讲 必备方法

从供求关系看运动趋势

做圆周运动的物体，由于本身的惯性，总有沿着圆周切线方向飞离的倾向，它之所以没有飞出去，是因为有向心力在持续地拉着它，使它保持在圆周上。在所受的向心力突然消失，或所受指向圆心的合外力小于所需向心力的情况下，物体将做沿圆周的切线方向或沿某一曲线飞离圆周的运动，即离心运动。

一、向心力的供求关系

向心力公式 $F=m\frac{v^2}{r}$（或 $F=m\omega^2r$）表示“质量为 m 的物体，以速度 v 沿半径为 r 的圆周做匀速圆周运动所需要的向心力”，当外界提供的合外力与物体做圆周运动所需要的向心力之间的“供求”关系发生变化时，物体做圆周运动的情况也要发生相应的变化。

1.供求平衡——匀速圆周运动

在匀速圆周运动中，速度方向变化而大小不变，故只有向心加速度，物体所受到的合外力等于所需要的向心力，即合外力与所需向心力“供求平衡”。因此，合外力大小不变、方向始终与速度方向垂直且指向圆心是物体做匀速圆周运动的条件。

2.供不应求——离心运动

做匀速圆周运动的物体，当合外力突然减小或者所需向心力突然增大时，即合外力相对所需向心力“供不应求”，物体将会逐渐远离圆心，做离心运动。

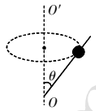
注意 物体做离心运动，并非受到“离心力”的作用，事实上，“离心力”根本就不存在，因为无论如何也找不到所谓“离心力”的施力物体。

3.供过于求——向心运动

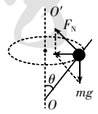
做匀速圆周运动的物体，当合外力突然增大时，即合外力相对所需向心力“供过于求”，物体将会逐渐趋近圆心，做向心运动。

二、典例探究

例题 光滑杆上套一质量为 m 的小球，杆绕 OO' 做角速度为 ω 的锥形转动，小球恰能与杆保持相对静止，如图所示，若其他条件不变，当杆的角速度 ω 突然增大时，小球将会如何运动？



解析 小球做匀速圆周运动时，受到重力 mg 和杆的支持力 F_N，如图所示，mg 与 F_N 的合力提供小球做圆周运动的向心力，设圆周半径为 r。



由牛顿第二定律得

$F_N\cos\theta=m r\omega^2$

竖直方向，由平衡条件有

$F_N\sin\theta=mg$

由于 mg、θ 恒定，故 F_N 始终不变。

当 ω 增大时，外界提供的合外力 $F_{供}=F_N\cos\theta=mg\cot\theta$ 不变，而小球做圆周运动所需的向心力 $F=mr\omega^2$ 增大。这时 $F_{供}<F_{求}$，小球 m 将做离心运动，半径增大，结果导致所需向心力更大，这样外界提供的合外力更不能满足小球所需的向心力，因此小球最终脱离杆而飞出。

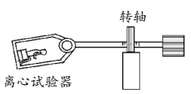
点评 物体是做圆周运动还是做离心运动或是向心运动，关键取决于物体沿半径方向的合力和它所需向心力的大小关系。

离心运动与“抗荷服”

做圆周运动的物体，由于本身的惯性，总有沿着圆周切线方向飞去的趋势，在所受合外力突然消失或不足以提供圆周运动所需的向心力的情况下，就会做逐渐远离圆心的运动，这种现象称为离心运动。

离心运动有时会造成危害，需要设法防止。

歼击机在空战飞行中，需要完成各种各样的机动飞行，速度的大小和方向不断发生着变化，加速度的大小与方向也不断变化。当飞机由俯冲拉起时或者飞机翻筋斗时，飞行员的头朝向圆心，飞行员的血液由于离心运动向下肢流去，造成飞行员脑部缺血、缺氧、视力障碍，严重时飞行员会出现意识丧失，导致飞行事故，甚至机毁人亡，这种现象叫做过荷，这也是歼击机飞行员面临的最严重的威胁。在飞行训练和空战时过荷现象是难免的。飞行员可以依靠加强锻炼、增强体质来提高自己的抗荷能力。下图为离心试验器的原理图，用来研究过荷对人体的影响，测验人的抗荷能力。



