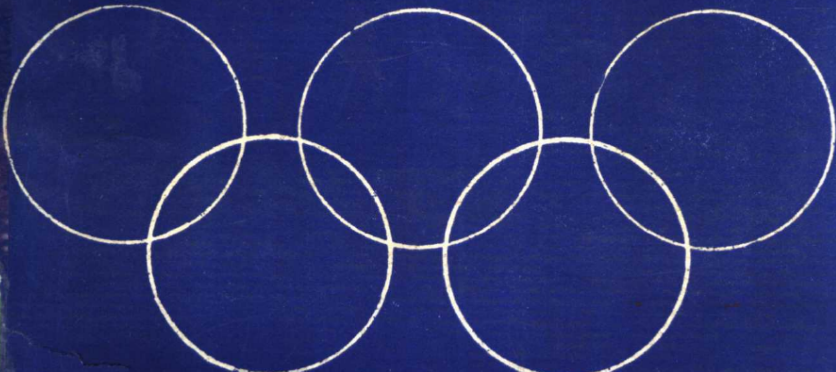
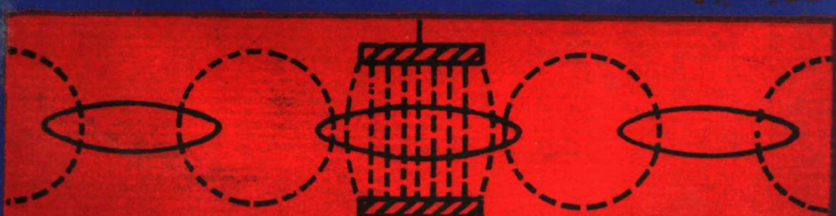
奥林匹克
物理竞赛
讲座





四川教育出版社

●奥林匹克●
物理竞赛讲座

四川教育出版社

1989年·成都

责任编辑：钟　玉
封面设计：任兆祥
版面设计：刘　江

奥林匹克物理竞赛讲座

四川教育出版社出版发行　（成都盐道街三号）
四川省新华书店经销　重庆师范学院印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32　印张 8.5　字数150千
1989年4月第一版　1989年4月第一次印刷
印数：1～5550 册

ISBN7-5408—0984—1/G·956　定价：2.00元

序

从1984年以来，在国家教委的支持下，中国物理学会在全国举办了每年一次的中学生物理竞赛。举办物理竞赛的目的主要是：促进学生提高学习物理的兴趣和主动性，改进学习方法，提高学习能力，活跃学习空气；促进学校开展多样化的物理课外活动和探索中学物理教学改革的途径；发现具有突出才能的青少年，以便学校更好地对他们进行培养。

近几年，我省先后有近万名中学生参加了第1～5届全国物理竞赛。由于参赛学生所在学校长期的辛勤培育和许多中学、大学物理老师的精心辅导，加上学生本人自觉刻苦学习，因而在几次竞赛中均取得了较好成绩，有1000多名学生获得四川省物理学会的表彰，其中有的同学获得全国决赛第一名，有两位同学获得国际奥林匹克物理竞赛铜牌奖。这对于激发我省广大中学生学习基础科学的热情，树立勇攀高峰、为国争光的志向，提高物理学习水平，都起了有力的推动作用。

为了更好地满足广大青少年学习基础科学的要求，进一步提高物理竞赛工作的质量，使之发挥更大的效益，我省有一些市、地先后开办了奥林匹克物理竞赛学校。这些学校利用课余时间，有计划地对一批特别喜爱物理的学生进行专门辅导。奥林匹克物理竞赛学校建立的时间虽然不久，但在开展物理课外活动、发现和培养在物理学习上有突出才能的青少年等方面已经做了许多工作，并已取得一些有益的经验。

最近重庆市奥林匹克学校的老师，在总结自已教学经验的基础上，编写了这本《奥林匹克物理竞赛讲座》。这本书的主要特点在于：它不是单纯针对竞赛的需要，而是着眼于使学生奠定扎实的物理基础，发展智能，扩大视野，活跃思想，善于灵活运用知识，具有较强的应变能力；并力图引导学生培养严谨的科学态度，提高自身的科学素质。可以说，本书的出版，不仅为奥林匹克学校提供了一本教材，也对高中物理教学有重要的参考价值。

