

## 2. 向心力

核心素养定位>>>

1. 理解向心力的概念,知道它是根据力的作用效果命名的。
2. 体验向心力的存在,会分析向心力的来源。
3. 实验探究向心力大小的表达式。
4. 掌握向心力的表达式,并能用来进行计算。
5. 理解变速圆周运动中合力的两个分力的效果,知道一般曲线运动的研究方法。

### 01

### 课前自主学习

KEQIANZIZHUXUEXI

#### 1.向心力

- (1)定义:做匀速圆周运动的物体所受的指向01圆心的合力。
- (2)方向:始终沿着02半径指向03圆心,与04线速度方向垂直。
- (3)作用效果:向心力只改变速度的05方向,不改变速度的06大小。
- (4)向心力是由某个力或者几个力的合力提供的,是根据力的07作用效果命名的。

#### 2. 向心力的大小

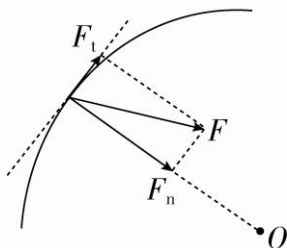
##### (1)实验探究

| 控制变量                      | 探究内容                                     |
|---------------------------|------------------------------------------|
| $m$ 、 $r$ 相同, 改变 $\omega$ | 探究向心力 $F_n$ 与 <u>08</u> 角速度 $\omega$ 的关系 |
| $m$ 、 $\omega$ 相同, 改变 $r$ | 探究向心力 $F_n$ 与 <u>09</u> 半径 $r$ 的关系       |
| $\omega$ 、 $r$ 相同, 改变 $m$ | 探究向心力 $F_n$ 与 <u>10</u> 质量 $m$ 的关系       |

(2)公式:  $F_n = \underline{11} m \omega^2 r$  或  $F_n = \underline{12} m \frac{v^2}{r}$ 。

#### 3. 变速圆周运动和一般曲线运动的受力特点

- (1)变速圆周运动:做变速圆周运动的物体所受合外力产生两个方面的效果,如图所示。



①跟圆周相切的分力  $F_t$ ：若与速度同向，则速度越来越大；若与速度反向，则速度 13 越来越小。

②指向圆心的分力  $F_n$ ：指向 14 圆心，提供物体做圆周运动所需的 15 向心力，改变速度的 16 方向。

## (2)一般曲线运动的研究方法

①一般的曲线运动：运动轨迹既不是 17 直线也不是 18 圆周的曲线运动。

②研究方法：可以把曲线分割为许多很短的小段，质点在每小段的运动都可以看作 19 圆周运动的一部分。这样，在分析质点经过曲线上某位置的运动时，就可以采用圆周运动的分析方法来处理了。

## 判一判

(1)做匀速圆周运动的物体所受合力不变。( )

(2)随水平圆盘一起匀速转动的物体受重力、支持力和向心力作用。( )

(3)由公式  $F_n = m\omega^2 r$  可知，圆周运动的半径越大，向心力越大。( )

