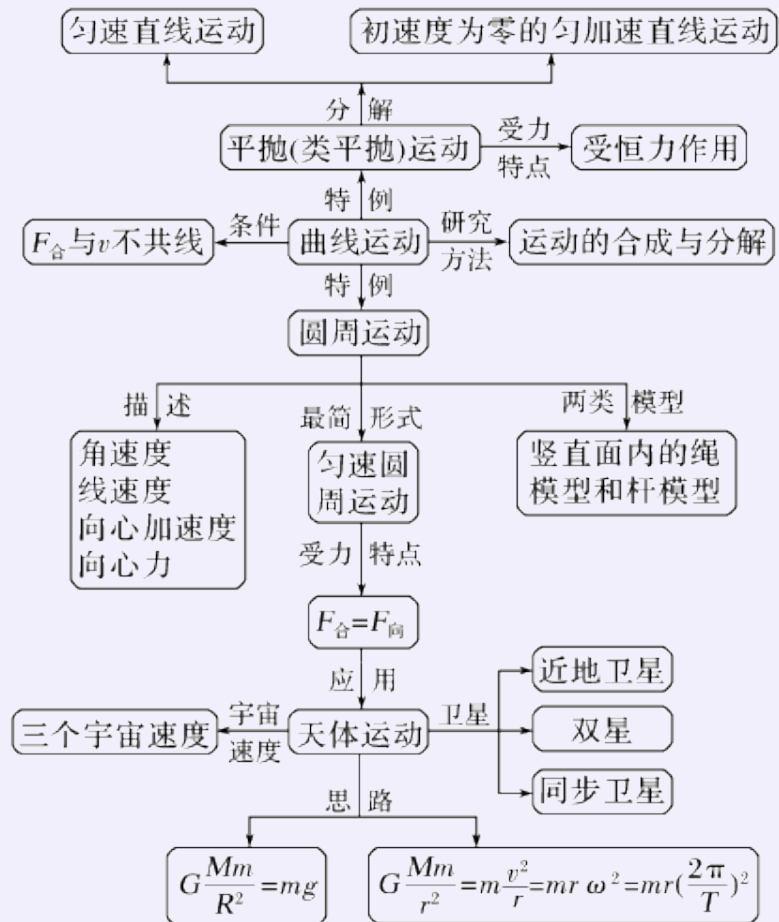


# 第3讲 力学中曲线运动



## 网络构建



## 备考策略

### 1. 必须领会“四种物理思想和三种惯用方法”

(1) 分解思想、临界极值思想、估算思想、模型化思想

(2) 假设法、合成法、正交分解法

### 2. 平抛(或类平抛)运动推论

(1) 任意时刻速度反向延长线一定经过此时水平位移中点。

(2) 设在任意时刻瞬时速度与水平方向夹角为 $\theta$ ，位移与水平方向夹角为 $\varphi$ ，则有 $\tan \theta = 2 \tan \varphi$ 。

### 3.注意天体运动三个区分

- (1)中心天体和围绕天体区分
- (2)自转周期和公转周期区分
- (3)星球半径和轨道半径区分

### 4.记住天体运动中“三看”和“三想”

- (1)看到“近地卫星”想到“最大绕行速度”“最小周期”
- (2)看到“忽略地球自转”想到“万有引力等于重力”
- (3)看到“同步卫星”想到“周期 $T=24\text{ h}$ ”



### 命题角度 ① 运动合成与分解

**【典例1】** (·北京理综, 20)依据高中所学知识可知, 做自由落体运动小球, 将落在正下方位置。但实际上, 赤道上方200 m处无初速下落小球将落在正下方位置偏东约6 cm处。这一现象可解释为, 除重力外, 因为地球自转, 下落过程小球还受到一个水平向东“力”, 该“力”与竖直方向速度大小成正比。现将小球从赤道地面竖直上抛, 考虑对称性, 上升过程该“力”水平向西, 则小球( )

- A.到最高点时，水平方向加速度和速度均为零
- B.到最高点时，水平方向加速度和速度均不为零
- C.落地点在抛出点东侧
- D.落地点在抛出点西侧



**解析** 因为该“力”与竖直方向速度大小成正比，所以从小球抛出至运动到最高点过程，该“力”逐步减小到零，将小球上抛运动分解为水平和竖直两个分运动，因为上升阶段，水平分运动是向西变加速运动(水平方向加速度大小逐步减小)，故小球到最高点时速度不为零，水平向西速度到达最大值，故选项A错误；小球到最高点时竖直方向分速度为零，由题意可知小球这时不受水平方向力，故小球到最高点时水平方向加速度为零，选项B错误；下降阶段，因为受水平向东力，小球水平分运动是向西变减速运动(水平方向加速度大小逐步变大)，由对称性可知，落地时水平速度恰为零，故小球落地点在抛出点西侧，选项C错误，D正确。

