



全面剖析命题规律 准确预测命题方向

冲刺

全国高中物理竞赛

沈忠峰 主编

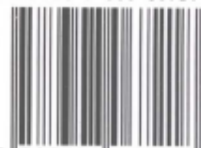


ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社



- ★ 冲刺全国高中数学联赛
- ★ 冲刺全国高中物理竞赛
- ★ 冲刺全国高中化学竞赛
- ★ 冲刺全国高中生物联赛
- ★ 高中数学竞赛方法指导
- ★ 高中物理竞赛方法指导
- ★ 高中化学竞赛方法指导
- ★ 高中生物竞赛方法指导

ISBN 978-7-308-06721-8



9 787308 067218 >

定价：27.00元

冲刺全国高中物理竞赛

主 编 沈忠峰

编 委 钱新林 厉守清 竺 斌 胡晓明



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

冲刺全国高中物理竞赛/沈忠峰主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2009. 4

ISBN 978-7-308-06721-8

I. 冲… II. 沈… III. 物理课—高中—解题 IV. G634.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 058791 号

冲刺全国高中物理竞赛

沈忠峰 主编

责任编辑 石国华

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州大漠照排印刷有限公司

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 18

字 数 438 千

版 印 次 2009 年 4 月第 1 版 2009 年 6 月第 2 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-06721-8

定 价 27.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571) 88925591

前 言

全国中学生物理竞赛在激发学生对物理的热爱和学习兴趣,培养学生的科学思维、创新能力和探究精神等方面起着重要的作用。广大中学师生从竞赛中获得了知识,增长了能力,开拓了视野,因此越来越受到他们的重视。

物理竞赛最后的赛前冲刺对提高竞赛成绩相当重要。本书的主要目的是使学生在最后阶段能够较系统地复习,指导学生进行最后的冲刺。

本书每个专题均设有【知识要点】、【解题指导】与【专项训练】三个栏目。

【知识要点】囊括了与本节相关的所有知识要点,覆盖面广、全,知识点介绍完整,特别是介绍了大量课本以外的内容。

【解题指导】力求向读者奉献最新且具有一定代表性的竞赛题,帮助学生加深理解,培养学生分析和解决问题的思维方式,学会灵活地运用知识,能够让学生做到举一反三。

【专项训练】精选了各类典型习题,为每个知识点配备了相应的习题,对难题进行了详细的解答。通过对这些习题的练习,可以帮助学生了解自己对知识点和解题方法的掌握程度,做到查漏补缺。

另外,本书还配有精选模拟试题。这些试题具有很强的综合性、灵活性和实用性,以帮助学生理解内容和进行有效的训练。适当的赛前模拟训练对提高竞赛成绩有很大帮助。

本书侧重预赛和复赛(理论)的赛前指导,最后还附有2008年全国中学生物理预赛和复赛(理论)试题及参考答案和评分标准,供学生参考。

本书由多位长期从事竞赛辅导的重点高中骨干教师精心编写,他们都有丰富的教学经验和物理竞赛辅导经验,有多名辅导的学生在全国中学生物理竞赛和决赛中获奖。由于编写时间仓促,书中错误和疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

目 录

专题训练

专题一 力与运动	1
专题二 能量和动量 角动量	22
专题三 振动和波	43
专题四 热学	57
专题五 静电场	71
专题六 恒定电流	84
专题七 磁场 电磁感应	95
专题八 几何光学 物理光学	118
专题九 原子和原子核 相对论	135

模拟试卷

预赛模拟试卷一	149
预赛模拟试卷二	154
预赛模拟试卷三	159
预赛模拟试卷四	165
复赛模拟试卷一	171
复赛模拟试卷二	174
复赛模拟试卷三	177
复赛模拟试卷四	180
2008 年第 25 届全国中学生物理竞赛预赛试卷	183
2008 年第 25 届全国中学生物理竞赛复赛试卷	189
参考答案和部分解析	193

专题一 力与运动

【知识要点】

一、静力学

(一) 力学中几种常见的力

1. 重力 G : 由于地球的吸引而使物体受到的力。大小: $G = mg$; 方向: 竖直向下。

2. 弹力

(1) 弹簧弹力: $F = kx$

(2) 弹簧的串、并联:

串联: $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots$

并联: $k = k_1 + k_2 + \dots$

3. 摩擦力

(1) 动摩擦因素 μ 与静摩擦因素 μ_s 。

(2) 摩擦角: $\mu_s = \tan\Phi$

判断物体不发生滑动的条件:

全反力 F' 与 N 的夹角 $\alpha = \arctan \frac{f}{N} \leq \Phi$, 如图 1-1 所示。

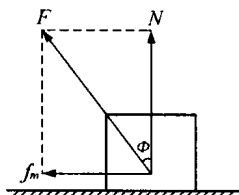


图 1-1

(3) 静摩擦力方向与相对运动趋势方向相反, 滑动摩擦力方向与相对运动方向相反。

(二) 物体的平衡

1. 共点力作用下物体的平衡

物体在共点力作用下处于平衡的条件是这几个力的合力为 0。由
$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \text{ 列出方程}$$

求解。若是三力平衡问题, 此三力不平行必共点且必共面。

2. 有固定转动轴物体的平衡

(1) 力矩

力与力臂(转动轴到力的作用线之间的距离)的乘积称为力矩, 记为 $M = Fd$, 它是使物体绕轴转动状态发生改变的原因, 单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

(2) 力偶与力偶矩

作用在物体上的大小相等、方向相反、作用线平行的两个力组成一对力偶。力偶对物

体只有转动作用,其转动作用的大小由力偶矩来度量。力偶矩的大小等于力与力偶臂的乘积,力偶臂等于两个平行力的作用线之间的距离。力偶矩与所选择的轴无关。

(3) 有固定转动轴物体的平衡条件

作用在物体上的各力对轴的力矩的代数和为零。

3. 一般物体的平衡

一般物体的平衡条件:任意一个物体,其受力平衡的条件是:它们所受到的合外力为零,它们所受到的以某点为转动轴的合力矩为零。

$$\text{对于受平面力系作用的物体,上述条件可表示为} \begin{cases} \sum F_x = 0, \\ \sum F_y = 0, \\ \sum M_i = 0. \end{cases}$$

上式中 M_i 表示各外力对某个任意转轴的力矩,值得注意的是,所有外力对某一点的力矩的代数和为零时,则对任一点的力矩的代数和都等于零。由此对于平面力系平衡问题的求解,由其平衡条件只需列出三个独立的方程。但这三个独立方程可以不限于上述的组合,也可以写为由两个力矩平衡方程和一个力的平衡方程的组合,或由三个力矩平衡方程的组

$$\text{合,即} \begin{cases} \sum F_x = 0, \\ \sum M_{A_i} = 0, \\ \sum M_{B_i} = 0; \end{cases} \text{或} \begin{cases} \sum M_{A_i} = 0, \\ \sum M_{B_i} = 0, \\ \sum M_{C_i} = 0. \end{cases}$$

上面的 M_{A_i} 表示第 i 个力对于 A 点的力矩,应该注意的是:用上述的第二个方程组来列方程求解时,其中选作转轴的 A 、 B 两点的连线 AB 不能与 x 轴垂直;用上述的第三个方程来列方程求解时,选作转轴的 A 、 B 、 C 三点不能在同一直线上。

(三) 平衡的种类

1. 物体的平衡分类

一是不稳定平衡。当物体达到平衡后受到微小扰动而偏离平衡位置时,如果这物体在各力的作用下将继续偏离平衡位置而不会回复到平衡位置。

二是稳定平衡。当物体达到平衡后受到微小扰动而偏离平衡位置时,如果这物体在各力的作用下将会回复到平衡位置。

三是随遇平衡。当物体达到平衡后受到微小扰动而偏离平衡位置时,如果该物体所受的合力仍为零,而能在新的位置继续保持平衡状态。

2. 稳度

稳度是物体稳定的程度。一般来说,使一个物体的平衡遭到破坏所需要的能量越多,这个平衡的稳度就越高。具体来说,稳度与物体的重心高度和支面大小有关,重心越低、支面越大时稳度越高。

3. 物体平衡种类的判断方法

(1) 受力分析法。当质点受到外界的扰动而稍微偏离平衡位置以后,如果所受合外力

指向平衡位置,则此质点的平衡是稳定的;如果所受的合外力是背离平衡位置,则此质点的平衡是不稳定的;如果所受的合外力为零,则质点处于随遇平衡状态。

(2) 力矩比较法。对于有支轴的刚性物体,当它受外界扰动而偏离平衡位置时,如果外力会引起一个回复力矩,此力矩有把物体拉回到原平衡位置的倾向,则称物体处于稳定平衡状态;如果外力会引起一排斥力矩,它有把物体推离原平衡位置的倾向,则称物体处于不稳定平衡状态;如果物体所受合力矩仍为零,则称物体处于随遇平衡状态。