提示：(1)× 做匀速圆周运动的物体合力指向圆心，方向时刻改变。

(2)× 向心力是效果力，物体受重力、支持力、圆盘给它的静摩擦力，静摩擦力充当向心力。

(3)× 只有当质量、角速度一定时，向心力才与半径成正比。

## 想一想

1.匀速圆周运动中，物体的合力就是向心力吗？合力一定指向圆心吗？在变速圆周运动中呢？

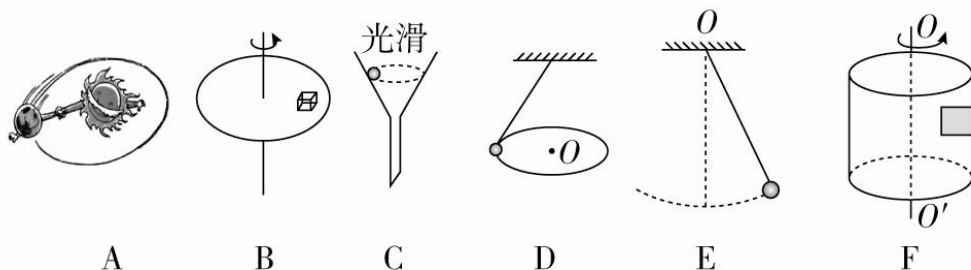
提示：在匀速圆周运动中，物体的合力就是向心力，合力一定指向圆心；在变速圆周运动中，物体的合力不是向心力，合力不指向圆心，但向心力指向圆心。

2.什么情况下质点做速度越来越大的圆周运动？什么情况下质点做速度越来越小的圆周运动？

提示：当合力与速度的夹角为锐角时，质点的速度越来越大；当合力与速度的夹角为钝角时，质点的速度越来越小。

## 课堂任务1 向心力及其方向

仔细观察下列图片，认真参与“师生互动”。



## 师 生 互 动

活动 1：图 A 中有几个力提供向心力？

提示：只有一个力提供向心力，就是太阳对地球的引力。

活动 2：图 B、F 的向心力由什么提供，有什么共同点？

提示：如果都做匀速圆周运动，它们受到的合外力提供向心力。对于 B，重力和支持力平衡；对于 F，重力和静摩擦力平衡；故也可以说都是一个力提供向心力，B 是静摩擦力提供向心力，F 是壁的弹力提供向心力。

活动 3：图 C、D 的向心力有什么共同点？

提示：都受两个力，都可以由这两个力的合力提供向心力而做匀速圆周运动，C 中的支持力相当于 D 中线的拉力。

活动 4：图 D、E 的向心力有什么共同点？有什么不同点？

提示：D、E 的向心力都由重力和绳子的拉力的合力提供。但是 D 是水平面内的圆周运动，重力和绳子的拉力的合力可以全部充当向心力而做匀速圆周运动。E 是竖直面内的圆周运动，重力和拉力的合力只有一部分充当向心力。

活动 5：讨论、交流、展示，得出结论。

## 1. 向心力的方向

无论是否为匀速圆周运动，其向心力的方向总是沿着半径指向圆心且时刻改变，故向心力是变力。

## 2. 向心力的作用效果

向心力是为了描述圆周运动而引入的一种力的名称，是一种效果力。它并不是一种新的性质的力。

向心力的效果是改变线速度的方向。由于向心力始终指向圆心，其方向与物体运动方向始终垂直，故向心力不改变线速度的大小，只改变线速度的方向。

## 3. 向心力的来源

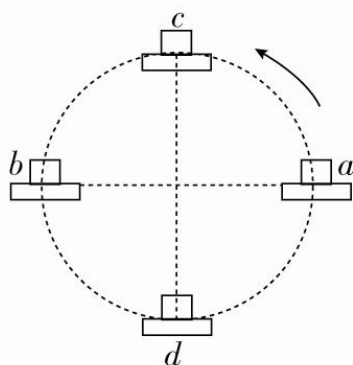
(1)向心力可以由某个力来提供,也可以由某个力的分力或几个力的合力来提供。

(2)对于匀速圆周运动,合外力提供物体做圆周运动的向心力;对于非匀速圆周运动,其合外力不指向圆心,它既要改变线速度大小,又要改变线速度方向,向心力是合外力的一个分力。

(3)无论是匀速圆周运动还是非匀速圆周运动,物体所受各力沿半径方向分量的矢量和为向心力。

—— **实 践 提 升** ——

**例 1** (多选)如图所示,在粗糙水平木板上放一个物块,使木板和物块一起在竖直平面内沿逆时针方向做匀速圆周运动, $ab$  为水平直径, $cd$  为竖直直径,在运动中木板始终保持水平,物块相对于木板始终静止,则( )



- A. 物块始终受到三个力作用
- B. 物块受到的合外力始终指向圆心
- C. 在  $c$ 、 $d$  两个位置,物块所受支持力  $N=mg$ ,摩擦力  $f$  为零
- D. 在  $a$ 、 $b$  两个位置物块所受摩擦力提供向心力,支持力  $N=mg$

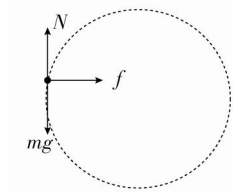
○ **实践探究** (1)匀速圆周运动的物体所受的合外力有什么特点?

