# 高中物理

# 假期知识点与典型例题总结

2023 © Kawasaki Kusako (力学三章共计 3\*6 题)

包含:运动学/相互作用/万有引力与天体运动

# 第一章 运动学

## 1. 运动学基础公式

匀变速直线运动:

速度时间公式:  $v_t = v_0 + at$ 

位移时间公式:  $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ ,  $x = v_t t - \frac{1}{2} a t^2$ 

速度位移公式:  $v_t^2 - v_0^2 = 2ax$ 

## 自由落体:

速度公式:  $vt = gt = \sqrt{2g\hbar}$ 

高度公式:  $\hbar = \frac{1}{2}gt^2$ 

时间公式:  $t = \frac{v_t}{a} = \sqrt{\frac{2\hbar}{a}}$ 

逐差法:  $\Delta x = aT^2$ 

方均根(中位速度): $v_{\frac{x}{2}} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}}$ 

## ● 逐差法

在连续相等的时间内的位移之差为恒 定值,即 $\Delta x = aT^2$ 。

由图像的物理意义可知:图线的斜率表示加速度,取若干个连续相等的时间为 T,每一个梯形的面积就是连续相等时间 T 内物体运动的位移,则图中阴影部分的小矩形的面积表示连续相等时间内的位移差,即

 $\Delta x = x_2 - x_1 = x_3 - x_2 = \dots = aT^2$ 

## 2. 运动学知识点

## a. 参考系

标准性: 用来做参考系的物体都是假定不动的, 被研究的物体是运动还是静止, 都是相对于参考系而言的。

任意性:参考系的选取具有任意性,但应以观察方便和运动的描述尽可能简单为原则。

统一性: 比较不同的运动时, 应该选择同一参考系。

差异性:同一运动选择不同的参考系,观察结果一般不同。例如,坐在行驶的车中的乘客,以地面为参考系,乘客是运动的,但如果以车为参考系,则乘客是静止的。

参考系的选择是任意的,但应以观察方便和使运动的描述尽可能 简单为原则,研究地面上物体的运动常选择地面为参考系。

一般题目未注明,参照系就是地面。

## **3**----

## 参考系

#### 参考系的选择

- 1. 事先假定参考系不动。
- 2. 选择不同的参考系,结果会有所不同。
- 3.参考系的选取可以是任意的。
- 4. 要在同一参考系中。

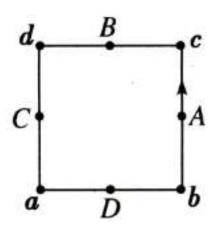
#### b. 路程和位移

位移是矢量,路程是标量。二者单位相同,但是位移是物体初末位置之间的关系,路程是物体运动轨迹的体现。

## c. 基本例题:

#### 例

一质点沿一边长为 2m 的正方形轨道运动,每秒钟匀速移动 1m,初始位置在 bc 边的中点 A,由 b向 c 运动,如图所示, A、B、C、D 分别是 bc、cd、da、ab 边的中点,则下列说法正确的是(AB)



- A. 第2s末的瞬时速度是1m/s
- B. 前 2s 内的平均速度为 √2/2 m/s
- C. 前 4s 内的平均速率为 0.5m/s
- D. 前 2s 内的平均速度为 2m/s

**解析:**第 2s 末在 B 点, 瞬时速度是 1m/s, 故 A 正确; 前 2s 内, 物体从 A 经过 c 到 B, 位 移为 √2m, 故平均速度为: √2/2 m/s; 前 4s 内, 物体运动到 C 点, 路程为 4m, 故平均速率为: 0.25\*4m/s=1m/s

#### 例

儿童玩具实心弹力球从离地 1. 2m 高度处由静止下落,与地面发生一次非弹性碰撞后反弹至离地 1m 的最高处。假设弹力球每次与地面碰撞的碰后速率与碰前速率之比相同,不计空气阻力(重力加速度大小为 g=10m/s,结果可用根式)

- (1) 求弹力球与地面碰撞的碰后速率与碰前速率之比;
- (2) 若弹力球在离地 1.2m 高度处获得一竖直向下的初速度,使得弹力球与地面碰撞一次 后恰好反弹至离地 1.2m 的最大高度处,求该初速度大小;
- (3) 弹力球从 1.2m 高度处由静止下落,经若干次碰撞后停止运动,求弹力球在整个过程中运动的总路程。

#### 解析:

- (1) 设弹力球与地面碰前速率为 v1, 碰后速率为 v2, 对弹力球下落过程或上升过程,根据由动能定理  $\frac{1}{2}$  mv<sup>2</sup>=mgh<sub>可得</sub>  $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \sqrt{\frac{1}{1.2}} = \frac{\sqrt{30}}{6}$ :
  - (2) 设弹力球获得竖直向下的初速度为 v0, 碰前速率为 v3, 碰后速率为 v4,