(3) 重心升降法。对受重力和支持力作用而平衡的物体,判断其平衡种类时,常可用重心升降法。即若使物体稍微偏离平衡位置,如重心升高,则为稳定平衡;若使物体稍微偏离平衡位置后其重心降低,则为不稳定平衡;而若使物体稍微偏离平衡位置后其重心高度不变,则为随遇平衡。

(4) 支面判断法。具有支面的物体平衡时,物体所受重力的作用线一定在支面内,如果偏离平衡位置后,重力作用线仍在支面内,物体就能回到平衡位置,属于稳定平衡;但如果物体倾斜较大时,重力的作用线超出支面,重力的力矩会使物体继续远离原来位置,即原来的平衡被破坏。

(四) 液体的平衡

1. 静止流体的压强: $p = \rho gh$

2. 浮力: $F = \rho g V$

二、运动学

(一) 运动的合成和分解

1. 矢量和标量

2. 运动的合成法则

运动的合成包括位移、速度和加速度的合成,遵守矢量合成法则——平行四边形法则。

$$v_{\text{绝对}} = v_{\text{相对}} + v_{\text{牵连}} \quad \text{或} \quad v_{\text{甲对乙}} = v_{\text{甲对丙}} + v_{\text{丙对乙}}$$

3. 物系相关速度

(1) 刚性杆、绳上各点在同一时刻具有相同的沿杆、绳的分速度。

(2) 接触物系在接触面法线方向的分速度相同,切向分速度在无相对滑动时亦相同。

(3) 线状交叉物系交叉点的速度是相交物系双方沿双方切向运动分速度的矢量和。

(二) 抛体运动

1. 平抛运动

质点只在重力作用下,且具有水平方向的初速度的运动叫平抛运动。

位移: 水平方向 $x = v_0 t$

$$\text{竖直方向} \quad y = \frac{1}{2} g t^2$$

$$\text{合位移} \quad s = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(v_0 t)^2 + \left(\frac{1}{2} g t^2\right)^2}$$

$$\text{方向} \quad \alpha = \arctan \frac{gt}{2v_0} \quad (\alpha \text{ 为位移与水平方向夹角})$$

速度：水平方向 $v_x = v_0$

竖直方向 $v_y = gt$

合速度 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$

方向 $\beta = \arctan \frac{gt}{v_0}$ (β 为速度与水平方向夹角)

加速度：上述直角坐标系： $a_x = 0, a_y = g$

自然坐标系： $a_n = g \cos \alpha = \frac{gv_0}{\sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}}, a_\tau = g \sin \alpha = \frac{g^2 t}{\sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}}$

轨迹：由位移公式消去参数 t 得： $y = \frac{g}{2v_0^2} x^2$

2. 斜抛运动

质点只在重力作用下，且初速方向与水平方向成一定夹角的运动叫斜抛运动。初速度有一仰角叫斜上抛运动，有一俯角叫斜下抛运动。

(1) 将斜上抛运动分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向上的竖直上抛运动。

位移：水平方向 $x = v_0 \cos \theta \cdot t$

竖直方向 $y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} gt^2$

速度：水平方向 $v_x = v_0 \cos \theta$

竖直方向 $v_y = v_0 \sin \theta - gt$

加速度： $a_x = 0, a_y = g$

轨迹：消去位移公式中的参数 t 得 $y = -x \tan \alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2$

斜抛运动的几个特征量：

飞行时间： $t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$

射高： $H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$

射程： $s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

(2) 将斜抛运动分解为沿初速方向的斜向上的匀速运动和竖直方向上的自由落体运动。

(3) 将沿斜面 and 垂直斜面方向作 x, y 轴，分别分解初速和加速度后用运动学公式求解。

(三) 圆周运动

1. 匀速圆周运动

轨迹为圆的运动叫圆周运动。在任何相等时间内通过的圆弧长度都相等的圆周运动叫匀速圆周运动，匀速圆周运动各物理量之间的关系：

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r}{t} = 2\pi r f; \omega = \frac{\Phi}{t} = \frac{2\pi}{t} = 2\pi f; a_n = \frac{v}{r} = \omega^2 r; a_\tau = 0$$

