全面剖析命题规律　准确预测命题方向

更高更妙的物理

冲刺全国高中物理竞赛

沈　晨　编著
徐承楠　审定

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

★ 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 7-308-04609-5

9 787308 046091 >

ISBN 7-308-04609-5/G · 1019

更高更妙的物理

——冲刺全国高中物理竞赛

沈　晨　编著
徐承楠　审定

浙江大學出版社

图书在版编目（CIP）数据

更高更妙的物理:冲刺全国高中物理竞赛/沈晨编著.
杭州:浙江大学出版社,2006.1
ISBN 7-308-04609-5

Ⅰ.更... Ⅱ.沈... Ⅲ.物理课－高中－课外读物
Ⅳ.G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 003371 号

出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028)
(网址:http://www.zjupress.com)
责任编辑 石国华
排　　版 浙江大学印刷厂排版部
印　　刷 杭州杭新印务有限公司
开　　本 787mm×960mm 1/16
印　　张 29.75
字　　数 780 千字
版 印 次 2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷
书　　号 ISBN 7-308-04609-5/G·1015
定　　价 35.00 元

编者说明

一、创　意

1. 给喜欢物理学，渴求获得比高中教材所提供的更多的基础物理知识与更妙的解决物理问题方法的中学生一本课外阅读书；给有意在全国中学生物理竞赛（Chinese Physics Olympiad，CPhO）与国际物理奥林匹克竞赛（International Physics Olympiad，IPhO）中有所建树的物理爱好者一个练手识理场。

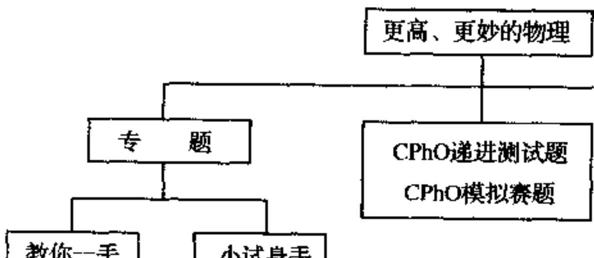
2. 内容以《全国中学生物理竞赛内容提要》为依据，不拘泥于其界定。数学涉及高中现行教材全部内容，但不需要用到微积分，对部分求导、积分与微分方程通过微元方法降解，是低数学的物理。

3. 与一般的竞赛辅导书不同：对高中物理已涉及内容不再作知识点的罗列；采用“点击式”介绍更高层面的物理知识，更巧妙的物理方法；例讲选题注重给学生以解决物理问题的具体操作方法与新信息传达；练习题、测试题全部给出详解或解答指要；选练习题尽少重复全国物理竞赛试题以增大新题容；国际物理奥林匹克题降解选用比例高。

4. 本书也可以用作普通中学集训参加各级 CPhO 学生的教材，故在编排上，知识线与高中现行物理教材平行，设置 17 套递进测试卷，用作同步测试；13 套 CPhO 模拟赛题则可用于强化与提高参加复赛的选手。

5. 本书由沈晨同志撰写，何丰明、杨榕楠、袁张瑾等同志校阅了全稿并提出宝贵意见，全书由徐承楠同志审定。

二、模　块



沈　晨

2005 年 2 月 28 日

目　录

专题 1 准静态问题的力三角形判断法

教你一手

在静力学中，经常遇到在力系作用下处于准静态平衡的物体其所受诸力变化趋势判断问题. 这种判断如果用平衡方程做定量分析往往很繁琐，而采用力三角形图解讨论则清晰、直观、全面.

我们知道，当物体受三力作用而处于平衡时，必有 $\sum F=0$，表示三力关系的矢量图是闭合三角形，即三个力矢量(有向线段) 依次恰首尾相接. 当物体所受三力有所变化而又维系着平衡关系时，这闭合三角形总是存在且形状发生改变. 比较不同形状的力三角形各几何边、角情况，我们对相应的每个力大小、方向的变化及其相互间的制约关系将一目了然. 所以，作出物体准静态平衡时所受三力矢量可能构成的一簇闭合三角形，是力三角形判断法的关键操作. 三力动态平衡的力三角形判断通常有三类情况.

类型 Ⅰ 三力中有一个力确定，即大小、方向不变，另一个力方向确定，这个力的大小及第三个力的大小、方向变化情况待定.

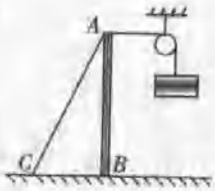


图 1-1

例 1 如图 1-1 所示，竖直杆 AB 在绳 AC 拉力作用下使整个装置处于平衡状态，若 AC 加长，使 C 点左移，AB 仍竖直，且处于平衡状态，那么 AC 绳的拉力 T 和杆 AB 受到绳子的压力 N 与原先相比，下列说法正确的是( ).