我们殷切希望：各地奥林匹克学校的物理老师，以及所有从事中学物理教学工作的同行们，都能在自已的教学工作实践中努力探索与认真总结指导青少年学好物理并取得优异成绩的新鲜经验，为深化中学物理教学改革，提高教学质量，为国家发现和培育更多、更优秀的科学幼苗做出更大贡献。

四川省中学生物理竞赛委员会

贺德昌

1988年11月

目　录

第一讲 静力学

一、知识结构

- 静力学
  - 力
    - 力的概念
      - 作用力和反作用力
      - 矢量性及力的三要素
      - 单位
      - 定义
    - 力的种类
      - 场力 — 重力，电场力，磁场力
      - 弹力
        - 1.产生弹力的原因及存在的必充条件
        - 2.弹力的大小及方向，胡克定律
        - 3.弹簧的串并联
      - 摩擦力 — 滑动摩擦力，静摩擦力；滚动摩擦力矩
      - 浮力
        - 液体的压强
        - 阿基米德定律
    - 力的合成和分解
      - 力的合成
        - 共点力合成
        - 平行力合成
          - 公式计算法
          - 平行四边形法则
          - 三角形法则
      - 力的分解
        - 正交分解
  - 物体的平衡
    - 平面力系的平衡
      - 质点的平衡
        - 任意力的平衡 $\Sigma F=0$
        - 三力平衡 $\Sigma F_{ix}=0$，$\Sigma F_{iy}=0$
        - 二力平衡 $F_1=-F_2$
      - 物体的平衡（平面力系的平衡） $\Sigma F_{ix}=0, \Sigma F_{iy}=0, \Sigma M=0.$
    - 平衡的种类及稳度
      - 稳度
      - 平衡的种类
        - 随遇平衡
        - 不稳平衡
        - 稳定平衡
    - 静不定问题

二、补充内容

1.胡克定律和弹簧的连结

（1）胡克定律　在弹性限度内，物体的弹力（或胁强）和相对形变成正比。数学表达式：

对容变　　$P=K\frac{\Delta V}{V_0}$

其中 $P=\frac{f}{s}$ 称容变弹力强度（或胁强、平衡时 $f=F_{外}$）K 称容变弹性模量，$\frac{\Delta V}{V_0}$ 即为相对容变。

对长度　　$P=Y\frac{\Delta l}{l_0}$

其中 P 称长变弹力强度，Y 称长度弹性模量或扬氏模量，$\frac{\Delta l}{l_0}$ 即为相对长变。对弹簧，令 $k=\frac{YS}{l_0}$，即有胡克定律的另一表达式 $f=kx$。k 就是弹簧的倔强系数，显然 k 与 Y，S 的乘积成正比，与弹簧原长 l_0 成反比。

（2）弹簧的连接

①弹簧的串联　几个弹簧一个接一个地依次连接在一起，如图1-1，称弹簧的串联。串联弹簧的等效倔强系数

$$\frac{1}{k_{串}}=\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}+\cdots+\frac{1}{k_n}$$

