

7 生活中的圆周运动

[学习目标] 1. 会分析具体圆周运动问题中向心力的来源, 能解决生活中的圆周运动问题 . 2.

了解航天器中的失重现象及原因 . 3. 了解离心运动及物体做离心运动的条件, 知道离心运动的应用及危害.

主预习

预习新知夯实基础

一、铁路的弯道

1. 火车在弯道上的运动特点

火车在弯道上运动时做圆周运动, 具有向心加速度, 由于其质量巨大, 因此需要很大的向心力.

2. 转弯处内外轨一样高的缺点

如果转弯处内外轨一样高, 则由外轨对轮缘的弹力提供向心力, 这样铁轨和车轮极易受损

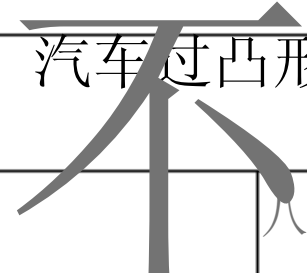
3. 铁路弯道的特点

(1) 转弯处外轨略高于内轨.

(2) 铁轨对火车的支持力不是竖直向上的, 而是斜向弯道的内侧.

(3) 铁轨对火车的支持力与火车所受重力的合力指向轨道的圆心, 它提供了火车以规定速度行驶时的向心力.

二、拱形桥

	汽车过凸形桥	汽车过凹形桥
受力分析		
向心力	$F_n = mg - \frac{mv^2}{r}$	$F_n = mg + \frac{mv^2}{r}$
对桥的压力	$F_{N1} = mg - \frac{mv^2}{r}$	$F_N = mg + \frac{mv^2}{r}$
结论	汽车对桥的压力小于汽车的重力, 而且汽车速度越大, 对桥的压力越小.	汽车对桥的压力大于汽车的重力, 而且汽车速度越大, 对桥的压力越大.

三、航天器中的失重现象

$\frac{1}{mr}$, 向心力分析: 宇航员受到的地球引力与座舱对他的支持力的合力提供向心力, $\underline{mgr} \quad F = v^2$

所以 $F_N = mg - m \frac{v^2}{r}$.

2. 完全失重状态: 当 $v=4$ 后时, 座舱对宇航员的支持力 $F_N=0$, 宇航员处于完全失重状态

四、离心运动

1. 定义: 做圆周运动的物体沿切线飞出或做逐渐远离圆心的运动

2. 原因: 向心力突然消失或合力不足以提供所需的向心力

3. 离心运动的应用和防止

(1) 应用: 离心干燥器; 洗衣机的脱水筒; 离心制管技术

(2) 防止: 汽车在公路转弯处必须限速行驶; 转动的砂轮、飞轮的转速不能太高

。即学即用

1. 判断下列说法的正误.

(1) 铁路的弯道处, 内轨高于外轨. (X)

(2) 汽车行驶至凸形桥顶部时, 对桥面的压力等于车重. (X)

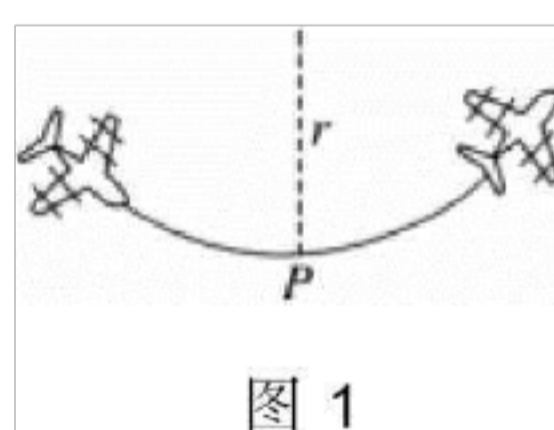
(3) 汽车行驶至凹形桥底部时, 对桥面的压力大于车重. (V)

(4) 绕地球做匀速圆周运动的航天器中的宇航员处于完全失重状态, 故不再受重力. (X)

(5) 航天器中处于完全失重状态的物体所受合力为零. (X)

