

LI XUE ZHI SHI FU DAO JIANG ZUO

力学知识辅导讲座

(高中版)

王可植 主编



四川教育出版社

王可植 主编

力学知识 辅导讲座

高中版



四川教育出版社
一九九二年元月·成都

(川) 新登字005号

力学知识辅导讲座

(高中版)

四川教育出版社出版发行
四川省新华书店发行经销

(成都盐道街三号)
成都印刷一厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张8·插页1 字数171千
1992年3月第一版 1992年3月第一次印刷
印数: 1—12310册

ISBN7-5408-1700-3/G·1700 定价: 2.63元

前 言

力学既是一门独立的基础科学，又是应用科学，它在科学研究，生产建设和日常生活中都有极为广泛的应用和广阔的发展前景。力学是中学物理的一个重要组成部分，是物理学的基础部分。不少中学生反映物理难学，主要就难在力学上。

为了帮助广大中学生突破力学这个难关，促进物理教学质量的提高，推动物理课外活动的开展，从1985年开始，四川省力学学会等单位联合起来在省教委、省科协支持下在全国率先开展了省级中学生力学竞赛，取得了较好效果。应各地、市广大师生的要求，我们根据自己长期从事中学物理教学所获得的经验和积累的资料，编写了本书，奉献给广大中学生，期望能对同学们学好力学，进而学好物理学有所帮助。

本书根据《四川省高中力学竞赛大纲》及《中学物理教学大纲》编写。它并不单纯针对竞赛的需要，而是着眼于打好力学知识的基础、开阔思路、拓宽视野、培养灵活运用所学知识解决实际问题的能力。书中绝大部分内容不超出《中学物理教学大纲》的要求，行文力求简明扼要，突出重、难点，注意区别易于混淆的概念和规律，突出解决问题的思路

和方法。因此，本书不但是有助于开展物理课外活动的课外读物，而且是一本有价值的中学物理教学参考书。

根据竞赛大纲的要求，高中力学竞赛分高一和高二两个组，其要求不完全相同。高一年级的学生应首先看竞赛大纲，对其中打有“※”号的部分内容，在阅读各讲时可先跳过不看，以免加重学习负担，附录三以第二届全国中学生力学竞赛试题为例，具体说明竞赛大纲中知识点目标层次的含义，目的是使同学们对竞赛试题的难度有所认识。

本书按竞赛大纲要求的内容，基本按现行物理教材的系统，编为九讲。各讲和附录按顺序，分别由董光复、方光琅、徐渝生、倪念柄、黄文、张万勋、汪勃、任芳盛编写。全书由龚廉光统稿。

本书的编写得到四川省力学学会的大力支持，谨此致谢。

由于我们的学识水平有限，加之时间仓促，不妥之处在所难免，诚请读者批评、指正。

编者 1991年11月

目 录

第一讲	力 物体的平衡	(1)
第二讲	物体的运动	(26)
第三讲	牛顿运动定律	(47)
第四讲	曲线运动 万有引力	(71)
第五讲	功和能	(95)
第六讲	动量	(121)
第七讲	机械振动和机械波	(147)
第八讲	力学在热学、电磁学中的应用	(169)
第九讲	力学实验	(195)
附录一	四川省高中力学竞赛大纲	(224)
附录二	第二届全国中学生力学竞赛(初赛)高中试题、参考答案及评分标准	(230)
附录三	第二届全国中学生力学竞赛(初赛)试题示例说明	(240)
练习题	参考答案	(242)

第一讲 力 物体的平衡

知识要点

1. 力 共点力平衡

(1) 力。力是物体对物体的作用。在谈到力时，必须明确谁是受力体，谁是施力体，力的三要素情况。

①重力。重力是地球对地面上物体万有引力的一个分力。在通常情况下，认为物体的重力和地球对物体的万有引力是同一个力。即认为 $mg = GmM/r^2$ ，可得 $g = mM/r^2$ 。

