专题03
力与曲线运动

课标内容要求

1. 了解曲线运动，知道物体做曲线运动的条件。

2. 认识平抛运动的规律。会用运动合成与分解的方法分析平抛运动。体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想。能分析生产生活中的抛体运动

3. 会用线速度、角速度、周期描述匀速圆周运动。知道匀速圆周运动向心加速度的大小和方向。了解匀速圆周运动向心力大小与半径、角速度、质量的关系。能用牛顿第二定律分析匀速圆周运动的向心力。了解生产生活中的离心现象及其产生的原因。

网络构建

力与
曲线运动

- 运动的合成与分解——小船渡河
- 平抛运动
- 圆周运动

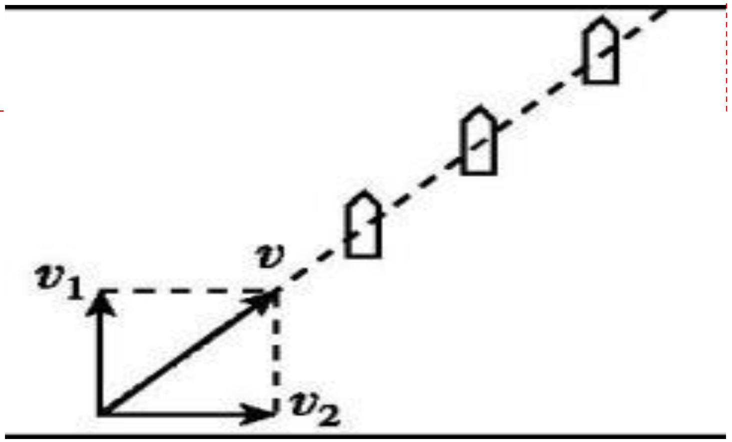
小船渡河

核心提炼

小船渡河问题

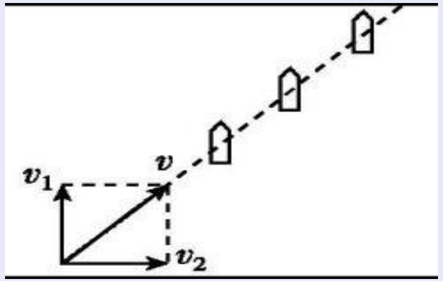
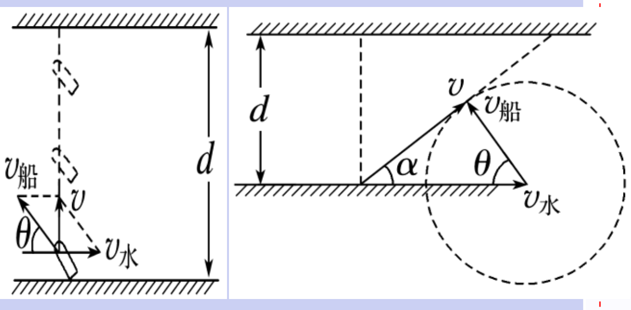
1)解决这类问题的关键：正确区分船的分运动和合运动。船的航行方向也就是船头指向，是分运动；船的运动方向也就是船的实际运动方向，是合运动，一般情况下与船头指向不一致