(6) 做离心运动的物体可以沿半径方向向外运动. (x)

2. 飞机由俯冲转为拉起的一段轨迹可看成一段圆弧, 如图 1 所示, 飞机做俯冲拉起运动时, 在最低点附近做半径为 $r = 180\text{m}$ 的圆周运动, 如果飞行员质量 $m = 70\text{kg}$, 飞机经过最低点 P 时的速度 $v = 360 \text{ km/h}$, 则这时飞行员对座椅的压力大小约为 $\quad\quad\quad$. (g 取 10 m/s^2)



答案 4589N

解析 飞机经过最低点时, $v = 360\text{km/h} = 100 \text{ m/s}$.

对飞行员进行受力分析, 飞行员在竖直面内共受到重力 mg 和座椅的支持力 F_N 两个力的作用,

根据牛顿第二定律得 $F_N - mg = m \frac{v^2}{r}$, 所以 $F_N = m \frac{v^2}{r} + mg = 70 \times \frac{100^2}{180} + 70 \times 10 = 4589 \text{ N}$, 由牛顿

第三定律得, 飞行员对座椅的压力为 4589N.

【考点】向心力公式的简单应用

【题点】竖直面内圆周运动中的动力学问题

重点探究

启迪思维探究重点

一、火车转弯问题

IE 导学探究

设火车转弯时的运动为匀速圆周运动。

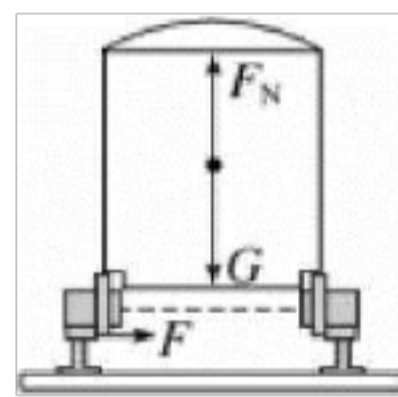
(1) 如果铁路弯道的内外轨一样高，火车在转弯时的向心力由什么力提供？会导致怎样的后果？

(2) 实际上在铁路的弯道处外轨略高于内轨，试从向心力的来源分析这样做的优点。

(3) 当轨道平面与水平面之间的夹角为 α ，转弯半径为 R 时，火车行驶速度多大轨道才不受挤压？（重力加速度为 g ）

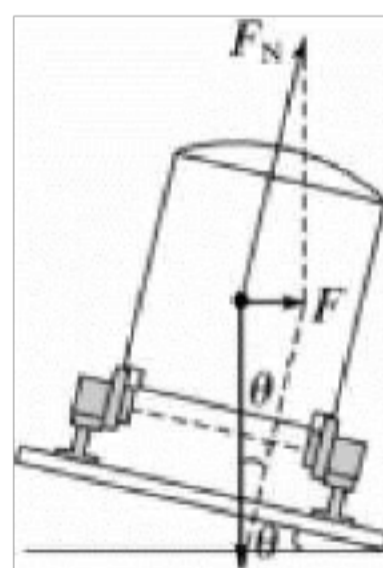
(4) 当火车行驶速度 $v > v_0 = \sqrt{gR \tan \alpha}$ 时，轮缘受哪个轨道的压力？当火车行驶速度 $v < v_0$ 时呢？

答案(1) 如果铁路弯道的内外轨一样高，火车在竖直方向所受重力与支持力平衡，其向心力由外侧车轮的轮缘挤压外轨，使外轨发生弹性形变，对轮缘产生的弹力来提供（如图甲）；由于火车的质量太大，轮缘与外轨间的相互作用力太大，会使铁轨和车轮极易受损。