②弹力。当物体发生弹性形变时，对使它发生形变的物体产生的力叫做弹力。弹力产生的条件，一是两物体要接触，二是接触处要发生弹性形变。

胡克定律：物体发生弹性形变时，在弹性限度内，弹力大小与形变量成正比。

对于弹簧来说，胡克定律公式为

$$f = kx$$

k 为弹簧的倔强系数，它的大小与弹簧的材料、直径、长度等有关，不同的弹簧， k 值一般不同。 x 为弹簧的形变量。

③摩擦力。相互挤压的物体之间有相对运动或相对运动趋势时，在其接触面的切线方向上，就会产生阻碍物体间相对运动或相对运动趋势的作用力，这种力叫做摩擦力。

摩擦力产生的条件：一、两物体要接触，且接触面间存在弹力；二、接触面要粗糙；三、两物体间有相对运动或相对运动趋势。

滑动摩擦力的计算公式为 $f = \mu N$

静摩擦力：当物体间有相对滑动趋势而未滑动时，物体受到的摩擦力，叫做静摩擦力。在正压力不变的情况下，静摩擦力能够在零与一个最大值之间变化，（其值由物体受力情况和运动情况决定）。当物体间将要发生相对运动时的静摩擦力为静摩擦力的最大值，叫做最大静摩擦力，常用 $f_{\max}$ 表示。实验证明，最大静摩擦力与物体间的正压力成正比，即

$$f_{\max} = \mu_0 N$$

μ_0 叫做静摩擦系数。对于相同的接触面来说， μ_0 要略大于 μ 。但在许多习题中，不区分 μ 与 μ_0 的差异，常用 μ 代替 μ_0 处理问题。

（2）牛顿第三定律。两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在一条直线上。

注意，作用力和反作用力有三个相同、两个不相同。三个相同是作用力和反作用力的大小相同，作用的时间相同（同时存在、同时消失），力的性质相同。两个不相同是作用力和反作用力的方向不相同，受力的物体不相同。

（3）物体的受力情况分析。

物体受力情况分析的一般步骤是：首先确定研究对象——受力物体；如果研究对象和其它物体联系在一起，就用“隔离法”把研究对象从其它物体中分离出来；然后按照重力、弹力和摩擦力的顺序分析对象的受力情况，并画出受力

图。

在分析物体受力时应注意：

①所分析的每个力都必然有施力物体，否则，这个力是不存在的。②对一些不能确认的弹力和摩擦力，要根据物体的运动状态，结合物体的平衡条件、牛顿运动定律等来判定。

(4) 力的合成与分解。

①共点力的合成。

互成角度共点力合成的基本方法是平行四边形法则（如图 1—1 甲）。也可用由平行四边形法则演变而成的三角形法则（如图 1—1 乙）和多边形法则（如图 1—1 丙）。

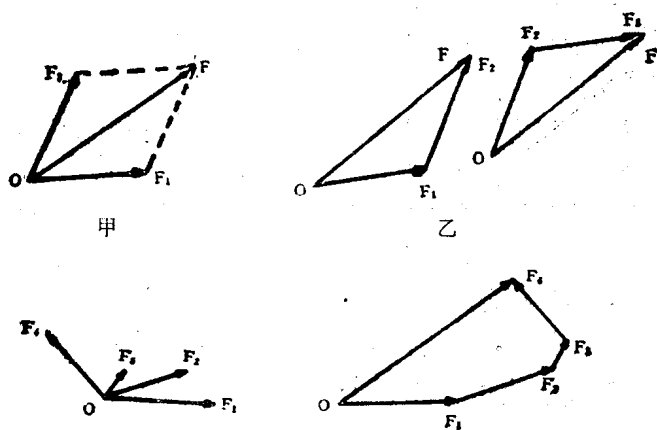


图 1—1

②力的分解。

力的分解除遵守平行四边形法则外，还必须按力的实际

效果进行分解。如图 1—2 所示，在两种情况中，光滑球对

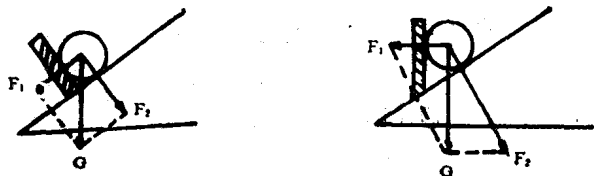


图 1—2

斜面和档板的作用效果不同，所以重力 G 的分解方法不同。请注意， F_1 、 F_2 是属于重力性质，而不是作用在档板和斜面上的压力（弹力）。

③力的正交分解。

正交分解法是求多个共点力的合力的一种简便方法。通常的办法是，以力的作用点为坐标原点建立直角坐标系，把所有的力都分解在坐标轴的方向上，再运用代数法求出同一坐标轴上的合力，最后再合成一个合力。如

