

## 离心现象及其应用

### 离心现象

做圆周运动的物体，由于本身的惯性，总有沿着圆周切线方向飞去的倾向，它之所以没有飞去是因为向心力持续地把物体拉到圆周上来，使物体同圆心的距离保持不变。

一旦向心力突然消失，物体会做什么运动？除了向心力突然消失外，在合外力  $F$  不足以提供物体做圆周运动所需的向心力时，物体又会做怎么样的运动呢？

### 离心运动

做匀速圆周运动的物体，在所受合外力突然消失或者不足以提供圆周运动所需的向心力的情况下，就做逐渐远离圆心的运动，这种运动叫做离心运动。

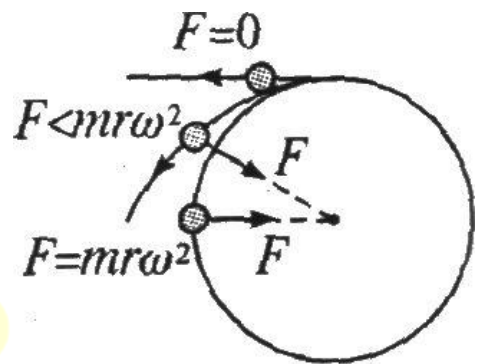
做圆周运动的物体，由于本身的惯性，总有沿着圆周切线方向飞去的倾向。

当  $F = mr\omega^2$  时，物体做匀速圆周运动；

当  $F = 0$  时，物体沿切线方向飞出；

当  $F < mr\omega^2$  时，物体逐渐远离圆心；

当  $F > mr\omega^2$  时，物体逐渐靠近圆心。



### 离心运动的条件

当提供向心力的合外力突然消失，物体便沿所在位置的切线方向飞出。

当提供向心力的合外力不完全消失，而只是小于所需要的向心力时，物体将沿切线和圆周之间的一条曲线运动，远离圆心而去。

离心现象的本质——物体惯性的表现

### 离心运动的应用

- ①离心干燥器
- ②离心沉淀器
- ③洗衣机的脱水筒
- ④用离心机把体温计的水银柱甩回玻璃泡内

### 离心运动的防止

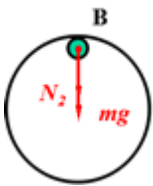
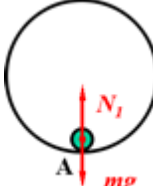
- ①车辆转弯时要限速
- ②转动的砂轮和飞轮要限速

### 竖直平面上的圆周运动

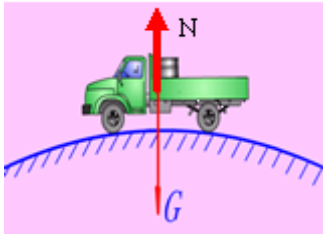
竖直平面内的圆周运动一般是变速圆周运动(带电粒子在匀强磁场中运动除外), 运动的速度大小和方向在不断发生变化, 运动过程复杂, 合外力不仅要改变运动方向, 还要改变速度大小。

### 最高点、最低点问题

竖直平面内的圆周运动最高点、最低点问题都是竖直方向的各力的合力提供向心力的情况。其中最低点问题如上图A, 轨道对球的支持力和球的重力的合力提供给球做圆周运动所需的向心力,

<p>最高点</p> 	$F_c = W - F_N$ <p>牛顿第二定律, <math>F_c = ma_c \therefore F_c = m \frac{v^2}{r}</math></p> $W - F_N = m \frac{v^2}{r}$ $F_N = W - m \frac{v^2}{r}$
<p>最低点</p> 	$F_N - W = m \frac{v^2}{r}$

