑块的重力做正功, 即气垫导轨没有调水平且 B 端偏低。

答案:(1)将气垫导轨调节水平 (2)BCDE

$$(3) mgL \quad \frac{1}{2}(M+m) \left[ \left( \frac{d}{t_2} \right)^2 - \left( \frac{d}{t_1} \right)^2 \right]$$

(4)气垫导轨没有调水平且 B 端偏低

6.某同学利用竖直上抛小球的频闪照片验证机械能守恒定律。频闪仪每隔 0.05 s 闪光一次,图中所标数据为实际距离,该同学通过计算得到不同时刻的速度如表中所示。(取  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ , 小球质量  $m = 0.2 \text{ kg}$ , 结果均保留三位有效数字)



时刻	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
速度/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	4.99	4.48	3.98	

(1)由频闪照片上的数据计算  $t_5$  时刻小球的速度  $v_5 =$ \_\_\_\_\_ m/s。

(2)从  $t_2$  到  $t_5$  时间内,重力势能增加量  $\Delta E_p =$ \_\_\_\_\_ J,动能减少量  $\Delta E_k =$ \_\_\_\_\_ J。

(3)在误差允许的范围内,若  $\Delta E_p$  与  $\Delta E_k$  近似相等,就能验证机械能守恒定律。由上述计算得  $\Delta E_p$  \_\_\_\_\_ (选填“>”“<”或“=”)  $\Delta E_k$ , 造成这种结果的主要原因是\_\_\_\_\_。

解析:(1) $t_5$  时刻小球的速度

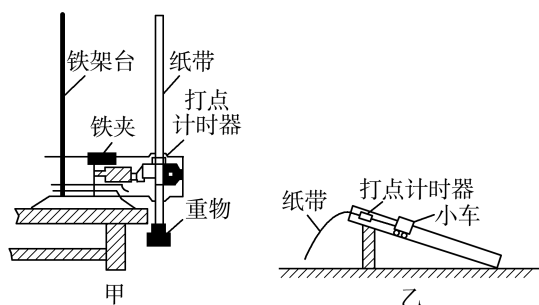
$$v_5 = \frac{16.14 + 18.66}{2 \times 0.05} \times 10^{-2} \text{ m/s} = 3.48 \text{ m/s}$$

(2)从  $t_2$  到  $t_5$  时间内,重力势能增加量  $\Delta E_p = mgh_{25} = 0.2 \times 9.8 \times (23.68 + 21.16 + 18.66) \times 10^{-2} \text{ J} \approx 1.24 \text{ J}$ ,动能减少量  $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_5^2 \approx 1.28 \text{ J}$ 。

(3)由以上分析可知  $\Delta E_p < \Delta E_k$ , 说明小球运动过程中机械能减少,造成这种结果的主要原因是上升过程中存在空气阻力。

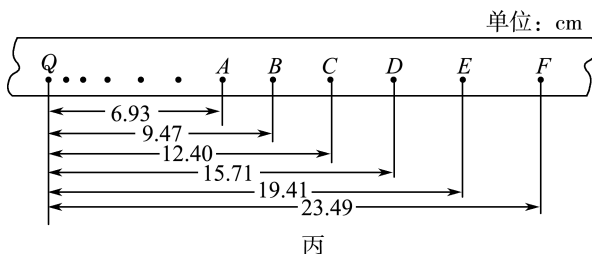
答案:(1)3.48 (2)1.24 1.28 (3)< 存在空气阻力

7.某实验小组在做“验证机械能守恒定律”的实验时,提出了如图所示的甲、乙两种方案,甲方案用自由落体运动进行实验,乙方案用小车在斜面上下滑进行实验。

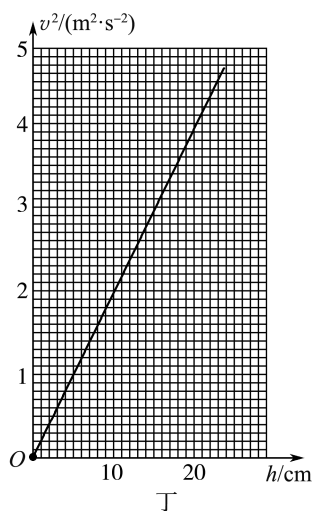


(1)该小组同学对两种方案进行了深入的讨论分析,最终确定了一个大家认为误差相对较小的方案,你认为该小组选择的方案是\_\_\_\_\_ ,理由是\_\_\_\_\_。

(2)若该小组采用图甲的装置打出了一条纸带,如图丙所示,相邻两点之间的时间间隔为 0.02 s,请根据纸带计算出打 B 点时重物的速度大小  $v_B =$  \_\_\_\_\_ m/s(结果保留三位有效数字)。



(3)该小组同学根据纸带算出了相应点迹的速度,作出  $v^2-h$  图像,如图丁所示,请根据图线计算出当地的重力加速度  $g =$  \_\_\_\_\_  $\text{m/s}^2$ (结果保留两位有效数字)。



解析:(1)采用题图乙所示方案时,由于小车与斜面间存在摩擦力的作用,且不能忽略,所以小车在下滑的过程中机械能不守恒;题图甲所示方案误差相对较小。

(2)匀变速直线运动中中间时刻的瞬时速度等于该过程的平均速度,因此有  $v_B = \frac{x_{AC}}{2T} \approx 1.37 \text{ m/s}$ 。

(3)由机械能守恒得  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ,得  $v^2 = 2gh$ ,由此可知,图像的斜率  $k = 2g$ ,由题图丁可知,  $k = \frac{v^2}{h} = \frac{3.90}{0.2} \text{ m/s}^2 = 19.5 \text{ m/s}^2$ ,所以  $g \approx 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

答案:(1)甲 方案乙中小车与斜面间存在摩擦力的作用,且不能忽略,所以小车在下滑的过程中机械能不守恒 (2)1.37 (3)9.8

## 单元活动构建

### 单元活动 5 灵活多变的能量守恒与转化

#### 「单元任务」

任务内容	
任务一	卫星变轨中的能量问题
任务二	生产、生活中的能量转化问题
任务三	新能源的开发与利用

#### 「任务引导」

资料 1:2024 年 10 月 30 日 12 时 51 分,在轨执行任务的神舟十八号航天员乘组顺利打开“家门”,欢

迎远道而来的神舟十九号航天员乘组入驻中国空间站,“70 后”“80 后”“90 后”航天员齐聚“天宫”,完成中国航天史上第 5 次“太空会师”。神舟十九号飞行任务主要目的:与神舟十八号乘组完成在轨轮换,在空间站驻留约 6 个月,开展空间科学与应用试验,实施航天员出舱活动及货物进出舱,进行空间站空间碎片防护装置安装、舱外载荷和舱外设备安装与回收等任务,开展科普教育和公益活动,以及空间搭载试验,进一步提升空间站运行效率,持续发挥综合应用效益。

资料 2:“反向蹦极”不仅是一种具有挑战性的娱

乐活动,还涉及许多物理原理的应用。反向蹦极涉及的物理原理主要包括动能、重力势能和弹性势能之间的相互转化,该过程基于弹性绳的弹力作用,当弹性绳被拉长后固定在体验者身上,并通过外力使其停留在地面上,当撤去外力后,弹性绳的弹力会将体验者“发射”出去,使其冲向高空。通过理解这些原理,可以更好地设计和控制蹦极设备,确保其安全性和有效性。在实际操作中,需要注意以下几点:

(1)设备质量:确保弹性绳的质量和强度能承受足够大的拉力。

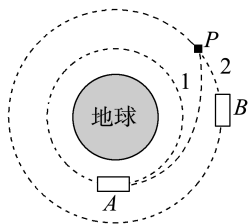
(2)安全措施:配备专业的操作人员和安全设备,确保体验者的安全。

(3)环境因素:选择合适的环境和天气条件,避免因外界因素影响体验者的安全。

资料3:党的二十大报告提出“构建新一代信息技术、人工智能、生物技术、新能源、新材料、高端装备、绿色环保等一批新的增长引擎”。作为战略性新兴产业之一,新能源是实现“碳达峰”“碳中和”目标任务的主力军,我国新能源发电持续快速增长并保持较高利用水平。推动关键核心技术自主可控,加强创新链与产业链融合,着力推动数字化、大数据、人工智能技术与新能源高效开发利用技术的融合创新,大力发展“互联网+”智慧能源、储能、氢能、综合能源服务等智慧能源技术和新产业。

### 任务一 卫星变轨中的能量问题

活动 如图所示,假设神舟二十一号载人飞船A与天和核心舱B(均可看成质点)对接前分别在轨道1和轨道2上做圆周运动。神舟二十一号载人飞船A在适当位置经短时加速变轨后与轨道2上运行的天和核心舱B于P点实现对接,不计飞船发动机喷气的质量损耗。



(1)神舟二十一号载人飞船A在适当位置经短时加速变轨后与轨道2上运行的天和核心舱B于P点实现对接的过程中,哪些力做功?能量如何变化?

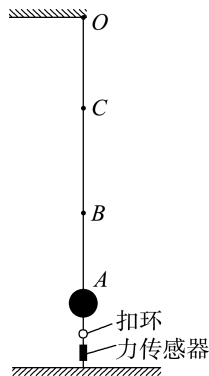
提示:万有引力做负功,重力势能增大;发动机的动力做正功,动能增大,总的机械能增大。

(2)神舟二十一号载人飞船A与天和核心舱B(均可看成质点)对接前分别在轨道1和轨道2上做圆周运动,对接完成后它们的机械能如何变化?

提示: $E_{pA}$ 增大, $E_{kA}$ 减小, $E_{pB}$ 与 $E_{kB}$ 不变,A与B构成的系统总机械能增大。

### 任务二 生产、生活中的能量转化问题

活动 “反向蹦极”是一项比蹦极更刺激的运动。将其简化为如图所示的模型,弹性轻绳的上端固定在O点,拉长后将下端固定在小球上,并与固定在地面上的力传感器相连,传感器示数为1 000 N。打开扣环,小球从A点由静止释放,像火箭一样被“竖直发射”,经B点上升到最高位置C点,在B点时小球的速度最大,在上升过程中,仅在最后1 s内做匀变速直线运动。已知BC间距 $L_{BC} = \frac{25}{3}$  m,小球质量 $m = 50$  kg(可视为质点)。弹性绳的弹力始终遵循胡克定律,忽略空气阻力,取 $g = 10$  m/s<sup>2</sup>。



(1)试求小球在最后1 s内位移 $h$ 的大小和释放瞬间小球的加速度 $a$ 的大小。

提示:根据题意可知,释放前后小球的受力如图所示,释放前,小球处于平衡状态有

$$F_1 = F + mg$$

$$\text{释放后有 } F_1 - mg = ma$$

$$\text{解得 } a = 20 \text{ m/s}^2$$

由题意可知,上升最后阶段弹性绳松弛,小球只受重力,做匀减速运动到最高点,可以逆向看成自由落体运

动,最后1 s内上升的高度为 $h = \frac{1}{2}gt^2 = 5$  m。

(2)试求弹性绳的劲度系数 $k$ 和释放前弹性绳的弹性势能 $E_p$ 。

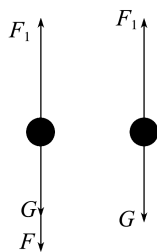
提示:在B点时小球的速度最大,此时弹性绳的弹力刚好与重力大小相等,设此时弹性绳的伸长量为 $x_1$ ,则

$$F_{\text{弹}} = kx_1 = mg, x_1 = L_{BC} - h$$

$$\text{解得 } k = 150 \text{ N/m}$$

释放前,弹性绳的拉力为 $F_1 = 1\,500$  N

此时弹性绳的伸长量为 $x_2 = \frac{F_1}{k} = 10$  m



所以小球从释放点到最高点的距离为

$$H = h + x_2 = 15 \text{ m}$$

上升过程中机械能守恒,则根据机械能守恒定律,得释放前弹性绳的弹性势能

$$E_p = mgH = 7\,500 \text{ J}.$$

### 任务三 新能源的开发与利用

**活动** 近几年流行一种“自发电电动车”。其基本原理是将一小型发电机紧靠在车轮处,车轮转动时,带动发电机运转,发出的电又继续供给电动车。你认为仅靠这种方式,电动车能持续运动下去吗?

**提示:**仅靠这种方式,不能使电动车持续运动下去。因为靠这种方式,只能将电动车的一部分能量收集起来,但电动车运动时受到的阻力做负功,不断把电动车的机械能转化为内能,根据能量守恒定律,要想使电动车持续运动下去,必须不断地给电动车补充新的能量,如给电动车安装链条和踏板并用脚蹬踏板,或给电动车的电池持续充电。

#### 「知识链接」

利用能量转化与守恒解题的两点注意

(1)能量既可通过做功的方式实现不同形式的能量之间的转化,也可在同一物体的不同部分或不同物体间进行转移。

(2)在转化或转移的过程中,能量的总量保持不变。利用能量守恒定律解题的关键是正确分析有多少种能量变化,分析时避免出现遗漏。

#### 「活动达标」

1.某一型号泵车如图所示,表中列出了其部分技术参数。已知混凝土密度为  $2.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,假设泵车的泵送系统以  $150 \text{ m}^3/\text{h}$  的输送量给  $30 \text{ m}$  高处输送混凝土,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,则每小时泵送系统对混凝土做的功至少为 ( )

发动机最大输出功率/kW	332	最大输送高度/m	63
整车满载质量/kg	$5.5 \times 10^4$	最大输送量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	180



A.  $1.08 \times 10^7 \text{ J}$

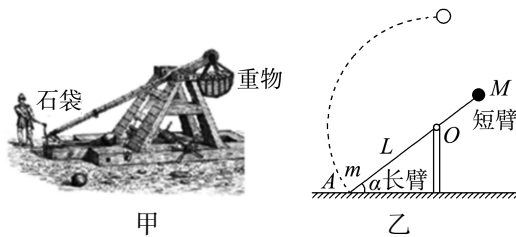
B.  $5.04 \times 10^7 \text{ J}$

C.  $1.08 \times 10^8 \text{ J}$

D.  $2.72 \times 10^8 \text{ J}$

**C 解析:**泵车的输送量为  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ ,则  $1 \text{ h}$  输送的混凝土的体积为  $V = 150 \times 1 \text{ m}^3 = 150 \text{ m}^3$ , $1 \text{ h}$  时间内输送的混凝土质量为  $m = \rho V = 2.4 \times 10^3 \times 150 \text{ kg} = 3.6 \times 10^5 \text{ kg}$ ,将这些混凝土匀速输送到  $30 \text{ m}$  高处,泵送系统对混凝土做的功最少,为  $W = mgh = 3.6 \times 10^5 \times 10 \times 30 \text{ J} = 1.08 \times 10^8 \text{ J}$ ,故 C 正确,A、B、D 错误。

2.(多选)图甲所示是一种大型抛石机。将石块放在长臂一端的石袋中,在短臂端挂上重物  $M$ 。发射前将长臂端往下拉至地面,然后突然松开,石袋中的石块过最高点时就被抛出。现将其简化为图乙所示的模型。将一质量  $m = 50 \text{ kg}$  可视为质点的石块装在长  $L = 10 \text{ m}$  长臂末端的石袋中,初始时长臂与水平面的夹角  $\alpha = 30^\circ$ ,松开控制开关后,长臂转至竖直位置时,石块被水平抛出,落在水平地面上。测得石块落地点与  $O$  点的水平距离  $s = 30 \text{ m}$ ,忽略长臂、短臂和石袋的质量,不计空气阻力和所有摩擦,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。下列说法正确的是 ( )



