



国际物理奥林匹克 金牌试题精选精解

主编 孙继炎 副主编 张叔襄



云南大学出版社

国际物理奥林匹克金牌试题 精选精解

主 编 孙继炎

副主编 张叔襄

编 者 李 伦 伟 李先枝
胡 维 智 张叔襄
孙继炎

(滇)新登字 07 号

国际物理奥林匹克金牌试题精选精解

主 编 孙继炎

副主编 张叔襄

出版者	云南大学出版社 昆明环城北路云南大学北院内 (邮编 650091)
经销者	各地新华书店
印刷者	湖北省钟祥市印刷厂
开 本	787×1092 毫米 32 开本
字 数	336 千字 印张 15
版 次	1995 年 11 月第 1 版
印 次	1995 年 11 月第 1 次印刷
序 号	ISBN 7-81025-561-4/O·29
定 价	13.50 元

前 言

近年来,国内外中学生物理竞赛十分活跃,广大中学生对此产生了极大的兴趣,参加一年一度的竞赛人数逐年递增。对多数参赛选手而言,竞赛并非追求名次,而是一种信心和能力的体现,是一次智力和技能的检验,是一次扩充知识和再学习的极好机会。本书精选国内历届竞赛试题和部分国外竞赛试题,旨在帮助考生系统复习,掌握解题技巧和方法,提高应试能力。本书不仅可作为竞赛辅导资料,也可作为物理教学及高考的辅导材料。

本书按照《全国中学生物理竞赛内容提要》的要求,兼顾物理高考的需要,按照力学、热学、电学、光学和原子物理五个部分编写,各部分又按知识结构分为内容提要、例题分析、习题精选和参考解答等顺序编写。例题和习题量大,类型多,具有广泛的代表性。全部例题和习题都有较详细的分析和解答,多数例题和习题未超出现行中学物理教学大纲,但在难度上有所拓宽、深入。因此对参加高考的学生来说也可从中得到启迪,从而提高分析和解决问题的能力。

参加本书编写的教师,均为在第一线工作几十

年、具有丰富教学经验和辅导竞赛卓有成效的教师。他们是：华中理工大学张叔襄、胡维智、李先枝；华中师范大学二附中李伦伟；武汉工业大学附中孙继炎。全书由张叔襄、孙继炎统稿。本书在编写、出版过程中得到了湖北省《青年心理咨询》杂志社及云南大学出版社的大力支持，在此一并表示谢忱。

由于编者水平有限，加之时间仓促，缺漏之处在所难免，恳请专家、同行和广大读者批评指正。

编者

1995.6.

目 录

第一部分 力学

- 一 静力学..... (1)
- 二 运动学 (33)
- 三 牛顿运动定律 (68)
- 四 机械能 (99)
- 五 动量..... (126)

第二部分 热学

- 一 分子运动论..... (165)
- 二 气体的性质..... (175)
- 三 热力学第一定律..... (201)
- 四 液体和固体的性质..... (220)
- 五 物态变化..... (229)

第三部分 电学

- 一 静电场..... (239)
- 二 稳恒电流..... (267)
- 三 磁场..... (293)
- 四 电磁感应..... (318)
- 五 交流电..... (345)
- 六 电磁振荡和电磁波..... (366)
- 七 物质的导电性..... (373)

第四部分 光学

一 几何光学..... (387)

二 物理光学..... (420)

第五部分 原子和原子核

一 原子结构..... (433)

二 原子核..... (442)

附:第十一届全国中学生物理竞赛试题 (458)

第十一届全国中学生物理竞赛试题参考解答 ...
..... (463)

第一部分 力 学

一 静力学

【内容提要】

1. 力学中常见的三种力

(1)重力 由于地球的吸引而使物体受到的力叫做重力。

$$G=mg$$

重力的方向总是竖直向下,重力的作用点在物体的重心上。

(2)弹力 两物体直接接触时,若有相互挤压而发生弹性形变时;发生形变的物体,由于要恢复原状,对跟它接触的物体会产生力的作用,这种力叫做弹力。

胡克定律 在弹性限度内,弹簧弹力的大小 f 和弹簧伸长(或缩短)的长度 x 成正比。

$$f=kx$$

(3)摩擦力 在两个互相接触的物体之间,有相互作用的弹力,当一个物体在另一个物体表面上做相对滑动或者存在相对滑动的趋势时,要受到另一个物体阻碍它运动或相对运动趋势的力,这种力叫摩擦力。

滑动摩擦力的大小 $f = \mu N$

最大静摩擦力的大小 $f = \mu_0 N$

摩擦力的方向总是跟接触面相切,并且跟物体相对运动或者相对运动趋势的方向相反。

2. 力的合成与分解

力是矢量,力的加、减运算必须用平行四边形法则或者三角形法则。

3. 什么是平衡状态

如果一个物体既不做平动,也不做转动,即保持静止,或者做匀速直线运动或匀速转动,我们就说这个物体处于平衡状态。

4. 在共点力作用下物体的平衡条件

(1) 共点力

同时作用在物体上的各个力的作用线(或者是作用线的延长线)相交于一点,这些力叫做共点力。

(2) 平衡条件

合力为零. $\sum_{i=1}^n F_i = 0$ 或者是 $\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0, \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0, \sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$

5. 有固定转动轴的物体的平衡条件

合力矩为零. $\sum_{i=1}^n M_i = 0$

6. 共面力的平衡条件

(1) 共面力

作用在刚体上的所有力都位于同一平面上,这些力就叫做共面力。

(2) 平衡条件

合力为零和对任一点为转轴合力矩为零。

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0 \begin{cases} \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0 \\ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0 \end{cases} \quad \sum_{i=1}^n M_i = 0$$

7. 平衡的种类和稳度

(1) 平衡的种类

稳定平衡 物体稍微偏离平衡位置之后,使其重心升高,外力作用使物体回到平衡位置,恢复平衡.这种平衡叫做稳定平衡.