## 汽车过拱桥模型



例：汽车质量为  $1000\text{kg}$ ，拱形桥的半径为  $10\text{m}$ ，( $g=10\text{m/s}^2$ )则

a.当汽车以  $5\text{m/s}$  的速度通过桥面最高点时，对桥的压力是多大？

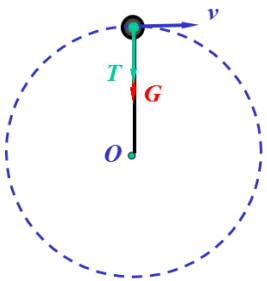
$$F_N = W - m \frac{v^2}{r} = 1000 \times \left( 10 - \frac{5^2}{10} \right) = 7500\text{N}$$

b.如果汽车以  $10\text{m/s}$  的速度通过桥面最高点时，对桥的压力又是多大呢？

当汽车以  $10\text{m/s}$  的速度通过桥面最高点时，汽车对桥面的压力  $N=0$ ，汽车达到最大安全速度，此时仅有重力提供向心力。

对上例最高点汽车受力分析可知，车在竖直方向上受到支持力和重力作用，取向心加速度方向为正方向，向心力增大，故  $N$  要减小，知道  $N=0$ ，速度  $v$  增到了最大值，即仅有重力提供向心力  $0 = W - m \frac{v^2}{r}$ ， $mg = m \frac{v^2}{r}$ ， $v = \sqrt{gr}$ 。因此，汽车过拱桥模型有个最大速度(临界状态)，如果速度大于  $v = \sqrt{gr}$ ，那么汽车将飞离桥面，做离心运动。

## 绳球模型



例：

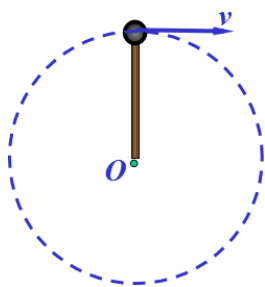
a.长为  $r=60\text{cm}$  的细绳，一端系着盛水的小桶，在竖直平面内做圆周运动，水的质量  $m=0.5\text{kg}$ ，则当速度为多大时，在最高点水刚好不流出？

水桶运动到最高点时，设速度为  $v$  时恰好水不流出，由水受到的重力刚好提供其做圆周运动的向心力，根据牛顿第二定律得  $mg = m \frac{v^2}{r}$ ，解得  $v = \sqrt{gr} = \sqrt{6}\text{m/s}$

b.水在最高点速率  $v=3\text{m/s}$  时，水对桶底的压力大小和方向？

设桶运动到最高点对水的弹力为  $F$ ，则水受到重力和弹力提供向心力，根据牛顿第二定律，有  $mg + F = m \frac{v^2}{r}$ ，解得  $F = m \frac{v^2}{r} - mg = 2.5N$ ，方向竖直向下，又根据牛顿第三定律，水对桶的压力大小  $F' = F = 2.5N$ ，方向竖直向上。

## 杆球模型



例：如上图，质量为  $m=0.2\text{kg}$  的小球固定在  $r=0.9\text{m}$  的轻杆的一端，杆可绕  $O$  点的水平轴在竖直平面内转动， $g=10\text{m/s}^2$ ，

求：

- a. 当小球在最高点的速度为多大时，小球对杆的作用力为零

当球对杆的作用力为 0 时，小球的重力正好提供了向心力，即  $mg = m \frac{v^2}{r}$ ，此时，小球的速度  $v = \sqrt{gr} = 3\text{m/s}$ 。

