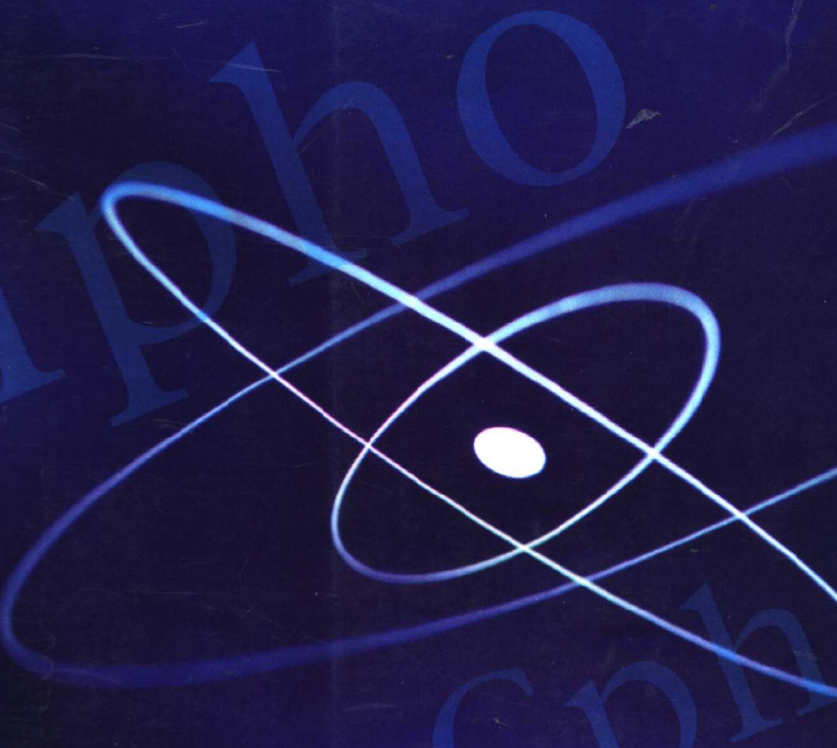


新大纲

奥林匹克

物理竞赛 试题与解析

李桂昌 田序海 周玉芳 主编



山东大学出版社

新大纲

奥林匹克

物理竞赛试题与解析

主编 李桂昌 田序海 周玉芳

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理竞赛试题与解析/李桂昌等主编. —2版. —济南:
山东大学出版社, 2002. 7
ISBN 7-5607-1768-3

I. 物…

II. 李…

III. 物理课-中学-解题

IV. G634. 75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 034038 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)

山东省新华书店经销

日照日报社印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 14.5 印张 374 千字

2002 年 7 月第 2 版 2002 年 7 月第 3 次印刷

印数:23001—26500 册

定价:18.80 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部负责调换

编委会

主 主 编	编 审 委	李桂昌	田序海	周玉芳	
		陈鹏万	宋树杰		
		田序海	刘玉修	孙景杰	何希庆
		李桂昌	张海	张永庆	张承琚
		张尊喜	宋协俊	周玉芳	林方珞
		陆彩霞	郑玉峰	陈英明	侯辰虎
		唐锡炳	渠学春	蔡建国	翟所迪

内容简介

本书以全国中学生物理竞赛委员会第 19 次会议(2000 年武汉)新规定的《全国中学生物理竞赛内容提要》为纲领和基准,按力学、热学、电磁学、光学、近代物理等理论基础内容分十三章讲解,每章均概述了本章所涉及的主要内容及必须掌握的知识要点;精选了具有代表性的典型题例,并作了详细分析和解答;每章都精选了部分练习题。附录 I 选编了第十六届全国中学生物理竞赛预赛、复赛的理论试题和解答及决赛有关内容(包括决赛理论试题与解答、实验试题与解答);附录 II 给出了各章习题精选中练习题的有关提示及参考答案,以飨读者。

本书具有针对性、启发性、应用性强和知识覆盖面广等特点,特别是增加了实验内容,使本书更具实用性,它既是参赛选手的必读之物,又是应届毕业生的良师益友,还是各级教练和中学教师的教学参考书。