A. 石块水平抛出时的初速度为  $10\sqrt{3} \text{ m/s}$

B. 重物  $M$  的重力势能的减少量等于石块机械能的增加量

C. 石块从  $A$  点到最高点的过程中,石袋对石块做功  $15\,000 \text{ J}$

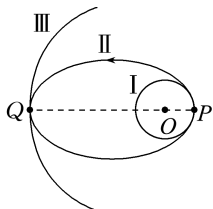
D. 石块运动至最高点时,石袋对石块的作用力大小为  $500 \text{ N}$

**AC 解析:**石块平抛运动的高度  $h = L + L \sin 30^\circ = 10 \text{ m} + 10 \times \frac{1}{2} \text{ m} = 15 \text{ m}$ ,竖直方向有  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ,水平方向有  $s = v_0 t$ ,代入数据解得  $v_0 = 10\sqrt{3} \text{ m/s}$ ,故 A 正确;长臂转动过程中,重物的动能也在增加,因此重物重力势能的减少量不等于石块机械能的增加量,故 B 错误;石块从  $A$  到最高点的过程中,石袋对石块做的功等于石块机械能的增加量,则有  $W = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh = \frac{1}{2} \times 50 \times (10\sqrt{3})^2 \text{ J} + 50 \times 10 \times 15 \text{ J} = 15\,000 \text{ J}$ ,故 C 正确;石块运动至最高点时,由牛

顿第二定律得  $F + mg = ma = \frac{mv_0^2}{L}$ , 代入数据解得

$F = 1\ 000\ \text{N}$ , 故 D 错误。

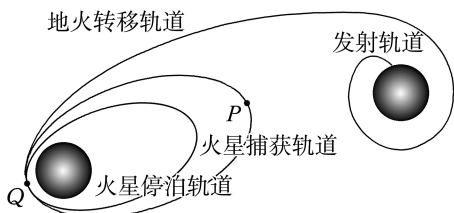
3. (2025 · 江西卷) 如图所示, I 和 II 分别为神舟二十号飞船的近地圆轨道、椭圆变轨轨道, III 为天核舱的运行圆轨道, P、Q 为变轨点。不计阻力, 关于飞船在轨道 II 上从 P 点到 Q 点的运动过程, 下列说法正确的是 ( )



- A. 速率增大, 机械能增大
- B. 速率减小, 机械能减小
- C. 速率增大, 机械能不变
- D. 速率减小, 机械能不变

D 解析: 根据题意可知, 飞船在轨道 II 上从 P 点到 Q 点的运动过程中, 只有万有引力做负功, 则机械能不变, 动能减小, 则速率减小。故 D 正确。

4. 如图所示为天问一号火星探测器从地球奔向火星的运行轨道示意图, 探测器经地火转移轨道被火星“捕获”后, 在火星捕获轨道围绕火星做椭圆运动, 其中 P 点为远火点, Q 点为近火点, 在火星停泊轨道上进行适当的调整后运动到离轨着陆轨道。下列说法正确的是 ( )

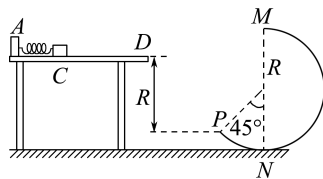


- A. 天问一号的发射速度应在地球的第一宇宙速度和第二宇宙速度之间, 在火星停泊轨道上运行时的速度大于火星的第一宇宙速度
- B. 天问一号从地球无动力飞向火星的过程中, 天问一号的势能增加, 机械能增加
- C. 天问一号在火星捕获轨道上运行到 Q 点的动能一定大于其在火星停泊轨道上运行到 Q 点的动能
- D. 如要回收探测器, 则探测器在火星停泊轨道上要减速才能进入地火转移轨道

C 解析: 天问一号的发射速度应在地球的第一宇宙速度和第二宇宙速度之间, 在火星停泊轨道上运行时的速度应小于火星的第一宇宙速度, 故 A 错误; 天问一号从地球无动力飞向火星的过程中, 只有引力做负功, 则天问一号的势能增加, 机械能守恒, 故 B 错误; 天问一号从火星捕获轨道转移到火星停泊轨道时, 需要在 Q 点减速, 即动能减小, 故 C 正确; 如要回收探测器, 则探测器在火星停泊轨道上要加速才能进入地火转移轨道, 故 D 错误。

5. 如图所示, 光滑的水平桌面上有一轻质弹簧, 左端固定在 A 点, 水平桌面右侧有一竖直放置的光滑轨道 MNP, 其形状为半径  $R = 0.8\ \text{m}$  的圆环剪去了左上角  $135^\circ$  的圆弧, MN 为其竖直直径, P 点到桌面的竖直距离也是 R。现用质量  $m = 0.2\ \text{kg}$  的物块将弹簧缓慢压缩到 C 点, 此时弹簧和物块具有的弹性势能为  $E_p$ , 由静止释放后, 物块从桌面右边缘的 D 点飞离桌面, 并由 P 点沿切线方向进入圆轨道。取  $g = 10\ \text{m/s}^2$ , 忽略空气阻力。求:

- (1)  $E_p$  的大小;
- (2) 判断物块能否沿圆轨道到达 M 点。



解析: (1) 设物块由 D 点以初速度  $v_D$  做平抛运动, 落到 P 点时其竖直速度为  $v_y$ , 有

$$v_y^2 = 2gR$$

$$\frac{v_y}{v_D} = \tan 45^\circ, \text{ 解得 } v_D = 4\ \text{m/s}$$

物块从 C → D 的过程机械能守恒, 可得

$$E_p = E_k = \frac{1}{2}mv_D^2 = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 4^2\ \text{J} = 1.6\ \text{J}.$$

(2) 设物块能沿轨道到达 M 点, 其速度为  $v_M$ , 则从 C → M 整个过程由机械能守恒定律得

$$E_p = \frac{1}{2}mv_M^2 + mgR \cdot \cos 45^\circ$$

代入数据解得  $v_M \approx 2.2\ \text{m/s}$

在 M 处当仅由重力提供向心力时, 有

$$mg = m \frac{v^2}{R}, v = \sqrt{gR} = \sqrt{10 \times 0.8}\ \text{m/s} \approx 2.8\ \text{m/s}$$

因为  $v_M < v$ , 所以物块不能到达 M 点。

答案: (1) 1.6 J (2) 不能到达 M 点

## 第五章

## 经典力学的局限性与相对论初步

## 1 经典力学的成就与局限性

## 2 相对论时空观简介

## 3 宇宙的起源和演化

## 学习任务目标

- 1.了解经典力学的成就与局限性。(物理观念)
- 2.了解相对论的诞生及发展历程,初步认识狭义相对论和广义相对论的内容和基本原理。(物理观念)
- 3.促使学生形成科学宇宙观,认识到宇宙大爆炸理论是随着科学的发展和人类对宇宙认识的不断深入而不断发展和完善的。(科学态度与责任)

## 问题式预习

## 知识点一 经典力学的成就与局限性

1.经典力学的成就:经典力学的基础是牛顿运动定律、万有引力定律的建立与应用。经典力学对近代科学的发展起到了奠基与导航作用。

## 2.经典力学的局限性

(1)任何一种科学理论都是一定时代的产物,不可避免地存在着历史的局限性。当物体运动的速度远小于光速  $c$  时,经典力学研究出的运动规律与实际之间是一致的;当物体运动的速度接近光速  $c$  时,经典力学研究出的运动规律与实验的偏差很大,经典力学不再适用。

(2)经典力学的适用范围是在弱(选填“强”或“弱”)引力场中低速(选填“高速”或“低速”)运动的宏观(选填“宏观”或“微观”)物体。

## [做一做]

下列说法正确的是 ( )

- A. 牛顿运动定律就是牛顿力学  
 B. 牛顿力学的基础是牛顿运动定律  
 C. 牛顿运动定律可以解决自然界中的所有问题  
 D. 牛顿力学可以解决自然界中的所有问题

**B 解析:** 牛顿力学并不等于牛顿运动定律,牛顿运动定律只是牛顿力学的基础;牛顿运动定律和牛顿力学不是万能的,也有其适用范围,并不能解决自然界中的所有问题。故 B 项正确。

## 知识点二 相对论时空观简介

## 1.狭义相对论

两个基本假设:在不同的惯性参考系中,物理规律都是一样的;真空中的光速在任何惯性参考系中大小都是相同的。

狭义相对论的时空观:时间和空间的量度与物体的运动有关,是相对的。运动物体的长度测量建立在必须同时进行观测的基础上,这说明时间和空间的量度是相互紧密联系的。

(1)同时的相对性:相隔一定距离发生的两件事,在一个参考系中观测是同时发生的,在相对于此参考系运动的另一个参考系中观测可能不是同时的,而是一先一后发生的。

(2)运动时钟变慢:  $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}}$

(3)长度的相对性:  $l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}$

(4)相对论质量和能量

①质能方程式:  $E = mc^2$ ;

②相对论质量

物体以速率  $v$  运动时的质量  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$  (此式

中  $m_0$  是  $v=0$  时物体的质量,称为静质量,它是不变的量)。

## 2.广义相对论

爱因斯坦有一个基本思想:自然界遵循的规律是统一的。根据这一思想,在建立狭义相对论后,他提出了两个基本假设:广义相对性原理和等效原理,并在此基础上建立了广义相对论。

## [科学思维]

假设一列火车沿平直轨道飞快地匀速行驶。车厢中央的光源发出了一个闪光,闪光照到了车厢的

前壁和后壁。闪光是否同时到达前、后两壁？

提示：(1)以车厢为参考系：

车上的观察者以车厢为参考系，因为车厢是个惯性系，光向前、后传播的速率相同，光源又在车厢的中央，闪光会同时到达前、后两壁，如图甲所示。



(2)以地面为参考系：

对于车外的观察者来说，他以地面为参考系，因闪光向前、后传播的速度对地面是相同的，但在闪光射向两壁的过程中，车厢向前行进了一段距离，所以向前的光传播的路程长些。他观测到的结果应该是：闪光先到达后壁，后到达前壁，如图乙所示。

[判一判]

(1)运动的时钟显示的时间变慢，高速飞行的  $\mu$  子(微观粒子)的寿命变长。 (  )

(2)杆相对于观察者沿着杆的长度方向运动，其长度比它静止时短。 (  )

(3)光速的大小与参考系的选取无关。 (  )

### 知识点三 宇宙的起源和演化

1.宇宙的起源：20世纪40年代末，物理学家伽莫夫把宇宙膨胀与粒子反应理论结合起来，提出宇宙大爆炸假说。

2.宇宙的未来：宇宙不一定会永远膨胀下去，由于宇宙间天体、星际物质等的引力作用，可能会使得这种膨胀减缓，甚至到一定时期重新收缩。

[判一判]

(1)所有星系都在远离我们而去，我们处在宇宙中心。 (  )

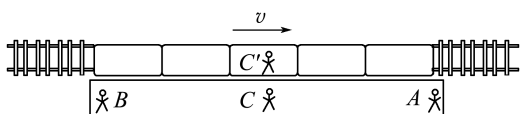
(2)宇宙大爆炸理论是一种完美的，能够科学地解释宇宙起源的理论。 (  )

## 任务型课堂

### 任务一 时间与空间的相对性

[探究活动]

如图所示，假设一列车以速度  $v$  ( $v$  接近光速) 经过站台，站台中部的观察者  $C$  看到列车车头正好到达站台最右端  $A$  处时，车尾正好到达站台最左端  $B$  处。



(1)若此时站台上的观察者  $C$  看到  $A$ 、 $B$  两处的人同时面向列车举起手中的小红旗，那么站在列车中点的观察者  $C'$  看到  $A$ 、 $B$  两处的人是同时举旗的吗？如果不是同时举旗，他会看到哪个人先举旗？

提示：不是看到同时举旗，而是他看到  $A$  处的人先举旗。

(2)站台上的观察者  $C$  看到列车长度刚好和站台长度相同，列车上的观察者  $C'$  认为列车长度和站台长度相同吗？如果不相同，他认为列车长还是站台长？

提示：观察者  $C'$  认为列车长度和站台长度不相同，他认为列车长。

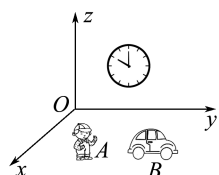
(3)假定列车上的观察者  $C'$  举起小红旗向站台上的  $A$ 、 $B$  两处的人挥动致意，他认为自己从举起小红旗到放下小红旗的时间为  $t$ ，站台上的观察者  $C$  观察到他从举旗到放旗的时间也为  $t$  吗？如果不是  $t$ ，

他观察到的这个时间比  $t$  长还是比  $t$  短？

提示：观察者  $C$  观察到的时间不是  $t$ ，他观察到的这个时间比  $t$  长。

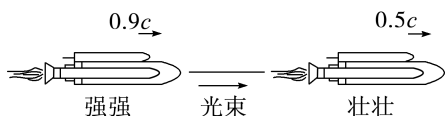
[评价活动]

1.如图所示，假设竖直墙上挂着一面时钟，地面上静止的观察者  $A$  观察到钟的面积为  $S$ ，另一观察者  $B$  以  $0.8c$  ( $c$  为光速) 沿  $y$  轴正方向运动，观察到钟的面积为  $S'$ ，则  $S$  和  $S'$  的大小关系是 (  A )



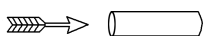
A.  $S > S'$       B.  $S = S'$   
C.  $S < S'$       D. 无法判断

2.如图所示，假设强强乘坐速度为  $0.9c$  ( $c$  为光速) 的宇宙飞船追赶正前方的壮壮，壮壮的飞行速度为  $0.5c$ ，强强向壮壮发出一束光进行联络，则壮壮观测到该光束的传播速度为 (  D )



A.  $0.4c$       B.  $0.5c$   
C.  $0.9c$       D.  $c$

3.如图所示，假设一根  $10\text{ m}$  长的梭镖以光速穿过一根  $10\text{ m}$  长的管子，它们的长度都是在静止状态下测量的。以下关于梭镖穿过管子的情况描述恰当的是 (  D )



- A. 梭镖收缩变短,因此在某些位置上,管子能完全遮住它
- B. 管子收缩变短,因此在某些位置上,梭镖从管子的两端伸出来
- C. 两者都收缩,且收缩量相等,因此在某个位置,管子恰好遮住梭镖
- D. 所有这些都与观察者的运动情况有关

4. 假设地面上长 100 km 的铁路上空有一火箭沿铁路方向以 30 km/s 的速度掠过,则火箭上的人看到铁路的长度应该为多少? 如果火箭的速度达到  $0.6c$ , 则火箭上的人看到的铁路的长度又是多少?

**解析:** 当火箭速度较低(远小于光速)时,长度基本不变,还是 100 km。当火箭的速度达到  $0.6c$  时,由

$$\text{相对论长度公式得 } l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2} = 100 \times \sqrt{1 - 0.6^2} \text{ km} = 80 \text{ km}.$$

**答案:** 100 km 80 km

5. 一个原来静止的电子,经电压加速后速度为  $v = 6 \times 10^6 \text{ m/s}$ 。

(1) 电子的质量是增大了还是减小了? 改变了多少?