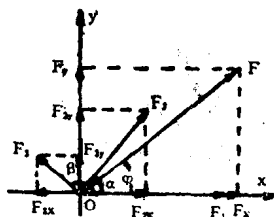


图 1—3

图 1—3 所示， F_1 、 F_2 、 F_3 共点于 O ，则有：

x 轴上分力： $F_{1x} = F_1$ ， $F_{2x} = F_2 \cos \alpha$ ，

$F_{3x} = F_3 \cos \beta$ ；

y 轴上分力： $F_{1y} = 0$ ， $F_{2y} = F_2 \sin \alpha$ ，

$F_{3y} = F_3 \sin \beta$ 。

三个力在 x 轴、 y 轴上分力之和为：

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}$$

$$F_y = F_1y + F_2y + F_3y$$

三个力的合力 F 的大小和与 F_1 的夹角 ψ （表示合力方向）为：

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad \text{tg}\psi = F_y/F_x$$

（5）物体在共点力作用下的平衡。

物体在共点力作用下的平衡条件是物体所受合外力为零。数学表达式为

$$\Sigma F = 0 \quad \text{或} \quad \Sigma F_x = 0, \quad \Sigma F_y = 0$$

推论一：如果物体在两个外力作用下处于平衡状态，这两个力必定是大小相等、方向相反、作用在一条直线上。

推论二：如果物体在三个共点力作用下处于平衡状态，则任意两个力的合力必为第三个力大小相等、方向相反、作用在一条直线上。

推论三：如果物体在三个互不平行的力作用下平衡，这三个力必定在同一平面内，而且三个力必定共点。

推论三是个很有实用意义的结论。如图1—4所示，用细绳拴着的球挂在光滑墙上处于静止状态和筷子置于光滑的半球形碗内处于静止状态，要求绳的拉力方向和筷子的重心位置，我们直接应用“推论三”就很容易使问题解决，请读者自己试试。

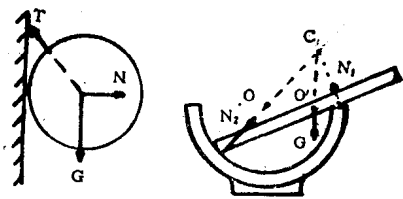


图1—4

2. 刚体的平衡

那些在任何情况下，形状不发生变化的物体叫做刚体。

刚体跟质点一样，是理想化的力学模型。下面我们研究的物体都是刚体。

(1) 力矩。力和力臂的乘积叫做力对转动轴的力矩。力矩的计算公式为

$$M = FL$$

力矩的方向：力矩的作用效果是有方向性的。所以力矩是矢量。但在中学阶段所研究的转动物体，一般都有固定转轴，力矩产生的转动效果只有两个可能方向。一般规定逆时针方向的力矩为正值，顺时针方向的力矩为负值。力矩的合成就由矢量和转化为代数和。

(2) 有固定转动轴物体的平衡。

所谓固定转动轴，就是物体在转动过程中，始终有一个固定不变的转轴。如门、窗等都是有固定转轴的。在图1—5中，受力物体在不发生滑动时，棱A也可以作为固定转动轴处理。

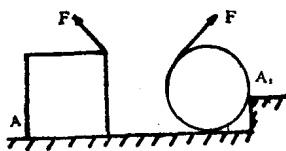


图1—5

有固定转动轴物体的平衡条件是：使物体沿顺时针方向转动的力矩之和，等于使物体沿逆时针方向转动的力矩之和。或者说力矩的代数和为零。

数学表达式为

$$\Sigma M_{\text{正}} = \Sigma M_{\text{负}}, \text{ 或 } \Sigma M = 0$$

(3) 一般物体的平衡。

如果物体所受的力都在同一平面内，其平衡条件是：物体所受合外力为零，同时，物体所受合力矩为零。即

$$\begin{cases} \Sigma F = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} \Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases}$$

