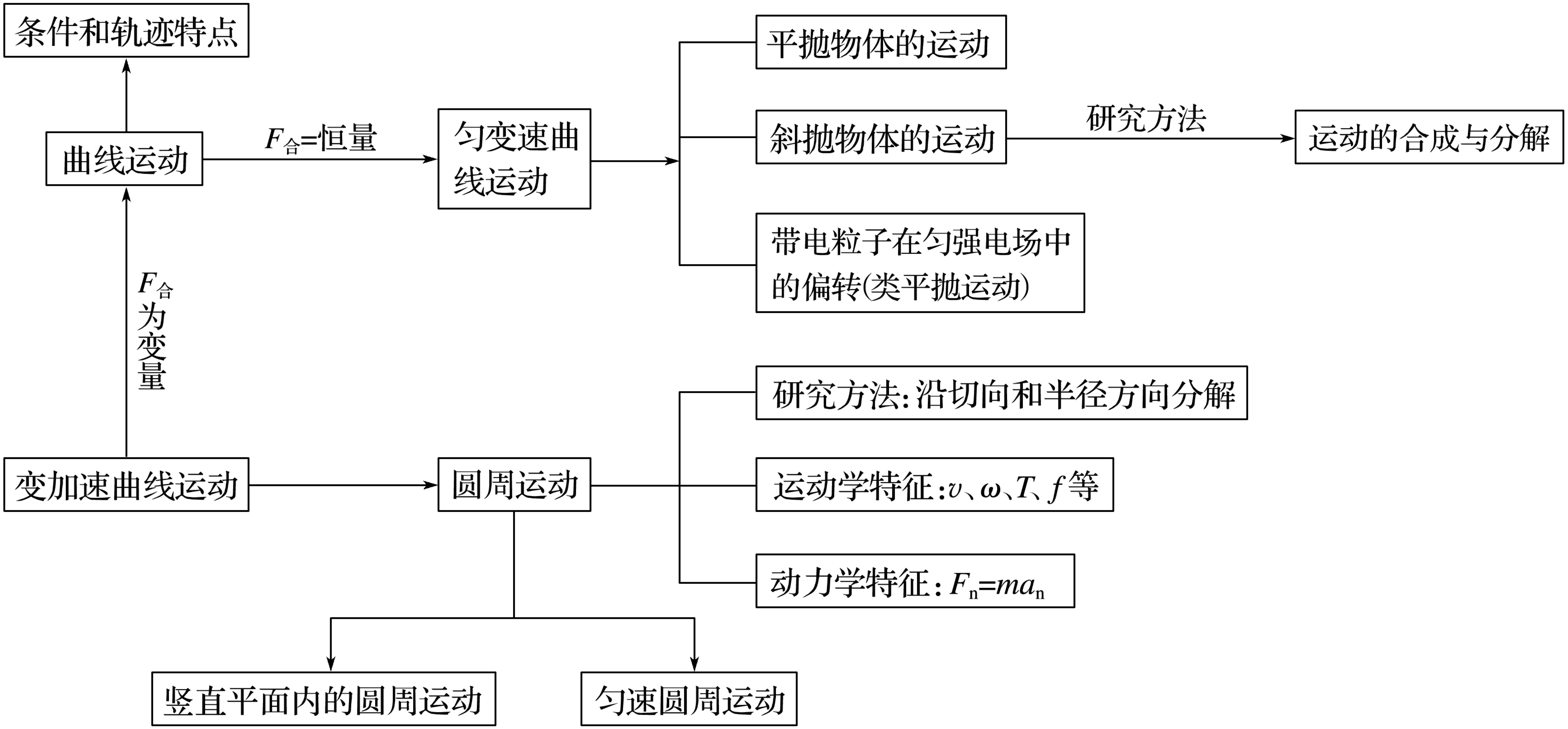
知识专题

专题3　力与物体的曲线运动

网络构建



条件和轨迹特点
曲线运动
$F_合$=恒量
匀变速曲线运动
平抛物体的运动
斜抛物体的运动
研究方法
运动的合成与分解
带电粒子在匀强电场中的偏转(类平抛运动)
$F_合$为变量
变加速曲线运动
圆周运动
研究方法:沿切向和半径方向分解
运动学特征:v、ω、T、f等
动力学特征:$F_n=ma_n$
竖直平面内的圆周运动
匀速圆周运动

方法指导

1. 物体做曲线运动的条件

当物体所受合外力的方向跟它的速度方向不共线时，物体做曲线运动．

合运动与分运动具有等时性、独立性和等效性．

2. 分析运动合成与分解的一般思路

明确合运动及其运动性质

⇓

根据效果分解或正交分解

⇓

确定分运动的方向及运动性质

⇓

由平行四边形定则确定数量关系

⇓

写出表达式进行数学分析

典例剖析

例 1　质量为 2 kg 的质点在 $x-y$ 平面上运动，x 方向的速度—时间图象和 y 方向的位移—时间图象分别如图 1 甲、乙所示 ? 质点(　　)