**答案 D**

**【典例2】** (·全国卷 I , 15)发球机从同一高度向正前方依次水平射出两个速度不一样的乒乓球(忽略空气影响)。速度较大球越过球网, 速度较小球没有越过球网; 其原因是( )

- A.速度较小球下降相同距离所用时间较多
- B.速度较小球在下降相同距离时在竖直方向上速度较大
- C.速度较大球经过同一水平距离所用时间较少
- D.速度较大球在相同时间间隔内下降距离较大



**解析** 由题意知，两个乒乓球均做平抛运动，则根据  $h = \frac{1}{2}gt^2$  及  $v_y^2 = 2gh$  可知，乒乓球的运动时间、下降的高度及竖直方向速度的大小均与水平速度大小无关，故选项 **A**、**B**、**D** 均错误；由发出点到球网的水平位移相同时，速度较大的球运动时间短，在竖直方向下落的距离较小，可以越过球网，故 **C** 正确。

**答案 C**

### 命题角度 3 斜面上平抛运动

**【典例 3】** (2018·全国卷Ⅲ, 17) 在一斜面顶端, 将甲、乙两个小球分别以  $v$  和  $\frac{v}{2}$  的速度沿同一方向水平抛出, 两球都落在该斜面上。甲球落至斜面时的速率是乙球落至斜面时速率的( )

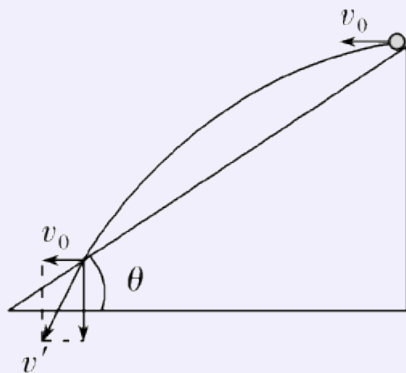
A. 2 倍

B. 4 倍

C. 6 倍

D. 8 倍

**解析** 小球做平抛运动, 其运动轨迹如图所示。设斜面倾角为  $\theta$ 。



平抛运动可以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， $x=v_0t$ ， $h=\frac{1}{2}gt^2$ ，由图中几何关系，可得  $\tan \theta = \frac{h}{x}$ ，解得  $t = \frac{2v_0 \tan \theta}{g}$ ；

从抛出到落到斜面上，由动能定理可得： $mgh = \frac{1}{2}mv'^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ ，可得：

$$v' = \sqrt{v_0^2 + 2gh} = \sqrt{1 + 4 \tan^2 \theta} \cdot v_0, \text{ 则 } \frac{v_{甲}'}{v_{乙}'} = \frac{v_{0甲}}{v_{0乙}} = \frac{v}{\frac{v}{2}} = 2, \text{ 选项 A 正确。}$$

**答案 A**

**【典例4】** 甲、乙两个同学对打乒乓球，设甲同学持拍拍面与水平方向成 $\alpha$ 角，乙同学持拍拍面与水平方向成 $\beta$ 角，如图1所表示，设乒乓球击打拍面时速度与拍面垂直，且乒乓球每次击打球拍前与击打后速度大小相等，不计空气阻力，则乒乓球击打甲球拍速度 $v_1$ 与乒乓球击打乙球拍速度 $v_2$ 之比为( )