前 言

为了配合一年一度的国际奥林匹克物理竞赛(IPhO),我国从1984年开始举办全国中学生物理竞赛(CPhO)。全国中学生物理竞赛是在中国科协领导下,由中国物理学会主办,各省、自治区、直辖市自愿参加的群众性的课外学科竞赛活动,这项活动一直得到教育部的批准和大力支持,迄今已举办了十八届,1994年我国成功地在北京举办了第二十五届国际奥林匹克物理竞赛。十八年来,CPhO受到广大师生的欢迎和社会的好评,取得了良好的效果。实践表明,这项活动有助于促进中学物理教学,活跃中学校内学习气氛,更有助于发现和选拔具有突出才能的学生,为今后造就优秀人才打下了良好的基础。为了进一步搞好竞赛,帮助参赛学生系统复习、全面掌握、提高综合分析和解决问题的能力及参赛水平,迎接第二十届(2003年)CPhO全国决赛在山东举行,我们总结十几年辅导奥赛的经验,提炼有关资料编写了这本书。

本书按照全国中学生物理竞赛委员会第十九次会议(2000年武汉)新规定的《全国中学生物理竞赛内容提要》理论基础的内容共分十三章讲解,每章均概述了本章所涉及的主要内容及必须掌握的知识要点;精选了具有代表性的典型题例,并作了详细分析和解答;每章都选编了部分练习题,各章练习题参考答案及提示在附

录Ⅱ中给出。附录Ⅰ选编了第十六届全国中学生物理竞赛预赛、复赛的理论试题和解答及决赛有关内容(包括决赛理论试题与解答、实验试题与解答)。

本书具有针对性、启发性、应用性强和知识覆盖面广等特点,具体概括如下:

第一,目录、章节基本上按中学课本和竞赛内容提要的顺序编排,按力学、热学、电学、光学、原子物理学及近代物理基础等部分共分十三章讲解,各章均有知识要点、理论概述、便于复习。

第二,重点内容为典型例题解析,基于历届竞赛试题情况,每章均选编了部分典型题例进行解析,例题紧紧围绕如何建立物理模型,如何分析物理问题,如何寻找最佳解题方法,如何充分利用数学工具解决物理问题,如何理论联系实际、指导实践等诸方面展开讨论和引导。例题多为比较复杂、难度较大、比较典型的综合题。注重知识的加深和拓宽;注重几个概念、几条规律、几种方法的综合利用;注重培养学生分析问题和解决问题的能力;注重激发学生学习物理的兴趣和求知欲望。

第三,为了让读者进一步独立思考、加强练习,每章都精选了适量的练习题,以便学生巩固和检验所学的知识。书后附录Ⅱ给出各章练习题参考答案及有关提示,以供读者参考。

第四,作为附录,选编了第十六届全国中学生物理竞赛预赛、复赛、决赛的有关理论和实验题与《全国中学生物理竞赛参考资料汇编》(第十一届~第十五届)和《物理竞赛参考资料》相连接,可使读者博览全国中学生物理竞赛第十一届~第十八届的内容。

本书是多年来教学经验和竞赛辅导经验的结晶。参加本书编写工作的有在中学第一线教学的特级教师、高级教师和 CPhO 优秀教练,还有关心、支持、指导山东物理奥赛的大学教授。我们殷切期望该书成为中学师生的良师益友。

在编写本书的过程中,得到山东物理学会和山东大学有关领

导的大力支持和帮助,在此仅表示衷心的感谢。

由于编写时间比较紧迫,物理问题灵活多解,本书错误在所难免,敬请读者批评、指教。

编 者

2002.06 于泉城

目 录

第一章 静力学	(1)
第二章 质点运动学	(28)
第三章 牛顿运动定律	(49)
第四章 圆周运动与万有引力	(73)
第五章 机械能	(97)
第六章 动量定理与动量守恒	(119)
第七章 机械振动与机械波	(148)
第八章 热学	(177)
第九章 静电场	(215)
第十章 恒定电流	(244)
第十一章 磁场 电磁感应	(280)
第十二章 光学	(316)
第十三章 原子物理学与近代物理初步	(346)
附录 I 第十六届全国中学生物理竞赛试题及解答	(358)
预赛试题及解答	(358)
试题	(358)
参考解答	(363)
复赛试题及解答	(374)

2 目 录

试题.....	(374)
参考解答.....	(377)
决赛试题及解答.....	(390)
理论试题.....	(390)
理论试题解答.....	(394)
实验试题.....	(415)
实验试题参考解答.....	(417)
附录 II 习题精选参考答案.....	(423)