飞行员在驾驶歼击机时都要穿戴特制的飞行装。飞行装主要包括头盔、面罩、抗荷服和救生衣等。其中，被喻为“护身服”的抗荷服，是歼击机飞行员对抗空中加速度环境影响的特有装备，已达到美军同类装备的性能。

身着新式飞行装的歼击机女飞行员

穿上抗荷服能有效地提高飞行员的抗荷耐力。对于离心作用的防护，关键是要保证头部有充足的血液供应，抗荷服就是防止血液向下肢转移的专用防护装备。目前，世界各国采用最多的是五囊式抗荷服，穿着后可覆盖腹部以下肢体的大部分面积，通过与飞机上的抗荷调压装置配合，可根据离心作用的大小，自动向抗荷服气囊内充气，从而对人体体表施加机械压力，将飞行员的腹部、大腿、小腿绷紧，防止血液向下移动，保证人体心、脑、眼等重要器官的供血。这样即可大大提高飞行员的抗荷能力。

练 精选好题

1.下列关于离心现象的说法中正确的是 （ ）

A.当物体所受的离心力大于向心力时，会发生离心运动

B.做匀速圆周运动的物体，当它所受的一切力都消失时，它将做背离圆心的曲线运动

C.做匀速圆周运动的物体，当它所受的一切力都消失时，它将沿切线做直线运动

D.做匀速圆周运动的物体，当它所受的一切力都消失时，它将静止不动

2.下列说法中，属于利用离心运动原理的是（ ）

A.铁路弯道处外轨略高于内轨

B.汽车拐弯时要减速行驶

C.转动中的砂轮转速不能太大

D.制作小朋友爱吃的棉花糖

3.下列现象中，与离心运动无关的是 （ ）

A.汽车转弯时速度过大，乘客感觉往外甩

B.汽车急刹车时，乘客身体向前倾

C.洗衣机脱水桶旋转，将衣服上的水甩掉

D.运动员投掷链球时，在高速旋转的时候释放链球

4. 下列有关洗衣机脱水筒的脱水原理说法正确的是 （ ）

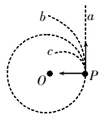
A.水滴受离心力作用，而沿背离圆心的方向甩出

B.水滴受到向心力，由于惯性沿切线方向甩出

C.水滴受到的离心力大于它受到的向心力，从而沿切线方向甩出

D.水滴与衣服间的附着力小于它所需的向心力，于是沿切线方向甩出

5.光滑水平面上，用细线拉着小球做匀速圆周运动（如图为俯视图）。若小球运动到 P 点时，细线突然断裂，下列说法正确的是 （ ）



A.小球将沿 a 轨迹运动

B.小球将沿 b 轨迹运动

C.小球将沿 c 轨迹运动

D.小球继续做匀速圆周运动

6.飞机在俯冲拉起时，飞行员会出现短暂的双目失明，甚至昏厥的现象，其原因是 （ ）

A.飞行员由于营养不良造成体质下降

B.由于高空缺氧

C.由于离心现象，使飞行员大脑短暂供血不足

D.飞行员处于失重状态，大脑短暂充血过多

7.“天宫一号”绕地球做匀速圆周运动，关于在舱内所做的实验下列说法中正确的是 （ ）

A.可以用天平测量物体的质量

B.可以用水银气压计测舱内的气压

C.不能用弹簧测力计测拉力

D.在卫星内将重物挂于弹簧测力计上，弹簧测力计示数为零，但重物仍受地球的引力

（参考答案见下期）

❖印刷/郑州彩嘉印务有限公司 地址/郑州市二七区嵩山南路交通学院北200米 ❖本报四开四版 ❖订阅/全国各地邮局(所) ❖每学期24期 单价125元 学期定价30.00元