由题意可知:  $V_4 = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2 \times 10 \times 1.2} \text{ m/s} = 2\sqrt{6} \text{ m/s}$ 

由 (1) 的结论可得:  $\frac{v_4}{v_3} = \frac{\sqrt{30}}{6}$ 

对下落过程有:  $v_3^2 - v_0^2 = 2gh_1$ 

联立解得:  $v_0 = \frac{2\sqrt{30}}{5}$  m/s

(3) 设第 n 次碰撞前的下落的高度为 hn, 第 n 次碰撞后的上升的高度与第 n+1 次碰撞前的下落的高度相

等均设为 hn+1,由(1)的结论可得:  $\frac{h_{n+1}}{h_n}=\frac{v_{n+1}^2}{v_n^2}=\frac{5}{6}$  . 即 $h_{n+1}=\frac{5}{6}h_n$ 

弹力球在整个过程中运动的总路程为:

 $s=h_1+2h_2+2h_3+.....+2h_n+2h_{n+1}=h_1+2[\frac{5}{6}+(\frac{5}{6})^2+.....+(\frac{5}{6})^{n-1}+(\frac{5}{6})^n]h_1=h_1+10[1-(\frac{5}{6})^n]h_1$  当 n 趋于无穷大时, $s=11h1=11\times1.2m=13.2m$ 。

知识点:定量思想;推理法;比例法;自由落体运动专题;动能定理的应用专题;应用数学处理物理问题的能力。

小球做自由落体运动或者竖直上抛运动,可由动能定理或者运动学公式求解;

- (2) 由(1)的结论求得碰前速率,再 由动能定理或者运动学公式求解;
- (3) 根据(1)的结论可得第 n 次碰撞 前的下落的高度与第 n 次碰撞后的上升的高

#### **→** 解题思路

本题考查了动能定理的应用和数理结合 处理问题的能力,小球做自由落体运动或 者竖直

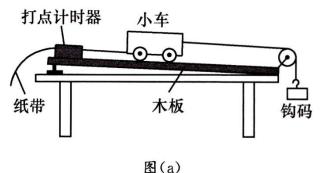
上抛运动, 亦可应用运动学公式解答。此题第三问要明确运动过程中第 n 次碰撞后的上升的高度

与第 n+1 次碰撞前的下落的高度相等。

度的关系,由运动过程推导出总路程的表达式,运用数学知识求解。

#### 例 2020 全国卷 Ⅲ

某同学利用图(a) 所示装置验证动能定理。调整木板的倾角平衡摩擦阻力后,挂上钩码,钩码下落,带动小车运动并打出纸带。某次实验得到的纸带及相关数据如图(b) 所示。

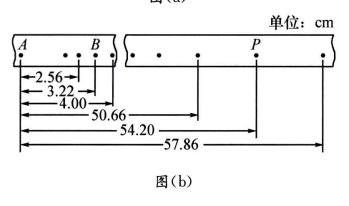


已知打出图(b)中相邻两点的时间间隔为 0.02s,从图(b)给出的数据中可以得到,打出 B点时小车的速度大小

小 vP=\_\_\_**1.80**\_\_\_\_m/s。(结果均保留 2 位小数)

vB= **0.36** m/s, 打出 P 点时小车的速度大

若要验证动能定理,除了需测量钩码的质量和 小车的质量外,还需要从图(b)给出的数据中求 得的物理量为



B、P 之间的距离\_\_\_\_。

#### 解析:

打下 B 点的时刻为打下与 B 点相邻左、右两点的中间时刻,则打下 B 点时小车的速度应为这两点间小车 的平均速度,即 v B =  $4.00 - 2.56\ 0.04 \times 10 - 2\ m\ /\ s = 0.36\ m\ /\ s$ ; 同理打下 P 点时小车的速度 v P =  $57.86 - 50.66\ 0.04 \times 10 - 2\ m\ /\ s = 1.80\ m\ /\ s$ 。在验证动能定理时,如果选取 B 到 P 的 过程,则由 m g x B P =  $1\ 2\ (M+m)\ v$  P  $2\ - 1\ 2\ (M+m)\ v$  B 2 可知,要验证动能定理还需要求得 B、P 两点间的 距离。

#### 例

一物体做匀变速直线运动,在连续相等的两个时间间隔内,通过的位移分别是 24m 和 64m,每一个时间间隔为 4s,求物体通过这两段位移的初速度和末速度及加速度。

#### 解析:

如图所示,
$$\frac{1}{a}$$
  $\frac{x_1}{B}$   $\frac{x_2}{C}$ 

初位置 A、末位置 C, 由位移公式得:

$$\begin{split} x_1 &= v_A t + \frac{1}{2} a t^2 \\ x_2 &= v_A \cdot 2 t + \frac{1}{2} a (2 t)^2 - \left( v_A t + \frac{1}{2} a t^2 \right) \\ v_C &= v_A + a \cdot 2 t \end{split}$$