**提示:** 匀速圆周运动的合外力提供向心力,合外力的方向始终指向圆心。

(2)图中物块所受的重力和支持力一直是平衡力吗?

**提示:** 物块受竖直方向的重力和支持力、水平方向的摩擦力,合力为向心力,指向圆心,故只有在  $a$ 、 $b$  位置重力与支持力平衡,摩擦力提供向心力,其他位置重力和支持力不可能平衡。

**[规范解答]** 物块在竖直平面内做匀速圆周运动,受到的重力与支持力在竖直方向上, $c$ 、 $d$  两点物块所受的向心力由重力和支持力的合力提供,摩擦力为零,重力与支持力不相等,其他时候要受到摩擦力的作用,故 A、C 错误;物块在竖直平面内做匀速圆周运动,合外力就是向心力,匀速圆周运动的向心力指向圆心,故 B 正确;



在  $b$  位置受力如图，因物块做匀速圆周运动，故合力指向圆心，支持力  $N=mg$ ，摩擦力  $f$  提供向心力，同理可得，在  $a$  位置的情形相同，故 D 正确。

**[完美答案]** BD

——[规律点拨]——

向心力可以是弹力、摩擦力，也可以是物体受到的合力或某个力的分力。匀速圆周运动中合力提供向心力，合力的方向一定指向圆心。

[变式训练 1] (多选)下列关于向心力的说法中正确的是( )

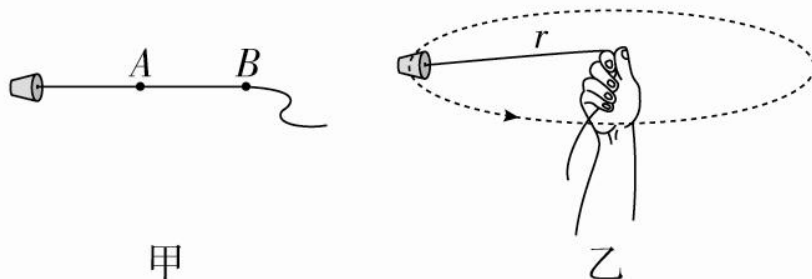
- A. 物体由于做圆周运动而产生了一个向心力
- B. 向心力不改变圆周运动中物体线速度的大小
- C. 做匀速圆周运动的物体其向心力即为其所受的合外力
- D. 做圆周运动的物体所受各力的合力一定充当向心力

**答案** BC

**解析** 由于向心力的作用物体做圆周运动，A 错误；因向心力始终垂直于速度方向，所以它不改变线速度的大小，只改变线速度的方向，B 正确；做匀速圆周运动的物体所受合外力指向圆心，完全提供向心力，C 正确；变速圆周运动中合外力沿半径方向的分力提供向心力，D 错误。