(2) 若电子的质量变为静止时质量的 2 倍,求此时电子的运动速度大小。

**解析:** (1) 根据爱因斯坦的狭义相对论  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

得,运动后电子的质量增大了,有

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{(6 \times 10^6)^2}{(3 \times 10^8)^2}}} \approx 1.0002 m_0$$

所以改变的百分比为  $\frac{m - m_0}{m_0} \times 100\% \approx 0.02\%$ 。

(2) 由题意知  $m = 2m_0$ , 代入  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  得

$$v = \frac{\sqrt{3}}{2} c \approx 2.6 \times 10^8 \text{ m/s}.$$

**答案:** (1) 增大了 0.02% (2)  $2.6 \times 10^8 \text{ m/s}$

### 任务总结

#### 相对论时空观

(1) “同时”的相对性

① 经典时空观: 同时是绝对的, 即如果相隔一定

距离发生的两件事在一个参考系中观测是同时的, 在另一个参考系中观测也是同时的。

② 相对论时空观: 同时是相对的, 即相隔一定距离发生的两件事, 在一个参考系中观测是同时发生的, 在相对于此参考系运动的另一个参考系中观测就可能不是同时, 而是一先一后发生的。

(2) 时间量度的相对性

① 经典时空观: 两个事件, 在不同的惯性系中观察, 它们的时间间隔总相同。

② 相对论时空观: 两个事件, 在不同的惯性参考系中观察, 它们的时间间隔是不同的, 惯性系相对于观察者的速度越大, 惯性系中的时间进程进行得越慢。非但如此, 惯性系中的一切物理、化学和生命过程都变慢了。

③ 相对论时间间隔公式: 设  $\tau_0$  表示在相对事件静止的惯性系中观测的时间间隔,  $\tau$  表示相对事件发生地以速度  $u$  高速运动的参考系中观察同样两事件的时间间隔, 则它们的关系是  $\tau =$

$$\frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}}.$$

因为总有  $u < c$ , 所以  $\tau > \tau_0$  —— 动

钟变慢。

(3) 空间量度的相对性

① 经典时空观: 一根杆的长度不会因为观察者

是否相对于杆运动而不同。

② 相对论时空观: “长度”也具有相对性, 一条沿自身长度方向运动的杆, 其运动时的长度总比静止时的长度小, 但若运动方向垂直于杆, 杆的长度没有变化。

③ 相对论长度公式: 设相对于杆静止的观察者测得杆的长度为  $l_0$ , 与杆相对运动的人测得杆的长度为  $l$ , 杆相对于观察者的速度为  $u$ , 则  $l$ 、

$$l_0、u \text{ 之间的关系为 } l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}.$$

### 任务二 经典力学的局限性

1. 牛顿力学不适用的运动是 ( B )

- A. 火箭的发射
- B. 速度接近光速的物体的运动
- C. “墨子号”在太空的运动
- D. 宇宙飞船绕地球的运动

2. (多选) 以下说法正确的是 ( BC )

- A. 经典力学理论普遍适用, 大到天体, 小到微观粒子均适用

- B. 经典力学理论具有一定的局限性
- C. 在经典力学中,物体的质量不随运动状态的改变而改变
- D. 相对论和量子力学否定了经典力学理论
- 3.关于牛顿力学的适用范围和局限性,下列说法正确的是 ( D )
- A. 牛顿力学过时了,应该被量子力学所取代
- B. 由于超音速飞机的速度太大,其运动不能用牛顿力学来解释
- C. 人造卫星的运动不适合用牛顿力学来描述
- D. 当物体的速度接近光速时,其运动规律不适合用牛顿力学来描述
- 4.引力波是实验验证爱因斯坦相对论的最后一块缺失的“拼图”,相对论在一定范围内弥补了经典力学的局限性。关于经典力学,下列说法正确的是 ( A )
- A. 经典力学适用于宏观、低速运动
- B. 经典力学取得了巨大成就,是普遍适用的
- C. 随着物理学的发展,经典力学将逐渐成为过时的理论
- D. 由于相对论、量子论的提出,经典力学已经失去了它的应用价值
- 5.关于经典力学、狭义相对论和量子力学,下列说法正确的是 ( )
- A. 狭义相对论和经典力学是相互对立、互不相容的两种理论
- B. 经典力学包含于相对论之中,经典力学是相对论的特例
- C. 经典力学只适用于宏观物体的运动,量子力学只适用于微观粒子的运动
- D. 不论是宏观物体还是微观粒子,经典力学和量子力学都是适用的

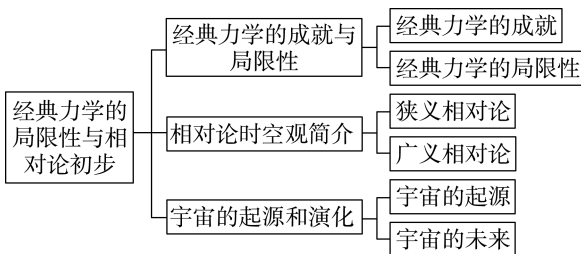
B 解析:经典力学是相对论在一定条件下的特殊情况,选项 A 错误,B 正确;经典力学适用于宏观、低速、弱引力场的领域,量子力学适用于所有的物体系统,选项 C、D 错误。

### 任务总结

#### 经典力学与相对论的比较

比较项目	经典力学	相对论
形成时期	物理学形成的初期阶段,受历史发展限制	形成于物理学充分发展的现代,理论较完善、科学
适用范围	低速运动、宏观世界、弱引力作用	任何情况都适用
速度对时间和空间的影响	空间与时间是绝对分离没有联系的,脱离物质而单独存在,与物质的运动无关	有物质才有时间和空间,空间和时间与物体的运动状态有关
联系	当物体的速度远小于光速时,相对论与经典力学的结论没有区别	

#### ► 提质归纳



## 课后素养评价(十八) 经典力学的成就与局限性

### 相对论时空观简介 宇宙的起源和演化

#### 基础性·能力运用

##### 知识点 1 经典力学的局限性

- 1.下列情境中,牛顿力学不适用的是 ( )
- A. 小朋友坐滑梯下滑
- B. 轮船在大海上航行

- C. 宇宙粒子接近光速运动
- D. 子弹在空中飞行

C 解析:对于接近光速的运动问题,经典力学已不再适用,故选 C。

2.(多选)来自中国的“墨子号”量子卫星曾从太空发射一对处于纠缠状态的光子,分别向青海德令哈站与千里外的云南丽江站发射,首次实现了人类历史上第一次距离达千里级的量子密钥分发。下列说法正确的是 ( )

- A. 牛顿力学适用于“墨子号”绕地球运动的规律  
 B. 牛顿力学适用于光子的运动规律  
 C. 量子力学可以描述“墨子号”发出的光子的运动规律  
 D. 牛顿力学已经失去了应用价值

AC 解析:牛顿力学适用于宏观、低速、弱引力场物体运动,“墨子号”绕地球的运动属于宏观低速运动,故 A 正确;量子力学适用于微观高速的物体运动,如光的运动,而对于高速运动的光子,牛顿力学已经不再适用,故 B 错误,C 正确;牛顿力学与量子力学的适用范围不同,各自在自己的适用范围内是有价值的,故 D 错误。

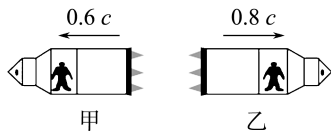
### 知识点 2 相对论时空观

3.假设地面上有一火车以接近光速的速度行驶,其内有一个正方体的箱子,站在路旁的人观察车里的箱子,与实际尺寸相比,路人的观察结果是 ( )

- A. 这个箱子的高度变短,长度变长  
 B. 这个箱子的高度变长,长度变短  
 C. 这个箱子的高度变短,长度不变  
 D. 这个箱子的高度不变,长度变短

D 解析:取路旁的人为惯性系,车上的箱子相对于路旁的人高速运动,根据长度收缩效应,箱子在运动方向上长度变短,但在垂直于运动方向上的高度不变,故 D 正确。

4.(多选)如图所示,假设甲、乙两人分别乘坐速度为  $0.6c$  和  $0.8c$  ( $c$  为真空中的光速)的飞船反向运动,则下列说法正确的是 ( )



- A. 甲、乙两人相对速度为  $1.4c$   
 B. 甲观察到乙的身高不变  
 C. 甲观察到乙所乘的飞船变短  
 D. 甲观察到乙所带的钟表显示时间变快

BC 解析:如果把甲看成静止,那么乙相对甲是以某个接近光速的速度飞行,不会超过光速,故 A 项错误;沿运动方向才有长度收缩效应,身高是沿竖直方向,他们的运动方向为水平方向,所以两者看到对方的身高不变,故 B 项正确;根据相对论的长度收缩效应,甲观察到乙所乘的飞船变短,故 C 项正确;根据相对论的时间延缓效应,乙相对甲在接近光速运动,甲观察到乙的钟表时间变慢了,故 D 项错误。

## 综合性·创新提升

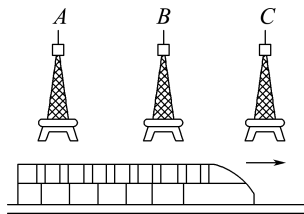
5.如果有一列火车以接近光速的速度运动,车窗的边沿运动方向为长,垂直运动方向为宽,根据相对论的知识,地面上的人观察到 ( )

- A. 火车窗口比静止时要长  
 B. 火车窗口比静止时要短  
 C. 火车窗口比静止时要宽  
 D. 火车窗口比静止时要窄

B 解析:由于动尺收缩效应,在运动的方向上,长度要缩短,因此车窗的长度比静止时更短,但是与运动方向垂直的宽度不会变化,所以 B 正确。

6.如图所示,沿平直铁路线旁有间距相等的三座铁塔 A、B 和 C。假想有一列车从 A 向 C 以接近光速的速度行驶,当铁塔 B 发出一个闪光时,列车上的观

测者测得 A、C 两铁塔被照亮的顺序是 ( )



- A. 同时被照亮  
 B. A 先被照亮  
 C. C 先被照亮  
 D. 无法判断

C 解析:列车上的观察者看到的是由 B 发出后经过 A 和 C 反射的光,由于列车在这段时间内向 C 运动,而远离 A,所以 C 的反射光先到达列车上的观察者,观察者会看到 C 先被照亮,故只有 C 正确。

# 章末质量评估(四)

## 机械能及其守恒定律

### 经典力学的局限性与相对论初步

(时间:75分钟 分值:100分)

一、单项选择题:本题共7小题,每小题4分,共28分。每小题只有一项是符合题目要求的。

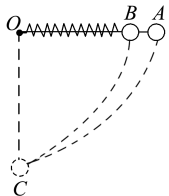
1.下列对时空观的认识,说法正确的是 ( )

- A. 相对论给出了物体在低速运动时所遵循的规律
- B. 相对论具有普遍性,牛顿力学是它在低速运动时的特例
- C. 相对论的出现使牛顿力学在自己的适用范围内不再继续发挥作用
- D. 牛顿力学建立在实验的基础上,它的结论又受到无数次实验的检验,因此在任何情况下都适用

**B 解析:**相对论给出了物体在高速运动时所遵循的规律,牛顿力学为它在低速运动时的特例,牛顿力学在自己的适用范围内还将继续发挥作用,且有简捷的优势,故A、C、D错误,B正确。

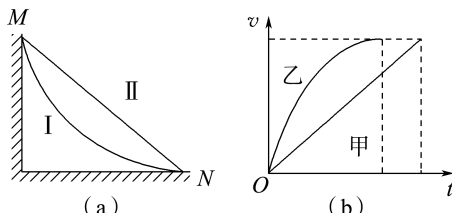
2.如图所示,A、B两球的质量相同,A球通过不可伸长的细绳系在O点,B球固定在轻质弹簧上,把两球都拉到水平位置(绳和弹簧均拉直且为原长),然后释放,不计空气阻力。当小球通过悬点O正下方的C点时,弹簧和绳子等长,则此时 ( )

- A. A、B两球的动能相等
- B. A球重力势能的减少量大于B球重力势能的减少量
- C. A球所在系统的机械能大于B球所在系统的机械能
- D. A球的速度大于B球的速度



**D 解析:**A球运动过程中,仅有重力对其做功,B球运动过程中,仅有重力和弹簧弹力对其做功,故A、B球所在系统的机械能均守恒。以过C点的水平面为参考平面,A、B球在运动过程中重力做功相同,重力势能的减少量相同,但B球有一部分重力势能转化为弹簧的弹性势能,所以到达C点时A球的动能大,速度大,故D正确。

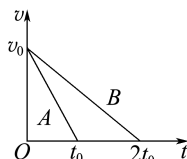
3.如图(a)所示,从高处M点到地面N点有I、II两条光滑轨道。两相同小物块甲、乙同时从M点由静止释放,沿不同轨道滑到N点,其速率 $v$ 与时间 $t$ 的关系如图(b)所示。由图可知,两物块在离开M点后到达N点前的下滑过程中 ( B )



- A. 甲沿I下滑,且同一时刻甲的动能比乙的大
- B. 甲沿II下滑,且同一时刻甲的动能比乙的小
- C. 乙沿I下滑,且乙的重力功率一直不变
- D. 乙沿II下滑,且乙的重力功率一直增大

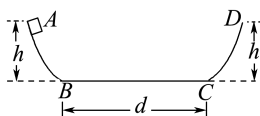
4.A、B两物体的质量之比 $m_A : m_B = 2 : 1$ ,它们以相同的初速度 $v_0$ 在水平面上做匀减速直线运动,直到停止,其 $v-t$ 图像如图所示。那么,A、B两物体所受摩擦力之比 $f_A : f_B$ 与A、B两物体克服摩擦力做的功之比 $W_A : W_B$ 分别为 ( )

- A. 2 : 1; 4 : 1
- B. 4 : 1; 2 : 1
- C. 1 : 4; 1 : 2
- D. 1 : 2; 1 : 4



**B 解析:**由题图可知,物体A的加速度大小 $a_A = \frac{v_0}{t_0}$ ,物体B的加速度大小 $a_B = \frac{v_0}{2t_0}$ ,根据牛顿第二定律可知,物体A、B受到的摩擦力分别为 $f_A = m_A a_A$ , $f_B = m_B a_B$ ,又 $m_A : m_B = 2 : 1$ ,所以 $f_A : f_B = 4 : 1$ ;  $v-t$ 图像中图线与横轴所围的面积表示位移,从开始运动到停止,A、B两物体的位移分别为 $x_A = \frac{v_0 t_0}{2}$ , $x_B = \frac{2v_0 t_0}{2} = v_0 t_0$ ,又 $W = Fx \cos \alpha$ ,所以 $W_A : W_B = (f_A x_A) : (f_B x_B) = 2 : 1$ 。故选项B正确。

5.如图所示,ABCD是一个盆式容器,盆内侧壁与盆底BC的连接处都是一段与BC相切的光滑圆弧,BC为水平面,其长度 $d = 0.50$  m,盆边缘的高度 $h = 0.30$  m。在A处放一个质量为 $m$ 的小物块并让其从静止开始下滑。已知盆内侧壁是光滑的,而盆底BC面与小物块间的动摩擦因数 $\mu = 0.10$ 。小物块在盆内来回滑动,最后在E点(图中未画出)停下来,则E点到B点的距离为 ( )



- A. 0.50 m            B. 0.25 m  
C. 0.10 m            D. 零

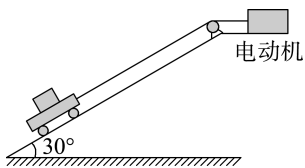
**D 解析:** 设物块在 BC 面上运动的总路程为  $s$ , 由动能定理知  $W_{\text{合}} = mgh - \mu mgs = E_{k1} - E_{k0}$ , 其中  $E_{k1} = E_{k0} = 0$ , 所以,  $\mu mgs = mgh$ , 则  $s = \frac{h}{\mu} = \frac{0.30}{0.10} \text{ m} = 3 \text{ m}$ , 因为  $d = 0.5 \text{ m}$ , 则  $\frac{x}{d} = \frac{3 \text{ m}}{0.5 \text{ m}} = 6$ , 可见物块最后停在 B 点, 故 D 正确。