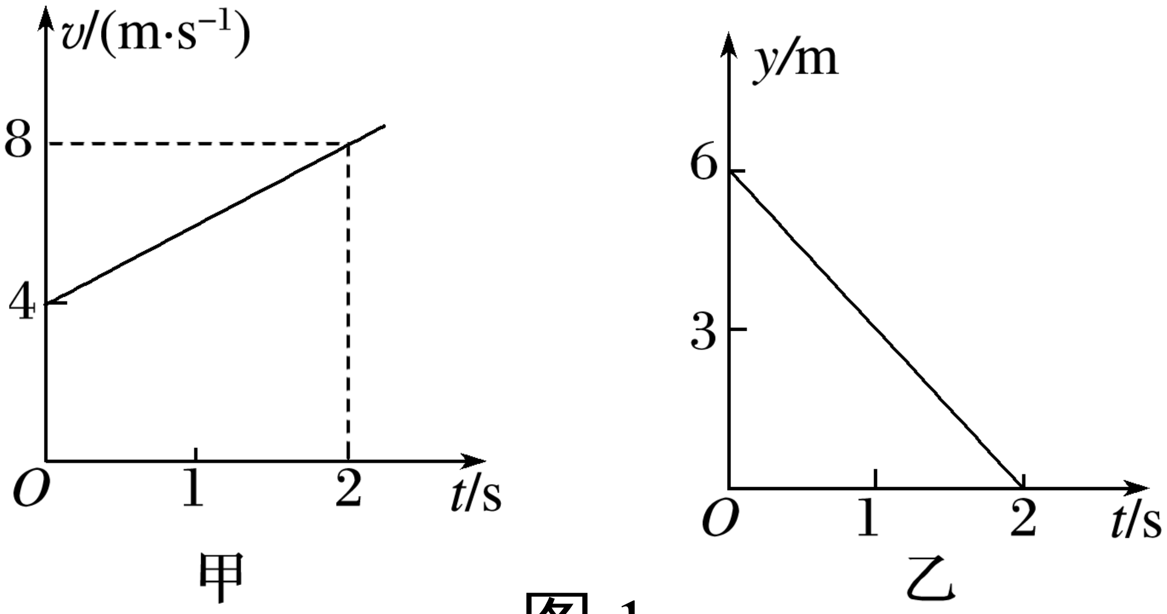


图 1

A. 初速度为 4 m/s　　B. 所受合外力为 4 N

C. 做匀变速直线运动　　D. 初速度的方向与合外力的方向垂直

解析

[变式训练]

1.(2016·全国乙卷·18) 一质点做匀速直线运动，现对其施加一恒力，且原来作用在质点上的力不发生改变，则?(　　)

A. 质点速度的方向总是与该恒力的方向相同

√B. 质点速度的方向不可能总是与该恒力的方向垂直

√C. 质点加速度的方向总是与该恒力的方向相同

D. 质点单位时间内速率的变化量总是不变

2. 如图 2 所示，甲乙两船在同一条河流中同时开始渡河，M、N 分别是甲乙两船的出发点，两船头与河岸均成 α 角，甲船船头恰好对准 N 点的正对岸 P 点，经过一段时间乙船恰好到达 P 点，如果划船速度大小相等，且两船相遇，不影响各自的航行，下列判断正 ？ 的是

A. 甲船也能到达正对岸

B. 甲船渡河时间一定短

√C. 两船相遇在 NP 直线上的某点（非 P 点）

D. 渡河过程中两船不会相遇

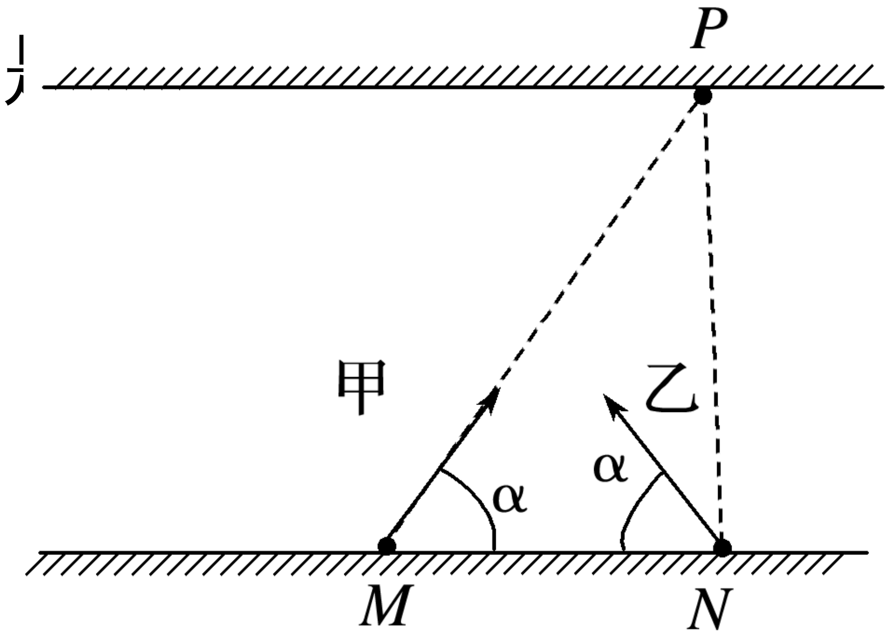


图 2

方法指导

1. 求解平抛运动的基本思路和方法——运动的分解

将平抛运动分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动——“化曲为直”，是处理平抛运动的基本思路和方法.