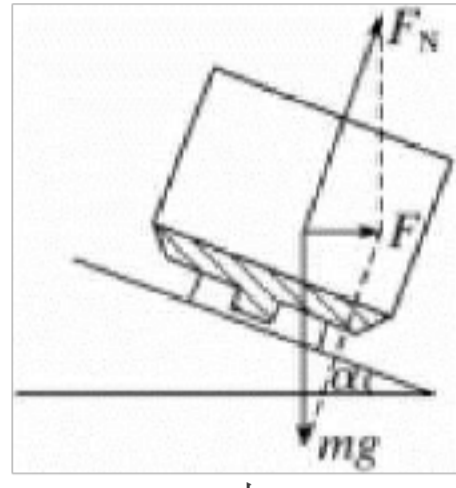
甲

(2) 如果弯道处外轨略高于内轨，火车在转弯时铁轨对火车的支持力 F_N 的方向不再是竖直的，而是斜向弯道的内侧，它与重力 G 的合力指向圆心，为火车转弯提供一部分向心力（如图乙），从而减轻轮缘与外轨的挤压。



乙

(3) 火车受力如图丙所示，则



内

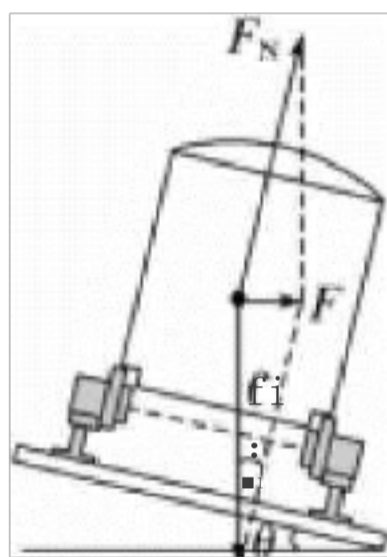
$$F_n = mg \tan \theta = \frac{mv^2}{R} \quad \text{所以 } v = \sqrt{gR \tan \theta}$$

(4) 当火车行驶速度 $v > \sqrt{gR \tan \theta}$ 时，重力和支持力的合力提供的向心力不足，此时外侧轨道对轮缘有向里的侧向压力；当火车行驶速度 $v < \sqrt{gR \tan \theta}$ 时，重力和支持力的合力提供的向心力过大，此时内侧轨道对轮缘有向外的侧向压力

IS 知识深化

1. 弯道的特点：在实际的火车转弯处，外轨高于内轨，若火车转弯所需的向心力完全由重力

和支持力的合力提供，即 $mg \tan \theta = \frac{mv_0^2}{R}$ ，如图 2 所示，则 $v_0 = \sqrt{gR \tan \theta}$ ，其中 R 为弯道半径， θ 为轨道平面与水平面间的夹角， v_0 为转弯处的规定速度。



2. 速度与轨道压力的关系

(1) 当火车行驶速度 v 等于规定速度 v_0 时，所需向心力仅由重力和弹力的合力提供，此时内外轨道对火车无挤压作用

(2) 当火车行驶速度 $v > v_0$ 时，外轨道对轮缘有侧压力 (3) 当火车行驶速度 $v < v_0$ 时，内轨道对轮缘有侧压力

【例 1】铁路在弯道处的内外轨道高度是不同的，已知内外轨道平面与水平面的夹角为

如图 3 所示，弯道处的圆弧半径为 R ，若质量为 m 的火车转弯时速度等于 $\sqrt{gR \tan \theta}$ ，则 (



图 3

A. 内轨对内侧车轮轮缘有挤压

B. 外轨对外侧车轮轮缘有挤压

C. 这时铁轨对火车的支持力等于 $\frac{mg}{\cos \theta}$

D. 这时铁轨对火车的支持力大于 $\frac{mg}{\cos \theta}$

答案 C

$$v^2$$

解析 由牛顿第二定律 $F_{\text{合}} = mR$ ，解得 $F_{\text{合}} = mg \tan \theta$ 。此时火车受重力和铁路轨道的支持力

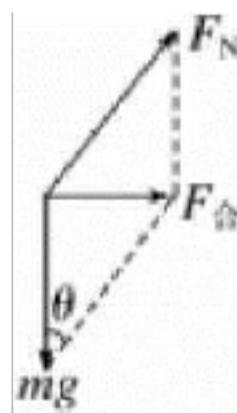
$$mg$$

作用，如图所不， $F_N \cos \theta = mg$ 则 $F_N = \frac{mg}{\cos \theta}$ ，内、外轨道对火车均无侧压力，故