6. 假设一艘太空飞船静止时的长度为 30 m, 它以  $0.6c$  ( $c$  为光速) 的速度沿长度方向飞行越过地球。下列说法正确的是 ( )

- A. 飞船上的观测者测得该飞船的长度小于 30 m  
B. 地球上的观测者测得该飞船的长度小于 30 m  
C. 飞船上的观测者测得地球上发来的光信号速度小于  $c$   
D. 地球上的观测者测得飞船上发来的光信号速度小于  $c$

**B 解析:** 由  $l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}$  知 A 项错误, B 项正确; 由相对论时空观的基本假设知光信号的速度都等于  $c$ , C、D 两项错误。

7. (2025 · 四川卷) 如图所示, 倾角为  $30^\circ$  的光滑斜面固定在水平地面上, 安装在其顶端的电动机通过不可伸长的轻绳与小车相连, 小车上静置一物块。小车与物块的质量均为  $m$ , 两者之间的动摩擦因数为  $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 。电动机以恒定功率  $P$  拉动小车由静止开始沿斜面向上运动。经过一段时间, 小车与物块的速度刚好相同, 大小为  $v_0$ 。运动过程中轻绳与斜面始终平行, 小车和斜面均足够长, 重力加速度大小为  $g$ , 忽略其他摩擦。则这段时间内 ( )



- A. 物块的位移大小为  $\frac{2v_0^2}{3g}$   
B. 物块的机械能增量为  $\frac{5mv_0^2}{2}$   
C. 小车的位移大小为  $\frac{16Pv_0}{5mg^2} - \frac{2v_0^2}{5g}$   
D. 小车的机械能增量为  $\frac{8Pv_0}{5g} + \frac{mv_0^2}{2}$

**C 解析:** 对物块根据牛顿第二定律有  $\mu mg \cos 30^\circ - mg \sin 30^\circ = ma$ , 解得  $a = \frac{1}{4}g$ , 根据运动学公式有  $v_0^2 = 2ax_1$ , 解得物块的位移大小为  $x_1 = \frac{2v_0^2}{g}$ , 故

A 错误; 物块的机械能增量为  $\Delta E = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgx_1 \sin 30^\circ = \frac{3}{2}mv_0^2$ , 故 B 错误; 对小车根据动能定理有  $Pt - (\mu mg \cos 30^\circ + mg \sin 30^\circ)x_2 = \frac{1}{2}mv_0^2$ , 其中  $t = \frac{v_0}{a}$ , 联立解得  $x_2 = \frac{16Pv_0}{5mg^2} - \frac{2v_0^2}{5g}$ , 故 C 正确; 小车的机械能增量为  $\Delta E' = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgx_2 \sin 30^\circ = \frac{8Pv_0}{5g} + \frac{3mv_0^2}{10}$ , 故 D 错误。

二、多项选择题: 本题共 3 小题, 每小题 6 分, 共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分, 选对但不全的得 3 分, 有选错的得 0 分。

8. 升降机地板上放一质量为 100 kg 的物体, 物体随升降机由静止开始竖直向上移动 5 m 时速度达到 4 m/s, 则此过程中 (取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) ( )

- A. 升降机对物体做的功为 5 800 J  
B. 合外力对物体做的功为 5 800 J  
C. 物体的重力势能增加 5 000 J  
D. 物体的机械能增加 800 J

**AC 解析:** 根据动能定理得  $W_{\text{升}} - mgh = \frac{1}{2}mv^2$ , 可解得  $W_{\text{升}} = 5 800 \text{ J}$ , A 正确; 合外力做的功为  $W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times 4^2 \text{ J} = 800 \text{ J}$ , B 错误; 物体重力势能增加  $mgh = 100 \times 10 \times 5 \text{ J} = 5 000 \text{ J}$ , C 正确; 物体机械能的增加量等于升降机对物体做的功,  $\Delta E = W_{\text{升}} = 5 800 \text{ J}$ , D 错误。

9. 对于公式  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ , 下列说法正确的是 ( )

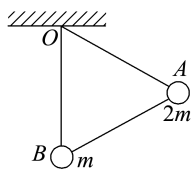
- A. 式中的  $m_0$  是物体以速度  $v$  运动时的质量  
B. 当物体的运动速度  $v > 0$  时, 物体的质量  $m > m_0$ , 即物体的质量改变了, 故经典力学不适用, 是不正确的  
C. 当物体以较小速度运动时, 质量变化十分微弱, 经典力学理论仍然适用, 只有当物体以接近光速运动时, 质量变化才明显, 故经典力学适用于低速运动, 而不适用于高速运动  
D. 通常由于物体的运动速度太小, 故质量的变化难以引起我们的察觉, 在分析地球上物体的运动时, 不必考虑质量的变化

**CD 解析:** 公式  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  中,  $m_0$  为物体静止时

的质量,  $m$  是物体速度为  $v$  时的质量, A 错误; 物体速度远小于光速时, 质量的变化可以忽略不计, 即经

典力学适用于低速运动,不适用于高速运动,B错误,C正确;地球上的物体运动速度一般比较小,经典力学仍适用,D正确。

10. 如图所示,长度相同的三根轻杆构成一个正三角形支架,在A处固定质量为 $2m$ 的小球,B处固定质量为 $m$ 的小球,支架悬挂在O点,可绕过O点并与支架所在平面垂直的固定轴转动,开始时OB与地面垂直。放手后开始运动,在不计任何阻力的情况下,下列说法正确的是 ( )



- A. A处小球到达最低点时速度为零  
 B. A处小球机械能的减少量等于B处小球机械能的增加量  
 C. B处小球向左摆动所能到达的最高位置应高于A处小球开始运动时的高度  
 D. 当支架从左向右回摆时,A处小球能回到起始高度

**BCD 解析:** 因为A处小球质量大,位置高,所以三角形支架处于不稳定状态,释放后支架就会向左摆动。摆动过程中只有A、B处小球受到的重力对系统做功,故系统的机械能守恒,B、D正确;设支架边长是 $L$ ,则A处小球到最低点时小球下落的高度为 $\frac{1}{2}L$ ,B处小球上升的高度也是 $\frac{1}{2}L$ ,但A处小球的质量比B处小球的大,故有 $\frac{1}{2}mgL$ 的重力势能转化为A、B两处小球的动能,因而此时A处小球的速度不为零,A错误;当A处小球到达最低点时有向左运动的速度,还要继续向左摆,B处小球仍要继续上升,因此B处小球能到达的最高位置比A处小球开始运动时的高度还要高,C正确。

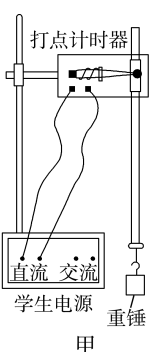
三、非选择题:本题共5小题,共54分。其中第12~15小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤;有数值计算时,答案中必须明确写出数值和单位。

11. (12分)某同学利用如图甲所示的实验装置来验证机械能守恒定律。

(1) 该同学开始实验时的情形如图甲所示,接通电源释放纸带。请指出该同学在实验操作中存在的两处明显的错误或不当的地方:

- ① \_\_\_\_\_;  
 ② \_\_\_\_\_。

(2) 该同学改正错误后正确操作,让质量为 $1\text{ kg}$ 的重锤下落,通过打点计时器在纸带上记录运动过程,打点计时器所接电源为频率是 $50\text{ Hz}$ 的交流电源,



纸带打点结果如图乙所示。纸带上O点为重锤自由下落时的打点起点(O、A两点间有点未画出),选取的计数点A、B、C、D依次间隔一个点(图中未画出),各计数点到O点距离如图乙所示,单位为mm,取 $g=9.8\text{ m/s}^2$ ,则:(结果均保留三位有效数字)

O	A	B	C	D
0	31.4	70.6	125.4	190.0

乙

- ① 根据纸带,打点计时器打下B点时,重锤速度 $v_B =$  \_\_\_\_\_,重锤的动能 $E_{kB} =$  \_\_\_\_\_,从开始下落到打点计时器记录B点时,重锤的势能减少量为 \_\_\_\_\_。  
 ② 由此可以得到的实验结论是: \_\_\_\_\_。

**解析:** (1) 本实验使用的是打点计时器,根据打点计时器的工作原理,必须使用交流电源,而该同学使用的是直流电源;纸带总长约 $1\text{ m}$ ,要尽可能在纸带上多打一些点,所以应让重锤紧靠打点计时器,而该同学释放重锤的位置离打点计时器太远,故该同学在实验操作中存在的两处明显错误或不当地方是:①打点计时器接了直流电源;②重锤离打点计时器太远。

(2) ① 打点计时器所接电源为频率是 $50\text{ Hz}$ 的交流电源,选取的计数点A、B、C、D依次间隔一个点,所以相邻的计数点间的时间间隔是 $T=0.04\text{ s}$ 。

根据匀变速直线运动的规律有 $v_B = \frac{x_{AC}}{2T} = \frac{(125.4-31.4)\times 10^{-3}}{2\times 0.04}\text{ m/s} \approx 1.18\text{ m/s}$ ,动能 $E_k =$

$\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}\times 1\times 1.18^2\text{ J} = 0.696\text{ J}$ ,从开始下落到打点计时器记录B点时,重锤势能减少量为 $\Delta E_p = mgx_{OB} = 1\times 9.8\times 70.6\times 10^{-3}\text{ J} = 0.692\text{ J}$ 。

② 从前面的计算可以看出重锤动能增加量近似等于重锤重力势能减少量,即在误差允许的范围内重锤下落过程中机械能守恒。

**答案:** (1) ①打点计时器接了直流电源 ②重锤离打点计时器太远 (2) ① $1.18\text{ m/s}$   $0.696\text{ J}$   $0.692\text{ J}$  ②在实验误差允许的范围内重锤下落过程中机械能守恒

12. (8分)在静止坐标系中的立方体边长为 $l_0$ ,另一坐标系以相对速度 $v$ 平行于立方体的一边运动,则在后一坐标系中的观察者测得的立方体的体积是多少?

**解析:** 本题中另一坐标系以速度 $v$ 相对立方体运动,立方体的一条边与运动方向平行,则后一坐标系中观察者测得该条边的长度为 $l =$

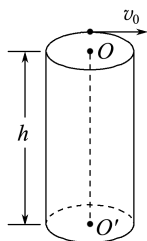
$$l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

测得立方体的体积为  $V=l_0^3 l=l_0^3 \sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$ 。

答案:  $l_0^3 \sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$

13. (10分) 如图所示, 将一内径  $R=0.8\text{ m}$ 、高  $h=3.2\text{ m}$  的内壁光滑的圆筒固定, 其中心轴线  $OO'$  沿竖直方向。一质量  $m=0.2\text{ kg}$  的小球(视为质点) 以大小  $v_0=6\text{ m/s}$  的初速度沿筒内壁上端某点的切线方向水平射入, 小球沿筒壁运动一段时间后自底端某处飞离圆筒。忽略空气阻力, 重力加速度  $g$  取  $10\text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) 筒壁对小球的弹力大小  $F_N$ ;  
(2) 小球射出时的速度大小  $v$ 。



解析: (1) 小球在水平方向做匀速圆周运动, 筒壁对小球的弹力提供向心力, 则

$$F_N = m \frac{v_0^2}{R} = 0.2 \times \frac{6^2}{0.8} \text{ N} = 9 \text{ N}.$$

(2) 小球射出时竖直分速度  $v_y$  满足

$$v_y^2 - 0 = 2gh$$

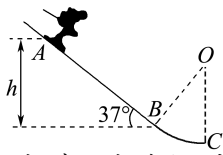
$$\text{解得 } v_y = 8 \text{ m/s}$$

小球射出时的速度大小  $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = 10 \text{ m/s}$ 。

答案: (1) 9 N (2) 10 m/s

14. (10分) 山地滑雪是滑雪爱好者喜爱的一项体育运动。如图所示, 一滑雪坡由  $AB$  和  $BC$  组成,  $AB$  是倾角为  $37^\circ$  的斜面,  $BC$  是半径为  $R=5\text{ m}$  的圆弧面, 圆弧面和斜面相切于  $B$  点, 与水平面相切于  $C$  点,  $A$ 、 $B$  两点竖直高度差  $h=8.8\text{ m}$ 。一运动员连同滑雪装备的总质量为  $80\text{ kg}$ , 从  $A$  点由静止滑下通过  $C$  点后飞出(不计空气阻力和摩擦阻力, 取  $g=10\text{ m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ=0.6$ ,  $\cos 37^\circ=0.8$ )。求:

- (1) 运动员到达  $C$  点时的速度大小;  
(2) 运动员经过  $C$  点时对轨道的压力大小。



解析: (1) 由  $A$  点到  $C$  点过程, 应用机械能守恒定律得

$$mg(h + \Delta h) = \frac{1}{2}mv_C^2$$

$$\text{又 } \Delta h = R(1 - \cos 37^\circ)$$

$$\text{解得 } v_C = 14 \text{ m/s}.$$

(2) 在  $C$  点, 由牛顿第二定律和向心力公式得

$$N - mg = m \frac{v_C^2}{R}$$

$$\text{解得 } N = 3\,936 \text{ N}$$

由牛顿第三定律知, 运动员在  $C$  点时对轨道的压力大小为  $3\,936 \text{ N}$ 。

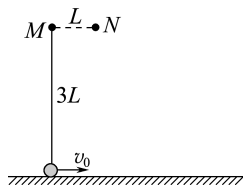
答案: (1) 14 m/s (2) 3 936 N

15. (14分) (2025·安徽卷) 如图所示,  $M$ 、 $N$  为固定在竖直平面内同一高度的两根细钉, 间距  $L=0.5\text{ m}$ 。一根长为  $3L$  的轻绳一端系在  $M$  上, 另一端竖直悬挂质量  $m=0.1\text{ kg}$  的小球, 小球与水平地面接触但无压力。  $t=0$  时, 小球以水平向右的初速度  $v_0=10\text{ m/s}$  开始在竖直平面内做圆周运动。小球牵引着绳子绕过  $N$ 、 $M$ , 运动到  $M$  正下方与  $M$  相距  $L$  的位置时, 绳子刚好被拉断, 小球开始做平抛运动。小球可视为质点, 绳子不可伸长, 不计空气阻力, 重力加速度  $g$  取  $10\text{ m/s}^2$ 。

(1) 求绳子被拉断时小球的速度大小及绳子所受到的最大拉力的大小;

(2) 求小球做平抛运动时抛出点到落地点的水平距离;

(3) 若在  $t=0$  时, 只改变小球的初速度大小, 使小球能通过  $N$  的正上方且绳子不松弛, 求初速度的最小值。



解析: (1) 小球从最下端以速度  $v_0$  抛出到运动到  $M$  正下方距离为  $L$  的位置时, 根据机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = mg \cdot 2L + \frac{1}{2}mv^2$$