将 x1=24m, x2=64m, t=4s 代入以上三式,

解得: a=2.5m/s2, vA=1m/s, vC=21m/s。

答: 物体通过这两段位移的初速度为 1m/s, 末速度为 21m/s, 加速度为 2.5m/s2。

#### 例

交管部门强行推出了"电子眼",机动车擅自闯红灯的大幅度减少.现有甲、乙两汽车正沿同一平直马路同

向匀速行驶,甲车在前,乙车在后,它们行驶的速度均为 10m/s. 当两车快要到一十字路口时,甲车司机

看到绿灯已转换成了黄灯,于是紧急刹车(反应时间忽略不计),乙车司机为了避免与甲车相

#### 撞也紧急刹

车,但乙车司机反应较慢(反应时间为 0.5s).已知甲车、乙车紧急刹车时产生的加速度大小 分别为 a1=4m/s2、a2=5m/s2. 求:

- (1) 若甲司机看到黄灯时车头距警戒线 15m. 他采取上述措施能否避免闯红灯?
- (2) 乙车刹车后经多长时间速度与甲车相等?
- (3) 为保证两车在紧急刹车过程中不相撞,甲、乙两车行驶过程中应保持多大距离?

#### 解析:

(1) 解: 甲车紧急刹车的加速度 a1=4m/s2

这段时间滑行距 =12.5m

因为 s<15m, 所以甲车司机能避免闯警戒线.

答: 若甲司机看到黄灯时车头距警戒线 15m. 他采取上述措施能避免闯红灯

(2) 设甲、乙两车行驶过程中至少应保持距 x0,在乙车刹车 t2 时间两车恰好相撞,则有:

 $v_0 - a_1(t_2+t) = v_0 - a_2t_2$ 乙车紧急刹车的加速度为 a2=5m/s2 代入解得 t2=2s

答: 乙车刹车后经 2s 时间速度与甲车相等

(3)

$$egin{aligned} ext{v=v}_0 - ext{a}_2 t_2 = 0 \ & x_1 = rac{v_0^2 - v^2}{2a_1} = 12.5m \ & x_2 = v_0 \Delta t + rac{v_0^2 - v^2}{2a_2} = 15m \end{aligned}$$

代入解得 x0=x2-x1=2.5m

甲、乙两车行驶过程中应保持距离≥2.5m

## → 解题思路

解决本题的关键利用牛顿第二定律求出 加速度, 再根据运动学公式进行求解.注

大者减速追速度小者, 判断能否撞上, 应 判断速度相等时能否撞上,不能根据两者

两者的位移去判断

答:为保证两车在紧急刹车过程中不相撞,甲、乙两车行驶过程中应保持≥2.5m的距离.

## 知识点: 直线运动规律专题。

判断甲车能否避免闯红灯,关键求出甲车刹车到停下来的位移与 15m 的大小关系:

(2)根据速度时间关系求得乙车刹车经多长时间与甲车速度相等; (3) 判断两车能否相撞,即判断两车在速度相等时有无撞上,因为速度相等前,乙车的速度 大于甲车

的速度,它们间距离在减小,速度相等后,乙车的速度小于甲车的速度,所以相撞只能在速度 相等之前撞.

## 第二章 相互作用

## 1. 知识点

重力:由于受到地球的吸引而使物体受到的力叫重力

## 特点:

地球上一切物体都受到重力的作用

重力是非接触力

重力是由于地球的吸引而产生的,受地球自转的影响,物体所受重力与地球对它的吸引力稍有不同

重力的施力物体是地球

## 重力的三要素:

重力的大小,重力的方向和重力的作用点

## 弹力:

形变是指物体在力的作用下,形状或体积发生改变,这种变化叫做形变

弹性指发生形变的物体具有恢复原状的性质, 叫做弹性 弹力产生的条件有两物体直接接触, 并且两物体间存在弹性形变

## 几种常见的弹力方向

- a. 绳, 指弹力方向沿绳, 且指向绳收缩方向
- **b.** 死杆. 不能自由转动的杆. 可以指向任意方向
- **c.** 活杆,可绕某点自由转动的青杆,必须沿杆方向,既能充当推力,又能充当拉力
- **d.** 轻弹簧 弹力指向弹簧恢复形变的方向,既能充当推力,又能充当拉力
  - e. 点和杆 弹力垂直于杆
- f. 点和平面 弹力过接触点 垂直于平面
- g. 点和曲面 弹力过接触点 垂直于曲面的切面
  - **h.** 面和面 弹力垂直于接触
  - i. 球和球 弹力沿两球球心连线方向