第一章 静力学

〔知 识 要 点〕

一、力学中常见的几种力

1. 重力 是物体因被地球吸引而受的力。重力（竖直向下）和物体随地球自转所需的向心力（垂直于地轴）是地球对物体的吸引力的两个分力。

2. 弹力与劲度系数 弹力是物体在受力发生形变时产生的反抗作用、力图恢复原状的力。在弹性限度内，弹簧的弹力与弹簧的形变成正比（胡克定律）。比例常数 k 叫弹簧的劲度系数。

劲度系数分别为 $k_1, k_2, \dots, k_N$ 的弹簧串联后的劲度系数

$$1/k = 1/k_1 + 1/k_2 + \dots = \sum_{i=1}^N 1/k_i$$

劲度系数分别为 $k_1, k_2, \dots, k_N$ 的弹簧并联后的劲度系数

$$k = k_1 + k_2 + \dots = \sum_{i=1}^N k_i$$

3. 摩擦力 是阻碍物体间相对运动或发生相对运动的力。

固体之间的动摩擦力 f 与正压力 N 成正比， $f = \mu N$ ， μ 叫动摩擦因数， μ 取决于接触面的情况和材料。

固体之间的静摩擦力的大小是可变的，其最大值 f_m 与正压力 N 的比值 $f_m/N = \mu_s$ ， μ_s 叫静摩擦因数，一般情况下， μ_s 略

大于 μ . 在没有特别指明的情况下, 可认为 $\mu_s = \mu$.

流体对静止的固体无摩擦力, 但对于在其中运动的固体有阻力, 其大小与流体的密度 ρ 、粘滞系数 η 、物体的运动速度 v 、物体的横截面积 S 以及形状有关. 粗略地讲, 在粘滞性较小、运动物体较大、速度较快的情况下 (如物体在空气中运动), 阻力正比于 v^2 和 S , 但与 η 无关.

物体间不发生滑动的条件为 $\alpha \leq \varphi$, α 是接触面对物体的最大摩擦力 f_m 与弹力 N 的合力跟该接触面处法线间的夹角, $\tan \alpha = f_m/N = \mu_s$ (即最大静摩擦力与弹力的比值). φ 叫摩擦角, $\tan \varphi = f/N = \mu$.

二、共点力作用下物体的平衡条件

1. 平衡条件

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

2. 三力交汇原理

若一物体受到三个非平行力的作用而处于平衡状态, 则这三个力必为共点力.

3. 问题的处理方法

图示法 平行四边形定则、三角形法、多边形法.

函数法 利用勾股定理、正弦定理、余弦定理、相似三角形的关系, 正交分解法, 列方程求解.

三、定轴转动物体的平衡条件

作用在物体上的各力对转动轴力矩的代数和等于零.

四、一般物体的平衡条件

1. 平面力系的平衡需列三个独立方程:

$$\textcircled{1} \begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum F_z = 0 \end{cases} \quad \textcircled{2} \begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum M_{A_i} = 0 \\ \sum M_{B_i} = 0 \end{cases} \quad \textcircled{3} \begin{cases} \sum M_{A_i} = 0 \\ \sum M_{B_i} = 0 \\ \sum M_{C_i} = 0 \end{cases}$$

以上任一组均可，但第②组中直线 AB 不能与 X 轴垂直，第③组中 A, B, C 三点不能在一条直线上。

2. 空间力系的平衡条件 一般可列出六个独立的平衡方程，即所有力在任意轴上投影的代数和为零（三个方程），所有力对任意轴力矩的代数和为零（三个方程）。

五、物体平衡的种类

1. 重心是物体各部分所受重力的合力的作用点，求物体重心的常见方法有

(1) 补偿法 将物体残缺部分补全而成匀质规则的整体，利用整体各部分的重力对整体几何中心的力矩的代数和为零而求解。

(2) 分割法 将物体分割为重心易求部分，而后利用方法①求解。

(3) 解析法 设物体由 N 部分组成，各部分的质量和位置矢量分别为 $m_1 m_2 \cdots m_N$ 和 $r_1 r_2 \cdots r_N$ ，物体的重心的位置矢量为 r ，则