学习报 高一物理

欢迎订阅学习报

学习报

老师的好助手 学生的好帮手

学习报® 高一物理

全国教辅类一级报纸

人教 必修2

2019-2020

第29期

总第1605期

2020年2月5日

http://www.xuexibao.com

山西出版传媒集团主管 山西三晋报刊传媒集团主办 学习报社编辑出版 总编辑 苗俊青 国内统一刊号 CN14-0708/(F)

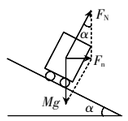
5.7 生活中的圆周运动

讲 难点突破

火车转弯时的向心力分析

1.在火车转弯时，为了避免铁轨因受侧压力而损坏，通常使外轨略高于内轨。设路基倾斜的角度为 α，两铁轨的间距为 L，火车质量为 M，转弯处的轨道半径为 R。求火车的速度为多少时车轮对内、外轨均无侧压力？

分析 火车转弯时，做的是水平面内的圆周运动，因此具有水平方向的加速度。受力如图所示。当铁轨对火车的弹力 F_N 与其重力 Mg 的合力 F_n 恰好等于火车做圆周运动所需的向心力时，车轮对内、外轨均无侧压力。

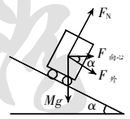


由 $Mg\tan\alpha=\frac{Mv_0^2}{R}$ 得：

火车的临界转弯速度 $v_0=\sqrt{Rg\tan\alpha}$。

2.若火车的转弯速度为 $v_1>v_0$ 时，则火车将挤压哪一侧的轨道？火车受到轨道的侧向弹力是多大？

分析 当火车速度大于临界速度时，所需的向心力增加，火车有一个离心的趋向，将挤压外侧轨道，外轨对火车产生一个向内的弹力来补充所需增加的向心力。受力分析如图所示。



火车在竖直方向受力平衡：

$F_N\cos\alpha=Mg+F_{外}\sin\alpha$

在水平方向由牛顿第二定律得：

$F_N\sin\alpha+F_{外}\cos\alpha=\frac{Mv_1^2}{R}$

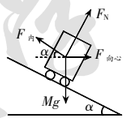
所以外轨的侧压力为：

$F_{外}=\frac{Mv_1^2\cos\alpha}{R}-Mg\sin\alpha$

当火车以大于临界速度的速度转弯时，铁轨对火车的支持力 F_N 与外轨的侧压力 $F_{外}$ 的水平分力之和提供火车转弯的向心力。

3.若火车的转弯速度为 $v_2<v_0$ 时，则火车将挤压哪一侧的轨道？火车受到轨道的侧向弹力是多大？

分析 当火车速度小于临界速度时，所需的向心力减小，火车有一个沿斜面向下运动的趋势，将挤压内侧轨道，内轨对火车产生一个向外的弹力来抵消多出来的向心力，受力分析如图所示。



同理有 $F_N\sin\alpha-F_{内}\cos\alpha=\frac{Mv_2^2}{R}$

$F_N\cos\alpha+F_{内}\sin\alpha=Mg$

所以内轨的侧压力为

$F_{内}=Mg\sin\alpha-\frac{Mv_2^2\cos\alpha}{R}$

当火车以小于临界速度的速度转弯时，铁轨对火车的支持力 F_N 与内轨的侧压力 $F_{内}$ 的水平分力之差提供火车转弯的向心力。

小结 火车转弯的圆面在水平面内，合力指向圆心，应在水平方向。此类问题我们解决的思路是首先确定圆周运动的圆心、半径，然后利用合外力充当向心力来列方程求解。

交通工具转弯受力分析

一、自行车

骑过自行车的人都会有这样的体会：在水平路面上直线行驶时，人和自行车所在的平面几乎与路面是垂直的。而在转弯处，自行车却要向路面倾斜，倾斜方向必然是指向弯道内侧；骑车速度越快，弯转得越急（弯道曲率半径越小），人车倾斜程度越大。

人和车向弯道内侧倾斜，这是由于其在水平面内做曲线运动，必定受到一个沿水平方向且指向弯道内侧的外力。此时由地面和自行车间的静摩擦力提供向心力。

二、汽车

在水平公路上行驶的汽车，转弯时所需的向心力是由车轮与路面间的静摩擦力 f 提供的。因为静摩擦力 f 不能超过最大摩擦力，故要求车子转弯时，车速不能太大且转弯半径不能太小。如果在转弯处使路面外侧略高于内侧，路面对汽车的支持力 N 的方向不再是竖直的，而是斜向弯道的内侧，其指向圆心的分力提供了汽车转弯的向心力。

