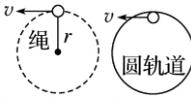
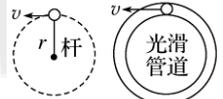
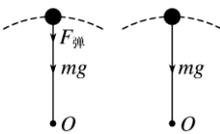
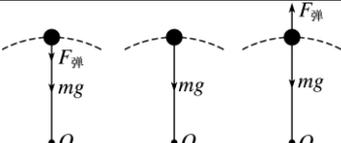


## 学大教育个性化教案

<b>科目</b>	物理	<b>年级</b>	高一	<b>教师姓名</b>	姜老师
<b>学员姓名</b>	丛同学	<b>性别</b>	女	<b>校区</b>	宽城校区
<b>就读学校</b>	长春市五中	<b>教材版本</b>	人教版	<b>课时时长 (分钟)</b>	120
<b>授课日期</b>	2020年4月12日		<b>授课时间</b>	10:00-12:00	
<b>课题</b>	竖直面内圆周运动				
<b>教学目标</b>	1. 会分析绳约束下的物体在最高点的运动状态，能够找出向心力的来源；会用向心力方程求解向心力及绳对物体的作用力。 2. 会分析杆约束下的物体在最高点的运动状态，能够找出向心力的来源；会用向心力方程求解向心力及杆对物体的作用力。 3. 会分析绳约束模型和杆约束模型的拓展模型。 4. 会分析两种模型下的相关临界问题。				
<b>教学重点</b>	1. 在具体问题中能找出向心力，并结合牛顿运动定律求解有关问题				
<b>教学难点</b>	1. 具体问题中向心力的来源 2. 关于对临界问题的讨论和分析				

### 一、课前预习

物理情景	最高点无支撑	最高点有支撑
实例	球与绳连接、水流星、沿内轨道运动的“过山车”等	球与杆连接、球在光滑管道中运动等
图示		
受力特征	除重力外，物体受到的弹力方向：向下或等于零	除重力外，物体受到的弹力方向：向下、等于零或向上
受力示意图		
力学方程	$mg + F_{\text{弹}} = m\frac{v^2}{R}$	$mg \pm F_{\text{弹}} = m\frac{v^2}{R}$

## 二、热身

- (1) 匀速圆周运动是匀加速曲线运动。(×)
- (2) 做匀速圆周运动的物体的向心加速度与半径成反比。(×)
- (3) 做匀速圆周运动的物体所受合外力为变力。(√)
- (4) 随水平圆盘一起匀速转动的物体受重力、支持力和向心力的作用。(×)
- (5) 做圆周运动的物体所受到的合外力不一定等于向心力。(√)
- (6) 做圆周运动的物体所受合外力突然消失，物体将沿圆周的半径方向飞出。(×)

## 三、导课

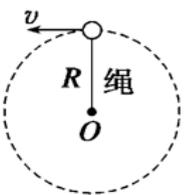


向学生展示过山车的图片和演示水流星的表演，并提出问题：为什么在最高点时过山车不下落？水不流下呢？

## 四、授课内容与典型例题

### 知识点 1

#### 一、绳模型



#### (一) 绳拴小球在竖直面内做圆周运动

【演示】用一细绳拴住一重物在竖直面内做圆周运动

试分析：

- (1) 当小球在最低点的速度为  $v_1$  时，绳的拉力与速度的关系如何？
- (2) 当小球在最高点的速度为  $v_2$  时，绳的拉力与速度的关系又如何？

最低点：
$$T_1 - mg = m \frac{v_1^2}{L}$$

最高点:  $T_2 + mg = m \frac{v_2^2}{L}$

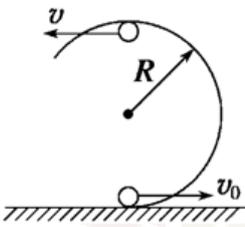
结论:

$v < \sqrt{gr}$  小球偏离原运动轨迹, 不能通过最高点

$v = \sqrt{gr}$  小球刚好能够通过最高点

$v > \sqrt{gr}$  小球能够通过最高点

(二) 小球在竖直光滑轨道面内侧做圆周运动。(过山车模型)