2. 求解平抛(类平抛)运动的注意点

(1) 突出落点问题时，一般建立坐标系，由两个方向遵循的规律列出位移方程，由此确定其落点.

(2) 突出末速度的大小和方向问题时，一般要建立水平分速度和竖直分速度之间的关系，由此确定其末速度.

(3) 如图 3 所示，分解某一过程的位移和某一位置瞬时速度，则可以获得两个直角三角形，一般该类运动问题都可以在这两个直角三角形中解决.

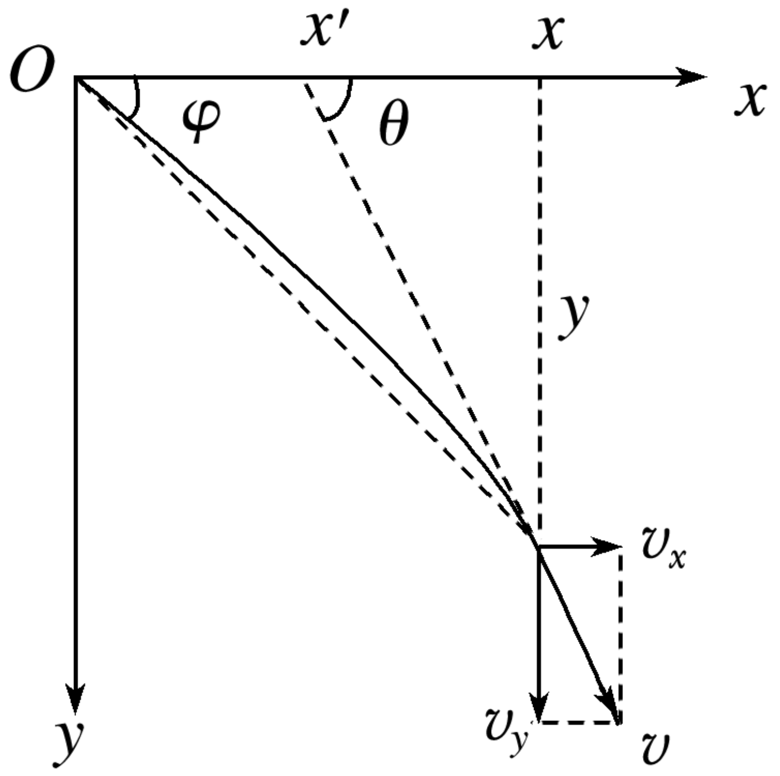


图 3

典例剖析

例 2　如图 4 所示，将甲、乙两球从虚线 PQ 右侧某位置分别以速度 v_1、v_2 沿水平方向抛出，其部分轨迹如图 1、2 所示，两球落在斜面上同一点，且速度方向相同，不计空气阻力，下列说法正确的 ? (　　)

A. 甲、乙两球抛出点在同一竖直线上

B. 甲、乙两球抛出点在斜面上

C. 甲球抛出点更靠近 PQ 线

√D. 一定有 $v_1>v_2$

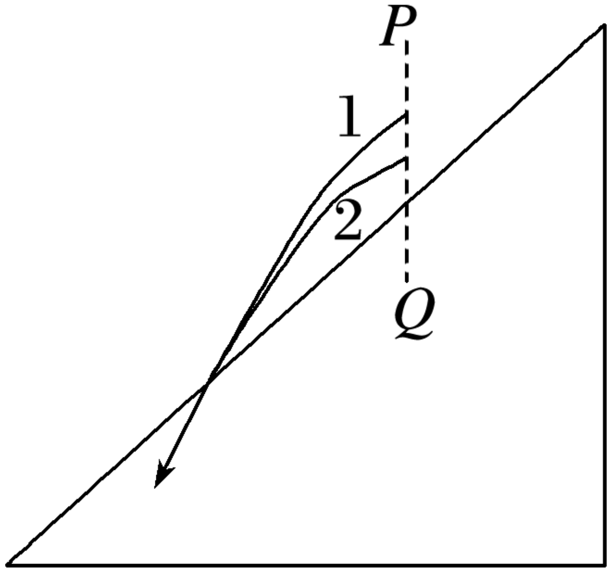


图 4

解析

[变式训练]

3. 如图 5 所示，在水平地面上 A 、 B 两点同时迎面抛出两个物体，初速度分别为 v_1 、 v_2 ，与水平方向所成角 $\alpha_1 = 30°$ 、 $\alpha_2 = 60°$ ，两物体恰好落到对方抛出点 . 两物体在空中运动的时间分别为 t 不计空气阻力 . 则 (?)