2. 非匀速圆周运动

线速度的大小在不断改变的圆周运动叫非匀速圆周运动,它的角速度方向不变,大小在不断改变。

$$a = a_n + a_\tau; a_n = \frac{v^2}{r}; a_\tau = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

(四) 刚体绕定轴的转动

1. 刚体

所谓刚体指在外力的作用下,大小、形状等都保持不变的物体;或组成物体的所有质点之间的距离始终保持不变。刚体的基本运动包括刚体的平动和刚体绕定轴的转动。刚体的任何复杂运动均可由这两种基本运动组合而成。

2. 刚体的运动

刚体的平动指刚体内所作的任一直线始终保持和自身平行。其特点为:对刚体上任两点 A 和 B 有它们的运动轨迹相似; $v_A = v_B, a_A = a_B$ 。因此刚体的平动可用其内任一质点运动来代表。

3. 刚体绕定轴的转动

指刚体绕某一固定轴的转动。其特点是刚体上的各点都在与转轴垂直的平面内做圆周运动,各点做圆周运动的半径可不相等,但各点的半径转过的角度都相同,因而某一时刻的刚体上所有各点的角位移 φ ,角速度 ω 和角加速度 β (理解以上三概念可与直线运动中的位移、速度、加速度相类比)都相同,且有:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}; \beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

当 β 为常量时,为匀加速转动,类似于匀加速直线运动,对这类运动有:

$$\omega = \omega_0 + \beta t; \varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \beta t^2; \omega^2 - \omega_0^2 = 2\beta(\varphi - \varphi_0)$$

式中 φ_0 为初始时刻的角位移, ω_0 为初始时刻的角速度。

对于绕定轴转动的刚体上某点的运动情况有:

$$v = \omega R; a_\tau = \beta R; a_n = \omega^2 r = \frac{v^2}{R}$$

式中 R 为该点到轴的距离, a_τ 和 a_n 分别指切向加速度和法向加速度。

三、动力学

(一) 牛顿运动定律

1. 第一定律:任何物体都保持静止状态或匀速直线运动状态,直到其他物体的作用迫使它改变这种状态为止。

2. 第二定律:物体受外力作用时,物体所获得的加速度的大小与合外力的大小成正比,并与物体的质量成反比,加速度的方向与合外力的方向相同。用方程式表示,牛顿第二定律的数学表达式为 $\sum F = ma$ 。

3. 第三定律:两个物体间的相互作用力总是等值反向且沿同一直线。

4. 连接体问题

两个或两个以上的物体在某一种力(一般是弹力或摩擦力)作用下一起运动,叫做连接体。解连接体的问题一般要用隔离法。即把某一个物体隔离出来进行分析。有时连接体中的各个物体具有不同的加速度,必须确定它们的加速度之间的关系。

5. 质点组动力学

$$\sum \mathbf{F}_i = \sum m_i \mathbf{a}_i$$

通常令 $\sum m_i \mathbf{a}_i = M \mathbf{a}_c$, 其中 $M = \sum m_i$, $\mathbf{a}_c$ 为质点组质心加速度。若质点组所受的合外力等于零, 有 $\sum m_i \mathbf{a}_i = 0$ 。

(二) 非惯性参照系

1. 惯性系与非惯性系

牛顿运动定律适用的参照系,叫惯性系。一切相对惯性系做匀速直线运动的参照系也是惯性系。实验证明,以太阳中心为原点,指向任一恒星的直线为坐标轴所构成的日星系是至今最精确的惯性系。地球相对于日心系有公转和自转,严格说不是惯性系,但由于这种加速度很小,在一定精度范围内,地球仍可视为惯性系。由此,相对地面静止或匀速直线运动物体上的参考系也可视为惯性系。

牛顿运动定律不适用的参照系,叫非惯性系。一切相对于地面加速运动或旋转的参照系都是非惯性系。在非惯性系中,牛顿第一、第二定律不再成立,需要引入惯性力,对定律的形式加以修正。