2)运动分解的基本方法：按实际效果分解，一般用平行四边形定则沿水流方向和船头指向进行分解



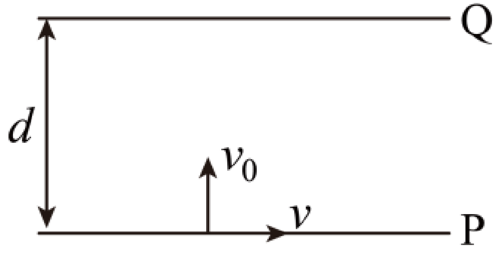
核心提炼

小船渡河问题

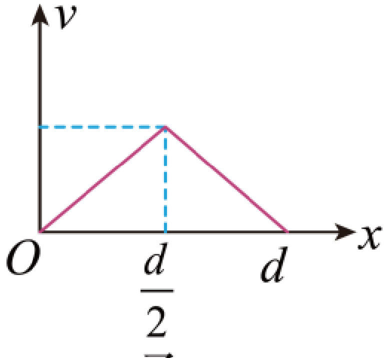
模型解读	分运动1	分运动2	合运动
运动	船相对于静水的划行运动	船随水漂流的运动	船的实际运动
速度本质	发动机给船的速度v_1	水流给船的速度v_2	船相对于岸的速度
速度方向	沿船头指向	沿水流方向	合速度方向，轨迹方向
渡河时间	①渡河时间只与船垂直于河岸方向的分速度有关，与水流速度无关 ②渡河时间最短：船头正对河岸时，渡河时间最短，$t_{min}=\frac{d}{v_1}$ (d为河宽)		
渡河位移	①若$v_船>v_水$，当船头方向与上游河岸夹角θ满足$v_船\cos\theta=v_水$时，合速度垂直河岸，渡河位移最短，且$x_{min}=d$ ②若$v_船<v_水$，合速度不可能垂直于河岸，无法垂直渡河。当船头方向（即$v_船$方向）与合速度方向垂直时，渡河位移最短，$x_{min}=\frac{d}{\cos\theta}=\frac{dv_水}{v_船}$		

题型特训

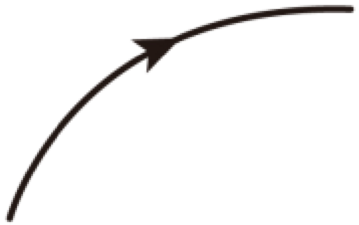
如图甲所示，一条小河宽度为d，两河岸P、Q平行，一小船以恒定速度v_0从河岸P出发，船头总保持与河岸P垂直，河水速度v与离河岸P的距离x的关系图像如图乙所示，则小船在小河中运动的轨迹可能正确的是（　　）

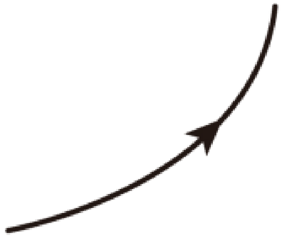


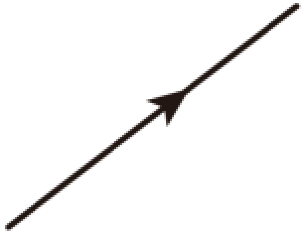
甲

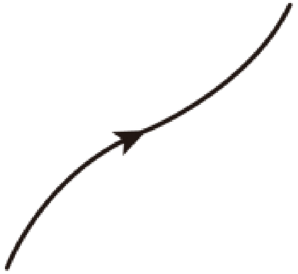


乙

A. 

B. 

C. 

D. 

解析

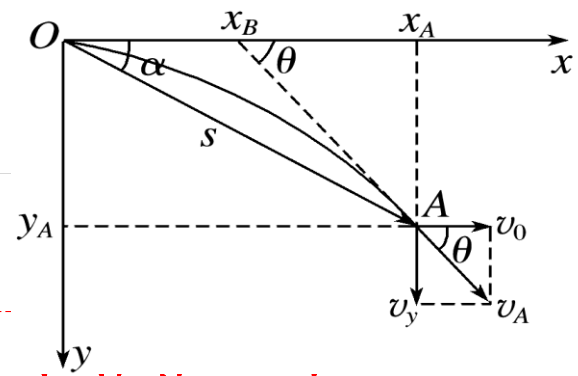
在小船船头垂直于河岸P匀速运动的过程中，河水的速度先增加，后减小，即小船沿河岸方向先加速后减速到零。