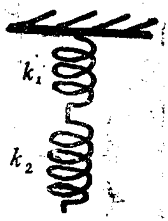


图1-1

若是两个弹簧串联，其倔强系数 $k=\frac{k_1k_2}{k_1+k_2}$；

若把倔强系数为k的弹簧截成长度相同的n段，则每段的倔强系数为nk。

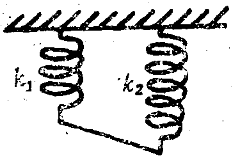


图1-2

②弹簧的并联　将弹簧的一端连接在一起，另一端又接在一起（可以不在同一水平线上），如图1-2，称弹簧的并联，在形变相同的情况，其等效倔强的系数

$$k_{并}=k_1+k_2+\cdots+k_n$$

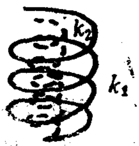


图1-3

倔强系数为k_1的横截面较大的弹簧内套接横截面较小倔强系数为k_2的弹簧，如图1-3，称套联，与并联一样，

$$k=k_1+k_2$$

如图1-4，弹簧这样连接，其等效倔强系数仍为　$k=k_1+k_2$

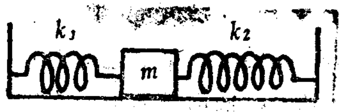


图1-4

2.关于摩擦力的分析

（1）摩擦力存在的判别

有无摩擦决定于相互接触的物体有无相对运动和相对运动趋势以及受力情况、运动状态等。而相对运动趋势的方向就是假设接触面光滑、物体可能发生相对运动的方向。

如图1-5，一物体静止在斜面上。假设斜面光滑，物体将沿斜面向下滑（或有向下的加速度），故有沿斜面向上的静摩擦力。若对物体施一水平向右的力F，物体仍静止，物体相对运动趋势的方向将沿斜面右下方，即F与下滑力的合力的方

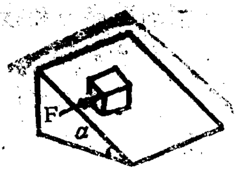


图1-5

向，故静摩擦力存在且与合力的方向相反。

（2）摩擦力方向的判别

摩擦力的方向总是与相对运动或相对运动趋势的方向相反。这里“相对”是对施摩擦力的物体为参照物而言。

如将物体以对地的速度 u 水平送上以 v_0 匀速前进的传送带，要判断滑动摩擦力的方向，必先知道物体相对传送带的速度 v'，故滑动摩擦力 f 的方向如图1-6。

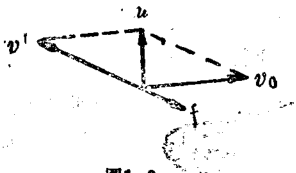


图1-6

又如自行车加速前进时，后轮由于受链条的转动力矩的作用，使后轮与地面相接触的点相对地面有向后运动的趋势，故地面对后轮的静摩擦力的方向是向前的。当后轮转动加速而使自行车加速前进时，车身推动前轮的力作用在前轮的轴上，使前轮与地面的接触点相对于地面有向前运动的趋势，所以静摩擦力是向后的。若轮只滚不滑，轮与地面相接触的点的速度为零，即是瞬时转动中心。

再如圆盘上一物体随盘一起以角速度 ω 匀速转动，以圆盘为参照物，并假设圆盘光滑，物体相对圆盘中心 o 将沿半径向外运动，故有静摩擦力指向圆心。

（3）摩擦力大小的计算

滑动摩擦力和接触面间的垂直压力成正比，

$$f=\mu N$$

N 一定时，f 与接触面的大小无关。

若施摩擦力的物体是静止或匀速时，静摩擦力可由所受驱动外力或平衡方程来确定。当 $F_{外}<f_m$，静摩擦力随驱动外力而变且 $f_{静}=F$，但存在一最大值，即最大静摩擦力 f_m。

当外力大于此限度时，相对静止被破坏，将发生相对滑动，最大静摩擦力

$$f_m = \mu_s N \text{（可取} \mu_s \doteq \mu \text{）}$$

静摩擦力的取值范围：$0 \leqslant f \leqslant f_m$。

如施摩擦力的物体有加速度，一般根据受力情况、动力学方程或力矩方程求解静摩擦力，这时$F = f_m$不再成立。对于从静止到滑动的临界情况，静摩擦力用最大静摩擦力。

3.平行力的合成

作用线互相平行的力称平行力，方向相反的平行力称逆平行力。

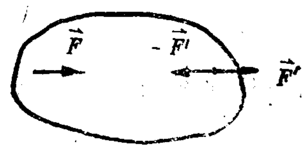


图1-7

（1）力的可传性　从二力平衡和平衡力不影响原力的作用可知：作用在物体上任一点的力，可以沿此力的作用线任意搬移（不能平行移动或转一角度），而不会改变它对物体的作用（如图1-7）。这说明力是滑动矢量。