$$r = \frac{m_1 r_1 + m_2 r_2 + \cdots + m_N r_N}{m_1 + m_2 + \cdots + m_N}$$

(4) 悬挂法。两次悬挂悬线延长线的交点即重心的位置。

2. 物体平衡的种类 依稍微偏离平衡位置后，重心位置的变化（升高、降低或不变）分为稳定平衡、不稳定平衡与随遇平衡。

3. 稳度是物体稳定的程度，一般说来，物体的平衡被破坏所需能量越多，则物体平衡的稳度高，物体的重心越低，稳度越高。

六、液体中的平衡

1. 静止液体中的压强与液体的密度和深度成正比, 即 $P = \rho gh$.

有多层不同液体内的压强应分层计算, 然后叠加即可.

2. 浮力

阿基米德原理. 浸入液(气)体里的物体受到向上的浮力, 其大小等于它排开液(气)体受到的重力.

浮力的来源. 物体上、下表面所受液体的压力之差.

浮心. 浮力的作用点.

浮在液面的物体的重心低于浮心, 则物体的平衡是稳定平衡, 否则是不稳定平衡.

七、力偶 力偶矩

二个大小相等、方向相反而不一直在一直线上的平行力为力偶, 力偶中的一个力与力偶臂(两力作用线之间的垂直距离)的乘积叫做力偶矩, 在同一平面的诸力偶的合力偶矩等于诸力偶矩的代数和.

〔典型例题解析〕

〔例 1〕一个小物体与竖直墙面之间的摩擦因数 $\mu = 0.25$, 当作用力与竖直方向成的角度 $\alpha = 53^\circ$ 时 F 至少为 10N 才能维持物体静止, 如图 1-1 所示, 问:

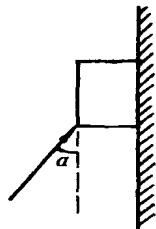


图 1-1

(1) 在 α 不变的情况下, 需要多大的力才能使物体沿墙面做匀速运动?

(2) 在 μ 已确定的情况下, 要使物体向上做匀速运动, α 有什么限制?

〔解析〕本题中物体的静止和向上匀速运动都属于平衡状态，前一状态是由于用最小的力维持物体静止，因此物体受到的是向上的最大静摩擦力，通过 $\Sigma F=0$ 可以求出物体所受的重力 G 。后一种情况当 μ 已确定后，要使物体向上运动， α 有一个上限，当 α 大于某一个值时，将产生摩擦自锁现象；即摩擦力随着 F 同步增大，不论 F 多大，也不能使物体向上运动。

(1) 物体静止，由图 1-2 可知

$$\Sigma F_x=0 \quad N=F\sin\alpha$$

$$\Sigma F_y=0 \quad \mu N+F\cos\alpha=G$$

解得： $G=8\text{N}$

要使物体向上匀速运动，由图 1-3 和平衡条件可知

$$\Sigma F_x=0 \quad N=F\sin\alpha$$

$$\Sigma F_y=0 \quad F\cos\alpha=\mu N+G$$

$$\text{解得：} F=\frac{G}{\cos\alpha-\mu\sin\alpha}$$

将数值代入上式可得

$$F=\frac{8}{\cos 53^\circ-0.25\sin 53^\circ}=20\text{N}$$

(2) 由上面的 F 表达式知：

$$\text{当 } \cos\alpha-\mu\sin\alpha=0$$

即 $\alpha=\tan^{-1}\mu$ 时 F 趋向无穷大，物体不可能向上运动。

〔例 2〕质量 m 的物体静置于倾角为 θ 的固定斜面上，物体与斜面之间的静摩擦因数为

μ 。试问，至少要用多大的力作用在物体上才能使物体运动？

〔解析〕作用力 F 的方向沿斜面向下，是否就是使物体产生运动的最小力的方向呢？若力 F 有一垂直斜面向上的分量，使物体对斜面的正压力减小，从而使两者之间的最大静摩擦力减小，是否可能使所需力 F 的最小值更小呢？为此可任设一个 F