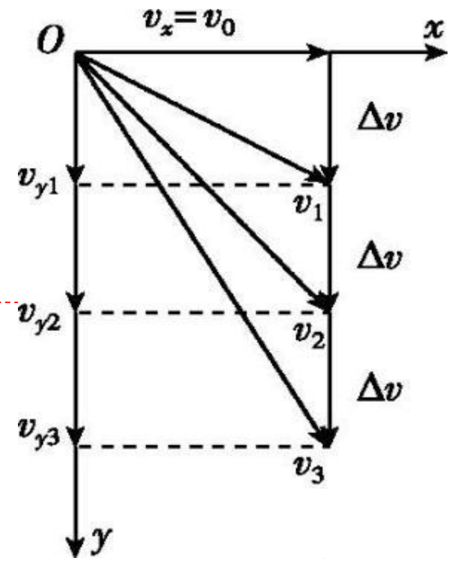
故选D。

抛体运动的规律及应用

核心提炼

平抛运动的规律及推论





水平方向是匀速直线运动，竖直方向是自由落体运动

1）飞行时间:由$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$知，飞行时间取决于下落高度h

2）水平射程：$x=v_0t=v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$ ，即水平射程由初速度v_0和下落高度h共同决定，与其他因素无关.

3）落地速度：$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+2gh}$ ，以θ表示落地速度与x轴正方向间的夹角，有$\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{\sqrt{2gh}}{v_0}$，所以落地速度只与初速度$v_0$和下落高度h有关.

4）速度改变量：物体在任意相等时间内的速度改变量$\Delta v=g\Delta t$相同，方向恒为竖直向下.

核心提炼

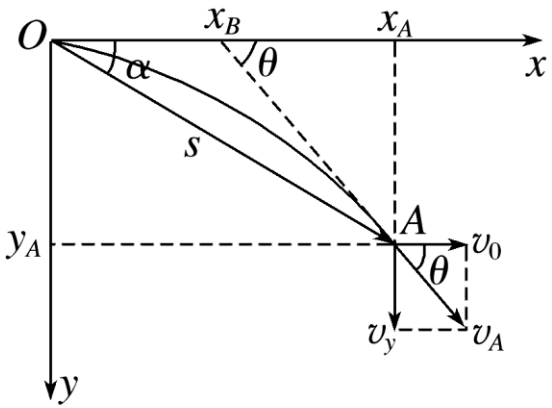
平抛运动的规律及推论

5）平抛运动的两个重要结论

①做平抛运动的物体在任意时刻(任意位置)处，有 $\tan\theta = 2\tan\alpha$

②做平抛运动的物体在任意时刻的瞬时速度的反向延长线一定通过水平位移的中点，

即 $x_A = 2x_B$

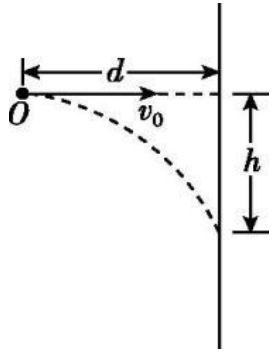


核心提炼

平抛运动与各种面结合问题

1）平抛与竖直面结合

$$\begin{cases} 水平：d=v_0 t \\ 竖直：h=\dfrac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$



2）平抛与斜面结合

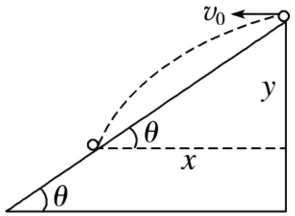
①顺着斜面平抛

情形一：

落到斜面上，已知位移方向沿斜面向下

处理方法：分解速度

$$\begin{cases} x=v_0 t \\ y=\dfrac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t=\dfrac{2v_0\tan\theta}{g} \\ \tan\theta=\dfrac{y}{x} \end{cases}$$