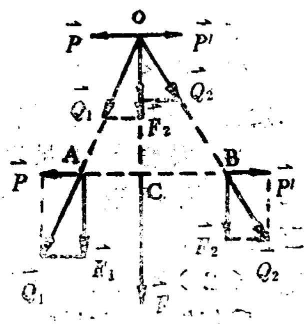


图1-8

（2）平行力的合成　两同向平行力$\vec{F_1}$、$\vec{F_2}$作用于物体上，如图1-8，在作用点连线AB加上一对平衡力$\vec{P}$、$\vec{P'}$，求$\vec{P}$、$\vec{F_1}$及$\vec{P'}$、$\vec{F_2}$的合力$\vec{Q_1}$、$\vec{Q_2}$。延长$\vec{Q_1}$、$\vec{Q_2}$的作用线相交于o点，分解$\vec{Q_1}$、$\vec{Q_2}$，得合力的大小　　$F = F_1 + F_2$

合力的作用点　　$\dfrac{F_1}{F_2} = \dfrac{BC}{AC}$

对两个反向平行力的合成可将其一视为负的同向平行力合成。

三个或三个以上的平行力合成，有关系式：$x=\frac{\sum F_i x_i}{F}$，x为合力臂，x_i为F_i的力臂。

（3）重心　只要物体对地球足够小，那么组成物体的各质点所受的重力可视为同向平行力，合力就是该物体的重力，作用点就是重心。

设重心坐标为（x_c，y_c），则

$$x_c=\frac{G_1x_1+G_2x_2+\cdots+G_nx_n}{G}=\frac{\sum G_i x_i}{G},\quad y_c=\frac{\sum G_i y_i}{G}$$

同理质心坐标　$x_c=\frac{\sum m_i x_i}{m}$，　$y_c=\frac{\sum m_i y_i}{m}$

4.平面力系的平衡

如作用于物体上的力都在同一平面内，这样的力系称平面力系。

（1）一般物体的平衡

①平衡条件　$\sum F_{ix}=0$，$\sum F_{iy}=0$，$\sum M=0$（对任一指定转轴的力矩的代数和为零）

②重要推论　如果作用在物体上只有三个力而平衡，这三个力不平行其作用线一定交于一点。如三力大小相等，必互成120°。

（2）平衡的稳定性　稳度

我们知道，如果物体所受的力满足平衡条件，物体就将处于平衡状态。但是在实际上，物体所受的力即使满足平衡

条件，物体也还不一定能长久地保持平衡状态。因为任何物体，都难免不受到偶然的外来的微小扰动而使它偏离平衡位置。平衡破坏后，有的能自行回到平衡位置，有的又不能，这就是平衡的稳定性问题。我们常需研究物体满足什么条件、在什么区域平衡才是稳定的或不稳定的。这是静力学中很重要的一类问题，平衡分不稳定、稳定、随遇平衡三种。