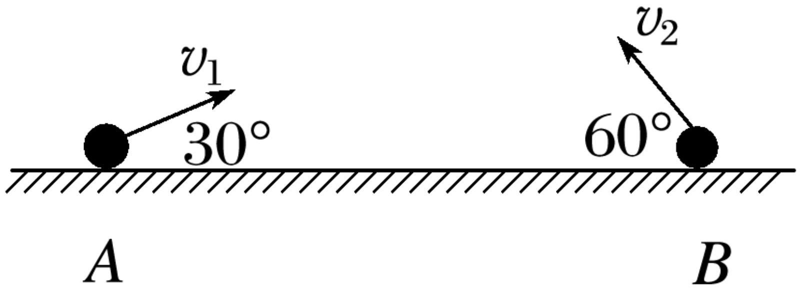


图 5

√ A. $v_1 = v_2$

B. $t_1 = t_2$

C. 两物体在空中可能相遇

√ D. 两物体位于同一竖直线时，一定在 AB 中点的右侧

4. 横截面为直角三角形的两个相同斜面紧靠在一起，固定在水平面上，如图 6 所示 . 它们的竖直边长都是底边长的一半，现有三个小球从左边斜面的顶点以不同的初速度向右平抛，最后落在斜面上，其落点分别是 a 、 b 、 c. 若不计空气阻力，则下列判断正确的是 (?)

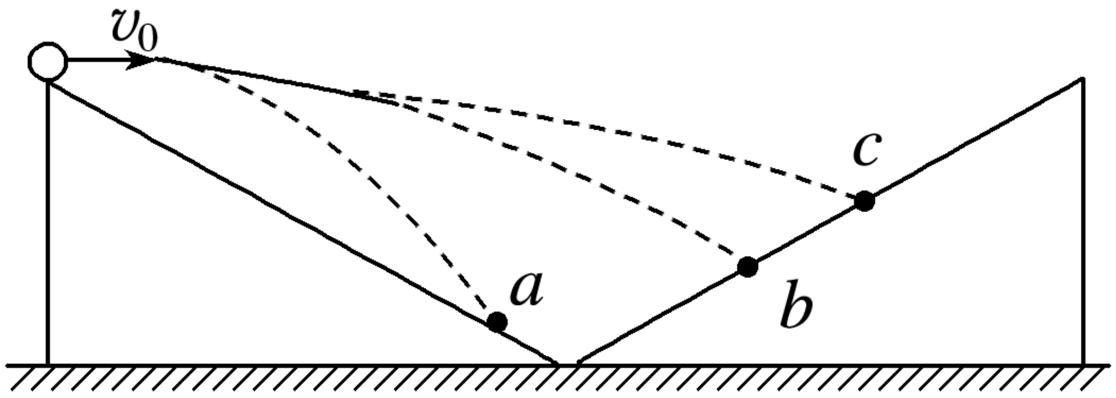


图 6

A. 三小球比较，落在 c 点的小球飞行过程速度变化最大

B. 三小球比较，落在 c 点的小球飞行过程速度变化最快

C. 三小球比较，落在 a 点的小球飞行时间最短

√D. 无论小球抛出时初速度多大，落在斜面上的瞬时速度都不可能与斜面垂

知识精讲

1. 圆周运动的描述

$$v=\frac{\Delta s}{\Delta t}\qquad \omega=\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\omega=\frac{2\pi}{T}$$

$$v=\omega\cdot R=\frac{2\pi}{T}\cdot R$$

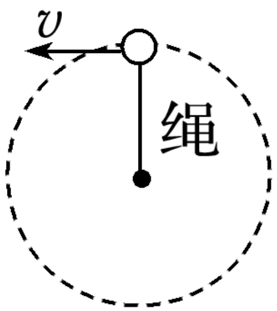
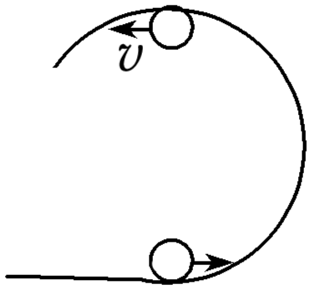
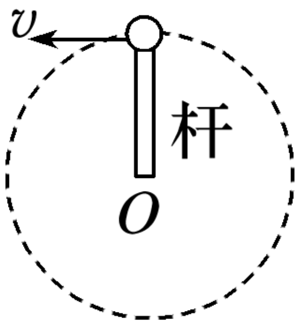
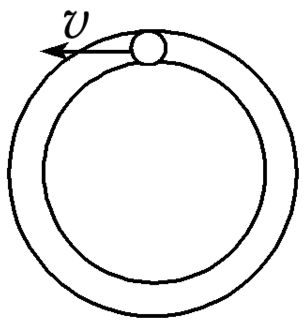
$$a_n=\frac{v^2}{R}=\omega^2\cdot R=\frac{4\pi^2}{T^2}\cdot R.$$

2. 水平面内圆周运动的临界问题

(1) 水平面内做圆周运动的物体其向心力可能由弹力、摩擦力等力提供，常涉及绳的张紧与松弛、接触面分离等临界状态 .

(2) 常见临界条件：绳的临界：张力 $F_T = 0$ ；接触面滑动的临界： $F = F_f$ ；接触面分离的临界： $F_N = 0$.