C 正确，

$$\cos \theta$$

A B、D 错误。



【考点】交通工具的转弯问题

【题点】倾斜面内的转弯问题

「方法总结」-----

1

火车转弯问题的解题策略

1. 对火车转弯问题一定要搞清合力的方向，指向圆心方向的合外力提供火车做圆周运动的向心力，方向指向水平面内的圆心。

2. 弯道处两轨在同一水平面上时，向心力由外轨对轮缘的弹力提供。

3. 当外轨高于内轨时，向心力由火车的重力和铁轨的支持力以及内、外轨对轮缘的弹力的合力提供；当火车速度以规定速度行驶时，内、外轨对轮缘的弹力为零。

针对训练 (多选) 公路急转弯处通常是交通事故多发地带。如图 4, 某公路急转弯处是一圆弧，当汽车行驶的速率为 v_0 时，汽车恰好没有向公路内外两侧滑动的趋势。则在该弯道处 ()

夕 MS

图 4

A. 路面外侧高、内侧低

B. 车速只要低于 v_0 车辆便会向内侧滑动

C. 车速虽然高于 v_0 但只要不超出某一最高限度，车辆便不会向外侧滑动

D. 当路面结冰时，与未结冰时相比， v_0 的值变小

答案 AC

解析 当汽车行驶的速率为 v_0 时，汽车恰好没有向公路内外两侧滑动的趋势，即不受静摩擦力，此时由重力和支持力的合力提供向心力，所以路面外侧高、内侧低，选项 A 正确；当车速低于 v_0 时，需要的向心力小于重力和支持力的合力，汽车有向内侧运动的趋势，受到的静摩擦力向外

侧，并不一定会向内侧滑动，选项 B 错误；当车速高于 V_0 时，需要的向心力大于重力和支持力的合力，汽车有向外侧运动的趋势，静摩擦力向内侧，速度越大，静摩

摩擦力越大，只有静摩擦力达到最大以后，车辆才会向外侧滑动，选项 C 正确；由 $mg \tan \theta =$

$\frac{v_0^2}{R}$ 可知， v_0 的值只与路面与水平面的夹角和弯道的半径有关，与路面的粗糙程度无关，选项 D 错误。

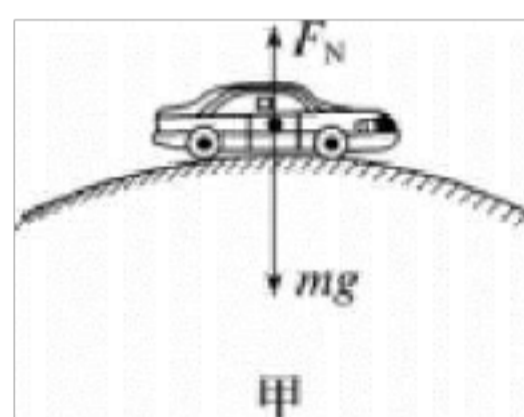
【考点】交通工具的转弯问题

【题点】倾斜面内的转弯问题

二、汽车过桥问题与航天器中的失重现象

IE 导学探究

如图 5 甲、乙为汽车在拱形桥、凹形桥上行驶的示意图，汽车行驶时可以看做圆周运动



(1) 如图甲，汽车行驶到拱形桥的桥顶时：

① 什么力提供向心力？汽车对桥面的压力有什么特点？

② 汽车对桥面的压力与车速有什么关系？汽车安全通过拱桥顶 度是 （不脱离桥面）行驶的最大速度多大？

(2) 当汽车行驶到凹形桥的最底端时，什么力提供向心力？汽车对桥面的压力有什么特点？

答案 (1) ① 当汽车行驶到拱形桥的桥顶时，重力与支持力的合力提供向心力，即 $mg - F_N = \frac{mv^2}{R}$ 此时车对桥面的压力 $F_N = mg - \frac{mv^2}{R}$ ，即车对桥面的压力小于车的重力