三、飞机

飞机在空中转弯时，其机翼是倾斜的，飞机受到竖直向下的重力和垂直于机翼的升力作用，其合力提供转弯所需要的向心力。当转弯速度较大时，飞机的机翼倾斜角度增大，从而使重力与升力的合力增大；当转弯速度较小时，飞机的机翼倾斜角度减小，从而使重力与升力的合力减小。

练 精选好题

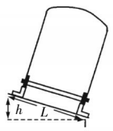
1.近年来我国高速铁路发展迅速，现已知某新型国产机车总质量为 m，如图已知两轨间宽度为 L，内外轨高度差为 h，重力加速度为 g，如果机车要进入半径为 R 的弯道，请问，该弯道处的设计速度最为适宜的是 （ ）

A.$\sqrt{\frac{gRh}{\sqrt{L^2-h^2}}}$

B.$\sqrt{\frac{gRh}{\sqrt{L^2-R^2}}}$

C.$\sqrt{\frac{gR\sqrt{L^2-h^2}}{h}}$

D.$\sqrt{\frac{gRh}{L}}$



2.“飞车走壁”杂技表演深受青少年的喜爱，表演者沿着侧壁做匀速圆周运动。若表演时演员与摩托车的总质量不变，摩托车与侧壁倾斜方向的摩擦力恰好为零。摩托车离底面越高 （ ）

A.向心力越大 B.线速度越大

C.周期越大 D.对侧壁的压力越大

3.冰面对溜冰运动员的最大静摩擦力为运动员重力的 k 倍，在水平冰面上沿半径为 R 的圆周滑行的运动员，其安全速度应为 （ ）

A.$v=k\sqrt{gR}$ B.$v\leqslant\sqrt{kgR}$

C.$v\geqslant\sqrt{kgR}$ D.$v\leqslant\sqrt{\frac{gR}{k}}$

4.汽车甲和汽车乙质量相等，以相等的速率沿同一水平弯道做匀速圆周运动，甲车在乙车的外侧。两车沿半径方向受到的摩擦力分别为 $F_甲$ 和 $F_乙$，以下说法正确的是 （ ）

A.$F_甲$ 小于 $F_乙$

B.$F_甲$ 等于 $F_乙$

C.$F_甲$ 大于 $F_乙$

D.$F_甲$ 和 $F_乙$ 大小均与汽车速率无关

5.飞机要改变飞行方向时，飞机的机翼要倾斜。与车辆不同的是，飞机转弯所需的向心力由重力和垂直于机翼的升力的合力来提供。若飞机的质量为 m，以速率 v 在水平面内做匀速圆周运动时受到的升力为 F，则飞机做圆周运动的半径为 _____，此时机翼与水平方向夹角的正切值为 _____。

微信扫码，关注学习报公众号，了解教育资讯，伴学快乐成长。

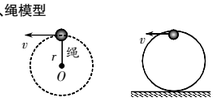
❖广告经营许可证号/1400004000044 ❖本报向全国各省(市)级教研员赠报，欢迎来电咨询 ❖随时征订热线 / 0351-3239622 邮政订户服务热线 / 0351-3239623

讲 必备专题

竖直面内的圆周运动

竖直面内的圆周运动,往往是典型的变速圆周运动。对于物体在竖直面内的变速圆周运动问题,可归纳为三类典型模型,即“绳模型”、“杆模型”及“拱桥模型”。一般只分析物体通过最高点和最低点时的临界问题。

一、绳模型



如图所示,绳系小球和没有支撑物体的小球在环内的运动均属绳模型,其特点是:**只能产生指向圆心的拉力**(或压力),**不能产生背离圆心的支持力**。

1.临界条件:小球在竖直平面内做圆周运动,在最高点时绳子的拉力(或轨道的弹力)刚好等于零,小球的重力提供其做圆周运动的向心力,即 $mg=m\frac{v_0^2}{r}$。式中的 v_0 是小球能通过最高点的最小速度,通常叫临界速度,$v_0=\sqrt{gr}$,即小球恰好通过最高点的速度。