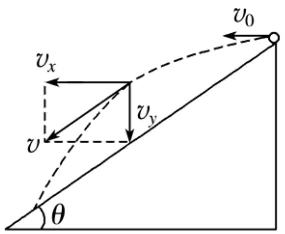


情形二：

物体离斜面距离最大，已知速度方向沿斜面向下

处理方法：分解速度

$$\begin{cases} v_x=v_0 \\ v_y=gt \quad \Rightarrow t=\dfrac{v_0\tan\theta}{g} \\ \tan\theta=\dfrac{v_y}{v_x} \end{cases}$$



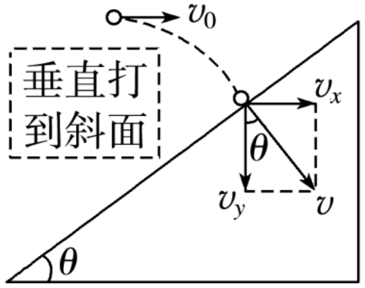
核心提炼

平抛运动与各种面结合问题

②对着斜面平抛：垂直打在斜面上，已知速度方向垂直斜面向下

处理方法：分解速度

$$\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = gt \\ \tan\theta = \dfrac{v_x}{v_y} = \dfrac{v_0}{gt} \end{cases} \Rightarrow t = \frac{v_0}{g\tan\theta}$$

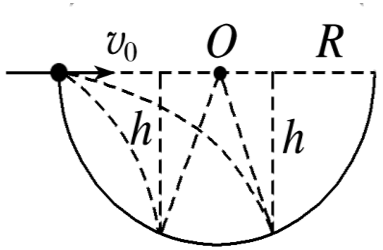


核心提炼

平抛运动与各种面结合问题

3）平抛与圆面结合

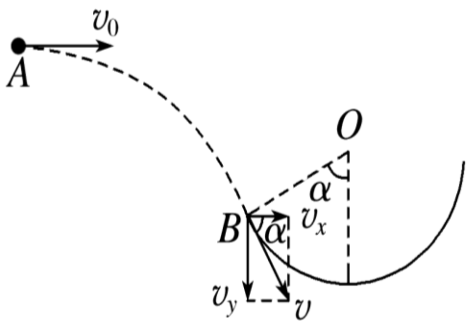
①小球从半圆弧左边沿平抛，落到半圆内的不同位置.



处理方法：由半径和几何关系制约时间t:

$$\begin{cases} h=\dfrac{1}{2}gt^2 \\ R\pm\sqrt{R^2-h^2}=v_0t \end{cases}$$
联立两方程可求t

②小球恰好沿B点的切线方向进入圆轨道，此时半径OB垂直于速度方向，圆心角α与速度的偏向角相等



处理方法：分解速度.

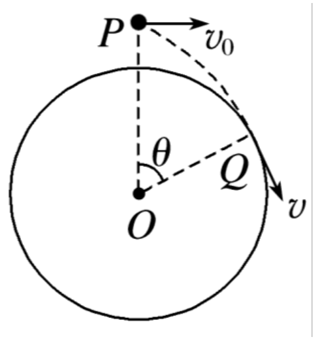
$$\begin{cases} v_x=v_0 \\ v_y=gt \end{cases}$$
可求得$t=\dfrac{v_0\tan\alpha}{g}$

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

核心提炼

平抛运动与各种面结合问题

③小球恰好从圆柱体Q点沿切线飞过，此时半径OQ垂直于速度方向，圆心角θ与速度的偏向角相等.



处理方法：分解速度.

$$\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = gt \end{cases}$$

可求得 $t = \dfrac{v_0 \tan\theta}{g}$

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

4）与圆弧面有关的平抛运动：题中常出现一个圆心角，通过这个圆心角，就可找出速度的方向及水平位移和竖直位移的大小，再用平抛运动的规律列方程求解.

核心提炼

平抛运动的临界问题

1）常见的三种临界特征

①有些题目中有“刚好”“恰好”“正好”等字眼，明显表明题述的过程中存在着临界点.

②若题目中有“取值范围”“多长时间”“多大距离”等词语，表明题述的过程中存在着“起止点”，而这些起止点往往就是临界点.