3. 竖直平面内圆周运动的绳、杆模型

模型	绳模型	杆模型
实例	球与绳连接、水流星、翻滚过山车等	球与杆连接、球过竖直的圆形管道、套在圆环上的物体等
图示	 	 

在最高点受力	重力、弹力 $F_{弹}$(向下或等于零) $mg+F_{弹}=m\frac{v^2}{R}$	重力和弹力 $F_{弹}$(向下、向上或等于零) $mg\pm F_{弹}=m\frac{v^2}{R}$
恰好过最高点	$F_{弹}=0$，$mg=m\frac{v^2}{R}$，$v=\sqrt{Rg}$，即在最高点速度不能为零	$v=0$，$mg=F_{弹}$在最高点速度可为零

典例剖析

例 3　如图 7 所示，质量为 m 的小球置于内部光滑的正方体盒子中，盒子的边长略大于球的直径．盒子在竖直平面内做半径为 R、周期为 $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ 的匀速圆周运动，重力加速度大小为 g ?，则(　　)

A. 盒子运动到最高点时，小球对盒子底部压力为 mg

√B. 盒子运动到最低点时，小球对盒子底部压力为 $2mg$

C. 盒子运动到最低点时，小球对盒子底部压力为 $6mg$

D. 盒子从最低点向最高点运动的过程中，球处于超重状态

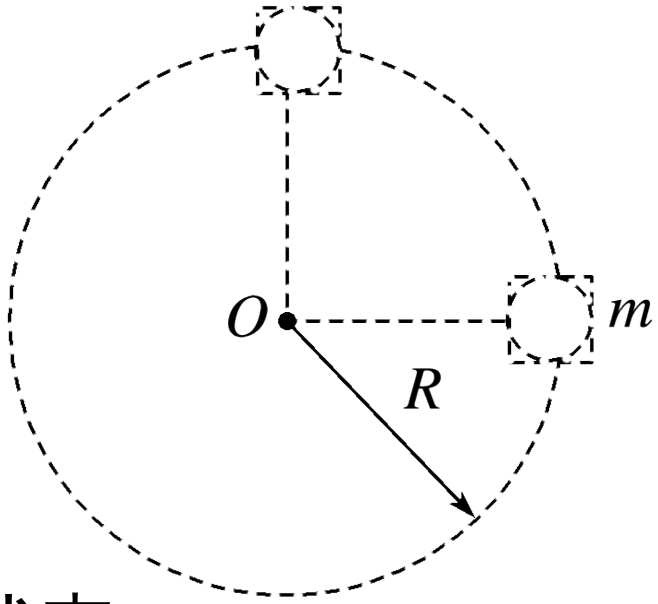


图 7

[变式训练]

5. 如图 8 所示，在匀速转动的水平盘上，沿半径方向放着用细线相连的质量相等的两个物体 A 和 B ，它们分居圆心两侧，与圆心距离分别为 $R_A = r$ ，$R_B = 2r$ ，与盘间的动摩擦因数 μ 相同，当圆盘转速加快到两物体刚好还未发生滑动时，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，下列说法?确的是(　　)

A. 此时绳子张力为 $F_T = 3\mu mg\sqrt{\frac{2\mu g}{r}}$

B. 此时圆盘的角速度为 $\omega =$

C. 此时 A 所受摩擦力方向沿半径指向圆外

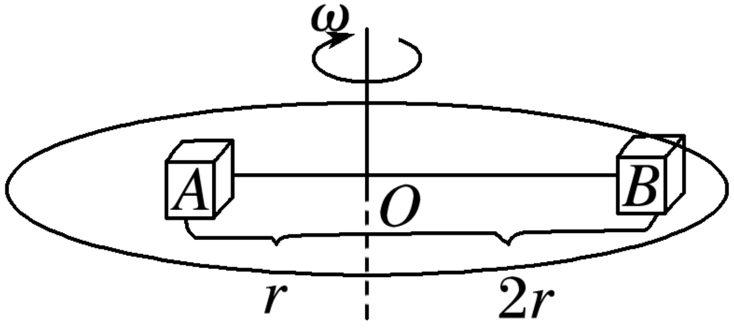


图 8

6.(2016·浙江理综·20) 如图 9 所示为赛车场的一个水平“梨形”赛道，两个弯道分别为半径 $R=90$ m 的大圆弧和 $r=40$ m 的小圆弧，直道与弯道相切. 大、小圆弧圆心 O、O' 距离 $L=100$ m. 赛车沿弯道路线行驶时，路面对轮胎的最大径向静摩擦力是赛车重力的 2.25 倍，假设赛车在直道上做匀变速直线运动，在弯道上做匀速圆周运动，要使赛车不打滑，绕赛道一圈时间最 ，重力加速度 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$，$\pi=3.14$)，则赛 ? (　　)