2.小球能通过最高点的条件:$v>v_0$(此时绳、轨道对小球分别产生向下的拉力、向下的压力)。

3.不能通过最高点的条件:$v<v_0$(实际上小球还没有到最高点就脱离了轨道)。

例1 如图所示,绳系着装有水的小桶,在竖直平面内做圆周运动,水的质量 $m=0.5$ kg,绳长 $L=60$ cm,g 取 10 m/s²,求:

(1)在最高点水不流出的最小速率。

(2)水在最高点且速率为 $v=3$ m/s 时,水对桶底的压力。

解析 (1)在最高点水不流出的条件是水的重力不大于做圆周运动所需的向心力,即 $mg\leqslant\frac{mv_0^2}{L}$,则所求最小速率 $v_0=\sqrt{Lg}=\sqrt{0.6\times10}$ m/s≈2.45 m/s。

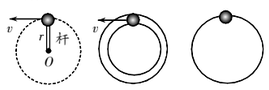
(2)当水在最高点的速率大于 v_0 时,只靠重力提供向心力已不足,此时水桶底对水有一向下的压力,设为 F_N,由牛顿第二定律有

$F_N+mg=\frac{mv^2}{L}$

解得 $F_N=\frac{mv^2}{L}-mg=2.5$ N

由牛顿第三定律知,水对桶底的作用力 $F_N'=F_N=2.5$ N,方向竖直向上。

二、杆模型



如上图所示,杆拉小球、管套小球、环穿小球均属于杆模型,其特点是:**既能产生拉力,又能产生支持力**。

1.临界条件:小球在竖直平面内做圆周运动,由于轻杆(或管壁)的支撑作用,小球恰能到达最高点的临界速度为 $v_0=0$。

2.小球通过最高点时,轻杆(或管壁)对小球的弹力情况:

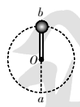
(1)当 $v=0$ 时,轻杆(或管的内壁下侧)对小球有竖直向上的支持力 F_N,大小等于小球的重力,即 $F_N=mg$。

(2)当 $0<v<\sqrt{gr}$ 时,$F=mg-F_N=m\frac{v^2}{r}$,轻杆(或管的内壁下侧)对小球的作用力的方向竖直向上,大小随速度的增大而减小,其取值范围是:$0<F_N<mg$。

(3)当 $v=\sqrt{gr}$ 时,$F=mg=m\frac{v^2}{r}$,则 $F_N=0$。

(4)当 $v>\sqrt{gr}$ 时,$F=mg+F_N=m\frac{v^2}{r}$,轻杆(或管的内壁上侧)对小球有指向圆心的拉力(或支持力),其大小随速度的增大而增大。

例2 如图所示,细杆的一端与一小球相连,可绕过 O 点的水平轴自由转动,现给小球一初速度,使它做圆周运动,图中 a、b 分别表示小球轨道的最低点和最高点,则杆对球的作用力可能是 ( )



A.a 处为拉力,b 处为拉力

B.a 处为拉力,b 处为支持力

C.a 处为支持力,b 处为拉力

D.a 处为支持力,b 处为支持力

解析 小球在最高点时所需向心力是杆对小球的作用力与小球重力的合力,由于杆既能产生拉力,又能产生支持力,所以小球无论以多大的速度通过最高点时,所需的向心力都能满足,因此小球通过最高点时,所需最小速度 $v=0$。小球运动到最低点时,所受杆的作用力一定是拉力(方向竖直向上),而运动到最高点时,杆对小球的作用力可能是拉力,也可能是支持力。具体如下:

在最低点时,$T_a-mg=m\frac{v_a^2}{L}$,所以 $T_a=m\frac{v_a^2}{L}+mg>0$,即所受杆的作用力一定是拉力。

在最高点时,设杆对小球的作用力为 F_N,由于方向未知,假设向下,则 $F_N+mg=m\frac{v_b^2}{L}$,$F_N=m\frac{v_b^2}{L}-mg$。