(A) T 增大，N 减小　　(B) T 减小，N 增大

(C) T 和 N 均增大　　(D) T 和 N 均减小

分析与解 由于 AC 绳以不同方向拉杆，使 AB 有一系列可能的平衡状态. 我们考察两绳系在直立杆顶端的结点 A，它在 AC 段绳拉力 T、重物通过水平绳的拉力 $F(F=G)$ 和杆 AB 的支持力 N' 作用下平衡. 三力中，水平绳拉力不变，杆支持力方向不变，总是竖直向上，大小如何变化待定；而 AC 段绳的拉力大小、方向均不确定. 用代表这三个力的有向线段作出一簇闭合三角形：

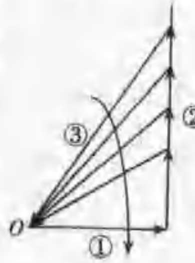


图 1-2

如图 1-2 所示，取点 O 为始端，先作确定力 F 的有向线段 ①，从该线段箭头端点按已知方向力 N' 的方向作射线 ②，它是所有可能的 N' 力的作用线位置，从射线 ② 上任意点指向 O 点且将图形封闭成三角形的有向线段 ③ 便是第三个力矢量，在所得三角形集合图上，根据题意，用曲箭头表示出动态变化的趋势.

从图 1-2 中可知，随着 AC 段绳趋平，其上拉力减小，杆支持力亦减小. 注意到杆对结点支持力与结点对杆压力是作用力与反作用力，故本题答案为(D).

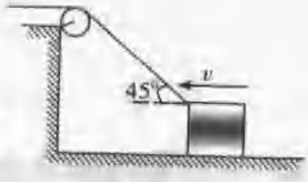


图 1-3

例 2 如图 1-3 所示，用绳通过定滑轮牵引物块，使物块在水平面上从图示位置开始沿地面做匀速直线运动，若物块与地面间的动摩擦因数 $\mu<1$，滑轮的质量及摩擦不计，则在物块运动过程中，以下

判断正确的是(　　).

(A) 绳子拉力将保持不变

(B) 绳子拉力将不断增大

(C) 地面对物块的摩擦力不断减小

(D) 物块对地面的压力不断减小

分析与解　本题中物块是在四个力作用下保持动态平衡.我们可先将地面施予的支持力与摩擦力合成为地面作用力 F,由于 $f=\mu N$,可知 F 力的方向是确定的,与支持力的方向成 $\tan^{-1}\mu$ 角,支承面约束力(支持力与滑动摩擦力或最大静摩擦力的合力)与支持力间的这个角,通常称"摩擦角",如图 1-4 所示.这样,问题转化为三力平衡,其中重力 G 为确定力,地面作用力 F 为方向确定力,属于 Ⅰ 类问题.

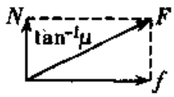


图 1-4

作图:如图 1-5 所示,取点 O,作表示重力的有向线段 ①,从该线段箭头端点作地面作用力的作用线所在射线 ②,作从射线 ② 上任意点指向 O 点且将图形封闭成三角形的一系列有向线段 ③,它们就是绳拉力矢量,用曲箭头标明变化趋势.

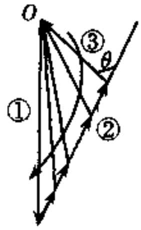


图 1-5

根据题给限制条件,由于 $\mu<1$,力三角形中 ①、② 两线间夹角小于 45°,由于初始状态绳拉力与水平成 45°,力三角形中线段 ③ 与 ① 的夹角从 45° 开始减小,图 1-5 中 θ 角小于 90°,容易判断:绳子拉力不断增大,地面作用力不断减小,由图 1-4 所示关系显见,地面支持力与摩擦力均随之减小.本题答案选(B)(C)(D).

由上可知,Ⅰ 类问题作图方法是:以确定力矢量为力三角形系基准边,在它的箭头端沿已知方向力的方向作射线,从射线上的点作指向确定力矢量箭尾的有向线段,勾画出一簇闭合的矢量三角形,用曲箭头标明动态趋势.

类型 Ⅱ　三力中有一个力确定,即大小、方向不变,另一个力大小确定,这个力的方向及第三个力的大小、方向变化情况待定.

例 3　如图 1-6 所示,小球质量 m,用一细线悬挂.现用一大小恒定的外力 $F(F<mg)$ 慢慢将小球拉起,在小球可能的平衡位置中,细线最大的偏角 θ 是多少?

图 1-6

分析与解　本题中研究对象小球可在一系列不同位置处于静止,静止时,小球所受重力、细线上拉力及大小恒定外力合力总是为零,三力关系由一系列闭合的矢量三角形来描述,这些三角形中表示重力的矢量边是公共边,有一条矢量边长度相同.现在来作出这样的三角形簇:

如图 1-7 所示,取点 O 为起始点,作确定不变的重力矢量 ①,以其箭头端点 O' 为圆心,表示外力 F 大小的线段长为半径作一圆,该圆上各条矢径 ② 均可为已知大小力矢量,该圆周上各点指向 O 点并封闭图形成三角形的有向线段 ③ 便是第三个力,即细线拉力矢量.这样我们便得到了全面反映小球在可能的平衡位置时力三角形集合图.

由图 1-7 可知,表示线拉力矢量与重力矢量的线段 ③ 与 ① 间的夹角最大为 $\theta=\sin^{-1}\dfrac{F}{G}$(线段 ③ 作为圆的切线时),细线拉力总沿着线,故小球可能的平衡位置中,细线与竖直方向的最大偏角为 $\sin^{-1}\dfrac{F}{G}$.