## 课堂任务 **2** 探究向心力大小的表达式

仔细观察下列图片，认真参与“师生互动”。



—— **师 生 互 动** ——

**活动 1：**手握绳结 *A*，如图乙所示，使沙袋在水平方向做匀速圆周运动，每秒运动一周，体会此时绳子拉力的大小。改为手握绳结 *B*，其他操作不变，体会到两次绳的拉力有何不同？猜测向心力大小与什么有关？

**提示：**手握绳结 *B* 时绳的拉力更大。两次操作只有沙袋做圆周运动的半径不同，猜测向心力大小与半径有关，半径越大，向心力越大。

**活动 2：**改为使沙袋在水平方向上每秒运动 2 周，其他操作不变，体会到两次绳的拉力有何不同？猜测向心力大小与什么有关？

**提示：**沙袋每秒运动 2 周时绳的拉力更大。两次操作只有沙袋做圆周运动的角速度不同，猜测向心力大小与角速度有关，角速度越大，向心力越大。

**活动 3：**改为使用质量更大的沙袋，其它操作不变，体会到两次绳的拉力有何不同？猜测向心力大小与什么有关？

**提示：**沙袋质量更大时绳的拉力更大。两次操作只有沙袋质量不同，猜测向心力大小与质量有关，质量越大，向心力越大。

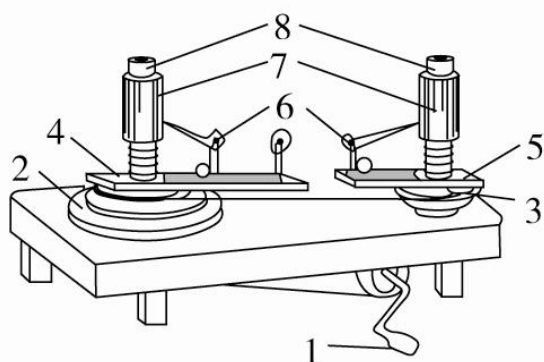
**活动 4：**如何探究向心力大小与半径、角速度、质量的定量关系？

**提示：**用控制变量法，如先保证角速度、质量不变，探究向心力与半径的定量关系，同理探究向心力与角速度、质量的定量关系。

**活动 5：**讨论、交流、展示，得出结论。

**1. 实验目的：**(1)学会使用向心力演示器；(2)通过实验探究向心力与半径、角速度、质量的关系。

**2. 实验仪器：**向心力演示器(如图)，三个金属球(半径相同，其中两个为质量相同的钢球，另一个为质量是钢球一半的铝球)。



1.手柄；2.3.变速塔轮；4.长槽；5.短槽；  
6.横臂；7.弹簧测力套筒；8.标尺

### 3. 实验原理

如图所示，匀速转动手柄 1，可以使变速塔轮 2 和 3 以及长槽 4 和短槽 5 随之匀速转动，槽内的小球也随着做匀速圆周运动。使小球做匀速圆周运动的向心

---

力由横臂 6 的挡板对小球的压力提供。球对挡板的反作用力，通过横臂的杠杆作用使弹簧测力套筒 7 下降，从而露出标尺 8。根据标尺 8 上露出的红白相间等分标记，可以粗略计算出两个球所受向心力的比值。

#### 4. 实验步骤及观察结果

(1)调整标尺，使两根标尺起点和套筒上口处于同一水平面上，皮带放在第一挡，转速为 1:1 的皮带盘处，质量相同的两钢球分别放在两个槽上半径相等的横臂挡板内侧，然后摇动手柄，观察到标尺读数始终相等。