讨论:1.当 $m\frac{v_b^2}{L}=mg$ 时,$F_N=0$;

2.当 $m\frac{v_b^2}{L}>mg$ 时,即 $v_b>\sqrt{gL}$,此时 $F_N>0$,所以杆对小球的作用力为拉力;

3.当 $m\frac{v_b^2}{L}<mg$ 时,即 $v_b<\sqrt{gL}$,此时 $F_N<0$,说明 F_N 与 mg 的方向相反,杆对小球的作用力为支持力。

因为 v_b 的大小未定,故A、B选项都正确。

三、拱桥模型

拱桥模型特点:**只能产生支持力,不能产生拉力**。

1.汽车过拱形桥

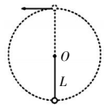
汽车通过拱形桥最高点时,在竖直方向受到重力 G 和桥的支持力 F_N,使汽车做圆周运动的向心力 $F=G-F_N$,由牛顿第二定律得 $F=ma=\frac{mv^2}{R}$,故 $F_N=G-\frac{mv^2}{R}<G$。

当汽车的速度不断增大时,桥面对汽车的支持力

(下转第3版)

练 精选好题

1.如图所示,轻杆长为 L,一端固定在水平轴上的 O 点,另一端系一个小球(可视为质点)。小球以 O 为圆心在竖直平面内做圆周运动,且能通过最高点,g 为重力加速度。下列说法正确的是 ( )



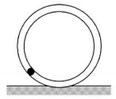
A.小球通过最高点时速度可能小于 $\sqrt{gL}$

B.小球通过最高点时所受轻杆的作用力可能为零

C.小球通过最高点时所受轻杆的作用力随小球速度的增大而增大

D.小球通过最高点时所受轻杆的作用力随小球速度的增大而减小

2.如图所示,一个固定在竖直平面上的光滑圆形管道,质量为 M,管道里有一个直径略小于管道内径的小球,质量为 m,小球在管道内做圆周运动,下列说法中正确的是 ( )



A.小球通过管道最低点时,管道对地面的压力为 $(m+M)g$

B.小球通过管道最高点时,管道对地面的压力可能为 $(m+M)g$

C.小球通过管道最高点时,管道对地面可能无压力

D.小球通过管道最高点时,管道对地面的压力可能为 Mg

3.乘坐游乐园的翻滚过山车(如图)时,质量为 m 的人随车在竖直平面内旋转,下列说法正确的是 ( )

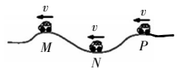
A.车在最高点时人处于倒坐状态,全靠保险带拉住,没有保险带,人就会掉下来

B.人在最高点时对座位仍可能产生压力

C.人在最低点时对座位的压力等于 mg

D.人在最低点时对座位的压力大于 mg

4.如图,一辆汽车以一定的速度 v 在丘陵地带行驶,下列说法正确的是 ( )



A.汽车在 N 点对地面压力最大

B.汽车在 N 点对地面压力最小

C.汽车在 M 点对地面压力最小

D.汽车在 P 点对地面压力最大

5.一汽车通过拱形桥顶点时的速度为 10 m/s,车对桥顶的压力为车重的 $\frac{3}{4}$,如果要使汽车在桥顶对桥面没有压力,车速至少为 ( )

A.15 m/s

B.20 m/s

C.25 m/s

D.30 m/s

(下转第3版)

学习报 高一物理

第28期参考答案

5.5 向心加速度

理解向心加速度

1.D

2.A

3.B

4.A

5.D

6.BD

7.BD

8.10π rad/s

200π² m/s²

9.8:1

10.0.05 r/s

超重的感觉

5.6 向心力

解读向心力

1.B

2.B

3.D

4.A

5.B

6.C

7.A

8.B

9.BC

10.$\sqrt{m^2g^2+m^2\omega^4R^2}$

两类圆周运动

1.B

2.AD

3.BD

4.ACD

5.(1)$\sqrt{\frac{2g}{R}}$

(2)$\frac{\sqrt{3}\,k(2-k)}{2}mg$,沿罐壁切线向下

6.(1)$\sqrt{\frac{3}{5}gl}$ $\sqrt{\frac{12}{5}gl}$

(2)$\frac{28}{5}mg$

7.9:16

8.(1)0

(2)$\frac{1}{2}kmg$

(上接第2版)