①不稳平衡　当物体受到微小扰动后，平衡就会遭到破坏，物体不能再自行恢复到原来的平衡位置，称不稳平衡。如图1-9。

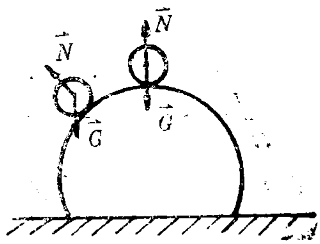


图1-9

不稳平衡的判别：

i. 物体离开平衡位置后所受合力(或合力矩)使物体继续离开平衡位置。

ii. 离开平衡位置后重心位置降低。

iii. 物体所受的力若是保守力，在平衡位置势能取极大值（不一定是最大值）。

②稳定平衡　当物体受到微小扰动离开平衡位置后，又能自行回到原平衡位置称稳定平衡。如图1-10。

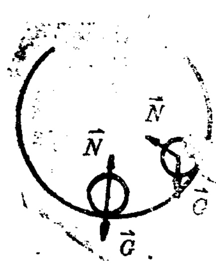


图1-10

稳定平衡的判别：

i. 离开平衡位置后物体所受合力(或合力矩)能使物体返回原平衡位置。

ii. 离开平衡位置后重心升高。

iii. 在平衡位置，势能取极小值。

③随遇平衡　物体受到微小扰动后，重心高度不变，这

种平衡称随遇平衡。

随遇平衡的判别：

i．离开平衡位置后所受合力（或合力矩）为零。

ii．离开平衡位置后重心高度不变。

iii．物体的势能为一常数。

表示平衡的稳定程度的大小称稳度。

5.静不定问题的分析和处理

平面力系的平衡最多只有三个独立的方程，如待求物理量多于三个，使问题有无穷多组解，这类静力学问题称静不定问题。

如图1-11，用绳连接一物体A在斜面上静止，由于绳的张紧程度未知，静摩擦力的大小、方向均不能确定，这是静不定问题。

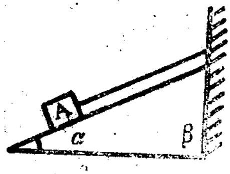


图1-11

又如图1-12甲、乙、丙、丁所示物体系，均是静不定问题。对图1-11，图1-12甲、乙所示的静不定问题，可通过约定的假设减少未知数个数，而成为可解情况。对图1-12丙，单用约定假设和平衡方程仍无法解决，它需由弹性力学再给出一个方程。对图1-12丁的问题一般无法变成可解情形。

通常约定假设是：

（1）静摩擦力判别假设　如图1-11、图1-12甲，假设接触面光滑，物体由于受到其他物体（如绳）的约束，不会发生相对运动，即可假设无相对运动趋势，因而静摩擦力为零，可求出一组特殊解。如可能发生相对运动，则接触面间按需要提供静摩擦力。

（2）约束假设　在图1-12中，如墙不光滑，就有4个

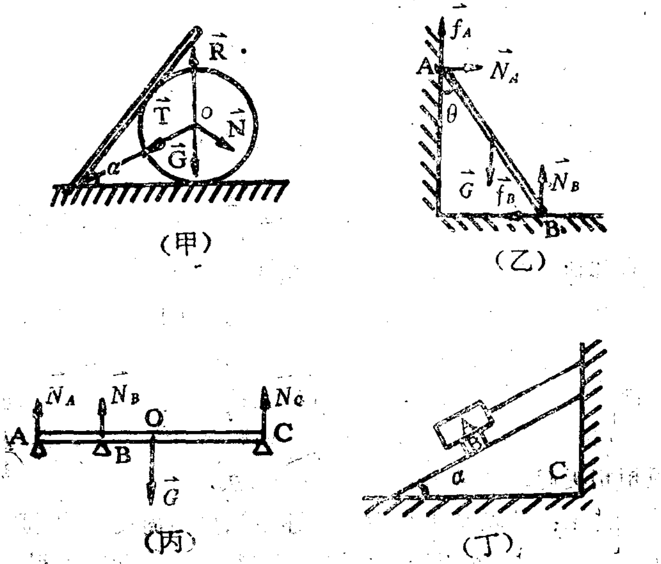


图1-12

未知数N_A、N_B、f_A、f_B，独立方程只有三个，这是静不定问题。但如对墙约束假设光滑，减少了一个未知数，此问题就可解了。

三、例题

〔例1〕用一轻弹簧把两块质量各为m_1、m_2的木板连起来，放在水平桌面上，如图1-13所示。问必须在上板上加多大的压力F，才能使撤去此力后，上板跳起来时恰能把下板稍稍提起？

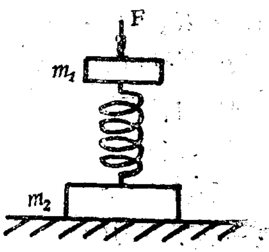


图1-13

分析：此题虽可根据胡克定律，

机械能守恒定律建立平衡方程求解，但比较复杂。如果利用弹簧具有对称性的特点来解，就异常简捷。弹簧的对称性：1.弹簧振子的振动对平衡位置两边是对称的。2.当用力F压缩（或拉伸）弹簧，它将缩短（或伸长）$x=\frac{F}{k}$。撤去外力F后，弹簧将伸长（或缩短）$x=\frac{F}{k}$。就是弹簧的自由端连接有其他物体，弹簧仍具有对称性。