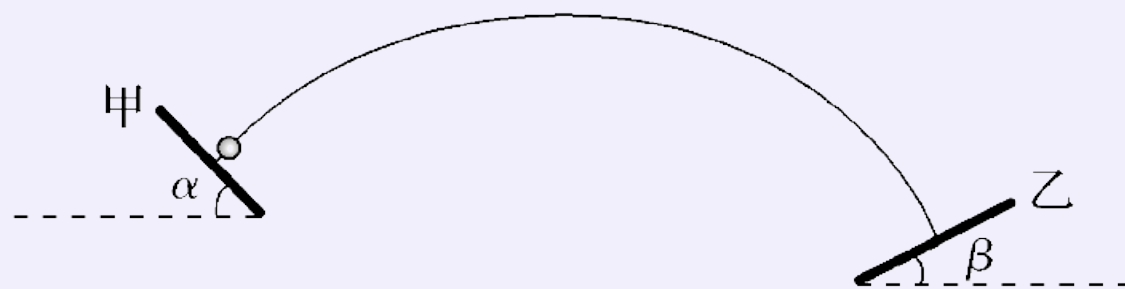


图1

A.  $\frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$

B.  $\frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$

C.  $\frac{\tan \alpha}{\tan \beta}$

D.  $\frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$

**解析** 乒乓球被甲的球拍击打后以速度  $v_1$  做斜上抛运动到最高点，此运动可看成平抛运动的逆过程，设平抛的初速度为  $v_0$ ，则  $v_1 = \frac{v_0}{\sin \alpha}$ ， $v_2 = \frac{v_0}{\sin \beta}$ ，得  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$ ，A 项正确。

**答案** A

## ■ 考向预测

1.图2中给出了某一通关游戏示意图，安装在轨道 $AB$ 上可上下移动弹射器，能水平射出速度大小可调整弹丸，弹丸射出口在 $B$ 点正上方。竖直面内半圆弧 $BCD$ 半径 $R=2.0\text{ m}$ ，直径 $BD$ 水平且与轨道 $AB$ 处于同一竖直面内，小孔 $P$ 和圆心 $O$ 连线与水平方向夹角为 $37^\circ$ 。游戏要求弹丸垂直于 $P$ 点圆弧切线方向射入小孔 $P$ 就能进入下一关。为了能通关，弹射器离 $B$ 点高度和弹丸射出初速度分别是(不计空气阻力， $\sin 37^\circ=0.6$ ， $\cos 37^\circ=0.8$ )

A.  $0.15\text{ m}$ ， $4\sqrt{3}\text{ m/s}$

B.  $1.50\text{ m}$ ， $4\sqrt{3}\text{ m/s}$

C.  $0.15\text{ m}$ ， $2\sqrt{6}\text{ m/s}$

D.  $1.50\text{ m}$ ， $2\sqrt{6}\text{ m/s}$

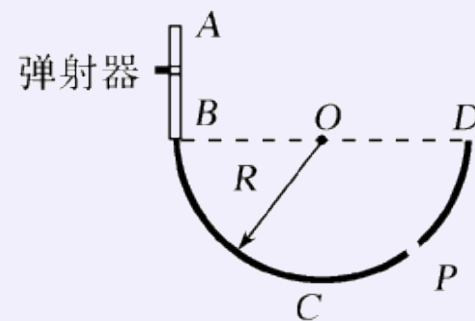


图2

解析 由  $h + R \sin 37^\circ = \frac{1}{2}gt^2$  和  $R + R \cos 37^\circ = v_0 t$ ,  $\frac{gt}{v_0} = \tan 37^\circ$ , 代入数据解得  $h = 0.15 \text{ m}$ ,  $v_0 = 4\sqrt{3} \text{ m/s}$ , 故选项 A 正确。

**答案 A**

2.(多项选择)如图3所表示,  $b$ 是长方形 $acfd$ 对角线交点,  $e$ 是底边 $df$ 中点,  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 处三个小球分别沿图示方向做平抛运动, 落地后不反弹, 以下表述正确的是( )

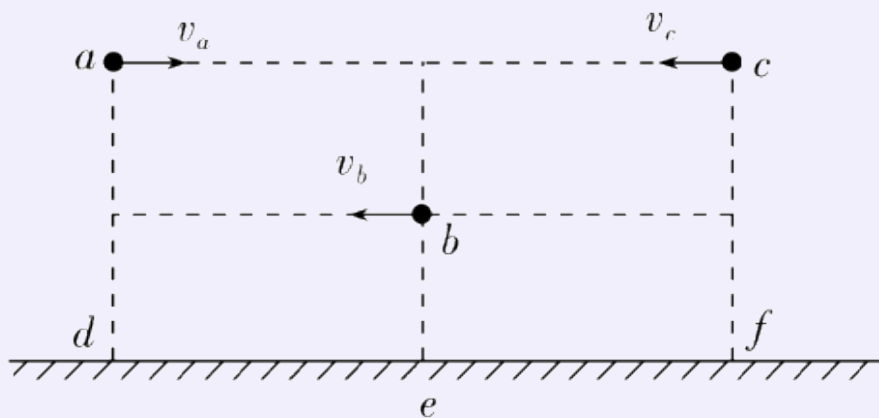


图3

- A.若 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 处三球同时抛出, 三球可能在 $de$ 之间区域相遇
- B.只要 $b$ 、 $c$ 处两球同时开始做平抛运动, 二者不可能在空中相遇
- C.若 $a$ 、 $b$ 处两球能在地面相遇, 则 $a$ 、 $b$ 在空中运动时间之比为2 : 1
- D.若 $a$ 、 $c$ 处两球在 $e$ 点相遇, 则一定满足 $v_a = v_c$