2. 加速平动系统中的惯性力

在加速前进的车里,乘客都觉得自己好像受到一个使其向后倒的力,这个力就是惯性力。惯性力的大小等于物体的质量 m 与非惯性系相对于惯性系的加速度 a 的乘积,方向与 a 相反。用公式表示: $F_{\text{惯}} = -ma$ 。

如果质点 m 相对于该非惯性参照系还有相对加速度 a_r , 其他物体作用于质点的合力为 F , 则质点在该非惯性系中的相对运动的动力学方程为: $F + F_{\text{惯}} = ma_r$ 。

显然,如果质点相对于该非惯性系静止($a_r = 0$), 则作用力的合力 F 与惯性力 $F_{\text{惯}}$ 平衡。

应注意: 惯性力与其他作用力 F 不同, 惯性力只是一种假想力, 实际上并不存在, 所以惯性力无施力物体, 也没有作用。惯性力起源于物体的惯性, 是在非惯性系中物体惯性的体现。

3. 转动系统中的惯性力

转动系统中的惯性力称惯性离心力, 这个惯性力的方向总是指向远离轴心的方向。它的大小等于物体的质量 m 与非惯性系相对于惯性系的加速度 a 的乘积。如果在以角速度 ω 转动的参照系中, 质点到转轴的距离为 r , 则: $F_{\text{惯}} = -m\omega^2 r$ 。

当质点相对于转动参照系静止时, 其他作用于质点的作用力的合力 F 与惯性离心力 $F_{\text{惯}}$ 平衡, 即 $F + F_{\text{惯}} = 0$ 。

如果物体相对于匀速转动的参照系以一定的速度运动, 则物体除了受惯性离心力之外, 还要受到另一种惯性力的作用, 称为科里奥利力, 其大小与转动系统的角速度 ω 有关, 还

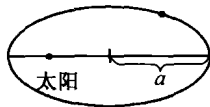
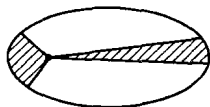
与物体相对于转动系统的速度有关,在这里不作详细讨论。

(三) 万有引力定律与天体运动

1. 开普勒定律

第一定律(轨道定律): 所有行星分别在大小不同的椭圆轨道上围绕太阳运动。太阳在这些椭圆的一个焦点上。

第二定律(面积定律): 对每个行星来说, 太阳和行星的连线在相等的时间内扫过相等的面积(“面积速度” $\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{1}{2}rv\sin\theta = \text{常数}$)。



第三定律(周期定律): 所有行星的椭圆轨道的半长轴的三次方与公转周期的平方的比值都相等($\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$)。

说明: 凡在中心天体的引力作用下, 绕中心天体做周期运动的物体, 如人造地球卫星, 都遵守以上三定律。只需将以上叙述中“太阳”换为“中心天体”, M 换为中心天体的质量。

2. 万有引力定律

(1) 定律内容: 任何两个物体之间都是相互吸引的, 引力的大小与两个物体的质量的乘积成正比, 与它们之间距离的平方成反比, 引力的方向在两个物体的连线上。

(2) 数学表达式: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

式中 G 为万有引力恒量, 大小 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$

(3) 适用条件:

① 这个关系式仅适用于两质点之间, 若物体不能视为质点, 则可把每一物体视为若干质点的集合, 然后按定律求出各个质点间的引力, 再按矢量法则求出它们的合力。

② 两个质量均匀分布的球体间的引力计算, 可把各自质量集中于各自球心。间距为两球球心的距离。

③ 均匀球壳对壳内和壳外质点的引力公式

一个质量为 M 的均匀薄球壳和一质量为 m , 距离球心为 r 的质点之间的引力:

(a) 如果质点在球壳外, 引力大小 $F = G \frac{Mm}{r^2}$ 。

(b) 如果质点在球壳内, 则引力为零。

3. 三个宇宙速度

第一宇宙速度又称环绕速度, 是人造天体环绕地球运动的速度, 设地球的半径为 R , 则

$$GMm/R^2 = mv^2/R$$

第一宇宙速度

$$v_1 = \sqrt{GM/R} = 7.9 \text{ km/s}$$

第二宇宙速度又称脱离速度,是将人造天体发射到地球引力以外的最小速度。设地球的半径为 R ,由机械能守恒定律可得

$$\frac{1}{2}mv^2 + \left(-G\frac{Mm}{R}\right) = -G\frac{Mm}{r}$$

r 为地球引力以外的某点到地球的距离,显然 $r \rightarrow \infty$ 。

所以 $GMm/r = GMm/\infty = 0$

第二宇宙速度 $v_2 = \sqrt{2GM/R} = 11.2\text{km/s}$

第三宇宙速度又称逃逸速度,是使人造天体脱离太阳引力范围的最小发射速度。设太阳的质量为 M_0 ,太阳中心到地球中心的距离为 R_0 ,类似于第二宇宙速度的计算,同理可得