- b. 当小球在最高点的速度分别为  $6\text{m/s}$  和  $1.5\text{m/s}$  时，杆对小球的作用力的大小和方向

当小球在最高点的速度为  $6\text{m/s}$  时，

$$mg + F = m \frac{v^2}{r}, \text{ 可知 } F = m \frac{v^2}{r} - mg = 6N$$

即：球对杆的力是竖直向上的，大小为  $6N$

当小球在最高点的速度为  $1.5\text{m/s}$  时，

$$mg + F' = m \frac{v^2}{r}, \text{ 可知 } F' = m \frac{v^2}{r} - mg = -1.5N$$

即：球对杆的力是竖直向下的，大小为  $1.5N$

- c. 小球在最高点的速度能否等于零？

小球在最高点的速度能等于 0，这时球对杆的作用力等于小球的重力，即  $F = mg = 2N$  方向是竖直向下。

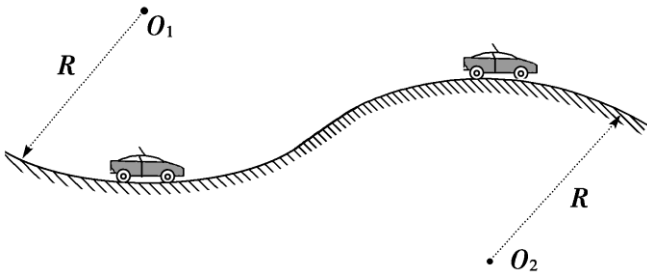
### 练习

1. 下列关于离心现象的说法正确的是 ( )
  - A. 当物体所受的离心力大于向心力时产离心现象
  - 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切线做直线运动
  - 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
  
2. 为了防止汽车在水平路面上转弯时出现“打滑”的现象，可以：( )
  - a、增大汽车转弯时的速度
  - b、减小汽车转弯时的速度
  - c、增大汽车与路面间的摩擦
  - d、减小汽车与路面间的摩擦

A、a、b      B、a、c      C、b、d      D、b、c
  
3. 物体做离心运动时,运动轨迹( )
  - A. 一定是直线
  - B. 一定是曲线
  - C. 可能是直线，也可能是曲线
  - D. 可能是圆
  
4. 如图所示，高速公路转弯处弯道圆半径  $R = 100 \text{ m}$ ，汽车轮胎与路面间的动摩擦因数  $\mu = 0.23$ .若路面是水平的，问汽车转弯时不发生径向滑动(离心现象)所许可的最大速率  $v_m$  为多大？当超过  $v_m$  时，将会出现什么现象？( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ )



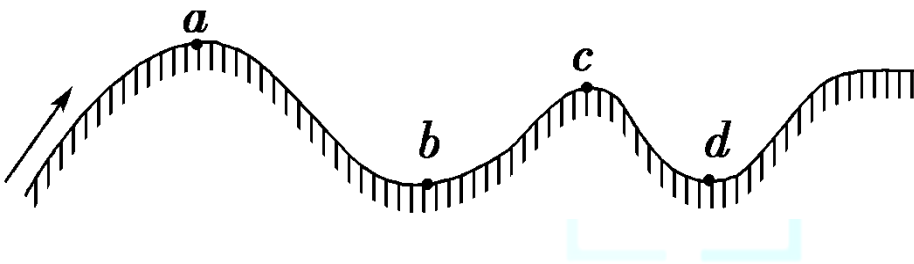
5. 如图所示，质量  $m = 2.0 \times 10^4 \text{ kg}$  的汽车以不变的速率先后驶过凹形桥面和凸形桥面，两桥面的圆弧半径均为  $20 \text{ m}$ 。如果桥面承受的压力不得超过  $3.0 \times 10^5 \text{ N}$ ，则：



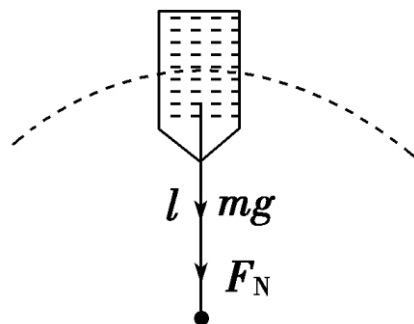
a. 汽车允许的最大速率是多少？

b. 若以所求速度行驶，汽车对桥面的最小压力是多少？(g 取  $10 \text{ m/s}^2$ )

6. 如图所示，汽车在炎热的夏天沿不平的曲面行驶，其中最容易发生爆胎的点是(假定汽车运动速率  $v_a = v_c$ ,  $v_b = v_d$ )



7. 一细杆与水桶相连，水桶中装有水，水桶与细杆一起在竖直平面内做圆周运动，如图所示，水的质量  $m = 0.5 \text{ kg}$ ，水的重心到转轴的距离  $l = 60 \text{ cm}$ 。



a. 若在最高点水不流出来，求桶的最小速率。

b. 若在最高点的水桶速率  $v = 3 \text{ m/s}$ ，求水对桶底的压力。(g 取  $9.8 \text{ m/s}^2$ )