有一竖直放置、内壁光滑圆环, 其半径为  $r$ , 质量为  $m$  的小球沿它的内表面做圆周运动, 分析小球在最高点 A 的速度应满足什么条件?

$$mg + F_N = m \frac{v^2}{r}$$

思考: 小球过最高点的最小速度是多少?

$$F_N = 0, v_0 = \sqrt{gr}$$

结论:

$v < \sqrt{gr}$  小球偏离原运动轨迹, 不能通过最高点

$v = \sqrt{gr}$  小球刚好能够通过最高点

$v > \sqrt{gr}$  小球能够通过最高点

(三) 水流星模型。(自主学习)

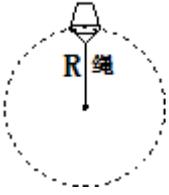
提示学生:

研究对象为“杯中的水”。

水在随杯子做圆周运动, 在最高点必有竖直向下的合力提供向心力。

此模型类比于\_\_\_\_\_

例题 1



如图所示，质量为 0.1kg 的木桶内盛水 0.4kg，用 50cm 的绳子系桶，使它在竖直面内做圆周运动。如果通过最高点和最低点时的速度大小分别为 9m/s 和 10m/s，求木桶在最高点对绳的拉力和最低点水对桶的压力。（g 取 10m/s<sup>2</sup>）

**分析：**在最高点，对整体分析，根据牛顿第二定律求出最高点对绳子的拉力大小。在最低点，对水分析，根据牛顿第二定律求出桶对水的弹力。

**解：**在最高点时，以木桶和水为研究对象，木桶和水的质量为： $M=0.1\text{kg}+0.4\text{kg}=0.5\text{kg}$ ，

根据牛顿第二定律得，
$$F + Mg = m \frac{v^2}{R}$$

解得  $F=76\text{N}$ 。

在最低点，对水分析，根据牛顿第二定律得，
$$N - mg = m \frac{v^2}{R}$$

解得  $N=84\text{N}$ 。

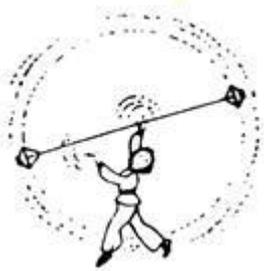
根据牛顿第三定律知，最低点水对桶的压力为 84N。

答：木桶在最高点对绳的拉力为 76N，最低点水对桶的压力为 84N。

### 课堂应用 1

杂技演员在做“水流星”表演时，用一根细绳系着盛水的杯子，抡起绳子，让杯子在竖直面内做圆周运动。如图所示，杯内水的质量  $m=0.5\text{ kg}$ ，绳长  $l=60\text{ cm}$ ，求：

- (1) 在最高点水不流出的最小速率；
- (2) 水在最高点速率  $v=3\text{ m/s}$  时，水对杯底的压力大小。



- (1) 2.42 m/s (2) 2.6 N

**【解析】**(1) 在最高点水不流出的条件是重力不大于水做圆周运动所需要的向心力，即： $mg \leq m \frac{v^2}{l}$ ，则所求

最小速率： $v = \sqrt{gl} = 2.42\text{ m/s}$ 。

(2) 当水在最高点的速率大于  $v$  时，只靠重力提供向心力已不足，此时水桶底对水有一向下的压力，设为  $N$ ，

由牛顿第二定律有： $N + mg = m \frac{v^2}{l}$

即  $N = 2.6 \text{ N}$

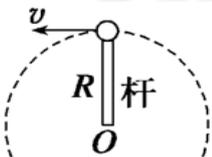
由牛顿第三定律知，水对水桶的作用力  $N' = N = 2.6 \text{ N}$ ，  
方向竖直向上。

**思路分析：**在最高点水不流出的条件是重力不大于水做圆周运动所需要的向心力，即： $mg \leq m \frac{v^2}{l}$ ，水在最高点的速率大于  $v$  时，只靠重力提供向心力已不足，此时水桶底对水有一向下的压力，由牛顿第二定律解题。