$$v = \sqrt{2GM_0/R_0} = 42.2\text{km/s}$$

由于地球绕太阳公转的速度为 29.8km/s ,所以相对地球只要 $v' = (42.2 - 29.8)\text{km/s} = 12.4\text{km/s}$ 的发射速度即可,这是将地球引力小到可略去不计得出的。考虑到地球引力存在,必须克服地球引力做功,所以

$$\frac{1}{2}mv_3^2 - G\frac{Mm}{R} = \frac{1}{2}mv'^2$$

而 $G\frac{Mm}{R} = \frac{1}{2}mv_2^2$

式中 v_2 是第二宇宙速度,将此式代入上式 $\frac{1}{2}mv_3^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv'^2$

第三宇宙速度 $v_3 = \sqrt{v_2^2 + v'^2} = 16.7\text{km/s}$

【解题指导】

例 1 用轻质细线把两个质量未知的小球悬挂起来,如图 1-2 所示。今对小球 a 持续施加一个向左偏下 30° 的恒力,并对小球 b 持续施加一个向右偏上 30° 的同样大的恒力,最后达到平衡,表示平衡状态的图可能是

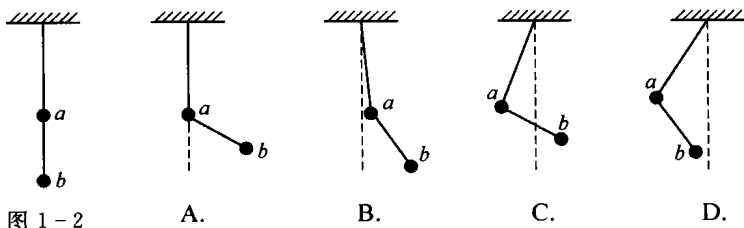


图 1-2

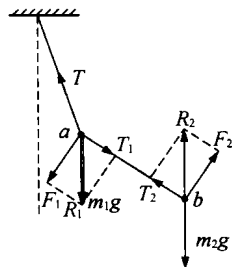


图 1-3

解析 以 B 情况为例,如图 1-3 所示,分别分析 a 、 b 两球的受力情况。 b 球受到三个力:重力 m_2g ,绳的拉力 T_2 和外力 F_2 。 a 球受到四个力:重力 m_1g ,中间绳拉力 T_1 ,上边绳拉力 T 和外

力 F_1 。由于 b 球处于平衡状态,因此 T_2 和 F_2 的合力 R_2 方向应竖直向上。因为 T_1 和 T_2 等大反向(作用力和反作用力), F_1 和 F_2 也等大反向(题述),因此 T_1 和 F_1 的合力 R_1 竖直向下,再加上 m_1g 也是竖直向下的,因此 T 必须竖直向上,才能和 R_1 、 m_1g 相平衡。因此只有选项 A 正确。

例 2 图 1-4 所示是一种手控制制动器, a 是一个转动着的轮子, b 是摩擦制动片, c 是杠杆, O 是其固定转动轴。手在 A 点施加一个作用力 F 时, b 将压紧轮子,使轮子制动。若使轮子制动所需的力矩是一定的,则下列说法中正确的是

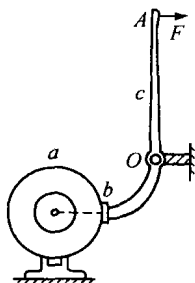


图 1-4

- A. 轮 a 逆时针转动时,所需的力 F 较小
- B. 轮 a 顺时针转动时,所需的力 F 较小
- C. 无论 a 逆时针还是顺时针转动,所需的力 F 相同
- D. 无法比较 F 的大小