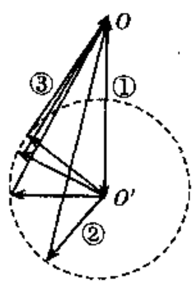


图 1-7

更高、更妙的物理

例4　如图1-8所示，在《验证力的平行四边形定则》实验中，用A、B两只弹簧秤把橡皮条上的结点拉到某一位置O，这时两绳套AO、BO的夹角∠AOB小于90°，现保持弹簧秤A的示数不变而改变其拉力方向使α角减小，那么要使结点仍在位置O，就应调整弹簧秤B的拉力大小及β角，则下列调整方法中可行的是(　　)。

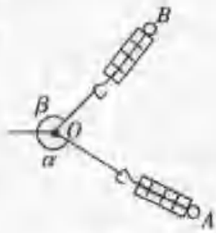


图1-8

(A) 增大B的拉力，增大β角　　(B) 增大B的拉力，β角不变

(C) 增大B的拉力，减小β角　　(D) B的拉力大小不变，增大β角

分析与解　本题中我们考察结点O，使之处于平衡的三个力中，一个力大小、方向均确定(橡皮条上的拉力F)，一个力大小确定(弹簧秤A的拉力F_A)，需判断第三个力(弹簧秤B的拉力F_B)的变化情况。

如图1-9，取O为起始点，先作力F的有向线段①，以其箭头端点O′为圆心，表示大小不变力F_A的线段长为半径作一圆，该圆的每条矢径②均为力F_A矢量，从该圆周上各点指向O点的各有向线段③便是弹簧秤B的拉力F_B矢量，这样我们勾画出表示可能的三力关系的三角形集合图。

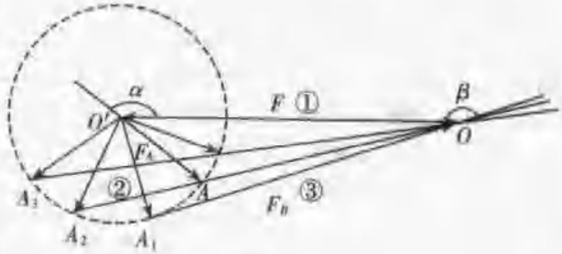


图1-9

由图1-9可知，若初始状态三力关系如△OO′A，在α角减小的前提下，③这条边变长，即F_B必增大，而β角可能减小、不变或增大，三力依次成△OO′A_1、△OO′A_2、△OO′A_3所示关系，故答案选(A)(B)(C)。

由上，Ⅱ类问题作图方法是：以确定力矢量为力三角形系基准边，在它的箭头端以已知大小力为矢径作圆，从圆周上的点作指向确定力矢量箭尾的有向线段，勾画出一簇闭合的矢量三角形。

类型Ⅲ　三力中有一个力大小和方向确定，另二力方向变化有依据，判断二力大小变化情况。

例5　如图1-10所示，绳子a一端固定在杆上C点，另一端通过定滑轮用力拉住，一重物以绳b挂在杆BC上，杆可绕B点转动，杆、绳质量及摩擦不计，重物处于静止，若将绳子a慢慢放下，则下列说法正确的是(　　)。

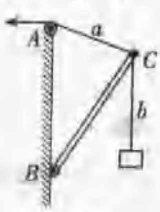


图1-10

(A) 绳a的拉力F_a减小，杆的压力F增大

(B) 绳a的拉力F_a增大，杆的压力F增大

(C) 绳a的拉力F_a不变，杆的压力F减小

(D) 绳a的拉力F_a增大，杆的压力F不变

分析与解　使结点C在各个位置处于平衡的三个力中只有b绳拉力F_b(大小等于重力，方向竖直向下)是确定的，另两个力的大小不定、方向变化，但这两个力的方向有依据：绳a的拉力F_a总沿绳a收缩的方向，杆BC支持力F′方向总是沿杆而指向杆恢复形变的方向，那么表示这两力的有向线段与几何线段相关，任意位置时表示三力关系的矢量三角形与表示位置关系的某几何三角形一一对应。

如图1-11，自结点C先作表示确定力F_b的有向线段①，另两个变化力F′和F_a的有向线段②、③分别平行于杆BC及绳a，且与有向线段①依次首尾相接构成闭合三角形，与该力三角形相似的是几何三角形ABC，C的位置改变时，由于

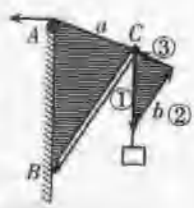


图1-11

力三角形与几何三角形总相似，可由几何边长的变化判定对应力大小的变化：随着绳子慢慢放下，几何边 AC 变长，AB、BC 不变，则 a 拉力 F_1 增大，杆 BC 对结点 C 支持力 F' 不变，即杆所受压力 F 不变，正确答案为(D)。

例6 如图1-12所示，物体 G 用两根绳子悬挂，开始时绳 OA 水平，现将两绳同时顺时针缓慢转过 $90°$，始终保持 α 角大小不变，且物体始终静止，设绳 OA 的拉力为 T_1，绳 OB 的拉力为 T_2，则在此旋转过程中(　　)。