解：如用力F向上提m_1，要下板m_2刚好离开桌面，可知$F=(m_1+m_2)g$。如用$F=(m_1+m_2)g$向下压m_1，对系统的平衡位置，形变是对称的。所以当撤出F后，弹簧将向上伸长与用$F=(m_1+m_2)g$提上板m_1使弹簧伸长一样，故可把下板稍稍提起，即解出$F=(m_1+m_2)g$。

讨论：若增加木板数，上述解法更显简便。如质量为m_1、m_2、m_3的木板用两轻弹簧连接，由对称性可得，若用$F=(m_1+m_2+m_3)g$压上板m_1，撤去F后，上板跳起恰能使下板离开桌面。当用$F=(m_1+m_2)g$提上板，使m_2恰离开桌面，这时松手，系统将振动，它对桌面的压力在何范围？利用弹簧对称性知：刚松手时，它对桌面的压力$N_1=0$，在最低点等于用$F=(m_1+m_2)g$的力向下压上板时对桌面的压力，故$N_2=2(m_1+m_2)g$。所以它对桌面的压力范围是：$0\leqslant N\leqslant 2(m_1+m_2)g$

〔例2〕一个质量$m=20$千克的钢件，架在两根完全相同的、

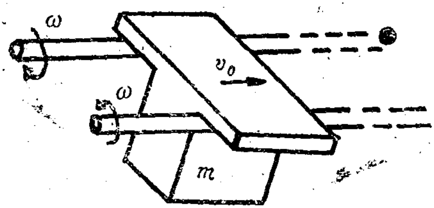


图1-14

平行的长直圆柱上，如图1-14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 $r=0.025$米，钢件与圆柱间的滑动摩擦系数$\mu=0.20$。两圆柱各绕自已的轴线作转向相反的转动，角速度$\omega=40$弧度/秒。若沿平行于柱轴的方向施力推着钢件作速度为$v_0=0.050$米/秒的匀速运动，推力是多大？设钢件左右受光滑导槽（图中未画出）限制，不发生横向运动。

分析：每根圆柱对钢件的支持力为$N=\frac{1}{2}mg$，滑动摩擦力$f_1=\frac{1}{2}\mu mg$。由于钢件平行柱轴作匀速运动，故推力应等于沿柱轴方向的摩擦力。是否等于μmg？以右圆柱为研究对象。当右圆柱向内侧转动时，钢件相对圆柱有沿 x 轴正方向的分速度，大小为$v_x=r\omega$。钢件同时相对圆柱向前运动，有沿 y 轴正方向的分速度v_0，因而钢件相对圆柱的速度$v_{相}=\sqrt{(r\omega)^2+v_0{}^2}$，

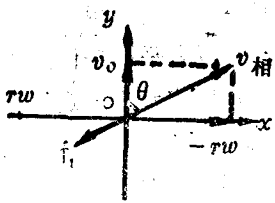


图1-15

它与 y 轴的夹角θ满足$\mathrm{tg}\theta=\dfrac{r\omega}{v_0}$。故$f_1$沿$v_{相}$的相反方向，摩擦力合力沿$y$轴负方向，大小为$2f_1\cos\theta$，推力$F=2f_1\cos\theta$。

解：钢件相对圆柱的速度$v_{相}=\sqrt{v_x{}^2+v_y{}^2}$

$=\sqrt{(r\omega)^2+v_0{}^2}$，$v_{相}$与$y$轴正向夹角的正切$\mathrm{tg}\theta=\dfrac{r\omega}{v_0}$，因而一圆柱对钢件的摩擦力$f_1$的方向与$v_{相}$的方向相反，见图1-15。由于钢件对地匀速前进，所受合力为零，即有：