## 摩擦力:

- 1 . 摩擦力有无的判断方法
- (1) 瑕设法: 假设法有两种, 一种是假设接触面光滑, 不存在摩擦力, 看所研究物体是否改变原来的运动状态。另一种是假设摩擦力存在, 看所研究物体是否改变原来的运动状态。
- (2) 状态法:静摩擦力的大小与方向具有可变性。明确物体的运动状态,分析物体的受力情况,根据平衡方程或牛顿第二定律求解静摩擦力的大小和方向。

## **动** 胡克定律

胡克定律是指弹簧发生弹性形变时,弹力 f 的大小跟弹簧伸长或缩短的长度 x 成正比 F = kx

公式中的 k 称为弹簧的进度系数, 单位 是牛顿, 每米符号是 N/m

并且, 胡克定律仅适用于在弹性限度内 弹簧的拉伸或伸缩变化 (3)牛顿第三定律法: 此法的关键是抓住"力是成对出现的", 先确定受力较少的物体受到的静摩擦力的方向, 再根据"力的相互性"确定另一物体受到的静摩擦力的方向。

## 2 . 摩擦力的大小计算

分析计算摩擦力的大小和方向时, 应先分清是滑动摩擦力还是静摩擦力。

- (1)静摩擦力根据物体所受外力及所处的状态(平衡或变速),可分为两种情况:
- ① 物体处于平衡状态(静止或做匀速直线运动)时,利用力的平衡条件求出其大小。
- ② 物体有加速度时,若只有静摩擦力,则 f=ma ; 若除静摩擦力外,物体还受其他力,则先求合力 ( F 合= ma ) , 再求静摩擦力。
- (2)滑动摩擦力的大小用公式 $f = \mu F_N$ 来计算。其大小只取决于物体所受正压力和接触面间的动摩擦因数,与物体所处的运动状态、接触面积大小无关,当然其大小也**可根据物体的运动情况,利用平衡条件或牛顿第二定律求解。**

## 3 . 摩擦力的突变问题

## (1)静一静"突变"

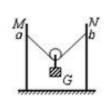
物体在摩擦力和其他力的作用下处于静止状态, 当作用在物体上的其他力的合力发生变化时, 如果物体仍然保持静止状态, 则物体受到的静摩擦力的大小和方向将发生突变。

## (2) 静一动"突变"

物体在摩擦力和其他力的作用下处于静止状态,当其他力变化时,如果物体不能保持静止状态,则物体受到的静摩擦力将"突变"成滑动摩擦力。

## (3) 动一动"突变"

某物体相对于另一物体滑动的过程中, 若突然相对运动方向变了, 则滑动摩擦力方向发生"突变"。



- A. 仅增大M、N两板间距离,再次平衡时,绳中拉力变大
- B. 仅增大M、N两板间距离,再次平衡时,绳中拉力保持不变
- C. 仅将b点位置向下移动一点,再次平衡时,绳中拉力变大
- D. 仅将b点位置向下移动一点,再次平衡时,绳中拉力变小

#### 解析:

对滑轮受力分析,根据平衡条件结合几何关系列式求解;悬点从b上移或下移,细线与杆的夹角不变;杆左右移动时,细线与杆的夹角改变。

本题关键根据几何关系,得到两种移动方式下,绳子与竖直方向的夹角的变化情况,然后根据共点力平衡条件列式求解。

AB.对滑轮受力分析,设轻绳与竖直方向夹角为 $\theta$ ,仅增大两杆间距离,再次平衡时,角度 $\theta$ 变大,根据平衡条件,有:

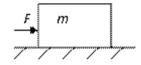
 $2T\cos\theta = mg$ ,解得: $T = \frac{mg}{2\cos\theta}$ ,故绳子拉力T变大,故A正确,B错误;

CD.仅将b点位置向下移动一点,细线与杆的夹角不变,根据平衡条件,有:  $2Tcos\theta = mg$ ,得绳子张力也不变,故 CD 错误;

故选 A。

**例题 2** 如图,用水平恒力F推放置在水平面上的物体m,物体保持静止,关于物体受力情况说法正确的是( B )

- A. 推力小于物体所受摩擦力
- B. 物体所受摩擦力的方向与推力的方向相反



- C. 物体所受摩擦力的大小可由 $f = \mu F N$ 直接计算
- D. 物体受到三个力的作用

#### 解析

木块在木板平面上静止,受到静摩擦力,可以根据平衡条件求出静摩擦力的大小.即可求解。

解决本题的关键知道当物体处于匀速直线运动或静止状态时,合力等于零,可以根据共点力平衡求出摩擦力的大小. 关于滑动摩擦力的大小有时可以根据摩擦力的公式 $f = \mu F_N$ 求解。

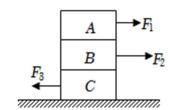
木块相对木板运动受到静摩擦力,当木块在恒定推力F的作用下处于静止状态时,所以它们之间存在静摩擦力,由平衡可知,静摩擦力大小等于F,