(A) T_1 先减小后增大　　(B) T_1 先增大后减小

(C) T_2 逐渐减小　　(D) T_2 最终变为零

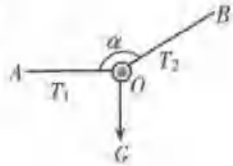


图1-12

分析与解 物体在重力及两绳拉力作用下保持准静态平衡。两绳拉力均变化，但方向总沿绳，随绳之方位而易。本题属Ⅲ类情况，我们来作出绳处于各可能位置时对应的力三角形图：

如图1-13，取点 O，作表示确定的重力 G 矢量的有向线段①，将表示 OA 绳拉力 T_1 和 OB 绳拉力 T_2 矢量的有向线段②、③与①依次首尾相接，构成闭合三角形，两绳在初始位置时，力三角形为图中的 $\triangle OO'C$，这应是一个直角三角形，此后两绳相对位置保持不变，同时顺时针缓慢转过 $90°$，则沿绳的两绳拉力方向也同时地缓慢变化 $90°$，说明表示两绳拉力的有向线段②、③间夹角也就保持不变，在 $90°$ 范围内，与两绳各位置相对应的三力关系如图中 $\triangle OO'C_1$、$\triangle OO'C_2$、…，这簇三角形有一公共边即有向线段①，而 $\angle C$、$\angle C_1$、$\angle C_2$、…相同，根据几何规律，这簇力三角形内接于同一个圆，有向线段①是此圆的一条弦，$\angle C$、$\angle C_1$、$\angle C_2$、…是该弦对应的弧 OO' 上的圆周角，同弧上的圆周角相等，初始时力三角形 $OO'C$ 为直角三角形，则此时的有向线段③长度是该圆的直径 OC。

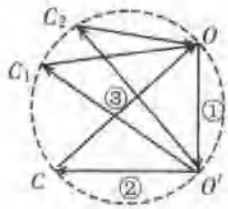


图1-13

由图1-13，比照图形的几何性质，我们可以确定 OA 绳拉力 T_1 和 OB 绳拉力 T_2 的变化情况：有向线段②从 $O'C$ 到 $O'C_1$ 到 $O'C_2$…，弦长增大到成为一条直径再逐渐减小，转过 $90°$ 时为 $O'O$；有向线段③一开始处于直径位置，以后一直减小，到转过 $90°$ 时减为零。故 T_1 是先增大后减小，T_2 则一直减小直至零，正确答案为(B)(C)(D)。

由上，Ⅲ类问题作图方法是：以确定力矢量为力三角形系基准边，将另二力按方向依据与确定力矢量依次首尾相接，通过力三角形与相应的几何三角形的性质比照，勾画出闭合的矢量三角形。

小试身手

1. 如图1-14所示，用细绳通过定滑轮沿竖直光滑的墙壁匀速向上拉，则拉力 F 和墙壁对球的支持力 N 的变化情况是(　　)。

(A) F 增大，N 增大　　(B) F 增大，N 不变

(C) F 减小，N 增大　　(D) F 减小，N 不变

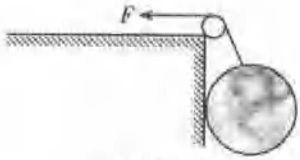


图1-14

2. 如图1-15所示，用等长的细线 OA、OB 悬挂一重物，保持重物位置不变，使线的 B 端沿半径等于 OA 的圆周向 C 移动，则在移动过程中 OB 线的拉力的变化情况是(　　)。

(A) 先减小后增大　　(B) 先增大后减小

(C) 总是减小　　(D) 总是增大

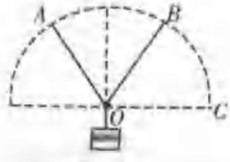


图1-15

3. 如图1-16所示，在《验证力的平行四边形定则》的实验中，使b弹簧秤从图示位置开始顺时针缓慢转动，在这过程中，保持O点的位置和a弹簧秤的拉伸方向不变，则在整个过程中，a、b两弹簧秤的示数变化情况是（　　）.

(A) a增大，b减小　　(B) a减小，b增大

(C) a减小，b先增大后减小　　(D) a减小，b先减小后增大

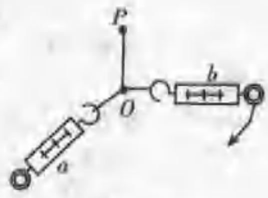


图1-16

4. 如图1-17所示，小球在光滑的墙与装有铰链的木板之间，当使木板与墙的夹角θ增大时（$\theta < 90°$），下列说法正确的是（　　）.

(A) 小球对木板的压力增大

(B) 小球对木板的压力减小

(C) 木板对小球的弹力可能小于小球的重力

(D) 小球对木板的正压力对轴的力矩变大

5. 如图1-18所示，两块互相垂直的板AO、BO和水平面的夹角均为α，板间放一光滑球，当板AO不动，而BO绕两板交线缓慢逆时针转动时，球对BO板的压力将（　　）.

(A) 变大　　(B) 变小　　(C) 先增大后减小　　(D) 先减小后增大

6. 如图1-19所示，在倾角45°的斜面上，放置一质量为m的小物块，小物块与斜面间的动摩擦因数$\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$，欲使小物块能静止在斜面上，应对小物块再施一力，该力最小时大小与方向应是（　　）.

(A) $mg\sin15°$，与水平成15°斜向右上　　(B) $mg\sin30°$，竖直向上

(C) $mg\sin75°$，沿斜面向上　　(D) $mg\tan15°$，水平向右

7. 如图1-20所示，杆BC的B端铰接在竖直墙上，另一端C为一滑轮. 重物G上系一绳经过滑轮固定于墙上A点处，杆恰好处于平衡. 若将绳的A端沿墙向下移到A'，再使之平衡（BC杆、滑轮、绳的质量及摩擦均不计），则（　　）.