计算力矩时，转动轴可以在物体上或物体外任意选择。
通常以解题方便为选择原则。

(4) 平衡的种类 稳度。

①平衡的种类。

稳定平衡：静止物体在受到微小扰动后能自动恢复原位置的平衡状态，叫做稳定平衡，如图 1—6 甲所示。稳定平衡的特点，一是物体偏离平衡位置后重心升高；二是在平衡位置物体的势能有最小值。三是物体离开平衡位置后所受合力（或合力矩）能使物体回到平衡位置。

不稳定平衡：处于平衡状态的物体，在受到微小扰动后不能自行回到原位置的平衡，叫做不稳定平衡，如图 1—6 乙所示。不稳定平衡的特点，一是稍微偏离平衡位置，物体重心下降，二是物体在平衡位置势能有最大值；三是物体离开平衡位置后所受合力（或合力矩）使物体继续离开不平衡位置。

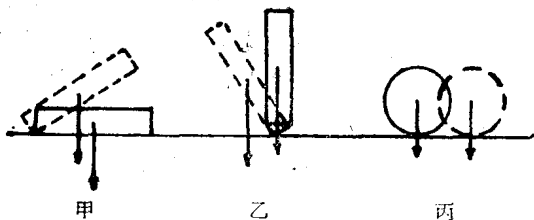


图 1—6

随意平衡：处于平衡状态的物体，在受到微小扰动后能

在任意位置继续保持平衡，这种状态叫做随遇平衡，如图 1—6 丙所示。其特点，一是物体偏离原位置后重心高度不变，二是物体在运动中势能不变；三是物体离开原平衡位置后所受合力（或合力矩）为零。

②稳度：处于稳定平衡状态的物体，其稳定的程度叫做稳度。物体的重心越低，支承物对物体的支承面积越大，物体的稳度越大。如平放的砖比侧放、竖放时的稳度大。

3. 浮力 物体的浮沉条件

（1）液体的压强。

液体对容器底面和器壁都有压强，液体内部向各个方向都有压强，压强随深度的增加而增大，在同一深度，液体向各个方向的压强相等。

液体压强的计算公式为 $p = \rho gh$ 。

（2）浮力。浸在液体里的物体受到液体向上托起的力叫做浮力。浮力的方向总是竖直向上的。

（3）阿基米德定律。浸在液体里的物体受到向上的浮力，浮力的大小等于物体排开的液体受到的重力。

浮力的计算公式为 $F_{\text{浮}} = \rho_{\text{液}} g V_{\text{排}}$ 。

（4）物体的浮沉条件。浸没在液体中的物体，如果受到的浮力大于它的重力，物体就上浮；如果浮力小于它的重力，物体就下沉；如果浮力等于它的重力，物体就可以停留在液体里任何深度的地方。即

当 $F_{\text{浮}} > G_{\text{物}}$ 时， $\rho_{\text{液}} > \rho_{\text{物}}$ ，物体上浮；

当 $F_{\text{浮}} < G_{\text{物}}$ 时， $\rho_{\text{液}} < \rho_{\text{物}}$ ，物体下沉；

当 $F_{\text{浮}} = G_{\text{物}}$ 时， $\rho_{\text{液}} = \rho_{\text{物}}$ ，物体悬浮。

例题分析

例一，如图 1—7 所示，光滑斜面上叠放着 A、B 两木块，A 木块被平行于水平面的细绳拴在立柱上，整个系统静止。试分析 A 物体、B 物体的分力情况。

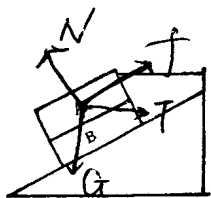
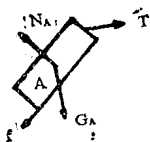
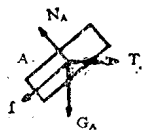


图 1—7

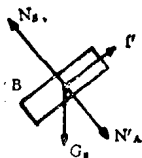
解析：首先分析 A 物体受力。分析的步骤是：① A 物体



(甲)



(乙)



(丙)