② 由 $F_N = mg - \frac{mv^2}{R}$ 可知，当汽车的速度增大时，汽车对桥面的压力减小，当汽车对桥面的压力为零时，汽车的重力提供向心力，此时汽车的速度达到最大，由 $mg = \frac{mv^2}{R}$ ，得 $v = \sqrt{gR}$ 胃乱
如果汽车的速度超过此速度，汽车将离开桥面

(2) 当汽车行驶到凹形桥的最底端时，重力与支持力的合力提供向心力，即 $F_N - mg = \frac{mv^2}{R}$ 时车对桥面的压力 $F_N = mg + \frac{mv^2}{R}$ ，即车对桥面的压力大于车的重力

知识深化

1. 拱形桥问题

(1) 汽车过拱形桥(如图 6)

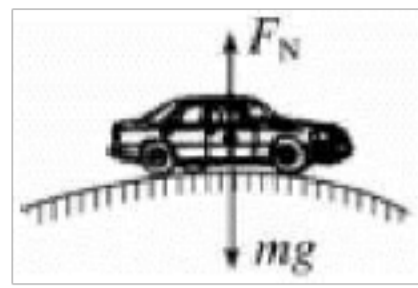


图 6

汽车在最高点满足关系： $mg - F_N = \frac{mv^2}{R}$ ，即 $F_N = mg - \frac{mv^2}{R}$

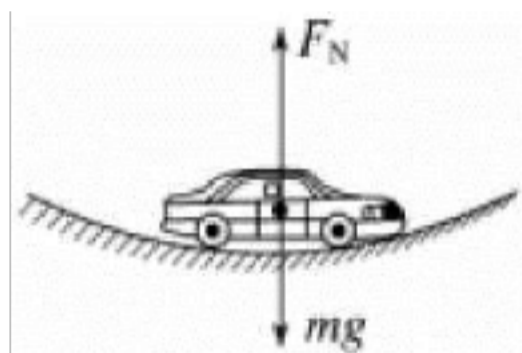
①当 $v = \sqrt{gR}$ 时， $F_N = 0$ 。

②当 $0 < v < \sqrt{gR}$ 时， $0 < F_N < mg$

③当 $v > \sqrt{gR}$ 时，汽车将脱离桥面做平抛运动，发生危险

说明：汽车通过拱形桥的最高点时，向心加速度向下，汽车对桥的压力小于其自身的重力，而且车速越大，压力越小，此时汽车处于失重状态

(2) 汽车过凹形桥(如图 7)



汽车在最低点满足关系： $F_N - mg = \frac{mv^2}{R}$ ，即 $F_N = mg + \frac{mv^2}{R}$

说明：汽车通过凹形桥的最低点时，向心加速度向上，而且车速越大，压力越大，此时汽车处于超重状态。由于汽车对桥面的压力大于其自身重力，故凹形桥易被压垮，因而实际中拱形桥多于凹形桥。

2. 绕地球做圆周运动的卫星、飞船、空间站处于完全失重状态

(1) 质量为 M 的航天器在近地轨道运行时，航天器的重力提供向心力，满足关系： $Mg = MR\omega^2$

且 $v = \omega R$

(2) 质量为 m 的航天员：航天员的重力和座舱对航天员的支持力的合力提供向心力，满足关

系： $mg - F_N = \frac{mv^2}{R}$

当 $v = \sqrt{gR}$ 时， $F_N = 0$ ，即航天员处于完全失重状态。

(3) 航天器内的任何物体都处于完全失重状态

【例 2】 在较大的平直木板上相隔一定距离钉几个钉子，将三合板弯曲成拱桥形卡入钉子内形成拱形桥，三合板上表面事先铺上一层牛仔布以增大摩擦，这样玩具惯性车就可以在桥面上跑起来了。把这套系统放在电子秤上做实验，如图 8 所示，关于实验中电子秤的示数下列说法正确的是()