解析 当轮 a 逆时针转动时,制动器受到三个力矩的作用:拉力 F 的力矩 M_1 ,轮对制动片弹力的力矩 M_2 和轮对制动片摩擦力的力矩 M_3 。其中 M_1 和 M_2 是顺时针方向的, M_3 是逆时针方向的,即有

$$M_1 + M_2 = M_3 \quad ①$$

当轮 a 顺时针转动时,有

$$M_1' = M_2' + M_3' \quad ②$$

题述轮子制动所需的力矩一定,即 M_3 一定。从 ①、② 式可看出 $M_1 < M_1'$

因为 $F \cdot OA = M_1$

所以 $F < F'$

选项 A 正确。

例 3 一个质量 $m = 20\text{kg}$ 的钢件,架在两根完全相同的平行直圆柱上,如图 1-5 所示,钢件的重心与两柱等距。两柱的轴线在同一水平面内,圆柱的半径 $r = 0.025\text{m}$,钢件与圆柱间的动摩擦因数 $\mu = 0.20$ 。两圆柱各绕自己的轴线做转向相反的转动,角速度 $\omega = 40\text{rad/s}$ 。若沿平行于柱轴的方向施力推着钢件做速度为 $v_0 = 0.050\text{m/s}$ 的匀速运动,推力是多大?设钢件左右受光滑导槽限制(图中未画出),不发生横向运动。

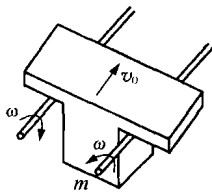


图 1-5

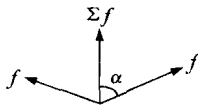


图 1-6

解析 由于圆柱体的自转,圆柱体表面与钢件接触的点相对地有一个 $v = \omega r = 40\text{rad/s} \times 0.025\text{m} = 1\text{m/s}$ 的横向速度,因此钢件相对圆柱体表面接触点的速度大小是 $\sqrt{1^2 + 0.05^2}\text{m/s}$,方

向与圆柱体成 $\alpha = \arctan \frac{1}{20}$ 的角。因为滑动摩擦力 f 方向与相对速度方向相反, 所以 f 与圆柱体的夹角也是 α (见图 1-6)。

每根圆柱体的摩擦力 $f_k = N_\mu = 100\text{N} \times 0.02 = 20\text{N}$

合摩擦力 $\sum f = 2f_k \cos \alpha = 2f_k \cot \alpha = 2 \times 20 \times \frac{1}{20} \text{N} = 2.0\text{N}$

(因为 α 很接近 $\frac{\pi}{2}$, 所以 $\cos \alpha \approx \cot \alpha$)

例 4 雨伞展开后, 边缘到伞柄的半径为 r , 边缘离开地面的高度为 h , 现以角速度 ω 使伞绕伞柄做匀速转动, 雨滴自伞的边缘被甩出后落在地面上成一圆圈(假设伞面为一水平面)。试问:

(1) 雨滴离开伞面后做什么运动?

(2) 求甩出的雨滴在地面上所成圆圈的半径。

解析 (1) 雨伞做匀速转动, 雨滴在伞面边缘具有线速度 $v = \omega r$, 雨滴离开伞面后以垂直于半径方向的初速度 $v = \omega r$ 做平抛运动, 落地时间为 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ 。

(2) 雨滴离开伞面后做平抛运动的俯视图如图 1-7 所示。已知雨伞的半径为 r , 设水滴落地后形成圆圈的半径为 R , 雨滴的水平初速度为 $v = \omega r$, 飞出后做平抛运动, 则

$$h = \frac{1}{2}gt^2, s = vt, s = \sqrt{\frac{2h\omega^2 r^2}{g}}$$

故 $R = \sqrt{s^2 + r^2} = r\sqrt{1 + \frac{2h\omega^2}{g}}$

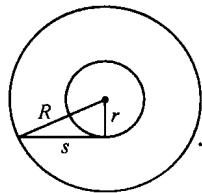


图 1-7

例 5 从高 H 的 A 处先后抛出两个小球 1 和 2。1 球直接越过高度为 h 的挡板 BC 的顶端 C 落到水平地面上的 D 处, 2 球则在 E 处与光滑地面碰撞一次以后再经过 C 点落到 D 点(见图 1-8)。设 2 球与地面碰撞时动能没有损失, 求挡板的高度 h 。