在该位置时根据牛顿第二定律有  $T - mg = m \frac{v^2}{L}$

$$\text{解得 } v = 4\sqrt{5} \text{ m/s}, T = 17 \text{ N}.$$

(2) 小球做平抛运动时有  $x = vt$ ,  $2L = \frac{1}{2}gt^2$

$$\text{解得 } x = 4 \text{ m}.$$

(3) 若小球经过  $N$  点正上方的绳子恰好不松弛,

$$\text{则满足 } mg = m \frac{v'^2}{2L}$$

从最低点到该位置由动能定理得

$$\frac{1}{2}mv_0'^2 = mg \cdot 5L + \frac{1}{2}mv'^2$$

$$\text{解得 } v_0' = 2\sqrt{15} \text{ m/s}.$$

答案: (1)  $4\sqrt{5} \text{ m/s}$  17 N (2) 4 m

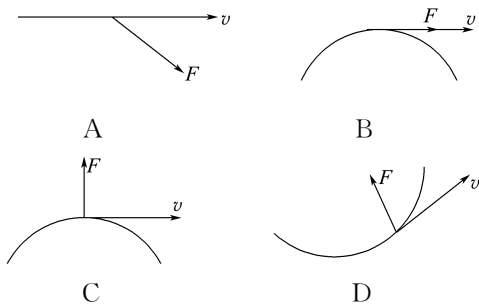
(3)  $2\sqrt{15} \text{ m/s}$

## 综合质量评估(一)

(时间:75分钟 分值:100分)

一、单项选择题:本题共7小题,每小题4分,共28分。每小题只有一项是符合题目要求的。

1. 下图所示的质点运动轨迹中,正确的是 ( )



D 解析:A项,质点做直线运动,所以受力的方向与速度的方向一定在同一条直线上,故A错误;B项,质点受力的方向与速度的方向在同一条直线上,则质点将做直线运动,故B错误;C项,由于质点做的是曲线运动,根据质点做曲线运动时合外力指向轨迹弯曲的一侧可知,质点受到的力应该指向下方,故C错误;D项,由于质点做的也是曲线运动,质点受到的力指向轨迹的内侧,故D正确。

2. 一宇宙飞船绕地球做匀速圆周运动,飞船原来的线速度大小是  $v_1$ ,周期是  $T_1$ ,机械能是  $E_1$ 。假设在某时刻它向后喷气做加速运动后,进入新轨道做匀速圆周运动,运动的线速度大小是  $v_2$ ,周期是  $T_2$ ,机械能是  $E_2$ ,则(不考虑宇宙飞船喷气前后的质量变化) ( )

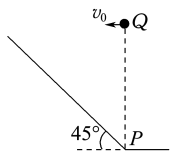
- A.  $v_1 > v_2, T_1 < T_2, E_1 < E_2$
- B.  $v_1 < v_2, T_1 < T_2, E_1 < E_2$
- C.  $v_1 > v_2, T_1 > T_2, E_1 > E_2$
- D.  $v_1 < v_2, T_1 > T_2, E_1 = E_2$

A 解析:飞船向后喷气做加速运动,飞船做圆周运动的半径  $r$  增大,在新的轨道达到新平衡后,继续做匀速圆周运动;根据公式  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = mr \frac{4\pi^2}{T^2}$ , 得线速度  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ , 周期  $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ , 由此可知,当  $r$  变大时,  $v$  变小,  $T$  变大。在飞船向后喷气做加速运动过程中,喷出的气体对飞船做正功,飞船的机械能增加,故A正确,B、C、D错误。

3. 如图所示是倾角为  $45^\circ$  的斜坡,在斜坡底端  $P$  点正上方某一位置  $Q$  处以速度  $v_0$  水平向左抛出小球  $A$ , 小球恰好能垂直落在斜坡上,运动时间为  $t_1$ , 小

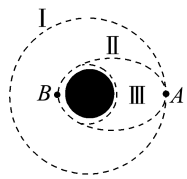
球  $B$  从同一点  $Q$  处自由下落,下落至  $P$  点的时间为  $t_2$ , 不计空气阻力,则  $t_1 : t_2$  为 ( )

- A. 1 : 2
- B. 1 :  $\sqrt{3}$
- C. 1 : 3
- D. 1 :  $\sqrt{2}$



B 解析:小球  $A$  恰好能垂直落在斜坡上,由几何关系可知,小球  $A$  竖直方向的速度增量  $v_y = gt_1 = v_0$ , 水平位移  $s = v_0 t_1$ , 竖直位移  $h_A = \frac{1}{2} g t_1^2$ , 解得  $\frac{h_A}{x} = \frac{1}{2}$ , 由几何关系可知,小球  $B$  自由下落的高度为  $h_A + x = \frac{1}{2} g t_2^2$ , 联立以上各式解得  $\frac{t_1}{t_2} = \frac{1}{\sqrt{3}}$ , 故B正确, A、C、D错误。

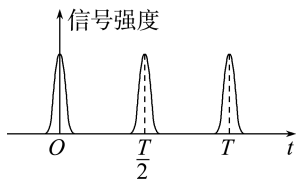
4. 假设月球半径为  $R$ , 飞船沿距月球表面高度为  $3R$  的圆形轨道 I 运动, 到达轨道的  $A$  点, 点火变轨进入椭圆轨道 II, 到达轨道 II 的近月点  $B$  再次点火进入近月轨道 III 绕月球表面做圆周运动。下列判断正确的是 ( )



- A. 飞船在轨道 I 上的运行速率是在轨道 III 上运行速率的  $\frac{1}{2}$
- B. 飞船在轨道 I 上运行的角速度是在轨道 III 上运行角速度的  $\frac{\sqrt{3}}{9}$
- C. 飞船在  $A$  点点火变轨的瞬间, 动能增大
- D. 飞船在轨道 II 上稳定运行时, 在  $A$  点的线速度等于在  $B$  点的线速度

A 解析:轨道 I 和轨道 III 的半径分别为  $r_1 = 4R$ ,  $r_2 = R$ , 由  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$  得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ , 则  $v_1 : v_2 = 1 : 2$ , A 正确; 由  $\omega = \frac{v}{r}$  得  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ , 则  $\omega_1 : \omega_2 = \sqrt{R^3 : (4R)^3} = 1 : 8$ , B 错误; 在  $A$  点由轨道 I 变轨至轨道 II, 需减速使飞船做近心运动, 飞船动能减小, C 错误; 飞船在轨道 II 上稳定运行时, 由开普勒第二定律可知, 在近月点和远月点的线速度不相等, D 错误。

5. (2025·四川卷) 某人造地球卫星运行轨道与赤道共面, 绕行方向与地球自转方向相同。若该卫星持续发射信号, 位于赤道的某观测站接收到的信号强度随时间变化的规律如图所示,  $T$  为地球自转周期。已知该卫星的运动可视为匀速圆周运动, 地球质量为  $m_0$ , 引力常量为  $G$ , 则该卫星的轨道半径为 ( )



- A.  $\sqrt{\frac{Gm_0 T^2}{36\pi^2}}$       B.  $\sqrt{\frac{Gm_0 T^2}{16\pi^2}}$   
 C.  $\sqrt{\frac{Gm_0 T^2}{4\pi^2}}$       D.  $\sqrt{\frac{9Gm_0 T^2}{4\pi^2}}$

**A 解析:** 设该卫星运行的周期为  $T'$ , 根据题意可得  $\frac{2\pi}{T'} \cdot \frac{T}{2} - \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} = 2\pi$ , 可得  $T' = \frac{T}{3}$ , 根据万有引力提供向心力有  $G \frac{m_0 m}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T'^2} r$ , 可得  $r = \sqrt{\frac{Gm_0 T'^2}{4\pi^2}}$ , 代入  $T' = \frac{T}{3}$ , 可得  $r = \sqrt{\frac{Gm_0 T^2}{36\pi^2}}$ , 故 A 正确。

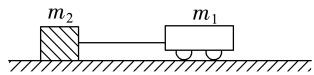
6. (2025·河北卷) 随着我国航天事业飞速发展, 人们畅想研制一种利用核聚变为能源的星际飞行器。假设从某星球表面发射的星际飞行器在飞行过程中只考虑该星球引力, 不考虑自转, 该星球可视为质量分布均匀的球体, 半径为  $R_0$ , 表面重力加速度为  $g_0$ 。质量为  $m$  的飞行器与星球中心的距离为  $r$  时, 引力势能为  $mg_0 R_0^2 \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{r} \right)$  ( $r > R_0$ )。要使飞行器在距星球表面高度为  $R_0$  的轨道上做匀速圆周运动, 则发射初速度为 ( )

- A.  $\sqrt{g_0 R_0}$       B.  $\sqrt{\frac{3g_0 R_0}{2}}$   
 C.  $\sqrt{2g_0 R_0}$       D.  $\sqrt{3g_0 R_0}$

**B 解析:** 飞行器在轨道半径  $r = 2R_0$  处的总机械能包括动能和势能, 引力势能为  $E_p = \frac{1}{2} mg_0 R_0$ , 根据万有引力提供向心力有  $\frac{Gm_0 m}{(2R_0)^2} = m \frac{v^2}{2R_0}$ , 在星球表面有  $\frac{Gm_0 m}{R_0^2} = mg_0$ , 解得轨道速度满足  $v^2 = \frac{g_0 R_0}{2}$ , 对应动能  $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{4} mg_0 R_0$ , 总机械能  $E_{\text{总}} = \frac{3}{4} mg_0 R_0$ , 根据机械能守恒, 初始动能  $\frac{1}{2} mv_0^2 = E_{\text{总}}$ ,

解得  $v_0 = \sqrt{\frac{3g_0 R_0}{2}}$ 。故选 B。

7. 质量为  $m_1$  的玩具动力小车在水平面上运动时, 牵引力  $F$  和受到的阻力  $F_{\text{阻}}$  均为恒力。如图所示, 小车用一根不可伸长的轻绳拉着质量为  $m_2$  的物体由静止开始运动。当小车拖动物体行驶的位移为  $s_1$  时, 小车达到额定功率, 轻绳从物体上脱落。物体继续滑行一段时间后停下, 其总位移为  $s_2$ 。物体与地面间的动摩擦因数不变, 不计空气阻力。小车的额定功率  $P_0$  为 ( )



- A.  $\sqrt{\frac{2F^2(F-F_{\text{阻}})(s_2-s_1)s_1}{(m_1+m_2)s_2-m_1s_1}}$   
 B.  $\sqrt{\frac{2F^2(F-F_{\text{阻}})(s_2-s_1)s_1}{(m_1+m_2)s_2-m_2s_1}}$   
 C.  $\sqrt{\frac{2F^2(F-F_{\text{阻}})(s_2-s_1)s_2}{(m_1+m_2)s_2-m_1s_1}}$   
 D.  $\sqrt{\frac{2F^2(F-F_{\text{阻}})(s_2-s_1)s_2}{(m_1+m_2)s_2-m_2s_1}}$

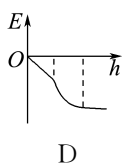
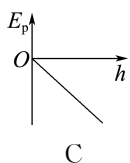
**A 解析:** 在小车拉着物体行驶位移  $s_1$  的过程中, 对小车和物体整体根据动能定理得  $(F - F_{\text{阻}} - \mu m_2 g) s_1 = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2$ , 轻绳从物体上脱落至物体停下的过程中, 对物体根据动能定理得  $-\mu m_2 g (s_2 - s_1) = 0 - \frac{1}{2} m_2 v^2$ , 解得  $v = \sqrt{\frac{2(F - F_{\text{阻}})(s_2 - s_1)s_1}{(m_1 + m_2)s_2 - m_1s_1}}$ , 则小车的额定功率  $P_0 =$

$Fv = \sqrt{\frac{2F^2(F - F_{\text{阻}})(s_2 - s_1)s_1}{(m_1 + m_2)s_2 - m_1s_1}}$ , A 正确。

二、多项选择题: 本题共 3 小题, 每小题 6 分, 共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分, 选对但不全的得 3 分, 有选错的得 0 分。

8. 运动员从悬停在空中的直升机上跳伞, 伞打开前可看成做自由落体运动, 打开伞后减速下降, 最后匀速下落。如果用  $h$  表示下落高度,  $t$  表示下落的时间,  $F_{\text{合}}$  表示人受到的合力,  $E$  表示人的机械能,  $E_p$  表示人的重力势能,  $v$  表示人下落的速度。如果打开伞后空气阻力与速度的平方成正比, 则在整个过程中, 下列图像可能符合事实的是 ( )

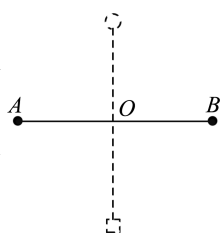




AC 解析:人在下落过程中重力势能逐渐减小,若规定初位置重力势能为零,则  $E_p = -mgh$ , 即重力势能与高度呈线性关系,故 A 正确;机械能的变化等于除重力外其他力做的功,打开伞之前做自由落体运动,此过程中人的机械能守恒,故 B 错误;运动员从直升机上跳伞,伞打开前可看成做自由落体运动,即空气阻力忽略不计,故只受重力,打开伞后减速下降,空气阻力大于重力,故合力向上,速度减小,阻力减小,当阻力减小到等于重力时,合力为零,人做匀速直线运动,即合力先等于重力不变,然后突然反向,后逐渐减小到零,故 C 正确;打开伞后减速下降,减速过程中加速度是变化的,而题图 D 中此过程却为匀减速运动,不符合实际,故 D 错误。

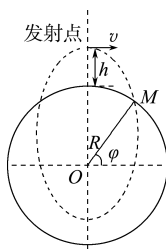
9. 如图所示,质量分别为  $m$  和  $2m$  的两个小球 A 和 B 中间用长为  $2l$  的轻杆相连,在杆的中点 O 处有一固定转轴,把杆置于水平位置后由静止释放,在 B 球顺时针摆动到最低位置的过程中 ( )

- A. A、B 两球角速度始终相等
- B. 重力对 B 球做功的瞬时功率一直增大
- C. B 球摆动到最低位置时的速度大小为  $\sqrt{\frac{2}{3}gl}$



D. 杆对 B 球做正功, B 球机械能不守恒  
AC 解析: A、B 两球共轴转动,角速度始终相等,故 A 正确;在初位置, B 球速度为零,重力的功率为零,在最低点,重力方向与速度方向垂直,重力的功率为零,所以重力对 B 球做功的瞬时功率是先增大后减小,故 B 错误;对于 A 球和 B 球组成的系统,只有重力做功,系统机械能守恒,则有  $2mgl - mgl = \frac{1}{2} \times 2mv_B^2 + \frac{1}{2}mv_A^2$ ,  $v_A = v_B$ , 解得  $v_B = \sqrt{\frac{2}{3}gl}$ , 故 C 正确; A 球机械能增大, B 球机械能减小,杆对 B 球做负功, B 球机械能不守恒,故 D 错误。

10. (2025·浙江卷)月球有类似于地球的南北两极和纬度。如图所示,月球半径为  $R$ , 表面重力加速度为  $g_{月}$ , 不考虑月球自转。从月球北极正上方水平发射一物体,要求落在纬度  $\varphi = 60^\circ$  的 M 处,其运动轨迹为椭圆的一部分。假设月球质量集中在球心 O 点,如果物体沿椭圆运动的周期最短,则 ( )



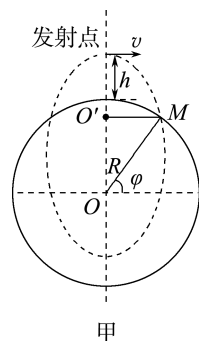
A. 发射点离月球表面的高度  $h = \frac{\sqrt{3}}{4}R$

B. 物体沿椭圆运动的周期为  $\frac{3\pi}{4}\sqrt{\frac{3R}{g_{月}}}$

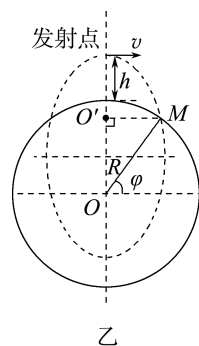
C. 此椭圆两焦点之间的距离为  $\frac{\sqrt{3}}{2}R$

D. 若水平发射的速度为  $v$ , 发射高度为  $h$ , 则物体落到 M 处的速度为  $\sqrt{v^2 + 2g_{月}h}$

BC 解析: 根据题意可知椭圆轨道的一个焦点为 O, 设椭圆的另外一个焦点为 O', 如图甲所示:



设椭圆的半长轴为  $a$ , 焦距为  $2c$ , 根据椭圆知识可知  $O'M + OM = 2a$ , 根据开普勒第三定律  $\frac{a^3}{T^2} = C$  可知, 如果物体沿椭圆运动的周期最短, 则椭圆的半长轴最小, 根据几何关系可知, 当  $MO'$  垂直于  $OO'$  时, 半长轴  $a$  最小, 如图乙所示:



由几何关系有  $2a = R\cos\varphi + R$ , 解得  $a = \frac{3R}{4}$ , 根据几何关系可得椭圆的焦距  $2c = OO' = R\sin\varphi = \frac{\sqrt{3}R}{2}$ , 故 C 正确; 根据几何关系可得发射点离月球

表面的高度  $h = a + c - R = \frac{\sqrt{3}-1}{4}R$ , 故 A 错误;

设物体绕月球表面做匀速圆周运动时的周期为  $T_0$ , 则由重力提供向心力得  $mg_{月} = m\frac{4\pi^2}{T_0^2}R$ , 结合

开普勒第三定律  $\frac{R^3}{T_0^2} = \frac{a^3}{T^2}$ , 联立可得物体沿椭圆运动的周期为  $T = \frac{3\pi}{4}\sqrt{\frac{3R}{g_{月}}}$ , 故 B 正确; 由引力势能

公式  $E_p = -\frac{Gm_{月}m}{r}$ , 结合万有引力公式有  $m'g_{月} =$

$G\frac{m_{月}m'}{R^2}$ , 结合机械能守恒定律有  $-\frac{Gm_{月}m'}{R+h} +$

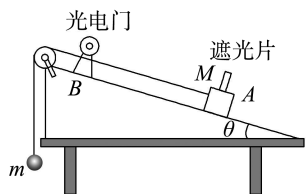
$\frac{1}{2}m'v^2 = -\frac{Gm_{月}m'}{R} + \frac{1}{2}m'v_M^2$ , 联立可得  $v_M =$

$\sqrt{v^2 + \frac{2g_{月}hR}{R+h}}$ , 另外  $g_{月}$  是月球表面的重力加速度,

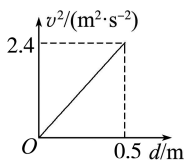
而发射点到  $M$  处的重力和速度并不是恒定不变的, 也不能直接用“ $2g_{月}h$ ”计算, 故 D 错误。

三、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。其中第 13~15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤; 有数值计算时, 答案中必须明确写出数值和单位。

11. (10 分) 利用气垫导轨“验证机械能守恒定律”的实验装置如图甲所示, 水平桌面上固定一倾斜的气垫导轨, 导轨上  $A$  点处有一带长方形遮光片的滑块, 其总质量为  $M$ , 左端由跨过轻质光滑定滑轮的细绳与一质量为  $m$  的小球相连。遮光片两条长边与导轨垂直, 导轨上  $B$  点有一光电门, 可以测量遮光片经过光电门时的挡光时间  $t$ , 用  $d$  表示  $A$  点到光电门  $B$  点的距离,  $b$  表示遮光片的宽度, 将遮光片通过光电门的平均速度看成滑块通过  $B$  点时的瞬时速度  $v$ , 实验时滑块在  $A$  点由静止开始运动。某次实验测得倾角  $\theta = 30^\circ$ , 重力加速度用  $g$  表示。



甲



乙

(1) 滑块从  $A$  点运动到  $B$  点时,  $m$  和  $M$  组成的系统的动能增加量可表示为  $\Delta E_k =$  \_\_\_\_\_, 系统的重力势能减少量可表示为  $\Delta E_p =$  \_\_\_\_\_, 在误差允许的范围内, 若  $\Delta E_k = \Delta E_p$ , 则可认为系统的机械能守恒。(均用题中所给物理量的符号表示)

(2) 按上述实验方法, 某同学改变  $A$ 、 $B$  两点间的距离  $d$ , 得到滑块到达  $B$  点对应的速度  $v$ , 作出的  $v^2-d$  图像如图乙所示, 并测得  $M=m$ , 则重力加速度  $g =$  \_\_\_\_\_  $\text{m/s}^2$ 。

解析: (1) 滑块到达  $B$  点时的速度  $v = \frac{b}{t}$ , 则系统

动能的增加量  $\Delta E_k = \frac{1}{2}(M+m)v^2 = \frac{(M+m)b^2}{2t^2}$ 。

系统重力势能的减少量  $\Delta E_p = mgd - Mgd \sin 30^\circ = \left(m - \frac{M}{2}\right)gd$ 。

(2) 根据系统机械能守恒有  $\frac{1}{2}(M+m)v^2 =$

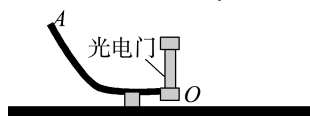
$\left(m - \frac{M}{2}\right)gd$ , 则  $v^2 = \frac{(2m-M)g}{M+m}d$ , 则题图乙中图

线的斜率  $k = \frac{2m-M}{M+m}g$ , 又  $M=m$ , 则  $k = \frac{g}{2}$ , 由题

图乙可解得  $g = 9.6 \text{ m/s}^2$ 。

答案: (1)  $\frac{(M+m)b^2}{2t^2}$   $\left(m - \frac{M}{2}\right)gd$  (2) 9.6

12. (12 分) (2025·江苏卷) 小明同学探究机械能守恒定律, 所用实验装置如图甲所示。实验时, 将钢球从斜槽上某位置  $A$  由静止释放, 钢球沿斜槽通过末端  $O$  处的光电门, 光电门记录下钢球的遮光时间  $t$ 。用游标卡尺测出钢球的直径  $d$ , 由  $v = \frac{d}{t}$  得出其通过光电门的速度  $v$ , 再计算出动能的增加量  $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 。用刻度尺测得钢球下降的高度  $h$ , 计算出重力势能的减少量  $\Delta E_p$ 。



甲

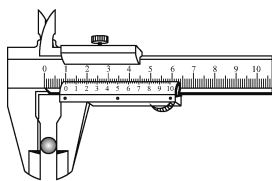
(1) 安装实验装置的操作有:

- ①在斜槽末端安装光电门
- ②调节斜槽在竖直平面内
- ③调节斜槽末端水平
- ④将斜槽安装到底座上

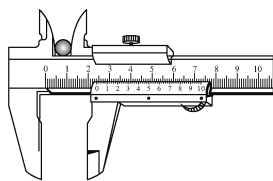
其合理的顺序是 \_\_\_\_\_ (选填字母)。

- A. ①②③④
- B. ④②③①
- C. ④①②③

(2) 测量钢球直径的正确操作是图 \_\_\_\_\_ (选填“乙”或“丙”)所示的方式。



乙



丙

(3) 在斜槽上 5 个不同的位置由静止释放钢球。测量得出的实验数据见表 1。已知钢球的质量  $m = 0.02 \text{ kg}$ , 重力加速度  $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ 。请将下表的数据补充完整。

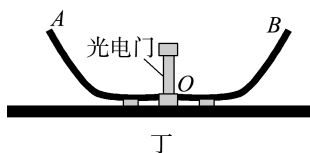
表 1

$h / (10^{-2} \text{ m})$	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
$\Delta E_k / (10^{-3} \text{ J})$	4.90	6.25	7.45	8.78	10.0
$\Delta E_p / (10^{-3} \text{ J})$	7.84	9.80	11.8	13.7	_____

(4) 实验数据表明  $\Delta E_k$  明显小于  $\Delta E_p$ , 钢球在下降过程中发生机械能的损失。小明认为机械能的损失主要是由钢球受到的摩擦力做功造成的。

为验证此猜想, 小明另取一个完全相同的斜槽按如

图丁所示平滑对接。若钢球从左侧斜槽上 A 点由静止释放,运动到右侧斜槽上,最高能到达 B 点,A、B 两点高度差为  $H$ ,则该过程中,摩擦力做功大小的理论值  $W_{\text{理}} =$  \_\_\_\_\_ (用  $m$ 、 $g$ 、 $H$  表示)。



(5)用图丁的装置,按表 1 中所列部分高度  $h$  进行实验,测得摩擦力做功大小为  $W_{\text{测}}$ 。由于观察到  $H$  值较小,小明认为,AO 过程摩擦力做功近似等于 AB 过程的一半,即  $W_f = \frac{W_{\text{测}}}{2}$ 。然后通过表 1 的实验数据,计算出 AO 过程损失的机械能  $\Delta E = \Delta E_p - \Delta E_k$ 。整理相关数据,见表 2。

表 2

$h/(10^{-2} \text{ m})$	4.00	5.00	6.00	7.00
$\Delta E/(10^{-3} \text{ J})$	2.94	3.55	4.35	4.92
$W_f/(10^{-2} \text{ J})$	0.98	1.08	1.18	1.27

表 2 中  $\Delta E$  与  $W_f$  相差明显。小明认为这是由于用  $\frac{W_{\text{测}}}{2}$  近似计算  $W_f$  不合理。你是否同意他的观点? \_\_\_\_\_。请根据表 2 数据简要说明理由: \_\_\_\_\_。

**解析:**(1)正确步骤:将斜槽安置于底座,安装光电门,调节斜槽在竖直平面内,调节斜槽末端水平,顺序为④①②③。故 C 正确。

(2)测量小球直径的正确操作需要确保测量工具与小球接触良好,并且小球的位置不会导致测量误差。在题图的情形中,题图乙的测量方式更准确,适合测量钢球直径;而题图丙的测量方式更适合测量内径、槽宽等。故图乙操作正确。

(3)根据  $\Delta E_p = mgh$ ,可知下降高度为  $8.0 \times 10^{-2} \text{ m}$  时减少的重力势能为下降高度为  $4.0 \times 10^{-2} \text{ m}$  的二倍,代入数据可得  $\Delta E_p \approx 15.7 \times 10^{-3} \text{ J}$ 。

(4)根据动能定理可得  $mgH - W_{\text{测}} = 0$ ,可得  $W_{\text{测}} = mgH$ 。

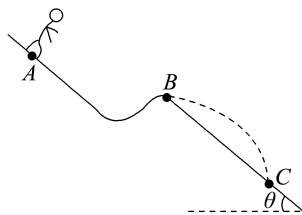
(5)不同意。小球减小的重力势能有一部分转化为小球的转动动能, $\Delta E$  与  $W_f$  相差很大的原因是没有计入小球的转动动能。

**答案:**(1)C (2)乙 (3)15.7 (4) $mgH$

(5)不同意 小球减小的重力势能有一部分转化为小球的转动动能, $\Delta E$  与  $W_f$  相差很大的原因是没有计入小球的转动动能

13.(10分)如图所示,质量  $m = 60 \text{ kg}$  的高山滑雪运动员,从 A 点由静止开始沿滑雪道滑下,从 B 点水平飞出后又落在与水平面成  $\theta = 37^\circ$  角的斜坡上 C 点。已知 A、B 两点间的高度差为  $h = 25 \text{ m}$ ,B、C 两点间的距离为  $s = 75 \text{ m}$ ,不计空气阻力,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , $\sin 37^\circ = 0.6$ , $\cos 37^\circ = 0.8$ 。求:

- (1)运动员从 B 点水平飞出时的速度大小;
- (2)运动员从 A 点到 B 点的过程中,克服摩擦力做的功。



**解析:**(1)设该运动员由 B 点到 C 点做平抛运动的时间为  $t$ ,运用平抛运动的规律得  
竖直方向

$$h_{BC} = s \sin 37^\circ = \frac{1}{2} g t^2$$

$$\text{水平方向 } s \cos 37^\circ = v_B t$$

代入数据,联立两式得

$$v_B = 20 \text{ m/s}.$$

(2)该运动员从 A 点到 B 点的过程,由动能定理有

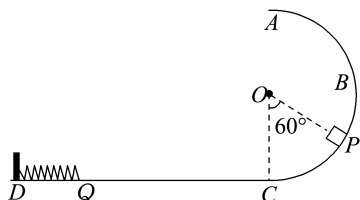
$$mgh + W_f = \frac{1}{2} m v_B^2 - 0$$

代入数据,解得  $W_f = -3\,000 \text{ J}$ ，“—”表明运动员从 A 点到 B 点的过程中克服摩擦力做功。

**答案:**(1)20 m/s (2)3 000 J

14.(10分)如图所示,半径为  $R$  的光滑半圆形轨道 ABC 在竖直平面内,与水平轨道 CD 相切于 C 点,D 端有一被锁定的轻质压缩弹簧,弹簧左端连接在固定的挡板上,弹簧右端 Q 到 C 点的距离为  $2R$ 。质量为  $m$  的滑块(可视为质点)从轨道上的 P 点由静止滑下,刚好能运动到 Q 点,并能触发弹簧解除锁定,然后滑块被弹回,且刚好能通过圆轨道的最高点 A。已知  $\angle POC = 60^\circ$ ,求:

- (1)滑块第一次滑至圆形轨道最低点 C 时对轨道的压力;
- (2)滑块与水平轨道间的动摩擦因数  $\mu$ ;
- (3)弹簧被锁定时具有的弹性势能。



解析:(1)设滑块第一次滑至C点时的速度为 $v_C$ ,滑至半圆形轨道C点时轨道对滑块的支持力为 $N$ ,由P点到C点的过程,有

$$mgR(1 - \cos 60^\circ) = \frac{1}{2}mv_C^2$$

在C点有  $N - mg = m\frac{v_C^2}{R}$

解得  $N = 2mg$

由牛顿第三定律得,滑块对半圆形轨道C点的压力大小  $N' = 2mg$ ,方向竖直向下。

(2)对滑块由P点经C点到Q点的过程,有

$$mgR(1 - \cos 60^\circ) - \mu mg \times 2R = 0$$

解得  $\mu = 0.25$ 。

(3)因小球刚好通过A点,根据牛顿第二定律得

$$mg = m\frac{v_A^2}{R}$$

由Q点经C点到A点的过程,由能量守恒定律得

$$E_p = \frac{1}{2}mv_A^2 + mg \times 2R + \mu mg \times 2R$$

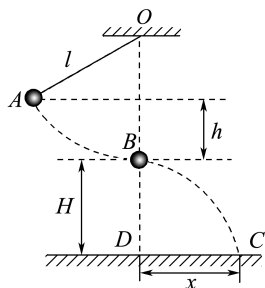
弹性势能  $E_p = 3mgR$ 。

答案:(1)  $2mg$ ,方向竖直向下 (2) 0.25

(3)  $3mgR$

- 15.(12分)如图所示,一不可伸长的轻绳上端悬挂于O点,下端系一质量  $m = 1.0 \text{ kg}$  的小球(可视为质点)。现将小球拉到A点(保持绳绷直)由静止释放,当它经过B点时绳恰好被拉断,小球平抛后落在水平地面上的C点。地面上的D点与OB在同一竖直线上。已知绳长  $l = 1.0 \text{ m}$ ,B点离地高度  $H =$

$1.0 \text{ m}$ ,A、B两点的高度差  $h = 0.5 \text{ m}$ ,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,不计空气阻力。求:



- (1)地面上D、C两点间的距离 $x$ ;  
(2)轻绳所受的最大拉力的大小。

解析:(1)设小球在B点的速度为 $v$ ,对小球从A点到B点,由动能定理得  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$