(2)将长槽上钢球由第一挡板内侧移至第二挡板内侧，此时两个质量相同的钢球转动半径之比为 2:1，转动手柄，观察到标尺格数之比为 2:1。

(3)将长槽上的钢球换成铝球，并移至第一挡板内侧，两个金属球质量比为 1:2，转动手柄，观察到标尺格数之比为 1:2。

(4)把皮带放在第二挡，转速之比为 2:1，将长槽上铝球换成钢球，转动手柄，两球角速度之比为 2:1，观察到标尺格数之比为 4:1。

(5)将皮带放在第三挡，转速之比为 3:1，转动手柄，两球角速度之比为 3:1，观察到标尺格数之比为 9:1。

#### 5. 实验结论

由步骤(1)及其结果可知，半径、角速度、质量相同时，向心力大小相同；

由步骤(2)及其结果可知，角速度、质量相同时，向心力与半径成正比；

由步骤(3)及其结果可知，半径、角速度相同时，向心力与质量成正比；

由步骤(4)(5)及其结果可知，半径、质量相同时，向心力与角速度的平方成正比。

由以上可推知： $F_n = m\omega^2 r$ 。

#### 6. 实验误差

(1)污渍、生锈等使小球质量半径变化，带来的误差。

(2)仪器不水平带来的误差。

(3)标尺读数不准带来的误差。

(4)皮带打滑带来的误差。

#### 7. 注意事项

(1)实验前要做好横臂支架安全检查，检查螺钉是否有松动，保持仪器水平。

(2)实验时转速应从慢到快，且转速不宜过快，以免损坏测力计弹簧。

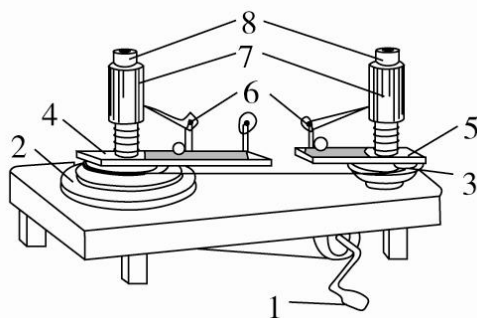
(3)注意防止皮带打滑，尽可能保证 $\omega$ 比值不变。

(4)注意仪器的保养，延长仪器使用寿命，并提高实验可信度。



例 2 向心力演示器如图所示。转动手柄 1，可使变速塔轮 2 和 3 以及长槽 4

和短槽 5 随之匀速转动。皮带分别套在塔轮 2 和 3 上的不同圆盘上，可使两个槽内的小球分别以几种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，球对挡板的反作用力，通过横臂的杠杆使弹簧测力套筒 7 下降，从而露出标尺 8，标尺 8 上露出的红白相间等分格子的多少可以显示出两个球所受向心力的大小。现将小球分别放在两边的槽内，为探究小球受到的向心力大小与角速度的关系，下列做法正确的是( )



- A. 在小球运动半径相等的情况下，用质量相同的钢球做实验
- B. 在小球运动半径相等的情况下，用质量不同的钢球做实验
- C. 在小球运动半径不等的情况下，用质量不同的钢球做实验
- D. 在小球运动半径不等的情况下，用质量相同的钢球做实验

◐ **实践探究** (1) 本实验的实验方法是什么？

**提示：**控制变量法。

(2) 探究向心力与角速度的关系，应怎样操作？

**提示：**保证运动半径和钢球质量相同。

**[规范解答]** 根据  $F_n = m\omega^2 r$ ，可知若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运动半径不变，故 A 正确。

**[完美答案]** A

——**[实验点拨]**——

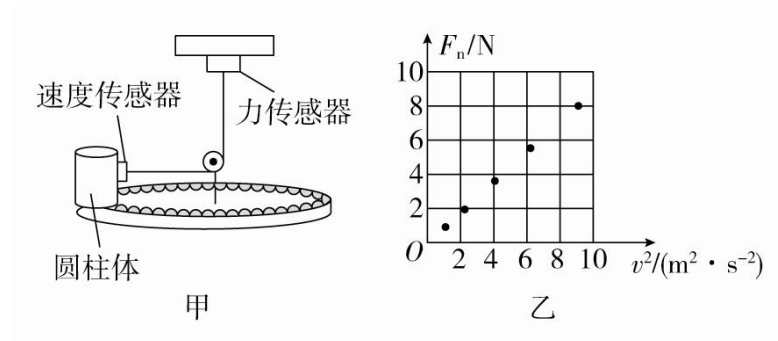
**1. 控制变量法**，影响向心力大小的因素比较多，应采用控制变量法进行研究。在让某个因素(如半径)变化的同时，控制其他因素(如质量和角速度)不变，便于找出这个因素影响向心力大小变化的规律。然后依次分别研究其他的影响因素。