- A. 玩具车静止在拱形桥顶端时的示数小一些
- B. 玩具车运动通过拱形桥顶端时的示数大一些
- C. 玩具车运动通过拱形桥顶端时处于超重状态
- D. 玩具车运动通过拱形桥顶端时速度越大 (未离开拱形桥), 示数越小

答案 D

解析 玩具车运动到最高点时, 受向下的重力和向上的支持力作用, 根据牛顿第二定律有 $mg - F_N = m \frac{v^2}{r}$

$F_N = mg - m \frac{v^2}{r}$, 即 $F_N < mg$ 根据牛顿第二定律可知玩具车对桥面的压力大小与 F_N 相等,

所以玩具车通过拱形桥顶端时速度越大 (未离开拱形桥), 示数越小, 选项 D 正确.

【考点】竖直面内的圆周运动分析

【题点】汽车过桥问题 [例 3] 如图 9 所示, 质量 $m = 2.0 \times 10^4 \text{ kg}$ 的汽车以不变的速率先后驶过凹形桥面和凸形桥面, 两桥面的圆弧半径均为 60 m 如果桥面承受的压力不超过 $3.0 \times 10^5 \text{ N}$, 则: (g 取 10 m/s^2)

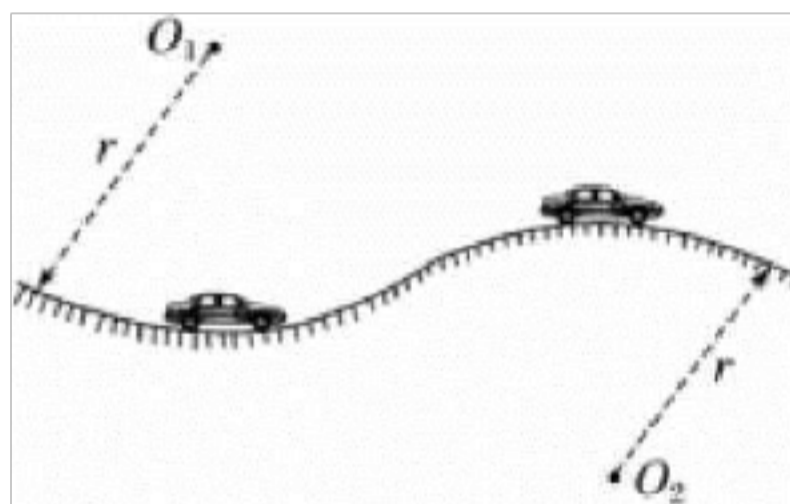


图 9

- (1) 汽车允许的最大速率是多少?
- (2) 若以所求速率行驶, 汽车对桥面的最小压力是多少?