(A) 绳的拉力增大，BC杆受到的压力增大　　(B) 绳的拉力不变，BC杆受到的压力减小

(C) 绳的拉力不变，BC杆受到的压力增大　　(D) 绳的拉力不变，BC杆受到的压力不变

图1-17

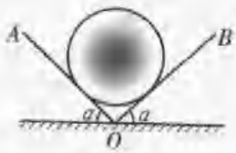


图1-18

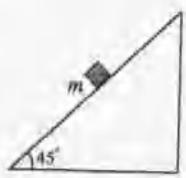


图1-19

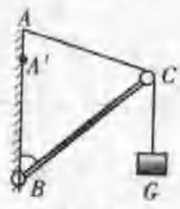


图1-20

8. 如图1-21所示，竖直绝缘墙壁上Q点固定一质点A，在Q的正上方P点用丝线悬挂另一质点B. A、B两质点因带电而互相排斥，由于漏电，使A、B两质点带电量逐渐减少，在电荷漏完之前，悬线对质点B的拉力大小变化情况是（　　）.

(A) 逐渐变大　　(B) 逐渐变小

(C) 不变　　(D) 先变大后变小

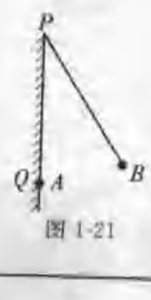


图1-21

更高、更妙的物理

9. 如图 1-22 所示，AB 为轻质杆，AC 为细绳，在 A 点悬挂一重物 G，将绳的固定点从 C 逐渐向上移到 C' 点，则绳的拉力 T_1 和杆受的压力 T_2 发生的变化是(　　).

(A) T_1 逐渐增大，T_2 逐渐减小

(B) T_1 逐渐减小，T_2 逐渐减小

(C) T_1 先逐渐减小，再逐渐增大，T_2 逐渐增大

(D) T_1 先逐渐减小，再逐渐增大，T_2 逐渐减小

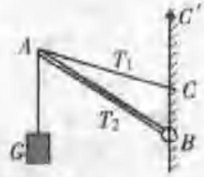


图 1-22

10. 如图 1-23 所示，建筑工人通过安装在楼顶的一个定滑轮，将建筑材料运送到高处. 为了防止建筑材料与墙壁相碰，站在地面上的工人还另外用绳 CD 拉住材料，使它与竖直墙面总保持距离 l. 不计两根绳的重力，在建筑材料上升的过程中，绳 AB 和绳 CD 上的拉力 T_1 和 T_2 的大小变化情况是(　　).

(A) T_1 增大，T_2 增大　　(B) T_1 增大，T_2 不变

(C) T_1 增大，T_2 减小　　(D) T_1 减小，T_2 减小

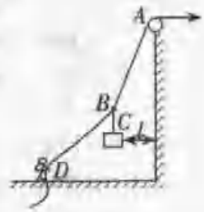


图 1-23

11. 如图 1-24 所示，在悬点 O 处用细线拉着小球，使它静止在半径一定的半圆柱面上，现使半圆柱面从图示位置起沿水平面缓慢向左稍移动一些距离，则(　　).

(A) 小球对柱面的压力增大　　(B) 细线对小球的拉力不变

(C) 柱面对小球的支持力不变　　(D) 小球对细线的拉力减小

12. 如图 1-25，一球被绳子悬挂起来，绳 AO 水平，当小球被一水平力 F 向右缓慢拉起时，绳 OC 上张力将________；绳 OA 上张力将________；而绳 OB 上张力则________.（填"变大"、"变小"或"不变"）

13. 如图 1-26 所示，小球被细线吊着放在光滑的斜面上，小球质量为 m，斜面倾角为 θ，在向左缓慢移动斜面的过程中，绳上张力最小值是________；

14. 如图 1-27 所示，在绳下端挂一物体，用力 F 拉物体使悬线偏离竖直方向 α 角，且保持平衡，若保持 α 角不变，当拉力 F 与水平方向夹角 $\beta=$ __________ 时，F 有最小值.

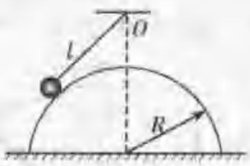


图1-24

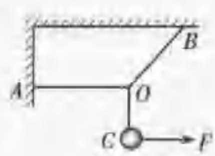


图1-25

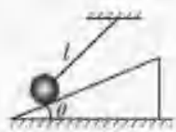


图1-26

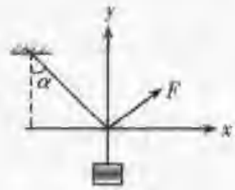


图1-27

15. 如图 1-28 所示，在水平放置、半径为 R 的光滑圆弧槽内，有两个半径均为 $R/3$、重分别为 G_1、G_2 的小球 A 和 B，平衡时槽面圆心 O 与 A 球球心连线与竖直方向的夹角 α 多大？

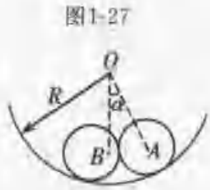


图 1-28

16. 如图 1-29 所示，质量为 m 的物体放在水平地面上，物体与地面间的动摩擦因数为$\frac{\sqrt{3}}{3}$，想用力 F 推动物体沿水平地面滑动，推力方向与水平面的夹角在什么范围内是可能的？

图 1-29

专题 2　点击静力学问题解答技巧

教你一手

物理学好学高，方法得巧得妙，解决任何问题都需要掌握方法，而方法得当，更能达到事半功倍的高效. 处理静力学问题也是这样. 专题 1 中我们曾介绍过的力三角形法，引入摩擦角与约束力概念，对处理平衡问题带来的便利已可见一斑. 这里，我们将通过具体实例点击处理静力学问题之“三巧”：巧用矢量图解；巧取研究对象；巧解汇交力系.