**2. 实验拓展**，由  $v = \omega r$  可知， $F_n = m \frac{v^2}{r}$ ，故也可以探究  $F_n$  与  $v$ 、 $m$ 、 $r$  的关系，

实验方法和思路不变。

**[变式训练 2]** 如图甲所示是某同学探究做圆周运动的物体质量、向心力、轨道半径及线速度关系的实验装置，圆柱体放置在水平光滑圆盘上做匀速圆周运动。

力传感器测量向心力  $F_n$ ，速度传感器测量圆柱体的线速度  $v$ ，该同学通过保持圆柱体质量和运动半径不变，来探究向心力  $F_n$  与线速度  $v$  的关系：



(1)该同学采用的实验方法为\_\_\_\_\_。

- A. 等效替代法 B. 控制变量法  
C. 理想化模型法

(2)改变线速度  $v$ ，多次测量，该同学测出了五组  $F_n$ 、 $v$  数据，如下表所示：

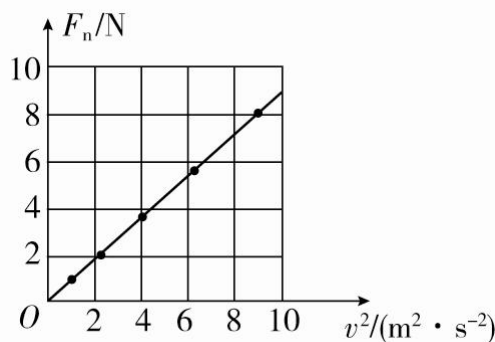
|                      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|
| $v/(m \cdot s^{-1})$ | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.0  |
| $F_n/N$              | 0.88 | 2.00 | 3.50 | 5.50 | 7.90 |

该同学对数据分析后，在图乙坐标纸上描出了五个点。

①作出  $F_n - v^2$  图线；

②若圆柱体运动半径  $r=0.2$  m，由作出的  $F_n - v^2$  图线可得圆柱体的质量  $m =$  \_\_\_\_\_ kg。(结果保留两位有效数字)

**答案** (1)B (2)①如图所示 ②0.18



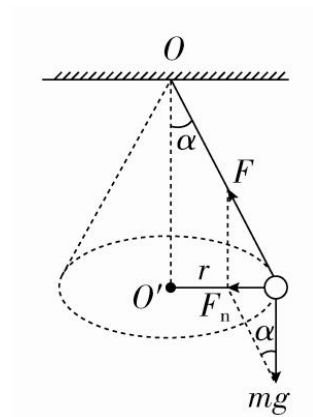
**解析** (1)实验中研究向心力与线速度的关系，保持圆柱体质量和运动半径不变，采用的实验方法是控制变量法，B 正确。

(2)① $F_n - v^2$  图线如答图所示。

②根据  $F_n = m\omega^2 r = m \frac{v^2}{r}$  可知, 图线的斜率  $k = \frac{m}{r}$ , 则有  $\frac{m}{r} = \frac{7.90}{9.00}$ , 代入数据得出  $m = 0.18 \text{ kg}$ 。

### 课堂任务3 向心力的大小的计算

仔细观察下列图片, 认真参与“师生互动”。



#### 师 生 互 动

**活动 1:** 若已知小球质量  $m$ , 绳拉力  $F$ , 绳与竖直方向的夹角  $\alpha$ , 如何求小球做匀速圆周运动的向心力?

**提示:** 小球受重力  $mg$  和绳的拉力  $F$ , 其合力等于向心力, 由力的合成知向心力为  $F_n = mg \tan \alpha$ 。

**活动 2:** 若已知小球质量  $m$ , 小球做圆周运动的角速度  $\omega$ 、半径  $r$ , 如何求小球的向心力?

**提示:** 由向心力公式可知  $F_n = m\omega^2 r$ 。

**活动 3:** 若已知  $m$ 、 $v$ 、 $r$ , 如何求  $F_n$ ? 若已知  $m$ 、 $T$ 、 $r$  呢?

**提示:** 利用  $F_n = m\omega^2 r$ , 结合  $v = \omega r$ ,  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  得  $F_n = m \frac{v^2}{r}$ ,  $F_n = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r$ 。