③若题目中有“最大”“最小”“至多”“至少”等字眼，表明题述的过程中存在着极值，这个极值点往往是临界点.

2）平抛运动临界问题的分析方法

①确定研究对象的运动性质；

②根据题意确定临界状态；

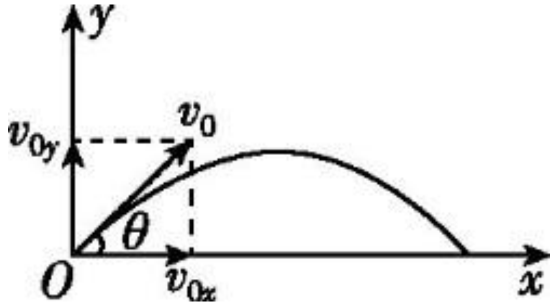
③确定临界轨迹，画出轨迹示意图；

④应用平抛运动的规律结合临界条件列方程求解

核心提炼

斜抛运动及解题思路

1）定义：将物体以初速度v_0斜向上方或斜向下方抛出，物体只在重力作用下所做的运动.



2）运动性质：加速度为g的匀变速曲线运动，轨迹为抛物线.

3）研究方法：运动的合成与分解

①水平方向：匀速直线运动；

②竖直方向：匀变速直线运动.

核心提炼

斜抛运动及解题思路

4）基本规律(以斜向上抛为例)

①水平方向：做匀速直线运动，$v_{0x}=v_0\cos\theta, x=v_0t\cos\theta$

②竖直方向：做竖直上抛运动，$v_{0y}=v_0\sin\theta, y=v_0t\sin\theta-\frac{1}{2}gt^2$

5）平抛运动和斜抛运动的相同点

①都只受到重力作用，加速度相同，相等时间内速度的变化量相同.

②都是匀变速曲线运动，轨迹都是抛物线.

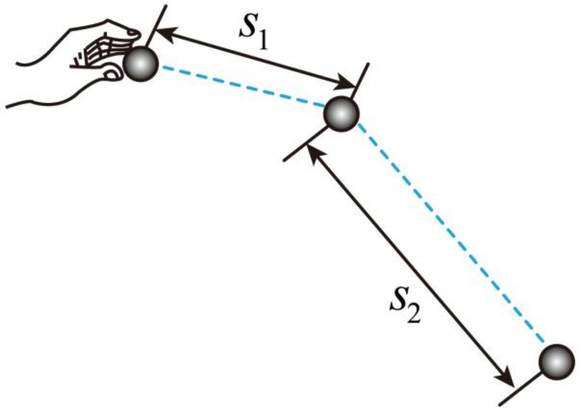
③都可采用“化曲为直”的运动的合成与分解的方法分析问题.

技巧点拨

逆向思维法处理斜抛问题：对斜上抛运动，从抛出点到最高点的运动可逆过程分析，看成平抛运动，分析完整的斜上抛运动，还可根据对称性求解某些问题.

真题研析

(2022•全国•高考真题)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0.05s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。重力加速度大小取 g，忽略空气阻力。求在抛出瞬间小球速度的大小。



真题研析

解析

频闪仪每隔 0.05s 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 $t=4T=0.05\times4\text{s}=0.2\text{s}$

设抛出瞬间小球的速度为 v_0，每相邻两球间的水平方向上位移为 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 $x=v_0t$

$$y_1=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times10\times0.2^2\text{m}=0.2\text{m}，\quad y_2=\frac{1}{2}g(2t)^2-\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times10\times\left(0.4^2-0.2^2\right)\text{m}=0.6\text{m}$$