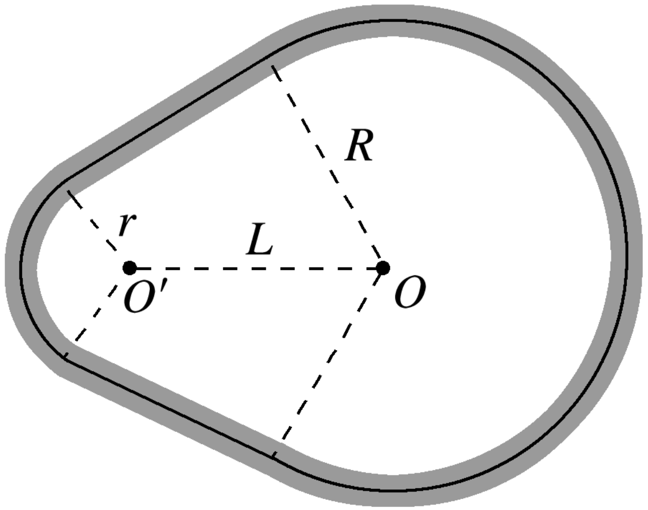


图 9

A. 在绕过小圆弧弯道后加速

B. 在大圆弧弯道上的速率为 45 m/s

C. 在直道上的加速度大小为 5.63 $\mathrm{m/s^2}$

D. 通过小圆弧弯道的时间为 5.58 s

知识精讲

解决抛体与圆周运动的综合问题应注意：

(1) 平抛运动与圆周运动的关联速度 .

(2) 圆周运动中向心力与运动学公式的关联 .

(3) 动能定理的灵活运用 .

典例剖析

例 4　(12 分) 如图 10 所示，BC 为半径等于 $\frac{2}{5}\sqrt{2}$ m 竖直放置的光滑细圆管，O 为细圆管的圆心，在圆管的末端 C 连接倾斜角为 45°、动摩擦因数 $\mu = 0.6$ 的足够长粗糙斜面，一质量为 $m = 0.5$ kg 的小球从 O 点正上方某处 A 点以 v_0 水平抛出，恰好能垂直 OB 从 B

小球从进入圆管开始受到始终竖直向上的力 $F = 5$ N 的作用，当小球运动到圆管的末端 C 作用力 F 立即消失，小球能平滑地冲上粗糙斜面.($g = 10$ m/s^2) 求：

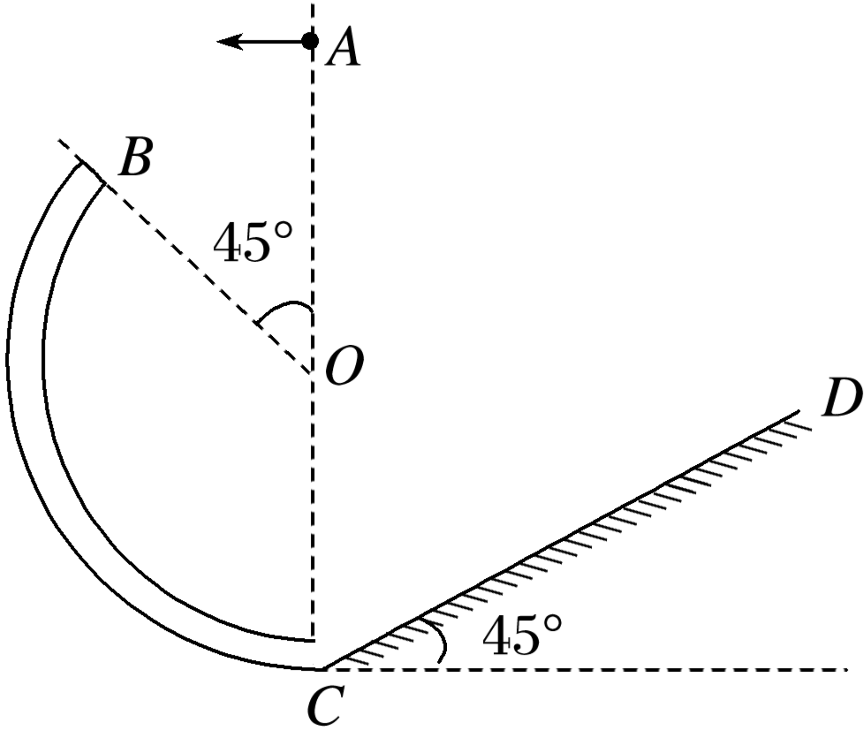
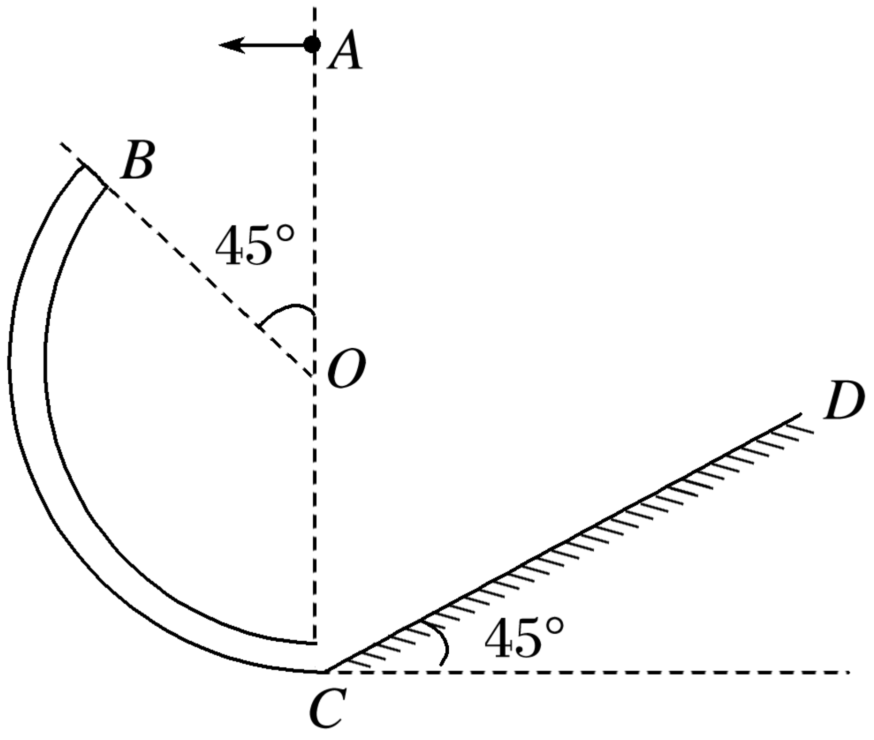