解析 本题要充分应用平抛运动的特点, 不论抛出速度如何, 从同一高度抛出的物体飞行时间都是相同的。又因 2 球在 E 点处与地面碰撞时动能没有损失, 所以反弹最高点应该与 A 点等高。因此 2 球从 A 点到达 D 点的时间应该是 1 球的 3 倍, 即又因为两球的水平位移 OD 相同, 所以抛出速度 $v_1 = 3v_2$ 。

两球飞抵 C 点时的水平位移也相同, 所以它们从 A 点飞到 C 点的时间也应满足 $t_2' = 2t_1'$ 。

设 2 球从 E 点到 C 点的时间是 t , 于是上式变为

$$\sqrt{\frac{2H}{g}} + t = 3\sqrt{\frac{2(H-h)}{g}}, t = 3\sqrt{\frac{2(H-h)}{g}} - \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

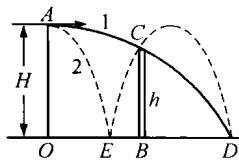


图 1-8

2 球在 E 点时速度的竖直分量为 $v_2' = \sqrt{2gH}$

2 球到达 C 点时速度的竖直分量为 $v_2'' = \sqrt{2g(H-h)}$

因为 $v_2' = v_2'' + gt$, 所以 $\sqrt{2gH} = \sqrt{2g(H-h)} + g\left(3\sqrt{\frac{2(H-h)}{g}} - \sqrt{\frac{2H}{g}}\right)$

可解得 $h = \frac{3}{4}H$

例 6 一个半径为 R 的半圆柱体沿水平方向向右做加速度为 a 的匀加速运动。在半圆柱体上搁置一根竖直杆, 此杆只能沿竖直方向运动(图 1-9)。当半圆柱体的速度为 v 时, 杆与半圆柱体接触点 P 与柱心的连线与竖直方向的夹角为 θ , 求此时竖直杆运动的速度和加速度。

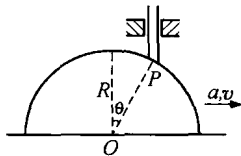


图 1-9

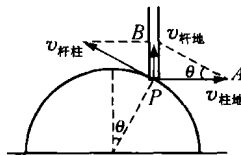


图 1-10

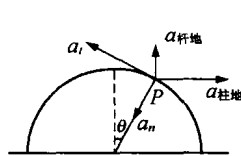


图 1-11

解析 (1) 取半圆柱体作为参照系。在此参照系中, P 点做圆周运动, 即 $v_{杆柱}$ 的方向沿着圆上 P 点的切线方向。根据题意, $v_{杆地}$ 的方向是竖直向上的。因为 $v_{杆地} = v_{杆柱} + v_{柱地}$, 所以可画出矢量三角形 PAB (图 1-10), 由此可知 $v_{杆地} = v_{柱地} \cdot \tan\theta = v \cdot \tan\theta$

(2) 在半圆柱体参照系中, P 点的加速度由切向加速度 a_t 和法向加速度 a_n 构成, 即

$$a_{杆柱} = a_t + a_n$$

其中

$$a_n = \frac{v_{杆柱}^2}{R} = \frac{v^2}{R \cdot \cos^2\theta}$$

由相对运动公式, 可知 $a_{杆地} = a_t + a_n + a_{柱地}$

① 式的矢量图如图 1-11 所示。

将 ① 式中的各矢量向 a_n 方向上投影, 可得

$$a_{杆地} \cdot \cos\theta = a_{柱地} \cdot \sin\theta - a_n$$

$$a_{杆地} = a_{柱地} \cdot \tan\theta - \frac{v^2}{R \cdot \cos^2\theta} \cdot \frac{1}{\cos\theta} = a \cdot \tan\theta - \frac{v^2}{R \cdot \cos^3\theta}$$

例 7 一边长为 a 的匀质立方体, 放在一半径为 R 的球面上(图 1-12), 已知滑动摩擦力足够大, 求 R 应满足什么条件才能使其成为稳定平衡?

解析 假设立方体偏离 θ 角度(从球心看接触点), 我们计算重心垂线的位置和接触点的位置。(只计算水平方向)

接触点的水平位置为 $R\sin\theta$

重心的水平位置为 $R\sin\theta - R\theta\cos\theta + \frac{a}{2}\sin\theta$

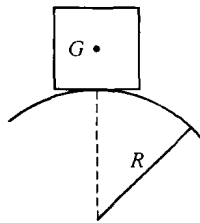


图 1-12

①

⑪