令 $y_1=y$，则有 $y_2=3y_1=3y$，已标注的线段 s_1、s_2 分别为

$$s_1=\sqrt{x^2+y^2}，\quad s_2=\sqrt{x^2+(3y)^2}=\sqrt{x^2+9y^2}$$

则有 $\sqrt{x^2+y^2}:\sqrt{x^2+9y^2}=3:7$，整理得 $x=\frac{2\sqrt{5}}{5}y$

故在抛出瞬间小球的速度大小为 $v_0=\frac{x}{t}=\frac{2\sqrt{5}}{5}\text{m/s}$

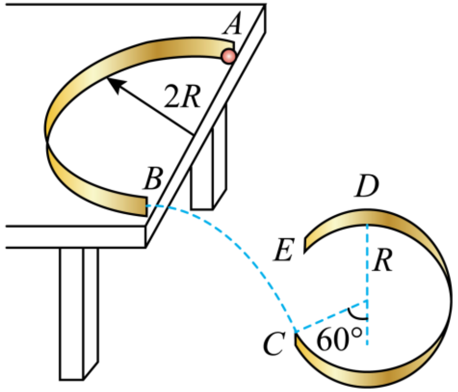
真题研析

(2023•湖北•高考真题)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°。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。



真题研析

解析

（1）由题知，小物块恰好能到达轨道的最高点 D，则在 D 点有 $m\frac{v_D^2}{R}=mg$，解得 $v_D=\sqrt{gR}$

（2）由题知，小物块从 C 点沿圆弧切线方向进入轨道 CDE 内侧，则在 C 点有 $\cos 60^\circ=\frac{v_B}{v_C}$

小物块从 C 到 D 的过程中，根据动能定理有 $-mg(R+R\cos 60^\circ)=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_C^2$

则小物块从 B 到 D 的过程中，根据动能定理有 $mgH_{BD}=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_B^2$

联立解得 $v_B=\sqrt{gR}$，$H_{BD}=0$

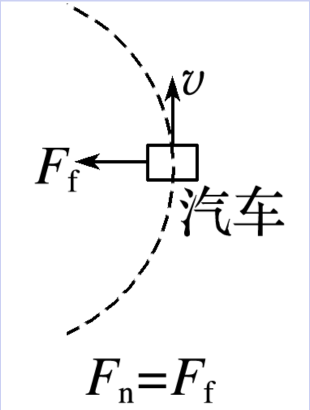
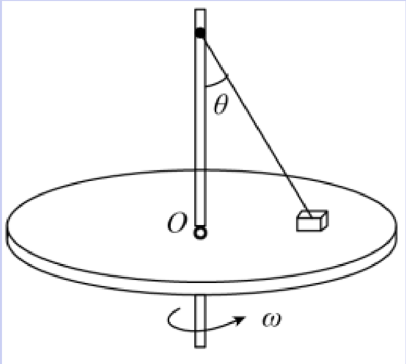
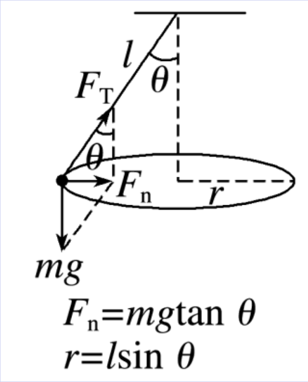
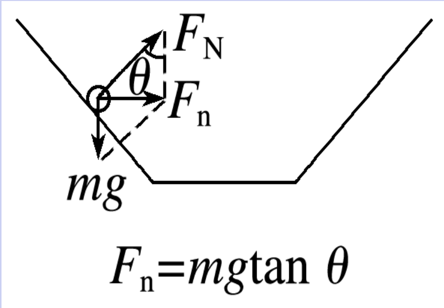
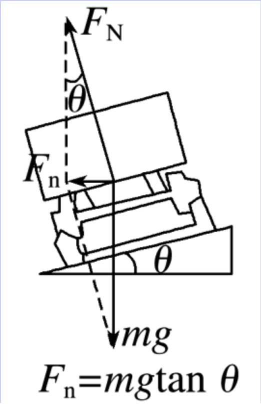
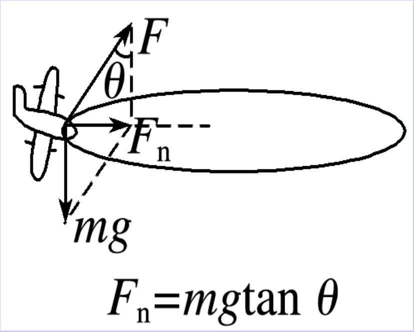
（3）小物块从 A 到 B 的过程中，根据动能定理有 $-\mu mgS=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$