绳子断开后,小球做平抛运动,设运动时间为 $t$ ,竖直方向有  $H = \frac{1}{2}gt^2$

水平方向有  $x = vt$

解得  $x = \sqrt{4Hh} = \sqrt{4 \times 1.0 \times 0.5} \text{ m} = \sqrt{2} \text{ m}$ 。

(2)在B点轻绳所受拉力最大,设绳子对小球的拉力为 $F$ ,由牛顿第二定律和向心力公式得

$$F - mg = \frac{mv^2}{l}$$

解得  $F = 20 \text{ N}$

根据牛顿第三定律,轻绳所受的最大拉力  $F' = F = 20 \text{ N}$ 。

答案:(1)  $\sqrt{2} \text{ m}$  (2)  $20 \text{ N}$

## 综合质量评估(二)

(时间:75分钟 分值:100分)

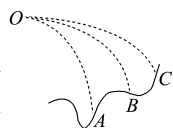
一、单项选择题:本题共7小题,每小题4分,共28分。每小题只有一项是符合题目要求的。

- 1.(2025·湖北卷)甲、乙两行星绕某恒星做圆周运动,甲的轨道半径比乙的小。忽略两行星之间的万有引力,作用,下列说法正确的是 ( )
- A. 甲运动的周期比乙的小  
B. 甲运动的线速度比乙的小  
C. 甲运动的角速度比乙的小  
D. 甲运动的向心加速度比乙的小

A 解析:根据卫星做圆周运动的向心力等于万有引力,可知  $G\frac{m_0m}{r^2} = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2r = m\frac{4\pi^2}{T^2}r = ma$ ,

可得  $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_0}}$ ,  $v = \sqrt{\frac{Gm_0}{r}}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{Gm_0}{r^3}}$ ,  $a = \frac{Gm_0}{r^2}$ ,因  $r_{\text{甲}} < r_{\text{乙}}$ ,可知卫星甲、乙运动的周期:  $T_{\text{甲}} < T_{\text{乙}}$ ,线速度:  $v_{\text{甲}} > v_{\text{乙}}$ ,角速度:  $\omega_{\text{甲}} > \omega_{\text{乙}}$ ,向心加速度:  $a_{\text{甲}} > a_{\text{乙}}$ ,故A正确。

- 2.在同一点O抛出的三个物体做平抛运动的轨迹如图所示,则三个物体做平抛运动的初速度  $v_A$ 、 $v_B$ 、 $v_C$  的关系和三个物体做平抛运动的时间  $t_A$ 、 $t_B$ 、 $t_C$  的关系分别是 ( )



- A.  $v_A > v_B > v_C$ ,  $t_A > t_B > t_C$   
B.  $v_A = v_B = v_C$ ,  $t_A = t_B = t_C$

C.  $v_A < v_B < v_C, t_A > t_B > t_C$

D.  $v_A > v_B > v_C, t_A < t_B < t_C$

**C 解析:**由平抛运动规律可知,小球下落时间只由下落高度决定,则  $t_A > t_B > t_C$ ;又根据水平位移  $x = v_0 t$  可知  $v_C > v_B > v_A$ ,故 C 正确。

3.假设足球的质量为 0.5 kg,某运动员踢球瞬间对球的平均作用力为 100 N,使球由静止开始以 20 m/s 的速度飞出,球在水平方向运动了 20 m 后入网,则该运动员对球所做的功为 ( )

- A. 25 J                  B. 50 J  
C. 100 J                D. 2 000 J

**C 解析:**根据动能定理可知,运动员踢球的瞬间对球所做的功  $W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0.5 \times 20^2 \text{ J} = 100 \text{ J}$ ,故 C 正确,A、B、D 错误。

4.发射通信卫星常用的方法是:先用火箭将卫星送入近地圆形轨道运行,然后再适时启动卫星上的小型喷气发动机,经过过渡轨道将其送入与地球自转同步的圆形运行轨道。比较卫星在两个圆形轨道上的运行状态(忽略喷气前后质量变化),在同步轨道上卫星的 ( )

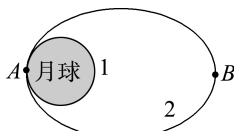
- A. 机械能大,动能小  
B. 机械能小,动能大  
C. 机械能大,动能也大  
D. 机械能小,动能也小

**A 解析:**适时启动卫星上的小型喷气发动机使卫星进入较高的同步轨道运行,可知卫星做加速运动,机械能增大,所以同步轨道上卫星的机械能增大;根据  $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$  得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,可知同步轨道上卫星的线速度小,所以动能也小,故 B、C、D 错误,A 正确。

5.(2025·北京卷)2024年6月,嫦娥六号探测器首次实现月球背面采样返回。如图所示,若探测器在圆形轨道 1 上绕月球飞行,在 A 点变轨后进入椭圆轨道 2, B 为远月点。下列说法正确的是 ( )

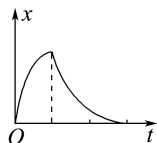
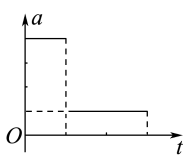
- A. 嫦娥六号探测器在轨道 2 上从 A 点向 B 点运动过程中,动能逐渐减小  
B. 嫦娥六号探测器在轨道 2 上从 A 点向 B 点运动过程中,加速度逐渐变大  
C. 嫦娥六号探测器在轨道 2 上的机械能与在轨道 1 上的相等  
D. 利用引力常量和嫦娥六号探测器在轨道 1 上运行的周期,可求出月球的质量

**A 解析:**在轨道 2 上从 A 点向 B 点运动过程中,探测器远离月球,月球对探测器的引力做负功,根

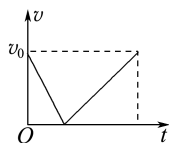


据动能定理,动能逐渐减小,A 正确;探测器受到万有引力,由  $G \frac{m_{月}m}{r^2} = ma$ ,解得  $a = G \frac{m_{月}}{r^2}$ ,探测器在轨道 2 上从 A 点向 B 点运动过程中, $r$  增大,加速度逐渐变小,B 错误;探测器在 A 点从轨道 1 变轨到轨道 2,需要加速,机械能增加,所以探测器在轨道 2 上的机械能大于在轨道 1 上的机械能,C 错误;探测器在轨道 1 上做圆周运动,根据万有引力提供向心力有  $G \frac{m_{月}m}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ ,解得  $m_{月} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ ,除了引力常量  $G$  和探测器在轨道 1 上运行的周期  $T$ ,还需要知道轨道 1 的半径  $r$ ,才能求出月球的质量,D 错误。

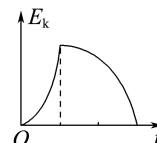
6.一滑块以一定的初速度从一固定斜面的底端向上滑行,到斜面上某一点后返回底端,斜面粗糙。滑块运动过程中加速度与时间的关系图像如图所示。下列四幅图像分别表示滑块运动过程中位移  $x$ 、速度  $v$ 、动能  $E_k$  和重力势能  $E_p$  (以斜面底端为参考平面)随时间变化的关系,其中正确的是 ( )



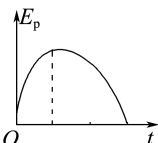
A



B



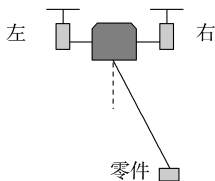
C



D

**D 解析:**滑块向上做匀减速直线运动,向下做匀加速直线运动,加速度始终向下,根据位移与时间的关系式可知,位移与时间成二次函数关系,所以  $x-t$  图像应是两段开口向下的抛物线,故 A 错误;由 A 项分析知,上滑和下滑过程速度方向相反,故 B 错误;根据  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$  知,动能先减小后增大,与时间为二次函数关系,故 C 错误;设斜面倾角为  $\theta$ ,  $E_p = mgh = mgx \sin \theta$ ,故图像与  $x-t$  图像类似,为两段开口向下的抛物线,故 D 正确。

7.(2025·河南卷)野外高空作业时,使用无人机给工人运送零件。如图所示,某次运送过程中的一段时间内,无人机向左水平飞行,零件用轻绳悬挂于无人机下方,并相对于无人机静止,轻绳与竖直方向成一



定角度。忽略零件所受空气阻力,则在该段时间内 ( )

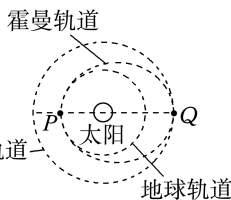
- A. 无人机做匀速运动
- B. 零件所受合外力为零
- C. 零件的惯性逐渐变大
- D. 零件的重力势能保持不变

**D 解析:**无人机沿水平方向飞行,零件相对于无人机静止,则零件也沿水平方向飞行做直线运动,故零件的高度不变,可知零件的重力势能保持不变,故 D 正确;对零件进行受力分析,其受重力和绳子的拉力,由于零件沿水平方向做直线运动,可知合外力沿水平方向,提供水平方向的加速度,因此零件水平向左做匀加速直线运动,故 A、B 错误;惯性的大小只与质量有关,零件的质量不变,故零件的惯性不变,C 错误。

**二、多项选择题:**本题共 3 小题,每小题 6 分,共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分,选对但不全的得 3 分,有选错的得 0 分。

8. 如图所示,利用霍曼转移轨道可以将航天器从地球发送到火星。若地球和火星绕太阳公转的轨道都是圆形,则霍曼轨道就是一个近日点和远日点都与这两个行星轨道相切的椭圆轨道。当航天器到达地球轨道的 P 点时,瞬时点火后航天器进入霍曼轨道,当航天器运动到火星轨道的 Q 点时,再次瞬时点火后航天器进入火星轨道。已知火星绕太阳公转的轨道半径是地球绕太阳公转轨道半径的  $k$  倍。下列说法正确的是 ( )

- A. 航天器在霍曼轨道上经过 Q 点时,点火减速可进入火星轨道
- B. 航天器在地球轨道上的加速度大于在火星轨道上的加速度
- C. 航天器在地球轨道上运行的线速度小于在火星轨道上运行的线速度
- D. 若航天器在霍曼轨道上运行一周,其时间为  $\frac{\sqrt{2}}{4}(k+1)^{\frac{3}{2}}$  年



**BD 解析:**当航天器运动到 Q 点时,由霍曼轨道进入火星轨道,即由低轨道进入高轨道则需要做离心运动,即在 Q 点点火加速,A 错误;根据  $G \frac{m_{\text{太}} m}{r^2} = ma$ ,解得  $a = \frac{Gm_{\text{太}}}{r^2}$ ,因为地球轨道的半径小于火星轨道的半径,所以航天器在地球轨道上的加速度大于在火星轨道上的加速度,B 正确;根据  $G \frac{m_{\text{太}} m}{r^2} =$

$m \frac{v^2}{r}$ ,解得  $v = \sqrt{\frac{Gm_{\text{太}}}{r}}$ ,因为地球轨道的半径小于火星轨道的半径,则航天器在地球轨道上运行的线速度大于在火星轨道上运行的线速度,C 错误;根据  $\frac{r_{\text{地}}^3}{r_{\text{霍}}^3} = \frac{T_{\text{地}}^2}{T_{\text{霍}}^2}$ ,又  $r_{\text{霍}} = \frac{r_{\text{地}} + kr_{\text{地}}}{2}$ , $T_{\text{地}} = 1$  年,得  $T_{\text{霍}} = \frac{\sqrt{2}}{4}(k+1)^{\frac{3}{2}}$  年,D 正确。

9. 如图所示是一种工具——石磨,下面磨盘固定,上面磨盘可在推杆带动下绕过中心的竖直转轴在水平面内转动。若上面磨盘直径为  $D$ ,质量为  $m$  且均匀分布,磨盘间动摩擦因数为  $\mu$ ,推杆在外力作用下以角速度  $\omega$  匀速转动,磨盘转动一周,外力克服磨盘间摩擦力做的功为  $W$ ,则 ( )

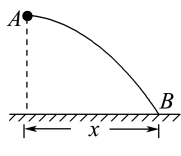
- A. 磨盘边缘的线速度大小为  $\frac{\omega D}{2}$
- B. 磨盘边缘的线速度大小为  $\omega D$



- C. 摩擦力的等效作用点到转轴距离为  $\frac{W}{\pi \mu mg}$
- D. 摩擦力的等效作用点到转轴距离为  $\frac{W}{2\pi \mu mg}$

**AD 解析:**根据线速度  $v = \omega r$ ,得  $v = \frac{\omega D}{2}$ ,故 A 正确,B 错误;根据功的定义  $W = fs = \mu mgs$ ,对应圆的周长  $s = 2\pi r$ ,解得  $r = \frac{W}{2\pi \mu mg}$ ,故 C 错误,D 正确。

10. 如图所示,置于竖直平面内的光滑杆 AB 是按初速度为  $v_0$ 、水平射程为  $x$  的平抛运动轨迹制成的,A 端为抛出点,B 端为落地点。现将一小球套于其上,由静止开始从轨道 A 端滑下,重力加速度为  $g$ ,不计空气阻力,则下列说法正确的是 ( )



- A. A 端距离地面的高度为  $\frac{gx^2}{2v_0^2}$
- B. 小球运动至 B 端时,其水平方向的速度大小为  $v_0$
- C. 小球从 A 端运动至 B 端的时间为  $\frac{x}{v_0}$
- D. 小球运动至 B 端的速率为  $\frac{gx}{v_0}$

**AD 解析:**小球若做平抛运动,运动的时间  $t = \frac{x}{v_0}$ ,则 A 端距离地面的高度  $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{gx^2}{2v_0^2}$ ,故 A 正确;对小球分析,根据动能定理得  $mgh = \frac{1}{2}mv_B^2$ ,解

得小球运动到 B 端时的速度  $v_B = \sqrt{2gh} = \frac{gx}{v_0}$ , 按平

抛运动规律分析 B 点的速度方向与水平方向夹角的

正切值  $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gx}{v_0^2}$ , 可知小球运动至 B 端时

沿水平方向分速度  $v_x = v_B \cos \alpha = \frac{gxv_0}{\sqrt{v_0^4 + g^2x^2}}$ , 故 B

错误, D 正确; 小球从 A 到 B 做的运动不是平抛运

动, 则运动的时间  $t' \neq \frac{x}{v_0}$ , 故 C 错误。

三、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。其中第 13~15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤; 有数值计算时, 答案中必须明确写出数值和单位。

11. (10 分) 用频闪照相记录平抛小球在不同时刻的位置, 探究平抛运动的特点。

(1) 关于该实验, 下列做法正确的是 \_\_\_\_\_ (填选项前的字母)。

- A. 选择体积小、质量大的小球
- B. 借助重垂线确定竖直方向
- C. 先抛出小球, 再打开频闪仪
- D. 水平抛出小球

(2) 图 1 所示的实验中, A 球沿水平方向抛出, 同时 B 球自由落下, 借助频闪仪拍摄上述运动过程。图 2 为某次实验的频闪照片, 在误差允许范围内, 根据任意时刻 A、B 两球的竖直高度相同, 可判断 A 球竖直方向做 \_\_\_\_\_ 运动; 根据 \_\_\_\_\_, 可判断 A 球水平方向做匀速直线运动。

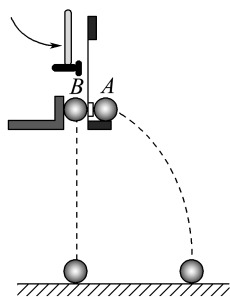


图1

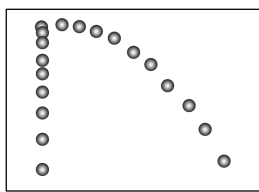


图2

(3) 某同学使小球从高度为 0.8 m 的桌面水平飞出, 忽略空气阻力。用频闪照相拍摄小球的平抛运动 (每秒频闪 25 次), 最多可以得到小球在空中运动的 \_\_\_\_\_ 个位置。