由于是静摩擦力,则其大小不能由 $f = \mu N$ 直接计算,此公式是求滑动摩擦力的大小. 物体共受到四个力: 重力、支持力、推力与静摩擦力. 静摩擦力的方向与相对运动趋势方向相反, 即与推力方向相反. 故 ACD 错误, B 正确

**例题三** 如图,质量均为2kg的三个物块A、B、C叠放在水平地面上,物块A受到大小为5N、方向水平向右的力 $F_1$ 的作用,物块B受到大小为10N、方向水平向右的力 $F_2$ 的作用,物块

C受到大小为8N、方向水平向左的力 $F_3$ 的作用,三者均处于静止状态,已知A、B间的动摩

擦因数为0.4,重力加速度g取 $10m/s^2$ ,则( ABD )



- A. 物体B对物体A的摩擦力大小为5N
- B. 物体C对物体B的摩擦力大小为15N
- C. 地面对物体C的摩擦力大小为8N
- D. 地面对物体C的摩擦力方向水平向左

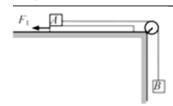
**解析** A、对A受力分析,A受到重力、支持力、水平方向的拉力 $F_1$ 的作用,A处于平衡状态,则存在B对A的摩擦力,与 $F_1$ 的作用大小相等(5N),方向相反,故 A 正确;

B、AB组成的整体竖直方向受到重力与支持力,水平方向受到水平向右的力 $F_1=5N$ 与力 $F_2=10N$ 的作用,因处于平衡状态,则C对B的摩擦力大小 $f_{CB}=F_2+F_1=5N+10N=15N$ ,方向向左,

CD、ABC组成的整体竖直方向受到重力与支持力,水平方向受到水平向右的力 $F_1 = 5N$ 、 $F_2 = 10N$ 的作用,与水平向左的力 $F_3 = 8N$ 的作用,因处于平衡状态,则地面对C的摩擦力大小:  $f_C = F_1 + F_2 - F_3 = 5N + 10N - 8N = 7N$ ,方向水平向。

#### 例题四

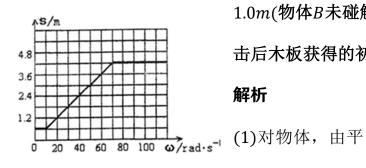
如图所示,一个木板放置在光滑的水平桌面上,A、B两个小物体通过不可伸长的轻绳相连,并且跨过轻滑轮,A物体放置在木板的最左端,滑轮与物体A间的细绳平行于桌面。已知木板的质量 $m_1=20.0kg$ ,物体A的质量 $m_2=4.0kg$ ,物体B的质量 $m_3=1.0kg$ ,物体A与木板间的动摩擦因数 $\mu=0.5$ ,木板长L=2m,木板与物体A之间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力,重力加速度g取 $10m/s^2$ 。为了使A、B两个物体以及木板均保持静止状态,需要对木板施加水平向左的力 $F_1$ ,加以维持.



(1)求这个力 $F_1$ 的大小;

(2)为了使物体A随着木板一起向左运动,并且不发生相对滑动,现把力  $F_1$ 替换为水平向左的力 $F_2$ ,求力 $F_2$ 的最大值;

(3)现在用一个水平向左的力瞬间击打木板,并同时撤去力  $F_1$ ,使得物体B上升高度 $h_B$  =



1.0m(物体B未碰触滑轮)时,物体A刚好经过木板的最右端。求打 击后木板获得的初速。

#### 解析

衡条件可知,绳子拉力 $T_1 = m_3 g$ 

对A和木板组成的整体,则有 $F_1 = T_1$ ,所以  $F_1 = m_3 g = 10 N_{\odot}$ 

(2)物体A随着木板一起向左运动时,三个 物体的加速度大小相等, 当A与木板间的静 摩擦力达到最大值时, $F_2$ 达到最大值.

对 AB 整 体 进 究 得 ,  $f - m_3 g = (m_2 +$  $m_3$ )a,

 $\nabla f = \mu m_2 g$ 

解得,  $a = 2m/s^2$ 

对木板,根据牛顿第二定律得 $F_2-f=$  $m_1a$ 

解得 $F_2 = 60N$ .

(3)用一个水平向左的力瞬间击打木板,并 同时撤去力 $F_1$ ,A向左做匀加速运动,木板

## **全**解题思路

本题考查运动学中滑块-木板模型题。

- (1) 先对物体B研究,得到绳子的拉力 大小, 再对A和木板组成的整体, 根据 平衡条件求出 $F_1$ 的大小;
- (2)物体A随着木板一起向左运动时, 三个物体的加速度大小相等, 当A与木 板间的静摩擦力达到最大值时, F2达 到最大值, 根据牛顿第二定律, 先对 AB整体进行研究, 求出加速度, 再对 木板进行研究,求出力 $F_2$ 的最大值; (3)用一个水平向左的力瞬间击打木
- 板, 并同时撤去力 $F_1$ , A向左做匀加速 运动、木板向左做匀减速运动、由于 木板与物体A之间的最大静摩擦力等于 滑动摩擦力, AB的加速度大小与(2)中 加速度大小相等, 由位移公式可求出B 上升高度 $h_B$ 所用的时间.根据牛顿第 二定律和运动学公式木板向左运动的

向左做匀减速运动,由于木板与物体A之间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力,AB的加速度

大小与(2)中加速度大小相等,即为 $a = 2m/s^2$ .