一、巧用矢量图解

问题 1　将合力 F 分解为 F_1 和 F_2 两个分力，若已知 F 的大小及 F_1 和 F_2 的夹角 θ，且 θ 为钝角，则当 F_1、F_2 大小相等时，它们的大小为________；当 F_1 有最大值时，F_2 大小为________.

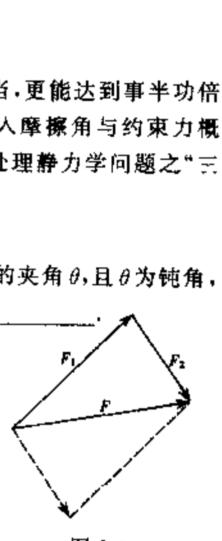


图 2-1

分析与解　将一个力分解成两个力，在没有附加条件时，可以有无数种解. 在有题给限制条件时，也有解集. 根据力合成的平行四边形定则，被分解的力与两分力之间关系是“对角线”与夹对角线的两“邻边”的关系，基于平行四边形对边平行且相等的性质，合力与它的两分力之间的关系还可以用更简单的矢量图形——三角形来表示，如图 2-1. 满足合力 F 的两分力 F_1 和 F_2 夹角 θ 且 θ 为钝角的矢量三角形是一解集，它们有公共外接圆，表示合力 F 的有向线段是该圆的一条弦，该弦所对的圆周角均为 $\pi-\theta$，如图 2-2. 由图可知当 F_1、F_2 大小相等时，对应的力矢量关系图为等腰三角形，表示 F_1 和 F_2 的线段为腰，底角为 $\frac{\theta}{2}$，故 F_1 和 F_2 的大小相等为 $F_1=F_2=\dfrac{F}{2\cos\frac{\theta}{2}}$.

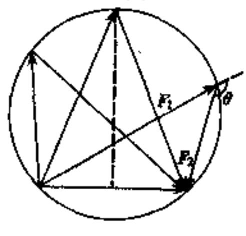


图 2-2

由图还容易得知，当表示 $F_1(F_2)$ 的线段处于直径位置时，即表示相应的力有最大值，且三力关系矢量三角形呈直角三角形，这时 $F_2(F_1)$ 大小为 $F\cdot\cot(\pi-\theta)=\quad F\cot\theta$.

运用矢量图，我们了解了符合题目要求的力分解的全貌，并从中分检出两特殊解，解答过程非常简单清晰.

问题 2　如图 2-3 所示，放在水平面上的质量为 m 的物体，在水平恒力 F_1 作用下，刚好做匀速直线运动. 若再给物体加一个恒力 F_2，且使 $F_1=F_2$（指大小），要使物体仍按原方向做匀速直线运动，力 F_2 应沿什么方向？此时地面对物体的作用力大小如何？

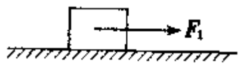


图 2-3

分析与解　首先分析未加力 F_2 时物体受力情况：物体在重力 mg、水平恒力 F_1 以及地面作用力（支持力与滑动摩擦力的合力）F 作用下处于平衡状态，故三力矢量依次首尾相接构成闭合三角形，如图 2-4(1) 所示. 在这个闭合三角形中，表示重力和水平恒力的有向线段大小方向都是确定的，表示地面作用力的有向线段方向总是与竖直（地面支持力作用线）成 $\tan^{-1}\mu$，但这个力的大小是可改变

的. 以此为基础，若要再加一个力而使物体仍处于平衡，这个力的作用线应沿 F 力，方向可与 F 力一致，如图 2-4(2)；也可与力 F 相反，如图 2-4(3)，这样物体所受各力矢量仍能构成闭合三角形. 返还实体，即 F_2 力可以是与竖直成 $\tan^{-1}\mu$ 斜向后上拉，也可以是与竖直成 $\tan^{-1}\mu$ 斜向前下推，相应地，地面对物体的作用力将减少或增加 F_2.

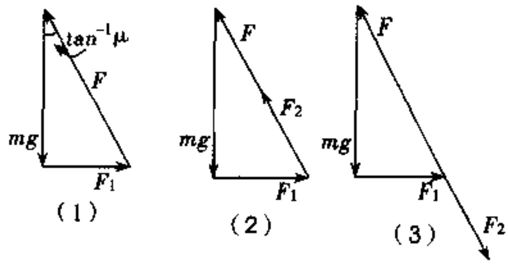


图 2-4

由于以矢量图描述出物体平衡时的受力关系，我们理顺了如何加力的思路.

二、巧取研究对象

研究对象选取得当，是成功解决问题的开端. 选取研究对象一般遵循的原则是：尽量取"整体"，"化内为外"时或方程数不足时取"部分"，整分结合，方便解题.

问题 3　一个底面粗糙质量为 M 的劈放在粗糙的水平面上，劈的斜面光滑且与水平面成 30° 夹角，用一端固定的轻绳系一质量为 m 的小球，轻绳与斜面的夹角为 30°，如图 2-5 所示. 当劈静止时，绳中拉力的大小为________；若地面对劈的最大静摩擦力等于地面对劈的支持力的 k 倍，为使整个系统静止，k 值不能小于________.