## 知识点 2

### 二、杆模型

#### (一) 轻杆模型：



(a)

长为  $L$  的轻杆一端固定着一质量为  $m$  的小球，使小球在竖直平面内做圆周运动。

试分析：

(1) 当小球在最低点 A 的速度为  $v_2$  时，杆的受力与速度的关系怎样？

(2) 当小球在最高点 B 的速度为  $v_1$  时，杆的受力与速度的关系怎样？

最低点： $F_1 - mg = m \frac{v_1^2}{L}$  ( $F_1$  竖直向上)

最高点： $F_2 + mg = m \frac{v_2^2}{L}$  ( $F_2$  竖直向下，拉力)       $mg - F_3 = m \frac{v_2^2}{L}$  ( $F_3$  竖直向上，支持力)

思考：在最高点时，何时杆表现为拉力？何时表现为支持力？试求其临界速度。

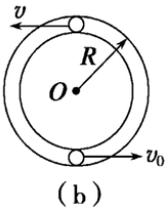
临界速度： $F = 0, v_0 = \sqrt{gL}$

结论：

$v < \sqrt{gl}$  杆对球有向上的支持力

$v > \sqrt{gl}$  杆对球有向下的拉力

#### (二) 管道模型：



如图，有一内壁光滑、竖直放置的管型轨道，其半径为  $R$ ，管内有一质量为  $m$  的小球有做圆周运动，小球的直径刚好略小于管的内径。问：

- (1) 小球运动到最高点时，速度与受力的关系如何？
- (2) 小球运动到最低点时，速度与受力的关系又是如何？

最低点：
$$F_1 - mg = m \frac{v_1^2}{L} \quad (F_1 \text{ 竖直向上})$$

最高点：
$$F_2 + mg = m \frac{v_2^2}{L} \quad (F_2 \text{ 竖直向下，拉力}) \quad mg - F_3 = m \frac{v_2^2}{L} \quad (F_3 \text{ 竖直向上，支持力})$$

思考：在最高点时，什么时候外管壁对小球有压力，什么时候内管壁对小球有支持力？什么时候内外管壁都没有压力？

临界速度：
$$F = 0, v_0 = \sqrt{gR}$$

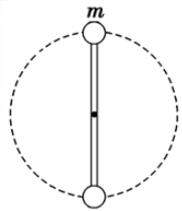
结论：

$v < \sqrt{gR}$  内壁对球有向上的支持力

$v > \sqrt{gR}$  外壁对球有向下的支持力

### 例题 2

如图所示，长为  $L$  的轻杆两端各连一个质量均为  $m$  的小球（半径可以忽略不计），以它们的中点为轴，在竖直平面内做匀速圆周运动，转动周期为  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$



求：它们通过竖直位置时，上、下两球分别受到杆的作用力，并说明是支持力还是拉力。

解析：对小球受力分析，得

在最低点处 
$$F_1 - mg = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot \frac{L}{2},$$

所以 
$$F_1 = \frac{3}{2}mg, \text{ 方向向上，为拉力。}$$

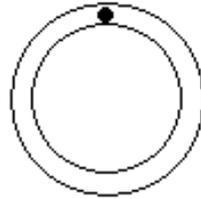
在最高点处，设球受杆拉力为  $F_2$ , 
$$F_2 + mg = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot \frac{L}{2}$$

所以 
$$F_2 = -\frac{1}{2}mg, \text{ 故知 } F_2 \text{ 方向向上，为支持力。}$$

## 课堂应用 2

用钢管做成半径为  $R=0.5\text{m}$  的光滑圆环（管径远小于  $R$ ）竖直放置，一小球（可看作质点，直径略小于管径）质量为  $m=0.2\text{kg}$  在环内做圆周运动，求：小球通过最高点时，下列两种情况下球对管壁的作用力。取  $g=10\text{m/s}^2$