**活动 4:** 讨论、交流、展示, 得出结论。

#### 1. 向心力的大小

(1) 根据受力分析求得: 圆周运动平面上, 指向圆心方向的合力即为向心力。

(2) 根据圆周运动规律求得:  $F_n = m\omega^2 r = m \frac{v^2}{r} = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r = m(2\pi n)^2 r = m\omega v$ 。

#### 2. 向心力公式的瞬时性

对于匀速圆周运动, 向心力大小始终不变, 但对非匀速圆周运动(如用一根绳拴住小球绕固定圆心在竖直平面内做的圆周运动), 其向心力大小随速率  $v$  的变化

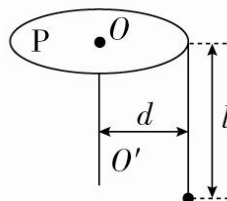
而变化，公式表述的只是瞬时值。

—— **实 践 提 升** ——

**例 3** 图甲为游乐园中“空中飞椅”的游戏设施，它的基本装置是将绳子上端固定在转盘的边缘上，绳子的下端连接座椅，人坐在座椅上随转盘旋转而在空中飞旋。若将人和座椅看成一个质点，则可简化为如图乙所示的物理模型，其中P为处于水平面内的转盘，可绕竖直转轴 $OO'$ 转动，设绳长 $l=10\text{ m}$ ，质点的质量 $m=60\text{ kg}$ ，转盘静止时质点与转轴之间的距离 $d=4.0\text{ m}$ ，转盘逐渐加速转动，经过一段时间后质点与转盘一起做匀速圆周运动，此时绳与竖直方向的夹角 $\theta=37^\circ$ ，不计空气阻力及绳重，且绳不可伸长， $\sin 37^\circ=0.6$ ， $\cos 37^\circ=0.8$ ， $g=10\text{ m/s}^2$ ，求质点与转盘一起做匀速圆周运动时：



甲



乙

- (1)绳子拉力的大小；
- (2)转盘角速度的大小。

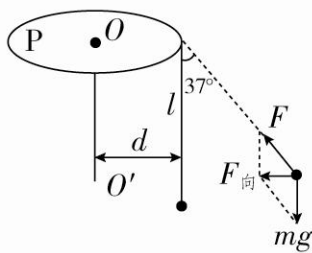
○ **实践探究** (1)人和座椅做匀速圆周运动的半径是什么？

**提示：**这个情景和圆锥摆模型相似，在圆锥摆的半径基础上加圆盘的半径即等于人和座椅做匀速圆周运动的半径。

- (2)什么力提供人和座椅做匀速圆周运动的向心力？

**提示：**人和座椅整体所受的重力和拉力的合力提供其做匀速圆周运动的向心力。

**[规范解答]** (1)如图所示，对人和座椅进行受力分析，图中 $F$ 为绳子的拉力。质点在水平面内做匀速圆周运动，在竖直方向上合力为零。



故  $F\cos 37^\circ - mg = 0$ ,

解得  $F = \frac{mg}{\cos 37^\circ} = 750 \text{ N}$ 。

(2)人和座椅在水平面内做匀速圆周运动，重力和绳子拉力的合力提供向心力，

有  $mg \tan 37^\circ = m\omega^2 R$

分析可知： $R = d + l \sin 37^\circ$

联立解得  $\omega = \sqrt{\frac{g \tan 37^\circ}{d + l \sin 37^\circ}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ rad/s}$ 。