对
$$B$$
:  $h_B = \frac{1}{2}at^2$ 

解得, t = 1s

设木板减速运动过程中的加速度大小为а'

则有  $f = m_1 a'$ 

解得,  $a' = 1m/s^2$ 

根据题意,物体B上升 $h_B = 1.0m$ 的过程中,木板向左运动的位移

$$x = L + h_B = 3m$$

设击打木板后的瞬间,木板的速度大小为 $v_0$ ,

对木板: 由 $x = v_0 t - \frac{1}{2} a' t^2$ 

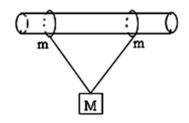
解得, $v_0 = 3.5 m/s$ .

答(1)这个力 $F_1$ 的大小是10N;

- (2)为了使物体A随着木板一起向左运动,并且不发生相对滑动,力 $F_2$ 的最大值是60N;
- (3)打击木板后木板获得的瞬时速度大小为3.5m/s

## 例题五

如图所示,两个质量均为 $m = \sqrt{3}kg$ 的小环套在一水平放置的粗糙长杆上,两根长度均为l的轻绳一端系在小环上,另一端系在质量为 $M = 2\sqrt{3}kg$ 的木块上,两个小环之间的距离也为l,小环恰保持静止.试求:



- (1)每根细线上的张力
- (2)小环与杆之间的动摩擦因数 $\mu$ 至少为多大? (滑动摩擦力等于最大静摩擦力且 $g = 10m/s^2$ )

#### 解析

(1)设每根绳的拉力为对 $F_T$ ,对M由平衡条件得:

$$2F_T cos 30^{\circ} - Mg = 0$$

解得: 
$$F_T = \frac{Mg}{2\cos^3 o} = 20N$$

(2)小环刚好不滑动,此时小环受到的静摩擦力达到最大值等于滑动摩擦力

对一个小环则有: 
$$f_{\text{#}} = F_T \cos 60^o = 10N$$

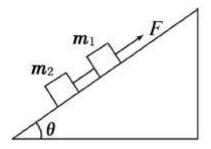
小环处于静止状态可得:

$$f_{\#} \leq f_{max} = \mu N = \mu (mg + F_T \sin 60^o)$$

解得
$$\mu \ge \frac{\sqrt{3}}{6}$$
即最小值为 $\frac{\sqrt{3}}{6}$ 

#### 例题六

如图所示,有两个相同材料物体 $m_1$ 、 $m_2$ 组成的连接体在斜面上向上运动,当作用力大小为F时, $m_2$ 所受绳的拉力大小为 $_{--} T = \frac{m_2 F}{m_1 + m_2} _{---} .$  (已知动摩擦因素为 $\mu$ ,斜面倾角为 $\theta$ )



#### 解析

对整体分析,根据牛顿第二定律得:

$$a = \frac{F - (m_1 + m_2)gsin\theta - \mu(m_1 + m_2)gcos\theta}{m_1 + m_2}$$

隔离 $m_2$ 分析,设物体间的拉力为T,由牛顿第二定律得:

$$T - m_2 g sin\theta - \mu m_2 g cos\theta = m_2 a,$$

## 第三章 万有引力和航天

## 1. 开普勒定律

开普勒第一定律(轨道定律):每一行星沿一个椭圆轨道环绕太阳, 而太阳则处在椭圆的一个焦点中。

开普勒第二定律(面积定律): 从太阳到行星所联接的直线在相等时间内扫过同等的面积。

开普勒第三定律(周期定律):各个行星绕太阳公转周期的平方和它们的椭圆轨道的半长轴的立方成正比。 $\frac{R^3}{T^2} = k$ 

## 2. 万有引力定律

任何两个质点都存在通过其连心线方向上的相互吸引的力。该引力大小与它们质量的乘积成正比与它们距离的平方成反比,与两物体的化学组成和其间介质种类无关

$$F_{$$
万有引力} =  $G \frac{m_1 m_2}{r^2}$  (G=6.67\*10^-11 N·m²/kg²)