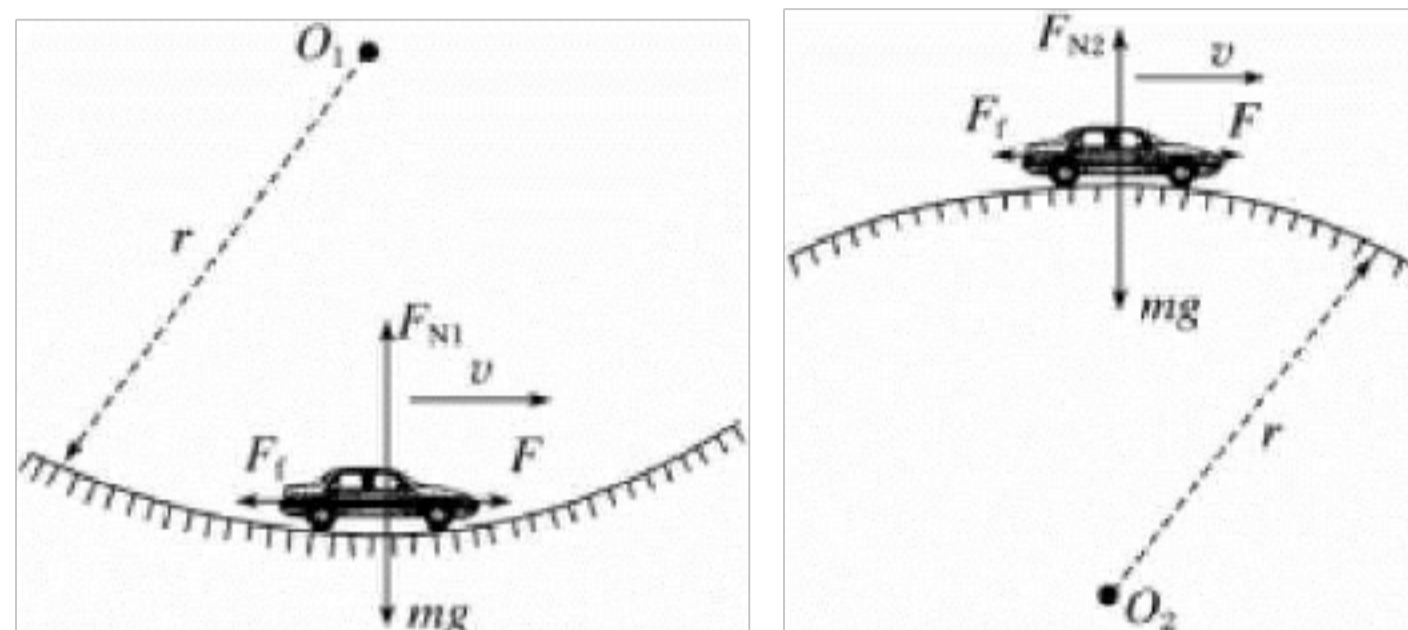
答案 (1) $10\sqrt{3} \text{ m/s}$ (2) $1.0 \times 10^5 \text{ N}$

解析 汽车驶至凹形桥面的底部时, 合力向上, 车对桥面压力最大; 汽车驶至凸形桥面的顶部时, 合力向下, 车对桥面的压力最小

(1) 汽车在凹形桥的底部时, 由牛顿第三定律可知, 桥面对汽车的支持力 $F_{N1} = 3.0 \times 10^5 \text{ N}$, 根据牛顿第二定律

$$F_{N1} - mg = m \frac{v^2}{r}, \text{ 即 } v = \sqrt{\frac{F_{N1} - mg}{m} r} = 10\sqrt{3} \text{ m/s}$$

由于 $v < \sqrt{gr} = 10\sqrt{6} \text{ m/s}$, 故在凸形桥最高点上汽车不会脱离桥面, 所以汽车允许的最大速率为 $10\sqrt{3} \text{ m/s}$.



(2) 汽车在凸形桥顶部时，由牛顿第二定律得

$$mg - F_{N2} = m \frac{v^2}{r}, \text{ 即 } F_{N2} = m(g - \frac{v^2}{r}) = 1.0 \times 10^5 \text{ N}$$

由牛顿第三定律得，在凸形桥顶部汽车对桥面的压力为 $1.0 \times 10^5 \text{ N}$ ，此即最小压力

【考点】竖直面内的圆周运动分析

【题点】汽车过桥问题

三、离心运动

IE 导学探究

1. 做圆周运动的物体向心力突然消失，它会怎样运动？

答案 将沿切线方向飞出。

2. 如果物体受的合外力不足以提供向心力，它又会怎样运动？

答案 物体将逐渐远离圆心运动。

3. 要使原来做匀速圆周运动的物体做离心运动，可以怎么办？举例说明离心运动在生活中的应用。

答案 方法一：提高转速，使所需的向心力大于能提供的向心力，即让合外力不足以提供向心力。

方法二：减小或使合外力消失。

应用：利用离心运动制成离心机械设备。例如，离心干燥器、洗衣机的脱水筒和离心转速计

巨咚深化

对离心现象的理解

(1) 物体做离心运动的原因：提供向心力的合外力突然消失，或者合外力不能提供足够的向心力。

注意：物体做离心运动并不是物体受到离心力作用，而是由于合外力不能提供足够的向心力

所谓“离心力”实际上并不存在。

(2) 合外力与向心力的关系(如图 10 所示)。

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/43702011161010004>