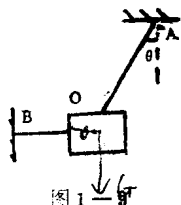
图 1—8

受到重力 G_A ，方向竖直向下，施力体是地球。②物体受弹力。A 与 B 和绳接触，对 B 挤压、对绳拉伸，因此 A 受 B 的支持力和绳的拉力，方向分别为垂直斜面向上和沿绳的方向平行于水平面向右，用 N_A 和 T 表示。施力物体分别是 B 和绳。③分析摩擦力。B 有沿斜面下滑的趋势，A 就相对 B 有向上运动的趋势，因此 A 受到沿斜面向下的静摩擦力，用 f 表示。施力体是 B。A 的受力分析图如图 1—8（甲）所示。

在有些问题中，为了研究方便，常常把物体当作只有质量而无大小的质点来处理，这样就可以把力的作用点都集中于一点来分析受力。因此，A 物体的受力分析图可以画成如图 1—8 中的（乙）图。

B物体的受力情况，读者可自行分析，其受力分析图如图1—8（丙）所示。注意， N'_A 和 N_A 是一对作用力和反作用力； f' 和 f 是又一对作用力和反作用力。

例二，如图1—9所示，用两根绳把一重力为 G 的物体挂起来，绳子OB是水平的，绳子OA跟竖直方向夹角为 θ ，求两根绳子对物体的拉力分别为多大？



解法一，物体受力分析如图1—10（A）所示。物体在三个共点力 G 、 F_A 、 F_B 作用下处于平衡，必然有其中任意两个力的合力与第三个力大小相等、方向相反，作用在同一直线上。根据几何知识，得

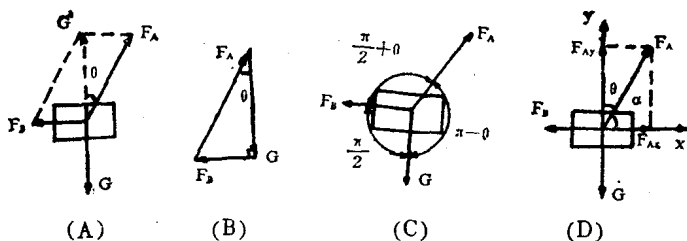


图1—10

$$F_A = \frac{G'}{\cos\theta} = \frac{G}{\cos\theta}, \quad F_B = G' \tan\theta = G \tan\theta$$

解法二：物体受力分析同上。物体在三个力作用下平衡，合力为零，用三角形矢量合成法求合力时，这三个力的矢量应组成一个封闭三角形。如图1—10（B）所示。根据几何知识，得

$$F_A = \frac{G}{\cos\theta}, \quad F_B = G \tan\theta$$

解法三：物体受三个力平衡，找出各力之间的角度如图 1—10 (C) 所示，由拉密定理，得

$$\frac{F_A}{\sin\pi/2} = \frac{F_B}{\sin(\pi-\theta)} = \frac{G}{\sin(\pi/2+\theta)}$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } F_A &= \frac{G}{\sin(\pi/2+\theta)} = \frac{G}{\cos\theta}, \quad F_B = \frac{\sin(\pi-\theta)}{\sin(\pi/2+\theta)} \cdot G \\ &= G \cdot \tan\theta \end{aligned}$$

解法四：物体受三个力平衡，建立直角坐标系如图 1—10 (D) 所示。由平衡条件，得

$$\Sigma F_x = F_{Ax} - F_B = F_A \cos\alpha - F_B = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = F_{Ay} - G = F_A \sin\alpha - G = 0 \quad (2)$$

由 (2) 得 $F_A = \frac{G}{\sin\alpha} = \frac{G}{\cos\theta}$ 代入 (1) 式得

$$F_B = F_A \cos\alpha = G \tan\theta = G \tan\theta$$

例三，质量为 m 的物体放在水平面上，它们之间的摩擦系数为 μ 。求使物体沿水平面匀速运动的最小的力 F 。

解析：如果不加分析就冒然认为最小力 $F = \mu mg$ ，是错误的。设外力 F 与水平方向的夹角为 θ ，作出物体的受力图如图 1—11 所示。为了分析方便，把 F 分解成水平分量 $F \cos\theta$ 和竖直分量 $F \sin\theta$ ，如图 1—12 所示。由于

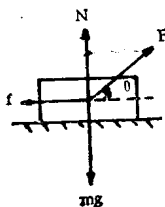


图 1—11