- (1) 速率为  $1.0\text{m/s}$       (2) 速率为  $4.0\text{m/s}$



解：先求出杆的弹力为 0 的速率  $v_0$

$$v_0 = \sqrt{gl} = 2.25\text{m/s}$$

- (1)  $v_1=1\text{m/s} < v_0$  球应受到内壁向上的支持力  $N_1$

$$mg - N_1 = mv_1^2 / l \quad \text{得 } N_1 = 1.6\text{ N}$$

- (2)  $v_2=4\text{m/s} > v_0$  球应受到外壁向下的支持力  $N_2$

$$\text{则 } mg + N_2 = mv_2^2 / l \quad \text{得 } N_2 = 4.4\text{ N}$$

由牛顿第三定律，球对管壁的作用力分别为

- (1) 对内壁  $1.6\text{N}$  向下的压力

- (2) 对外壁  $4.4\text{N}$  向上的压力。

## 五、课堂小结

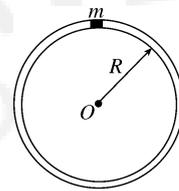
物理情景	最高点无支撑	最高点有支撑
实例	球与绳连接、水流星、沿内轨道运动的“过山车”等	球与杆连接、球在光滑管道中运动等
图示		
受力特征	除重力外，物体受到的弹力方向：向下或等于零	除重力外，物体受到的弹力方向：向下、等于零或向上
受力示意图		
力学方程	$mg + F_{\text{弹}} = m \frac{v^2}{R}$	$mg \pm F_{\text{弹}} = m \frac{v^2}{R}$
临界特征	$F_{\text{弹}} = 0$ $mg = m \frac{v_{\text{min}}^2}{R}$	$v = 0$ 即 $F_{\text{向}} = 0$

	即 $v_{\min} = \sqrt{gR}$	$F_{\text{弹}} = mg$
过最高点的 条件	在最高点的速度 $v \geq \sqrt{gR}$	$v \geq 0$
模型归纳	轻绳模型	轻杆模型

## 六、验收

1. 如图所示，半径为  $R$  的细圆管(管径可忽略)内壁光滑，竖直放置，一质量为  $m$  直径略小于管径的小球可在管内自由滑动，测得小球在管顶部时与管壁的作用力大小为  $mg$ ， $g$  为当地重力加速度，则( )

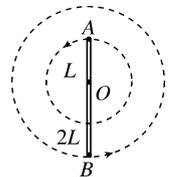
- A. 小球在管顶部时速度大小为  $\sqrt{2gR}$
- B. 小球运动到管底部时速度大小可能为  $\sqrt{2gR}$
- C. 小球运动到管底部时对管壁的压力可能为  $5mg$
- D. 小球运动到管底部时对管壁的压力为  $7mg$



答案 C

2. (多选) 如图所示，将长为  $3L$  的轻杆穿过光滑水平转轴  $O$ ，两端分别固定质量为  $2m$  的球 A 和质量为  $3m$  的球 B，A 到  $O$  的距离为  $L$ ，现使杆在竖直平面内转动，当球 B 运动到最高点时，球 B 恰好对杆无作用力，两球均视为质点。则球 B 在最高点时( )

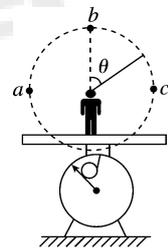
- A. 球 B 的速度大小为  $\sqrt{gL}$
- B. 球 A 的速度大小为  $\frac{1}{2}\sqrt{2gL}$
- C. 球 A 对杆的作用力大小为  $3mg$
- D. 水平转轴对杆的作用力为  $5mg$



答案 BC

3. 如图所示，一个质量为  $M$  的人，站在台秤上，一长为  $R$  的悬线一端系一个质量为  $m$  的小球，手拿悬线另一端，小球绕悬线另一端点在竖直平面内做圆周运动，且小球恰好能通过圆轨道最高点，则下列说法正确的是( )

- A. 小球运动到最低点时，台秤的示数最大且为  $(M+6m)g$
- B. 小球运动到最高点时，台秤的示数最小且为  $Mg$
- C. 小球在 a、b 两个位置时，台秤的示数不相同
- D. 小球从最高点运动到最低点的过程中台秤的示数增大，人处于超重状态



答案 A