$S=\pi\cdot 2R$，解得 $v_A=\sqrt{3gR}$

圆周运动的规律及应用

核心提炼

水平面内圆周运动的动力学问题

运动模型	汽车在水平路面转弯	水平转台（光滑）	圆锥摆
向心力的来源图示			
运动模型	飞车走壁	火车转弯	飞机水平转弯
向心力的来源图示			

核心提炼

竖直平面内圆周运动问题的解题思路

1.定模型：首先判断是绳子模型还是轻杆模型.

2.确定临界点：$v_{临}=\sqrt{gr}$，对绳子模型来说是能否通过最高点的临界点，而对轻杆模型来说是F_N表现为支持力还是拉力的临界点.

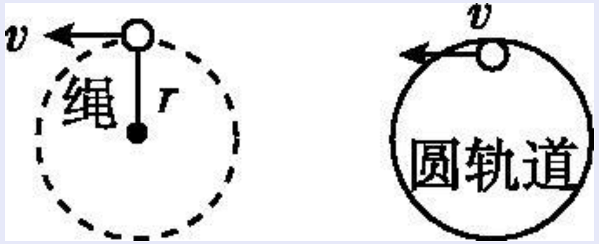
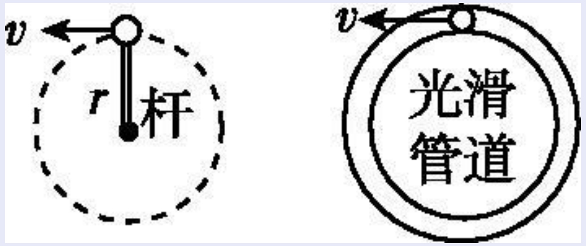
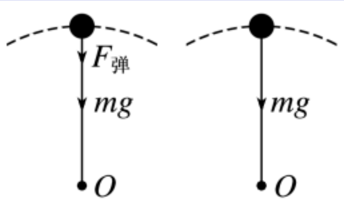
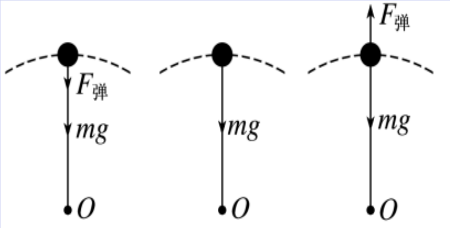
3.研究状态：通常情况下竖直平面内的圆周运动只涉及最高点和最低点的运动情况.

4.受力分析：对物体在最高点或最低点时进行受力分析，根据牛顿第二定律列出方程，$F_{合}=F_{向}$

5.过程分析：应用动能定理或机械能守恒定律将初、末两个状态联系起来列方程.

核心提炼

绳子模型与轻杆模型对比

<table>
<tr><th></th><th>绳模型</th><th>杆模型</th></tr>
<tr><td>实例</td><td>球与绳连接、水流星、沿内轨道运动的“过山车”等</td><td>球与杆连接、球在光滑管道中运动等</td></tr>
<tr><td>常见类型</td><td>均是没有支撑的小球

</td><td>均是有支撑的小球

</td></tr>
<tr><td>受力示意图</td><td>F弹向下或等于零

</td><td>F弹向下、等于零或向上

</td></tr>
<tr><td>力学方程</td><td>$mg+F_{弹}=m\frac{v^2}{R}$</td><td>$mg\pm F_{弹}=m\frac{v^2}{R}$</td></tr>
</table>