## 3. 机械能守恒统一理论

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

高轨低速大周期

## 4.宇宙速度

第一宇宙速度: (环绕速度) 7.9km/h

第二宇宙速度: (脱离速度) 11.2km/h

第三宇宙速度: (逃逸速度) 16.7km/h

#### 例题一

设北斗导航系统中的地球同步卫星在距地面高度为h的同步轨道做圆周运动。已知地球的半径为R,地球表面的重力加速度为g,万有引力常量为G。下列说法正确的是()

- A. 同步卫星运动的周期为 $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$
- B. 同步轨道处的重力加速度为 $(\frac{R}{R+h})^2 g$
- C. 同步卫星运行的线速度为 $\sqrt{g(R+h)}$
- D. 地球的平均密度为 $\frac{3g}{4\pi G^2}$

#### 解析

ABC.地球同步卫星在距地面高度为h的同步轨道做圆周运动,万有引力提供向心力,

有: 
$$\frac{GMm}{(R+h)^2} = ma = m \frac{v^2}{(R+h)} = m \frac{4\pi^2}{T^2} (R+h)$$

在地球表面,重力等于万有引力,有:  $mg = \frac{GM}{R^2}$ 

联立解得: 
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+h)^3}{gR^2}}$$
,  $a = \frac{gR^2}{(R+h)^2}$ ,  $v = \sqrt{\frac{gR^2}{R+h}}$ , 故 AC 错误,B 正确;

D.根据在地球表面,重力等于万有引力,有:  $mg = \frac{GM}{R^2}$ ,解得:  $M = \frac{gR^2}{G}$ ,故地球的密度为:  $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3g}{4\pi GR}$ ,故 D 错误。

故选 B。

#### 例题二

一个质量为m的物体以a=2 g的加速度竖直向下运动,则在此物体下降h高度的过程中,

## 物体的(A)

- A. 重力势能减少了mgh B. 动能增加了mgh
- C. 机械能保持不变 D. 机械能增加了2 mgh

#### 例题三

我国发射的"嫦娥三号"探月卫星在环月圆轨道绕行n圈所用时间为t,如图所示,已知月球半径为R,月球表面处重力加速度为 $g_{\rm H}$ ,引力常量为G。试求:



- (1)月球的质量M;
- (2)月球的第一宇宙速度 $v_1$ ;
- (3)"嫦娥三号"卫星离月球表面高度h.

## **解题思路**

本题考查了万有引力定律的应用;本 题要掌握万有引力提供向心力和重力 等于万有引力这两个重要的关系,要 能够根据题意选择恰当的向心力的表 达式。

- (1)在月球表面的物体受到的重力等于  $万有引力 \frac{GMm}{R^2} = mg$ ,化简可得月球的 质量;
- (2)根据万有引力提供向心力 $\frac{GMm}{R^2}=$  $m\frac{v^2}{R}$ ,可计算出近月卫星的速度,即月球的第一宇宙速度;
- 月球的第一宇宙速度;
  (3)根据万有引力提供向心力 $\frac{GMm}{r^2}$  =  $m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ ,结合周期和轨道半径的关系,可计算出卫星的高度

#### 解析

解: (1)月球表面处引力等于重力,有:  $\frac{GMm}{R^2} = mg_{\text{月}}$ ;

得: 
$$M = \frac{g_{\mathbb{H}}R^2}{c}$$
;

即:月球的质量为 $\frac{g}{R^2}$ ;

(2)第一宇宙速度为近月卫星运行速度,由万有引力提供向心力,得:  $\frac{GMm}{p^2} = m \frac{v^2}{p}$ ;

所以月球第一宇宙速度为: 
$$v = \sqrt{g_{\parallel}R}$$
;

即:月球的第一宇宙速度为
$$\sqrt{g_{\parallel}R}$$
;

(3)卫星做圆周运动,由万有引力提供向心力得:

$$\frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r;$$

卫星周期为:  $T = \frac{t}{n}$ ;

轨道半径为: r = R + h;

解得: 
$$h = \sqrt[3]{\frac{g}{H^2t^2}} - R$$
;

即:"嫦娥三号"卫星离月球表面高度为
$$\sqrt[3]{\frac{g_{R^2t^2}}{4n^2\pi^2}} - R^{\circ}$$

#### 例题四

宇航员在某星球表面以初速度 $v_0$ 竖直向上抛出一个物体,物体上升的最大高度为h,已知该星球的半径为R,万有引力常量为G,物体只受该星球引力作用。求:

- (1)该星球的密度 $\rho$ ;
- (2)该星球的第一宇宙速度 $v_1$ 。

#### 解析

解: (1)物体做竖直上抛运动,设该星球表面的重力加速度为g,由运动学公式有:  $v_0^2=2gh$  对在星球表面附近运动的卫星有:  $mg=G\frac{Mm}{R^2}$ 