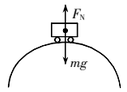
不断减小,当 $F_N=G-\frac{mv^2}{R}=0$,即 $v=\sqrt{gR}$ 时,汽车对桥压力减小为零。这时,汽车以速度 $v=\sqrt{gR}$ 开始做平抛运动,而不再沿桥面做圆周运动,如图所示。

2.汽车过凹形桥

汽车通过凹形桥最低点时,做圆周运动的向心力 $F=F_N-G$,又 $F=ma=\frac{mv^2}{R}$,故支持力 $F_N=G+\frac{mv^2}{R}>G$。

汽车的速度越大,汽车对桥的压力越大。

例3 在高速公路上所建的高架桥的顶部可以看作是一个圆弧,若高架桥的顶部的圆弧半径为 $R=150$ m,如图所示。求车在高速公路高架桥上行驶时的最高限速。(g 取 10 m/s²)



解析 在拱桥最高点时,由牛顿第二定律得

$mg-F_N=\frac{mv^2}{R}$

当 $F_N=0$ 时,车与地面的摩擦力为零,车将无法控制,故应有 $mg>\frac{mv^2}{R}$,即 $v<\sqrt{gR}$

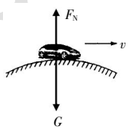
代入数据得 $v<38.7$ m/s≈139 km/h。

你能让汽车腾空而起吗?

在五花八门的赛车中,有一种项目虽不如一级方程式比赛那样疯狂飚速,但同样精彩刺激,这就是汽车越野场地障碍赛。越野场地障碍赛是在人为设置的复杂路况下展开的汽车间的较量,比赛中时常会出现这样惊险的一幕:汽车行驶中突然飞离了赛道,在空中“飞行”了一段才又重新落到路面上继续前进。看到这让人叹为观止的情景,我们往往会产生疑问:汽车的飞跃在什么样的路段才会出现呢?虽然驾驶员有高超的技术,这样的飞跃对他们的身体有不良影响吗?

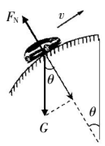
一、腾空而起的条件

汽车通过拱桥顶端时,其所受重力与桥对汽车的支持力的合力提供向心力,根据牛顿第二定律有 $G-F_N=m\frac{v^2}{R}$,得 $F_N=mg-\frac{mv^2}{R}$。当式中的 $F_N=0$ 时,有 $v=\sqrt{gR}$。$F_N=0$ 意味着汽车不受地面的支持力,即汽车已离开地面,此后它将做抛体运动而“飞”起来。汽车在拱桥顶端起飞的条件为 $v\geqslant\sqrt{gR}$,即汽车的速度要快一些才可能腾飞。



如果汽车不在拱桥的顶端,我们仍可用上述思路分析。

如图,分析汽车的受力情况,我们仍只需要讨论半径方向上汽车所受的合力。汽车所受重力沿半径方向的分量与桥对汽车的支持力的合力提供向心力,有 $G\cos\theta-F_N=m\frac{v^2}{R}$,得 $F_N=mg\cos\theta-m\frac{v^2}{R}$。



那么汽车不在拱形桥的最高点时,它的运动能用上面的方法求解吗?

从上述结论可知,汽车不在拱形桥的最高点时,如 $F_N=0$,汽车也将离开地面而飞起,此时汽车的速度至少为 $v=\sqrt{gR\cos\theta}$,对比汽车在拱桥顶端时的结论不难发现,此时汽车“飞跃”的极限速度要小一些。在越野场地障碍赛中大家仔细观察就会发现,汽车“飞跃”的情形通常是发生在凹凸起伏路面的凸起处,类似于拱桥,而“飞跃”往往是在到达凸起处的最高点前就发生,一般并不是发生在真正的最高点。

二、“超级汽车”的腾空而起

如果我们把地球想象为特大的“拱形桥”,桥面的半径就是地球半径 R(6 400 km),地球上的一辆“超级汽车”,沿南北方向,不断加速,那它达到多大速度可以离开这样的特大拱桥——地球呢?