核心提炼

绳子模型与轻杆模型对比

	绳模型	杆模型
过最高点的临界条件	$F_{弹}=0$ $mg=m\frac{v_{min}^2}{R}$ $v_{\min}=\sqrt{gR}$	$v=0$ $F_{向}=0$ $F_{弹}=mg$
讨论分析	①过最高点时，$v\geq\sqrt{gR}$，$F_{弹}+mg=m\frac{v^2}{R}$，绳、圆轨道对球产生弹力 $F_{弹}$ ②不能过最高点时，$v<\sqrt{gR}$，在到达最高点前小球已经脱离了圆轨道	①当 $v=0$时，$F_{弹}=mg$，$F_{弹}$为支持力，沿半径背离圆心 ②当$0<v<\sqrt{gR}$ 时，$-F_{弹}+mg=m\frac{v^2}{R}$，$F_{弹}$背离圆心，随v的增大而减小 ③当 $v=\sqrt{gR}$时，$F_{弹}=0$ ④当 $v>\sqrt{gR}$时，$F_{弹}+mg=m\frac{v^2}{R}$，$F_{弹}$指向圆心并随v的增大而增大

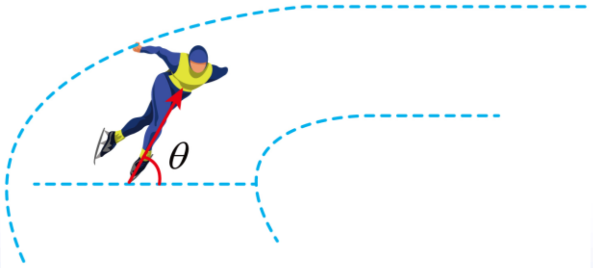
真题研析

(2022•福建•高考真题)如清代乾隆的《冰嬉赋》用“躄bì躠xiè”（可理解为低身斜体）二字揭示了滑冰的动作要领。短道速滑世界纪录由我国运动员武大靖创造并保持。在其创造纪录的比赛中，

（1）武大靖从静止出发，先沿直道加速滑行，前8m用时2s。该过程可视为匀加速直线运动，求此过程加速度大小；

（2）武大靖途中某次过弯时的运动可视为半径为10m的匀速圆周运动，速度大小为14m/s。已知武大靖的质量为73kg，求此次过弯时所需的向心力大小；

（3）武大靖通过侧身来调整身体与水平冰面的夹角，使场地对其作用力指向身体重心而实现平稳过弯，如图所示。求武大靖在（2）问中过弯时身体与水平面的夹角θ的大小。（不计空气阻力，重力加速度大小取$10m/s^2$，tan22°＝0.40、tan27°=0.51、tan32°=0.62、tan37°＝0.75）



真题研析

解析

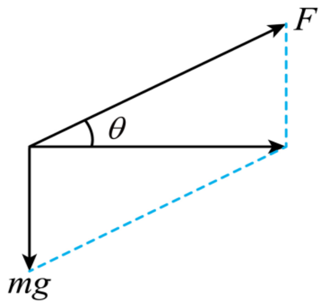
对（1）设武大靖运动过程的加速度大小为 a，根据 $x=\frac{1}{2}at^2$

解得 $a=\frac{2x}{t^2}=\frac{2\times 8}{2^2}\mathrm{m/s^2}=4\mathrm{m/s^2}$

（2）根据 $F_{向}=m\frac{v^2}{r}$，解得过弯时所需的向心力大小为 $F_{向}=73\times\frac{14^2}{10}\mathrm{N}=1430.8\mathrm{N}$

（3）设场地对武大靖的作用力大小为 F，受力如图所示

根据牛顿第二定律可得 $F_{向}=\frac{mg}{\tan\theta}$



解得 $\tan\theta=\frac{mg}{F_{向}}=\frac{73\times 10}{1430.8}\approx 0.51$

可得 $\theta=27°$