**解析** 若三个小球同时抛出，由于三球不都是从同一高度水平抛出，故三球不可能相遇，选项 **A** 错误，**B** 正确；设  $ad=2h$ ， $a$  球在空中运动时间为  $t_a$ ， $b$  球在空中运动时间为  $t_b$ ，根据平抛运动规律， $2h=\frac{1}{2}gt_a^2$ ， $h=\frac{1}{2}gt_b^2$ ，解得  $t_a=2\sqrt{\frac{h}{g}}$ ， $t_b=\sqrt{2}\sqrt{\frac{h}{g}}$ ，若  $a$ 、 $b$

处两球能在地面相遇，则  $a$ 、 $b$  在空中运动的时间之比为  $t_a:t_b=2\sqrt{\frac{h}{g}}:\sqrt{2}\sqrt{\frac{h}{g}}=\sqrt{2}:1$ ，

选项 **C** 错误；由平抛运动规律  $h=\frac{1}{2}gt^2$  和  $x=v_0t$  可知，选项 **D** 正确。

**答案** **BD**

**答案** **BD**

3.一位网球运动员以拍击球，使网球由 $O$ 点沿水平方向飞出，如图4所表示，第一只球落在自己一方场地 $B$ 点，弹跳起来后，刚好擦网而过，落在 $A$ 点，第二只球刚好擦网而过落在 $A$ 点。设球与地面碰撞过程没有能量损失，且运动过程不计空气阻力，则第一只与第二只球飞过球网 $C$ 处时水平速度之比为( )

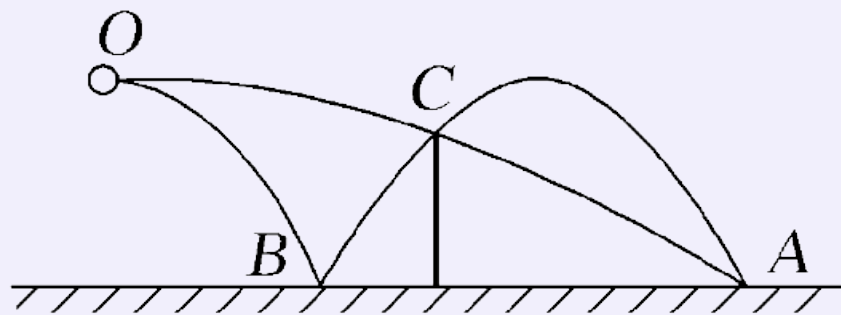


图4

A.1 : 1

B.1 : 3 C.3 : 1 D.1 : 9

**解析** 由平抛运动规律可知，两球分别被击出至各自第一次落地时间相等。因为球与地面碰撞是完全弹性碰撞，设第一只球自击出到落在A点时间为 $t_1$ ，第二只球自击出到落在A点时间为 $t_2$ ，则依据两球竖直方向运动特点知 $t_1=3t_2$ ；因为两球在水平方向均做匀速运动，水平位移大小相等，由 $x=v_0t$ 得，它们从O点出发时初速度关系为 $v_2=3v_1$ ，所以第一只与第二只球飞过球网C处时水平速度之比为1：3，选项B正确。

**答案 B**

## 考向 2 圆周运动问题

### 命题角度 1 圆周运动问题

【典例1】 (·全国卷II, 16) 小球 $P$ 和 $Q$ 用不可伸长轻绳悬挂在天花板上,  $P$ 球质量大于 $Q$ 球质量, 悬挂 $P$ 球绳比悬挂 $Q$ 球绳短。将两球拉起, 使两绳均被水平拉直, 如图5所表示。将两球由静止释放。在各自轨迹最低点( )