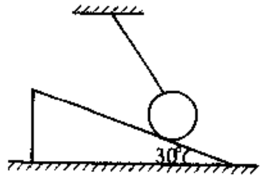


图 2-5

分析与解　这个问题中，要我们确定轻绳的拉力和地面的作用力，所以我们首先将小球及劈与轻绳、地面隔离，将小球及劈视为一体取作研究对象. 对这个整体分析受力如图 2-6，图中 F 是地面对研究对象的作用力，在 k 取最小值而整个系统静止的情况下，该力作用线与竖直成 $\theta=\tan^{-1}k$ 的夹角；图中 F_T 是轻绳对研究对象的拉力. 由于系统平衡，它们与重力 $(M+m)g$ 的合力为零，即三力矢量构成图中闭合三角形关系，根据正弦定理，力矢量满足如下方程：

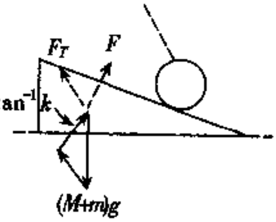


图 2-6

$$\frac{(M+m)g}{\sin(30^\circ+\theta)}=\frac{F_T}{\sin\theta}.$$

在上列方程中包含有两个未知量，所以我们需另取研究对象，以得到新的物理关系方程. 我们可取小球为隔离体，分析它的受力如图 2-7，由于小球平衡而得知其所受重力 mg、斜面支持力 F_N 与轻绳拉力 F_T 构成图中矢量三角形关系，注意到题给条件，该三角形是底角 30° 的等腰三角形，由此又有方程：

$$F_T=\frac{mg}{2\cos30^\circ}.$$

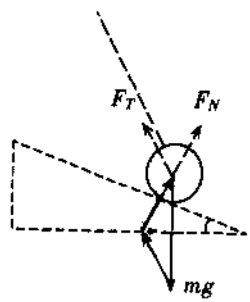


图 2-7

解这个方程可得轻绳上拉力 $F_T=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$；将此结果代入上一方程，可得 $\frac{M+m}{\sin(\theta+30^\circ)}=\frac{m}{\sqrt{3}\sin\theta}$，$\frac{\sqrt{3}\sin\theta+\cos\theta}{\sqrt{3}\sin\theta}=2\,\frac{M+m}{m}$，$\cot\theta=\frac{2M+m}{m}\sqrt{3}$，由于 $\theta=\tan^{-1}k$，于是可得 $k=\frac{\sqrt{3}m}{6M+3m}$.

问题 4　如图 2-8 所示，一长 L、质量均匀为 M 的链条套在一表面光滑，顶角为 α 的圆锥上，当链条在圆锥面上静止时，链条中的张力是多少？

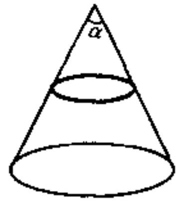


图 2-8

分析与解　这个问题要求链条中的张力，由于质量均匀且链条水平静止，链条的受力具有旋转对称性．如果我们以整个链条为研究对象，则链条各部分间的张力属于内力，无法求解．为了将内力转化为外力，我们可以在链条中隔离出任一微元作为研究对象，这时，链条其他部分对微元的拉力就成为外力了，于是可根据平衡规律去求解．

如图 2-9，将链条均匀细分，取出链条微元 $\overset{\frown}{ab}$ 研究，它所对的圆心角 $\Delta\theta=\frac{2\pi}{n}\to 0$，微元受到的力有：重力 $\Delta mg=\frac{Mg}{n}$；两边链条对它的张力 F_T，它们的大小相等，方向各沿 a、b 点切线，合力为 F；圆锥面支持力 F_N．因为 $\Delta\theta$ 很小，$\sin\frac{\Delta\theta}{2}\approx\frac{\Delta\theta}{2}$，两边链条对 ab 的张力的合力 $F=2F_T\cdot\frac{\Delta\theta}{2}$．又因为链条微元平衡，故有 $F=\Delta mg\cot\frac{\alpha}{2}$，于是有 $2F_T\cdot\frac{\Delta\theta}{2}=\frac{M}{n}g\cot\frac{\alpha}{2}$，$F_T=\frac{Mg}{2\pi}\cdot\cot\frac{\alpha}{2}$．

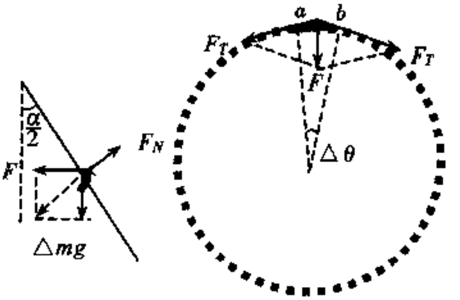


图 2-9

三、巧解汇交力系平衡

问题 5　如图 2-10 所示，光滑半球壳直径为 a，与一光滑竖直墙面相切，一根均匀直棒 AB 与水平成 60° 角靠墙静止，求棒长．

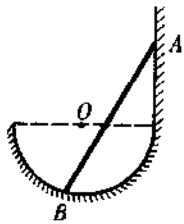


图 2-10

分析与解　本题中均匀棒所受三力——重力 G、墙面支持力 F_A、球壳支持力 F_B 互成角度，作用在杆上不同点，但由于三力共同作用效果使杆处于静止，故此三力合力必为零，等效于三点共力，故三力作用线汇交于一点，如图 2-11 中 D 即三力汇交点，三力汇交的关系制约了杆的长度．现在我们利用图 2-11 所示关系来求出杆 AB 长度 L．