(4) 某同学实验时忘了标记重垂线方向。为解决此问题。他在频闪照片中, 以某位置为坐标原点, 沿任意两个相互垂直的方向作为  $x$  轴和  $y$  轴正方向, 建立直角坐标系  $Oxy$ , 并测量出另外两个位置的坐标值  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ , 如图 3 所示。根据平抛运动规律, 利用运动的合成与分解的方法, 可得重垂线方向与  $y$  轴间夹角的正切值为 \_\_\_\_\_。

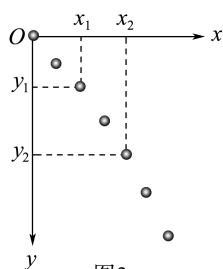


图3

解析: (1) 用频闪照相记录水平抛出的小球在不同时刻的位置, 选择体积小、质量大的小球可以减小空气阻力的影响, A、D 正确; 本实验需要借助重垂线确定竖直方向, B 正确; 实验过程应先打开频闪仪, 再水平抛出小球, C 错误。

(2) 根据任意时刻 A、B 两球的竖直高度相同, 可以判断出 A 球在竖直方向做自由落体运动; 根据 A 球相邻两位置水平距离相等, 可以判断 A 球在水平方向做匀速直线运动。

(3) 小球从高度为 0.8 m 的桌面水平抛出, 根据运动学公式  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , 解得  $t = 0.4$  s, 频闪仪每秒频

闪 25 次, 频闪周期  $T = \frac{1}{25}$  s = 0.04 s, 故最多可以

得到小球在空中运动位置个数为  $\frac{t}{T} = 10$  (个)。

(4) 分别计算  $x$  轴和  $y$  轴方向的加速度, 有  $|(x_2 - x_1) - x_1| = g_x T^2$ ,  $(y_2 - y_1) - y_1 = g_y T^2$ , 设重力

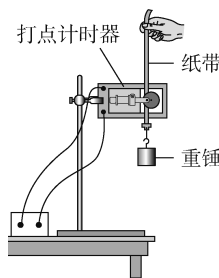
加速度与  $y$  轴之间的夹角为  $\theta$ , 则有  $\tan \theta = \frac{g_x}{g_y}$

$= \frac{|x_2 - 2x_1|}{y_2 - 2y_1}$ 。  
答案: (1) ABD (2) 自由落体运动 A 球相邻两位置水平距离相等 (3) 10 (4)  $\frac{|x_2 - 2x_1|}{y_2 - 2y_1}$

12. (10 分) (2025 · 河南卷) 某实验小组利用图甲所示装置验证机械能守恒定律。可选用的器材有: 交流电源 (频率为 50 Hz)、铁架台、电子天平、重锤、打点计时器、纸带、刻度尺等。

(1) 下列所给实验步骤中, 有 4 个是完成实验必需且正确的, 把它们选择出来并按实验顺序排列: \_\_\_\_\_ (填步骤前面的序号)。

- ① 先接通电源, 打点计时器开始打点, 然后释放纸带
- ② 先释放纸带, 然后接通电源, 打点计时器开始打点
- ③ 用电子天平称量重锤的质量
- ④ 将纸带下端固定在重锤上, 穿过打点计时器的限位孔, 用手捏住纸带上端



甲

⑤在纸带上选取一段,用刻度尺测量该段内各点到起点的距离,记录并分析数据

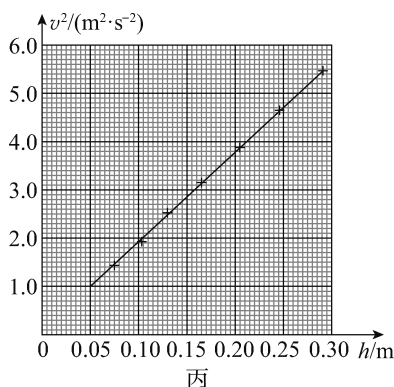
⑥关闭电源,取下纸带

(2)图乙所示是纸带上连续打出的五个点 A、B、C、D、E 到起点的距离,则打出 B 点时重锤下落的速度大小为 \_\_\_\_\_ m/s(保留三位有效数字)。

A	B	C	D	E	单位: cm
13.20	16.60	20.34	24.50	29.00	

乙

(3)纸带上各点与起点间的距离即为重锤下落高度  $h$ ,计算相应的重锤下落速度  $v$ ,并绘制图丙所示的  $v^2-h$  关系图像。理论上,若机械能守恒,图中直线应 \_\_\_\_\_ (选填“通过”或“不通过”)原点且斜率为 \_\_\_\_\_ (用重力加速度大小  $g$  表示)。由图丙得直线的斜率  $k =$  \_\_\_\_\_ (保留三位有效数字)。



丙

(4)定义单次测量的相对误差  $\eta = \left| \frac{E_p - E_k}{E_p} \right| \times 100\%$ ,其中  $E_p$  是重锤重力势能的减小量, $E_k$  是其动能增加量,则实验相对误差为  $\eta =$  \_\_\_\_\_  $\times 100\%$ (用字母  $k$  和  $g$  表示);若  $\eta < 6\%$ ,可认为在实验误差允许的范围内机械能守恒,当地重力加速度大小  $g$  取  $9.80 \text{ m/s}^2$ ,则  $\eta =$  \_\_\_\_\_  $\%$ (保留两位有效数字)。

**解析:**(1)实验步骤:将纸带下端固定在重锤上,穿过打点计时器的限位孔,用手捏住纸带上端,先接通电源,打点计时器开始打点,然后释放纸带,关闭电源,取下纸带,在纸带上选取一段,用刻度尺测量该段内各点到起点的距离,记录并分析数据,根据  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$  可知质量可以约掉,不需要用电子天平称量重锤的质量。故正确选择并排序为 ④①⑥⑤。

(2)根据题意可知纸带上相邻计数点的时间间隔  $T = \frac{1}{f} = 0.02 \text{ s}$ ,根据匀变速直线运动中间时刻瞬时速度等于该过程平均速度可得  $v_B = \frac{h_{AC}}{2T}$ ,代入数据可得  $v_B \approx 1.79 \text{ m/s}$ 。

(3)根据  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ,整理可得  $v^2 = 2g \cdot h$ ,可知理论上,若机械能守恒,图中直线应通过原点,且斜率  $k = 2g$ 。由题图丙得直线的斜率  $k = \frac{5.0 - 1.0}{0.265 - 0.05} \approx 18.6$ 。

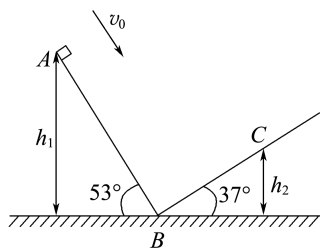
(4)根据题意有  $\eta = \frac{mgh - \frac{1}{2}mv^2}{mgh} \times 100\%$ ,由  $v^2 = kh$  可得  $\eta = \frac{2g - k}{2g} \times 100\%$ 。

当地重力加速度大小  $g$  取  $9.80 \text{ m/s}^2$ ,代入数据可得  $\eta \approx 5.1\%$ 。

**答案:**(1)④①⑥⑤ (2)1.79

(3)通过  $2g$   $18.6$  (4) $\frac{2g - k}{2g}$   $5.1$

13.(10分)若航天员登上某一星球并在该星球表面上做了如图所示的力学实验:让质量为  $m = 1.0 \text{ kg}$  的小滑块以  $v_0 = 1 \text{ m/s}$  的初速度从倾角为  $53^\circ$  的斜面 AB 的顶点 A 滑下,到达 B 点后恰好能沿倾角为  $37^\circ$  的斜面到达 C 点。不计滑过 B 点时的机械能损失,滑块与斜面间的动摩擦因数均为  $\mu = 0.5$ ,测得 A、C 两点离 B 点所在水平面的高度分别为  $h_1 = 1.2 \text{ m}$ ,  $h_2 = 0.5 \text{ m}$ 。取  $\sin 37^\circ = 0.6$ ,  $\cos 37^\circ = 0.8$ ,不计该星球的自转以及其他星球对它的作用。假设测得该星球的半径为  $R = 6 \times 10^6 \text{ m}$ ,航天员要在该星球上发射一台探测器绕其做匀速圆周运动,则探测器运行的最大速度为多大?



**解析:**小滑块从 A 到 C 的过程中,由动能定理得

$$mg(h_1 - h_2) - \mu mg \cos 53^\circ \cdot \frac{h_1}{\sin 53^\circ} - \mu mg \cos 37^\circ \cdot \frac{h_2}{\sin 37^\circ} = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

代入数值可解得  $g = 6 \text{ m/s}^2$ 。

设探测器质量为  $m'$ ,探测器绕该星球表面做匀速圆周运动时运行速度最大,由万有引力提供做圆周运动的向心力得

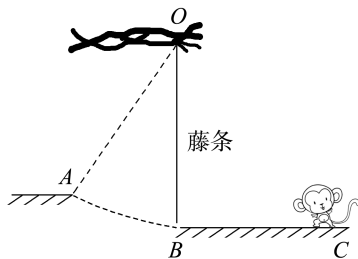
$$G \frac{Mm'}{R^2} = m' \frac{v^2}{R}$$

又由该星球表面重力和万有引力相等,有  $G \frac{Mm'}{R^2} = m'g$

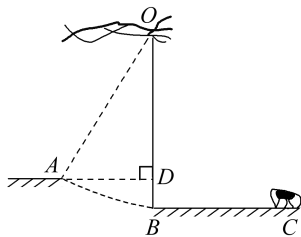
解得  $v = \sqrt{gR} = 6 \times 10^3 \text{ m/s}$ 。

答案:  $6 \times 10^3 \text{ m/s}$

14. (12分) 猴子通过树梢上的藤条越过河流的情境如图所示, 图中  $BC$  是一条平坦的小路, 长为  $4 \text{ m}$ ,  $B$  端到河岸  $A$  处的水平距离为  $3 \text{ m}$ ,  $A$ 、 $B$  两点恰好都在以  $O$  点为圆心的圆周上。树梢上  $O$  点有一最大承受力为  $86 \text{ N}$ 、长为  $5 \text{ m}$ 、质量不计的藤条自然下垂, 其末端刚好落在小路的左端  $B$  处。现有一只质量为  $5 \text{ kg}$  的猴子(可视为质点)从平坦的小路  $C$  处由静止开始匀加速奔跑, 到  $B$  处获得一定的水平速度并抓住藤条末端荡到河岸  $A$  处, 不计猴子抓住藤条时的能量损失及空气阻力, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。猴子从  $B$  处安全荡到  $A$  处时, 求:
- (1) 重力势能的改变量;
  - (2) 在平坦小路  $B$  处的最小速度;
  - (3) 在平坦小路上匀加速奔跑的加速度满足的条件。



解析: (1) 如图所示, 过  $A$  点作  $OB$  的垂线  $OD$ ,



在直角三角形  $OAD$  中

$$x_{OD} = \sqrt{x_{OA}^2 - x_{AD}^2} = \sqrt{5^2 - 3^2} \text{ m} = 4 \text{ m}$$

$$\Delta E_p = mg(x_{OB} - x_{OD}) = 50 \times (5 - 4) \text{ J} = 50 \text{ J}$$

即猴子的重力势能增加了  $50 \text{ J}$ 。

(2) 猴子从  $B$  到  $A$  的过程中, 动能全部转化为重力势能时, 速度最小, 则

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = \Delta E_p$$

$$\text{解得 } v_1 = 2\sqrt{5} \text{ m/s}。$$

(3) 猴子在平坦小路上加速, 末速度为  $v_1$  时, 加速度最小, 则

$$a_1 = \frac{v_1^2}{2x_{BC}} = \frac{(2\sqrt{5})^2}{2 \times 4} \text{ m/s}^2 = 2.5 \text{ m/s}^2$$

当猴子抓住藤条时, 若藤条刚好没有断开, 由牛顿第二定律和向心力公式得

$$T - mg = m \frac{v_2^2}{x_{OB}}$$

$$\text{解得 } v_2 = 6 \text{ m/s}$$

猴子在平坦小路上加速的末速度为  $v_2$  时, 加速度

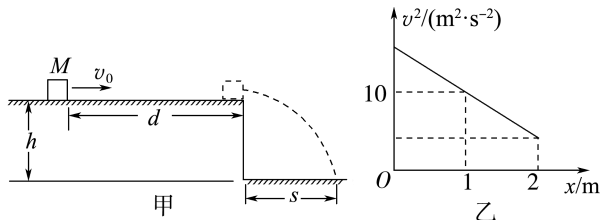
$$\text{最大, 则 } a_2 = \frac{v_2^2}{2x_{BC}} = \frac{6^2}{2 \times 4} \text{ m/s}^2 = 4.5 \text{ m/s}^2$$

所以, 猴子在平坦的小路上的加速度满足  $2.5 \text{ m/s}^2 \leq a \leq 4.5 \text{ m/s}^2$ 。

答案: (1) 增加了  $50 \text{ J}$  (2)  $2\sqrt{5} \text{ m/s}$

(3)  $2.5 \text{ m/s}^2 \leq a \leq 4.5 \text{ m/s}^2$

15. (12分) 如图甲所示, 在高  $h = 0.8 \text{ m}$  的平台上放置一质量为  $M = 1 \text{ kg}$  的小木块(视为质点), 小木块距平台右边缘  $d = 2 \text{ m}$ 。现给小木块一水平向右的初速度  $v_0$ , 其在平台上运动的  $v^2-x$  关系图像如图乙所示。小木块最终从平台边缘滑出落在平台右侧水平距离  $s = 0.8 \text{ m}$  的地面上。不计空气阻力, 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:
- (1) 小木块滑出平台时的速度  $v$  的大小;
  - (2) 小木块在平台上滑动的时间  $t$ ;
  - (3) 小木块在平台上滑动过程中产生的热量  $Q$ 。



解析: (1) 小木块从平台滑出后做平抛运动, 有

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

$$\text{得 } t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.8}{10}} \text{ s} = 0.4 \text{ s}$$

$$\text{木块滑出平台时的速度 } v = \frac{s}{t} = \frac{0.8}{0.4} \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}。$$

(2) 因为小木块在平台上滑动过程中做匀减速运动, 根据  $v^2 - v_1^2 = 2ax_2$

得小木块在平台上滑动的加速度

$$a = \frac{v^2 - v_1^2}{2x_2} = \frac{2^2 - 10}{2 \times 1} \text{ m/s}^2 = -3 \text{ m/s}^2$$

$$\text{又 } v^2 - v_0^2 = 2ad$$

$$\text{得 } v_0 = \sqrt{v^2 - 2ad} = \sqrt{2^2 - 2 \times (-3) \times 2} \text{ m/s} = 4 \text{ m/s}$$

根据速度与时间的关系  $v = v_0 + at$

$$\text{得 } t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{2 - 4}{-3} \text{ s} = \frac{2}{3} \text{ s}。$$

(3) 根据牛顿第二定律得

$$f = Ma = 1 \times (-3) \text{ N} = -3 \text{ N}$$

$$\text{摩擦力做功 } W_f = fd = -3 \times 2 \text{ J} = -6 \text{ J}$$

故小木块在平台上滑动过程中产生的热量  $Q = 6 \text{ J}$ 。

答案: (1)  $2 \text{ m/s}$  (2)  $\frac{2}{3} \text{ s}$  (3)  $6 \text{ J}$