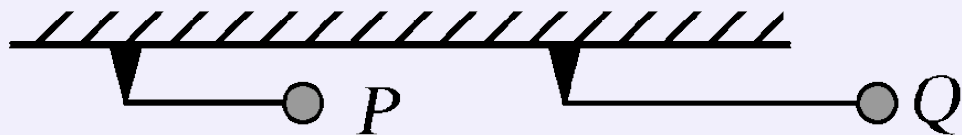
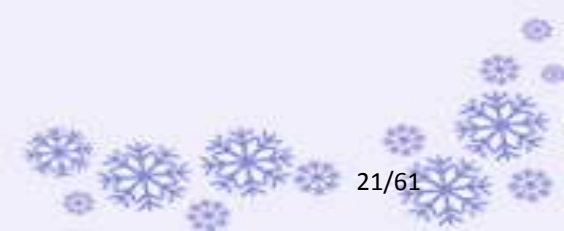


图5

- A.  $P$ 球速度一定大于 $Q$ 球速度
- B.  $P$ 球动能一定小于 $Q$ 球动能
- C.  $P$ 球所受绳拉力一定大于 $Q$ 球所受绳拉力
- D.  $P$ 球向心加速度一定小于 $Q$ 球向心加速度



**解析** 小球从水平位置摆动至最低点，由动能定理得， $mgL = \frac{1}{2}mv^2$ ，解得  $v = \sqrt{2gL}$ ，因  $L_P < L_Q$ ，故  $v_P < v_Q$ ，选项 **A** 错误；因为  $E_k = mgL$ ，又  $m_P > m_Q$ ，则两小球的动能大小无法比较，选项 **B** 错误；对小球在最低点受力分析得， $F_T - mg = m\frac{v^2}{L}$ ，可得  $F_T = 3mg$ ，选项 **C** 正确；由  $a = \frac{v^2}{L} = 2g$  可知，两球的向心加速度相等，选项 **D** 错误。

**答案 C**

命题角度 ② 平抛运动与圆周运动组合问题

【典例2】 (·全国卷II, 17)如图6, 半圆形光滑轨道固定在水平地面上, 半圆直径与地面垂直, 一小物块以速度  $v$  从轨道下端滑入轨道, 并从轨道上端水平飞出, 小物块落地点到轨道下端距离与轨道半径相关, 此距离最大时, 对应轨道半径为(重力加速度大小为  $g$ )( )

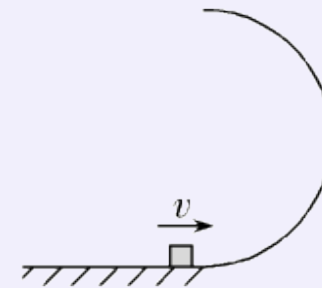


图6

A.  $\frac{v^2}{16g}$

B.  $\frac{v^2}{8g}$

C.  $\frac{v^2}{4g}$

D.  $\frac{v^2}{2g}$

解析 物块由最低点到最高点的过程，由机械能守恒定律得  $\frac{1}{2}mv^2 = 2mgr + \frac{1}{2}mv_1^2$ ,

物块做平抛运动时，落地点到轨道下端距离  $x = v_1t$ ,

$t = \sqrt{\frac{4r}{g}}$ , 联立解得,  $x = \sqrt{\frac{4v^2}{g}r - 16r^2}$ , 由数学知识可知, 当  $4r = \frac{v^2}{2g}$  时,  $x$  最大, 即  $r = \frac{v^2}{8g}$ , 故选项 **B** 正确。

**答案 B**



## 反思归纳

1. 解决圆周运动问题要注意以下几点:

(1) 要进行受力分析, 明确向心力的来源, 确定圆心以及半径。

(2) 列出正确的动力学方程

$$F = m \frac{v^2}{r} = mr\omega^2 = m\omega v = mr \frac{4\pi^2}{T^2}。$$

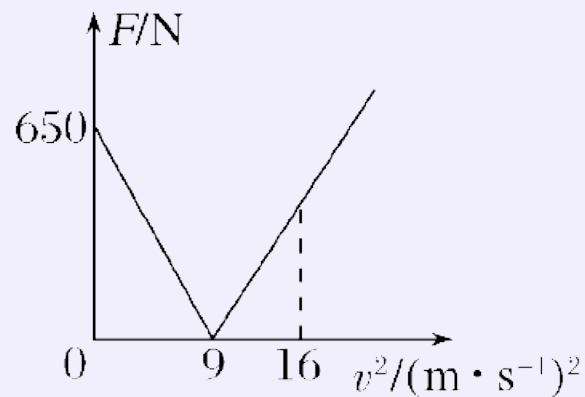
2. 竖直平面内圆周运动的最高点和最低点的速度通常利用动能定理来建立联系, 然后结合牛顿第二定律进行动力学分析。