设 F_B 作用线与水平夹角为 θ，在 $\triangle BCD$ 中运用正弦定理得 $\frac{\frac{L}{2}}{\sin(90^\circ-\theta)}=\frac{\frac{L}{2}\cdot\sin60^\circ}{\sin(\theta-60^\circ)}$，由此可解得 $\theta=\tan^{-1}2\sqrt{3}$．

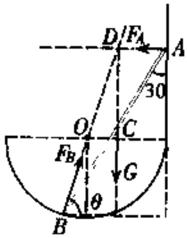


图 2-11

$$\text{又 }\cos\theta=\frac{L\cos60^\circ-\frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}}=\frac{L}{\alpha}-1\text{，于是求得 }L=\left(1+\frac{1}{\sqrt{13}}\right)\alpha.$$

问题 6　如图 2-12 所示，在墙角处有一根质量为 m 的均匀绳，一端悬于天花板上的 A 点，另一端悬于竖直墙壁上的 B 点，平衡后最低点为 C，测得绳长 $AC=2CB$，且绳 B 点附近的切线与竖直成 α 角，则绳在最低点 C 处的张力和在 A 处的张力各多大？

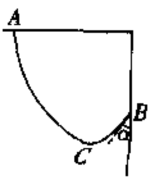


图 2-12

分析与解　我们要综合运用三项技巧求解本题．

首先，要注意，由于绳各部分受到重力而悬垂，因而绳上各处张力并不相同. 为了求出绳之 C 处张力，应"化内为外"从 C 处将绳隔离成 AC、BC 两段，若选取 BC 段为研究对象，则除受重力外，BC 段的 C 端受到 AC 段绳的拉力 F_C，方向水平向左；B 端受到拉力 F_B，方向与竖直成 α 角. 由于 BC 绳静止，三力汇交，合力为零，构成如图 2-13(1) 所示矢量三角形关系，由图可得 $F_C = \frac{mg}{3}\tan\alpha$.

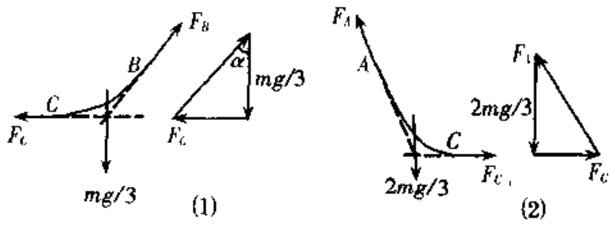


图 2-13

为了求 A 端绳的张力，我们应另取 AC 段绳为研究对象，分析受力如图 2-13(2) 所示，其中重力大小为 $\frac{2mg}{3}$，C 端拉力已求知，三力汇交构成闭合直角三角形，由矢量图解得 $F_A = \sqrt{F_C^2 + (\frac{2mg}{3})^2} = \frac{mg}{3}\sqrt{\tan^2\alpha + 4}$.

小试身手

1. 如图 2-14 所示，有一轻杆 AO 竖直放在粗糙的水平地面上，A 端用细绳系住，细绳另一端固定于地面上 B 点，已知 $\theta = 30°$，若在 AO 杆中点施一大小为 F 的水平力，使杆处于静止状态，这时地面 O 端的作用力大小为________，方向________.

2. 压延机由两轮构成，两轮直径各为 $d = 50$cm，轮间的间隙为 $a = 0.5$cm，两轮按反方向转动，如图 2-15 上箭头所示. 已知烧红的铁板与铸铁轮之间的摩擦因数 $\mu = 0.1$. 问能压延的铁板最大厚度 b 是多少？

3. 一均匀光滑的棒，长 l，重 G，静止在半径为 R 的半球形光滑碗内，如图 2-16 所示，$R < l/2 < 2R$. 假如 θ 为平衡时的角度，P 为碗边作用于棒上的力. 求证：(1)$P = (l/4R)G$；(2)$\cos2\theta/\cos\theta = l/4R$.

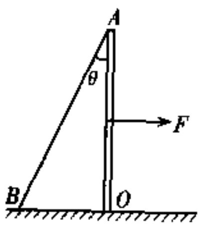


图2-14

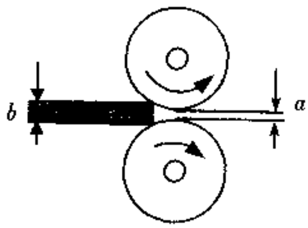


图2-15

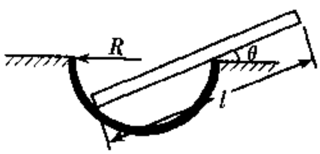


图2-16

4. 一吊桥由六对钢杆悬吊着，六对钢杆在桥面上分列两排，其上端挂在两根钢绳上，如图 2-17 所示为其一侧截面图. 已知图中相邻两钢杆间距离均为 9m，靠桥面中心的钢杆长度为 2m(即 $AA' = DD' = 2$m)，$BB' = EE'$，$CC' = FF'$，又已知两端钢绳与水平成 45° 角，若不计钢绳、钢杆自重，为使每根钢杆承受负荷相同，试求每根钢杆长度应各为多少米？

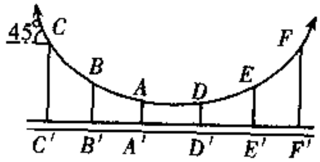


图 2-17