**[完美答案]** (1) 750 N (2)  $\frac{\sqrt{3}}{2} \text{ rad/s}$

——[规律点拨]——

### 匀速圆周运动中力学问题的解题步骤

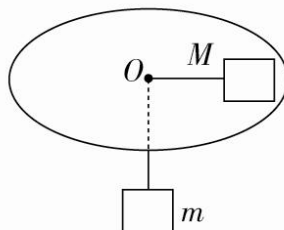
(1)明确研究对象，确定物体在哪个平面内做匀速圆周运动，明确圆心和半径  $r$ 。

(2)对研究对象进行受力分析，明确向心力是由什么力提供的。

(3)确定  $v$ 、 $\omega$ 、 $T$ 、 $n$  等物理量中什么是已知的，选择合适的公式列式求解。

(4)根据  $F_{\text{合}} = F_{\text{向}}$  列方程，求解。

[变式训练 3] (多选)如图所示，在水平转台上放一个质量  $M = 2 \text{ kg}$  的木块，它与转台间的最大静摩擦力为  $F_{\text{max}} = 6.0 \text{ N}$ ，绳的一端系在木块上，另一端通过转台的中心孔  $O$  (孔光滑)悬挂一个质量  $m = 1.0 \text{ kg}$  的物体，当转台以角速度  $\omega = 5 \text{ rad/s}$  匀速转动时，木块相对转台静止，则木块到  $O$  点的距离可以是 ( $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ ， $M$ 、 $m$  均视为质点) ( )



A. 0.04 m B. 0.08 m C. 0.16 m D. 0.32 m

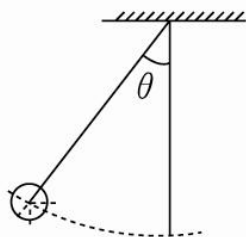
**答案** BCD

**解析** 当木块有远离轴心运动的趋势时，有  $mg + F_{\text{max}} = M\omega^2 r_{\text{max}}$ ，解得  $r_{\text{max}} = \frac{mg + F_{\text{max}}}{M\omega^2} = 0.32 \text{ m}$ ；当木块有靠近轴心运动的趋势时，有  $mg - F_{\text{max}} = M\omega^2 r_{\text{min}}$ ，

解得  $r_{\min} = \frac{mg - F_{\max}}{M\omega^2} = 0.08 \text{ m}$ , 所以木块相对转台静止, 木块到  $O$  点的距离  $r$  应满足  $0.08 \text{ m} \leq r \leq 0.32 \text{ m}$ , 故 B、C、D 正确。

#### 课堂任务 **4** 变速圆周运动和一般曲线运动

仔细观察下列图片, 认真参与“师生互动”。

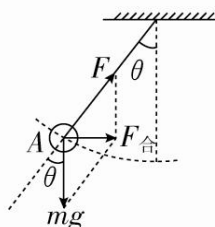


#### 师 生 互 动

活动 1: 图中小球在细线拉力的作用下在竖直面内做圆周运动, 小球受哪些力?

提示: 小球受重力和细线对它的拉力。

活动 2: 什么力提供小球做圆周运动的向心力?



提示: 向心力是指向圆心的, 也就是细线的方向。而重力的方向竖直向下, 重力和细线对它的拉力的合力不可能沿着线的方向(如图所示), 故不可能是整个合力提供向心力。可以把合力沿细线方向和垂直细线方向分解, 其中沿细线方向的分力提供向心力。

活动 3: 小球在竖直面内可能做匀速圆周运动吗? 和圆锥摆有什么不同?

提示: 不可能做匀速圆周运动, 因为合力沿切线方向也就是速度方向有分力, 它一定会改变线速度的大小。而圆锥摆的重力和拉力的合力总是沿圆周运动半径指向圆心, 提供向心力, 所以圆锥摆做匀速圆周运动。

活动 4: 讨论、交流、展示, 得出结论。

#### 1. 变速圆周运动

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/038023125074006135>