由以上分析可得,汽车的速度应至少为 $v=\sqrt{gR}=7.9$ km/s,这一速度约为声速的二十多倍,远高于目前所有飞机的速度,看来真的要“超级汽车”才能完成上述任务。

三、腾空而起的危害

汽车离开地面有危险吗?离开地面的过程对驾驶员有伤害吗?

根据上面的分析可知,汽车过凸形桥时,无论是否在最高点都可能出现地面对车的支持力是零的情形,此时驾驶员与座椅之间的压力以及驾驶员躯体各部分之间的压力都为零(只要对驾驶员或驾驶员躯体的某部分受力分析,用对汽车的研究方法探讨即可),此时驾驶员处在失重状态。短时间的失重对人的影响几乎可以忽略,但汽车离开地面还是有危险的,如控制不好汽车“飞行”的方向,其次着地时有可能失去对车的控制而出现险情。因此,日常生活中汽车过拱形桥时通常要求降低速度以确保安全。

四、拓展提问

问题:当翻滚过山车在圆形轨道内侧的竖直平面里做圆周运动时,在其轨道的上半部,过山车理论上也是可能离开轨道的(当然这肯定是危险的,应该避免),那么过山车在轨道最高点的速度要满足什么条件才不至于离开轨道呢?

解答:过山车在轨道内侧的最高点仍由重力与轨道对车的支持力的合力提供向心加速度,不过合力的方向竖直向下指向圆心,有 $G+F_N=m\frac{v^2}{R}$,得 $F_N=m\frac{v^2}{R}-mg$。要求式中的 $F_N\geqslant0$ 时,应使 $v\geqslant\sqrt{gR}$,即过山车在轨道最高点的速度至少为 $\sqrt{gR}$ 才不至于离开轨道。

(上接第2版)

6.如图所示,一辆质量为 $m=500$ kg 的汽车静止在一座半径为 $R=50$ m 的圆弧形拱桥顶部(g 取 10 m/s²)。求:

(1)画出汽车的受力图;此时汽车对圆弧形拱桥的压力是多大?

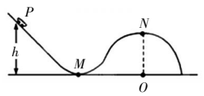
(2)如果汽车以 6 m/s 的速度经过拱桥的顶部时,则汽车的向心加速度是多大?汽车对圆弧形拱桥的压力是多大?

(3)如果汽车经过拱桥的顶部时,恰好对圆弧形拱桥没有压力,此时汽车的速度是多大?

7.素有“陆地冲浪”之称的滑板运动已深受广大青少年喜爱。如图所示是由足够长的斜直轨道,半径 $R_1=2$ m 的凹形圆弧轨道和半径 $R_2=3.6$ m 的凸形圆弧轨道三部分组成的模拟滑板组合轨道。这三部分轨道依次平滑连接,且处于同一竖直平面内。其中 M 点为凹形圆弧轨道的最低点,N 点为凸形圆弧轨道的最高点,凸形圆弧轨道的圆心 O 与 M 点在同一水平面上。一可视为质点,质量为 $m=1$ kg 的滑板从斜直轨道上的 P 点滑下,经 M 点滑向 N 点,滑板滑到 M 点时速度为 8 m/s,不计一切阻力,g 取 10 m/s²。求:

(1)滑板滑至 M 点时,轨道对滑板的支持力;

(2)若滑板滑至 N 点时对轨道的压力为 6.4 N,则滑板的速度大小。



8.某同学用长 0.8 m 的细绳一端系住一只小碗,碗内盛水,碗和水的总质量为 0.5 kg。该同学抓住细绳另一端甩动细绳,使碗和水在竖直面内飞快地旋转。求:

(1)为了不让水从碗内洒出来,碗到最高点的速度至少是多少?

(2)由于绳子能够承受的最大拉力为 15 N,碗到最低点的速度最大不能超过多少?(g 取 10 m/s²)