图 10

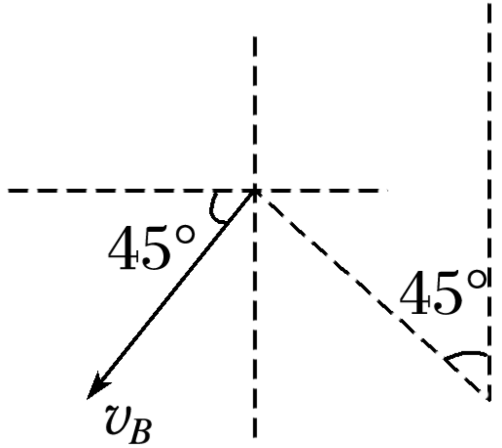
(1) 小球从 O 点的正上方某处 A 点水平抛出的初速度 v_0 为多少？OA 的距离为多少？

(2) 小球在圆管中运动时对圆管的压力是多少？

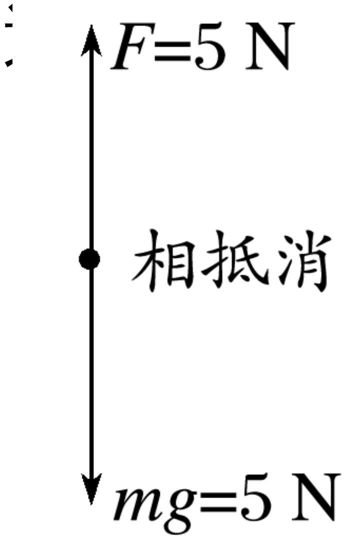
(3) 小球在 CD 斜面上运动的最大位移是多少？



[思维规范流程]

步骤 1 ：小球 从 A 到 B 点做 平抛运动 v_B 为平抛运动 与圆周运动的 关联速度	(1)A 到 B ： $x=\underline{r\cdot\sin 45°}=\underline{v_0t}$ ① $h=\underline{\frac{1}{2}gt^2}$ ②  在 B 点： $\tan 45°=\underline{\frac{gt}{v_0}}$ ③ 得：$v_0=\underline{2\ \text{m/s}}$ $h=\underline{0.2\ \text{m}}$ ④ $\lvert OA\rvert=\underline{h+r\cdot\cos 45°}=\underline{0.6\ \text{m}}$ ⑤

答案

步骤2：小球从 B 到 C 点做匀  	(2) 在 B 点：$v_B=\dfrac{v_0}{\cos 45^\circ}=2\sqrt{2}\ \mathrm{m/s}$ ⑥ $F_N=\dfrac{mv_B^2}{r}=5\sqrt{2}\ \mathrm{N}$ ⑦ 由牛顿第三定律得： 小球对圆管的压力 $F_N'=F_N=5\sqrt{2}\ \mathrm{N}$ ⑧

答案

步骤3：小球由C点沿斜面上滑到最高点	(3) $\underline{mg\sin 45° + \mu mg\cos 45°} = ma$ ⑨ $a = \underline{8\sqrt{2}}$ m/s^2 ⑩ $x = \underline{\dfrac{v_B^2}{2a}} = \underline{\dfrac{\sqrt{2}}{4}}$ m ⑪

⑨式2分，其余各式1分.