而星球的质量为:  $M = \rho \frac{4}{3} \pi R^3$ 

联立解得:  $\rho = \frac{3v_0^2}{8\pi GRh}$ 

(2)卫星贴近该星球表面运行时,由重力提供万有引力,得:  $mg = m\frac{v_1^2}{R}$ 

则星球的第一宇宙速度为:  $v = v_0 \sqrt{\frac{R}{2h}}$ 

答: (1)该星球的密度为 $\frac{3v_0^2}{8\pi GRh}$ ;

(2)该星球的第一宇宙速度 $v_0\sqrt{\frac{R}{2h}}$ 。

#### 例题五

如图所示,是某兴趣小组通过弹射器研究弹性势能的实验装置。半径为R的光滑半圆管道 (管道内径远小于R)竖直固定于水平面上,管道最低点 B恰与粗糙水平面相切,弹射器固定于水平面上。某次实验过程中,一个可看作质点的质量为m的小物块,将弹簧压缩至A处,已知A、B相距为L.弹射器将小物块由静止开始弹出,小物块沿圆管道恰好到达最高点 C.已知小物块与水平面间的动摩擦因数为 $\mu$ ,重力加速度为g,求:

- (1)小物块到达B点时的速度 $v_B$ 及小物块在管道最低点B处受到的支持力:
  - R

- (2)小物块在AB段克服摩擦力所做的功;
- (3)弹射器释放的弹性势能 $E_p$ 。

#### 解析



#### 解题思路

- (1)抓住小物块恰好到达C点,则小物块在C点的速度为0,根据机械能守恒定律求出B点的速度,结合牛顿第二定律求出物块在B点所受的支持力。
- (2)根据摩擦力的大小,求出小物块在 *AB*段克服摩擦力做功的大小。
- (3)根据能量守恒求出弹射器释放的弹性势能。

本题考查了圆周运动和机械能守恒、 牛顿第二定律和能量守恒定律的综合 运用,知道物块在最低点向心力的来 源,结合牛顿第二定律求出支持力。 解: (1)小物块恰到C点,则有:  $v_C=0$  从B点到C点小物块机械能守恒,则有:  $\frac{1}{2}mv_B^2=2mgR$ ,

解得:  $v_B = 2\sqrt{gR}$ 。

B处,由牛顿第二定律得:  $F_N - mg = m \frac{v_B^2}{R}$ ,

解得:  $F_N = 5mg$ 。

(2)小物块在AB段克服摩擦力所做的功为:

 $W_{fAB} = \mu mgL_{\circ}$ 

(3)由能量守恒可知,弹射器释放的弹性势能为:

 $E_p = W_{fAB} + 2mgR = mg(2R + \mu L)_{\circ}$ 

答: (1)小物块到达B点时的速度为 $2\sqrt{gR}$ , 小物

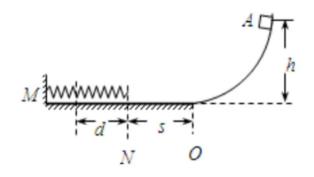
块在管道最低点B处受到的支持力为5mg;

- (2)小物块在AB段克服摩擦力所做的功为µmgL;
- (3)弹射器释放的弹性势能为 $mg(2R + \mu L)$ 。

## 例题六

如图所示,光滑弧形坡道顶端距水平面高度为h,底端切线水平且与一水平粗糙滑道相连接,O点为连接处,一轻弹簧的一端固定在水平滑道左侧的固定挡板M上,弹簧自然伸长时另一端N与O点的距离为s。质量为m的小物块A从坡道顶端由静止开始滑下,进入水平滑道并压缩弹簧,已知弹簧的最大压缩量为d,物块与水平滑道间的动摩擦因数为 $\mu$ ,重力

#### 加速度为g,求:



- (1)物块刚与弹簧接触时速度v的大小;
- (2)弹簧的最大弹性势能 $E_p$ ;
- (3)若物块能够被重新弹回到坡道上,求它在坡道上能够上升的最大高度*H*。

#### 解析

解: (1)设小物块滑至底端0点时的速度大小

为 $v_1$ , 由机械能守恒定律得:

$$mgh = \frac{1}{2}mv_1^2$$

设物块刚与弹簧接触时的速度大小为v,由动能定理可得:



#### 解题思路

本题考查了动能定理、机械能守恒、 功能关系的综合运用,关键确定研究 的过程。

$$-\mu mgs = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}m{v_1}^2$$

解得:  $v = \sqrt{2gh - 2\mu gs}$ 

(2)在水平滑道上物块A克服摩擦力所做的功为:

$$W_f = \mu m g(s+d)$$

由功能关系得:  $mgh = E_p + W_f$ 

解得: 
$$E_p = mgh - \mu mg(s+d)$$

(3)物块A被弹回的过程中,克服摩擦力所做的功仍为:  $W_f = \mu m g(s+d)$ 

由功能关系得:  $mgH = E_p - W_f$ 

解得物块A能够上升的最大高度为:  $H = h - 2\mu(s + d)$ 。