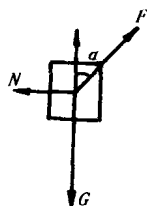


图 1-2

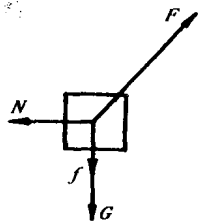


图 1-3

的方向,如图1—4所示,设 F 的方向与斜面的夹角为 α ,由图示的物体受力情况以及使物体产生运动的条件,得

$$F\cos\alpha + mg\sin\theta - f = 0$$

$$N + F\sin\alpha = mg\cos\theta$$

将 $f = \mu N$ 代入上面两式得

$$F = \frac{\mu\cos\theta - \sin\theta}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha} mg$$

当 α 取某一值时,可使 F 的值达最小,上式可写成

$$F = \frac{\mu\cos\theta - \sin\theta}{\sqrt{1+\mu^2} \left(\frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}\cos\alpha + \frac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}\sin\alpha \right)} mg$$

$$\text{设 } \sin\beta = \frac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}, \quad \cos\beta = \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}, \quad \tan\beta = \mu$$

于是

$$\begin{aligned} F &= \frac{\mu\cos\theta - \sin\theta}{\sqrt{1+\mu^2} (\cos\beta\cos\alpha + \sin\beta\sin\alpha)} mg \\ &= \frac{\mu\cos\theta - \sin\theta}{\sqrt{1+\mu^2} \cos(\alpha - \beta)} mg \end{aligned}$$

由上式可知当 $\alpha = \beta = \arctan\mu$ 时,所需的力 F 最小,其值为

$$F = \frac{\mu\cos\theta - \sin\theta}{\sqrt{1+\mu^2}} mg$$

〔例3〕用一根细线竖直悬挂一根长为 l 的均匀细木杆,置于水桶内水平面上方,如图1—5所示.当水桶缓慢上提时,细木杆逐渐浸入水中,当木杆浸入水中超过一定深度 l' 时,木杆开始出现倾斜现象,求 l' .已知木杆的密度为 ρ ,水的密度为 ρ_0 .

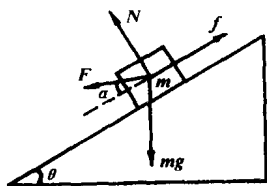


图1—4

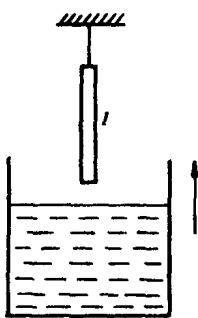


图1—5

〔解析〕当木杆浸入水中后，受到重力、绳子拉力和水的浮力的作用。浮力的作用点在排开水部分杆的中心处，即在图 1—6 中的 D 点。重力作用在重心 C 处。当有微小的扰动（这随时都会发生）使杆发生微小的倾斜时（即由图中的虚线位置到实线位置），对悬点 A 将出现重力矩和浮力矩，而且方向是相反的。如果浮力矩小于重力矩，那么木杆将自动回到虚线位置，这时的木杆处于稳定平衡，如果浮力矩大于重力矩，则木杆就处于不稳定平衡了，其倾斜程度将继续增大。

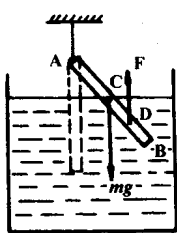


图 1—6

设杆的横截面积为 S ，密度为 ρ ，水的密度为 ρ_0 ，杆浸没在水中的长度为 l' ，重力的力矩为

$$M_G = l s \rho g \cdot \frac{1}{2} \sin \theta$$

浮力矩为

$$M_F = l' s \rho_0 g \left(l - \frac{l'}{2} \right) \sin \theta$$

临界点为

$$M_G = M_F$$

$$\text{即 } l s \rho g \cdot \frac{1}{2} \sin \theta = l' s \rho_0 g \left(l - \frac{l'}{2} \right) \sin \theta$$

可解得

$$l' = l \left(1 \pm \sqrt{\frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0}} \right)$$

因为 $l' < l$ ，所以取

$$l' = l \left(1 - \sqrt{\frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0}} \right)$$

〔例 4〕用一轻弹簧把两块质量各为 m_1 ， m_2 两木板连起来，放在水平桌面上，如图

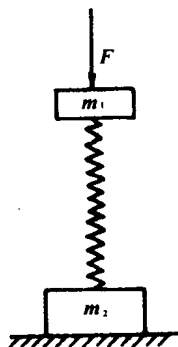


图 1—7