答案

[变式训练]

7. 如图 11 所示，质量为 1 kg 物块自高台上 A 点以 4 m/s 的速度水平抛出后，刚好在 B 点沿切线方向进入半径为 0.5 m 的光滑圆弧轨道运动．到达圆弧轨道最底端 C 点后沿粗糙的水平面运动 4.3 m 到达 D 点停下来，已知 OB 与水平面的夹角 $\theta = 53°$，$g = 10\ m/s^2$($\sin 53° = 0.8$，$\cos 53° = 0.6$)．求：

(1)A、B 两点的高度差；

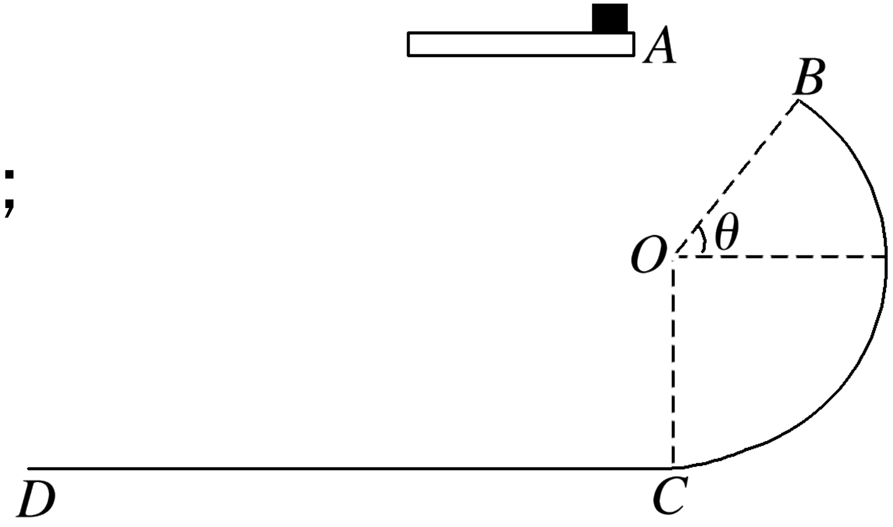
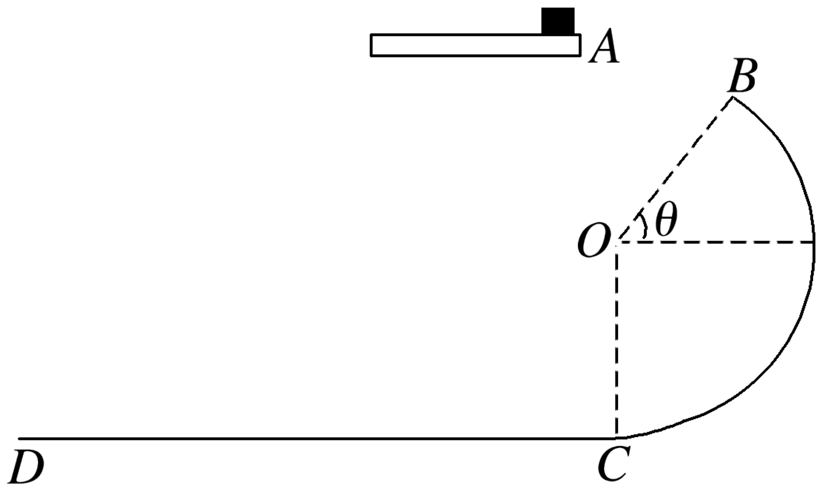


图 11

解析答案



(2) 物块到达 C 点时，物块对轨道的压力；

解析 小物块由 B 运动到 C，据动能定理有：

$$mgR(1+\sin\theta)=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$$

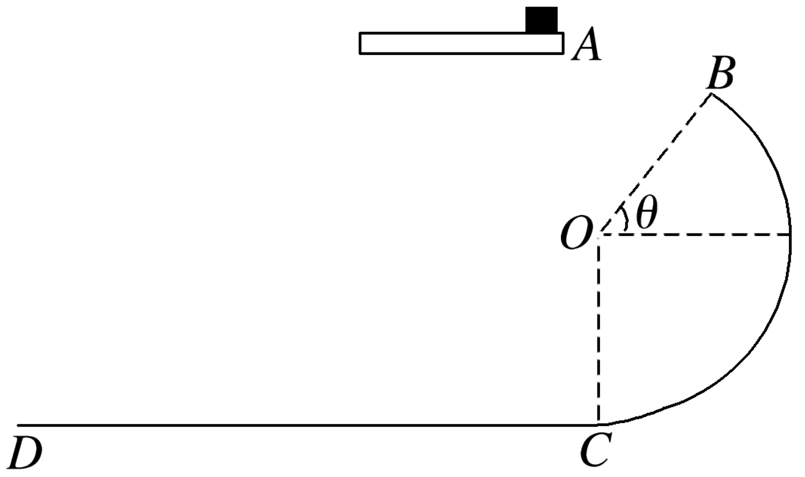
在 C 点处，据牛顿第二定律有 $F_N' - mg = m\frac{v_C^2}{R}$

解得 $F_N' = 96$ N

根据牛顿第三定律，小物块经过圆弧轨道上 C 点时对轨道的压力 F_N 的大小为 96 N.

答案 96 N

(3) 物块与水平面间的动摩擦因数.



解析　小物块从 C 运动到 D，据功能关系有：

$$-\mu mgL=0-\frac{1}{2}mv_C^{2}$$

联立得：$\mu=0.5$

答案　0.5