## ■ 考向预测

- 1.(多项选择)北京时间年9月7日,全运会在天津举行,山东队28岁张成龙以14.733分在男子单杠决赛中取得第一名。假设张成龙训练时做“单臂大回环”高难度动作时,用一只手抓住单杠,伸展身体,以单杠为轴做圆周运动。如图7甲所表示,张成龙运动到最高点时,用力传感器测得张成龙与单杠间弹力大小为 $F$ ,用速度传感器统计他在最高点速度大小为 $v$ ,得到 $F-v^2$ 图象如图乙所表示。 $g$ 取 $10\text{ m/s}^2$ ,则以下说法中正确的是( )



甲



乙

图7

- A.张成龙质量为65 kg
- B.张成龙重心到单杠距离为0.9 m
- C.当张成龙在最高点速度为4 m/s时，张成龙受单杠弹力方向向上
- D.在完成“单臂大回环”过程中，张成龙运动到最低点时，单臂最少要承受3 250 N力

**解析** 张成龙的胳膊既可以提供拉力，也可以提供支持力，可以理解为“杆模型”。对张成龙在最高点进行受力分析，当速度为零时，有  $F - mg = 0$ ，结合图象解得质量  $m = 65 \text{ kg}$ ，选项 A 正确；当  $F = 0$  时，由向心力公式可得  $mg = \frac{mv^2}{R}$ ，结合图象可解得  $R = 0.9 \text{ m}$ ，故张成龙的重心到单杠的距离为  $0.9 \text{ m}$ ，选项 B 正确；当张成龙在最高点的速度为  $4 \text{ m/s}$  时，张成龙受单杠的拉力作用，方向竖直向下，选项 C 错误；张成龙经过最低点时，单臂受力最大，由牛顿第二定律得  $F - mg = m\frac{v_1^2}{R}$ ，张成龙从最高点运动到最低点的过程中，由动能定理得  $2mgR = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv^2$ ，当  $v = 0$  时， $F$  有最小值  $F_{\min}$ ，故由以上两式得  $F_{\min} = 3\ 250 \text{ N}$ ，即张成龙的单臂最少要承受  $3\ 250 \text{ N}$  的力，选项 D 正确。

**答案** ABD

2.(多选)如图 8 所示, 半径为  $R$  的光滑半圆形轨道和光滑水平轨道相切, 三个小球 1、2、3 沿水平轨道分别以速度  $v_1=2\sqrt{gR}$ 、 $v_2=3\sqrt{gR}$ 、 $v_3=4\sqrt{gR}$  水平向左冲上半圆形轨道,  $g$  为重力加速度, 下列关于三个小球的落点到半圆形轨道最低点  $A$  的水平距离和离开轨道后的运动形式的说法正确的是( )

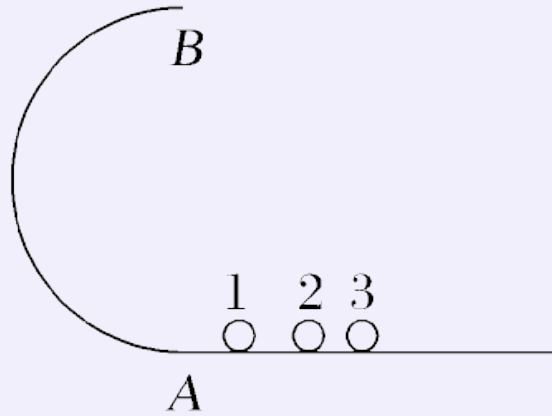


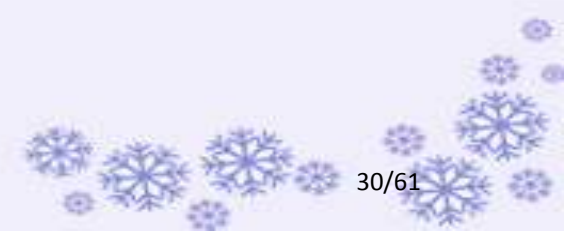
图8

**A.**三个小球离开轨道后均做平抛运动

**B.**小球 2 和小球 3 的落点到 A 点的距离之比为  $\sqrt{5} : 2\sqrt{3}$

**C.**小球 1 和小球 2 做平抛运动的时间之比为 1 : 1

**D.**小球 2 和小球 3 做平抛运动的时间之比为 1 : 1



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/955343144322011143>