不稳平衡 物体稍微偏离平衡位置之后,物体重心降低,外力作用使物体继续远离原来的位置而不能恢复平衡,这种平衡叫做不稳平衡.

随遇平衡 物体偏离原来的位置之后,重心的高度不变,物体在任何位置都能平衡,这种平衡叫随遇平衡.

以上讨论是在重力和支持力作用下处于平衡的物体,是有支点或支轴的物体的平衡.

(2) 稳度 有支面物体的平衡是稳定平衡.稳度的大小跟物体重心的高低和支面的大小都有关系.物体的支面越大、重心越低,稳度就越大.

【例题分析】

例 1 匀质管子 AB 长 L , 重为 G , 其 A 端放在水平面上, 而点 C 则靠在高 $h = \frac{L}{2}$ 的光滑铅直支座上, 如图 1-1-1 所示, 设管子与水平面成倾角 $\alpha = 45^\circ$, 试求要使管子处于平衡时, 它与水平面之间的摩擦系数的最小值. (第二届全国中学生力学竞赛复赛试题)

分析 管子所受的各个力均在同一平面内, 管子处于平衡时需满足合力为零和合力矩为零. 管子恰好能够平衡时, A

端所受静摩擦力将为最大值 f_A , 然后由 $f_A = \mu N_A$ 则可得到摩擦系数的最小值。

解 由 $\Sigma F = 0$ 有

$$f_A = N_C \sin 45^\circ \dots\dots \quad (1)$$

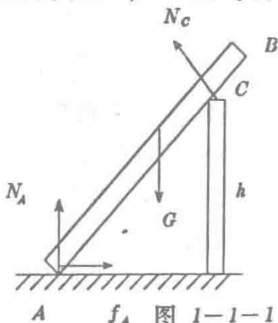
$$P = N_A + N_C \cos 45^\circ \dots\dots \quad (2)$$

由 $\Sigma M = 0$, 以 A 为转轴有

$$G \cdot \frac{L}{2} \cos 45^\circ = N_C \cdot \frac{h}{\sin 45^\circ}$$

.....

$$\quad (3)$$



由③得 $N_C = G \sin 45^\circ \cos 45^\circ = \frac{1}{2}G$ 代入①、②中

$$f_A = \frac{\sqrt{2}}{4}G, \quad N_A = (1 - \frac{\sqrt{2}}{4})G$$

$\therefore$ 管子与水平面之间的摩擦系数的最小值是

$$\mu = \frac{f_A}{N_A} = \frac{\sqrt{2}}{4 - \sqrt{2}} \approx 0.54.$$

例 2 如图 1-1-2 所示, 三根长度都是 L 的轻杆构成 $\triangle ABO$ 悬挂在天花板上, 再在杆 AB 上距 A 为 $\frac{L}{4}$ 和 $\frac{3L}{4}$ 处分别挂上重 G 和 $3G$ 的物体, 求平衡时杆 AB 与水平面所构成的角度 θ ? (第三届全国中学生力学竞赛试题)

分析 有固定转动轴的物体的平衡条件是合力矩为零。悬挂物 G 和 $3G$ 对三角架的拉力方向是竖直向下的, 以 O 点为转轴找出力臂的长度关系是解题的关键。需作出两条重要的辅助线。

解 过 O 点向 AB 边作垂线交 AB 于 E , 过 O 点作竖直线交 AB 于 F 。

$$\angle EOF = \theta$$

$$EF = OE \tan \theta = L \cdot \cos 30^\circ \cdot \tan \theta$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2} L \cdot \operatorname{tg} \theta$$

ΔABO 处于平衡时,以 O 点为转轴由 $\Sigma M=0$ 有:

$$G\left(\frac{L}{4} + EF\right) \cos \theta$$

$$= 3G\left(\frac{L}{4} - EF\right) \cos \theta$$

$$\therefore EF = \frac{L}{8} \text{ 代入上式}$$

$$\frac{L}{8} = \frac{\sqrt{3}}{2} L \operatorname{tg} \theta \quad \therefore \operatorname{tg} \theta = \frac{\sqrt{3}}{12}.$$

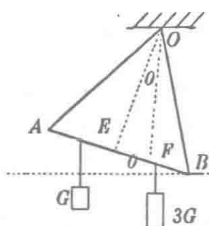


图 1-1-2

例 3 在图 1-1-3 中, A 、 B 是两个带柄(a 和 b)的完全相同的长方形物体, C 是另一长方体, C 的质量为 m , A 、 B 与斜面间以及与 C 之间皆有摩擦, C 与 A 或 B 间的静摩擦系数均为 μ_0 , 设它们原来都处于静止状态。

(1) 若一手握住 a , 使 A 不动, 另一手握住 b , 逐渐用力将 B 沿倾角 θ 的斜面向上拉。当力增大到能使 B 刚刚开始向上移动时, C 动不动? 若动, 如何动?

(2) 此时 A 和 C 之间的摩擦力为多大?

(3) 若握住 b 使 B 不动, 握住 a 逐渐用力将 A 沿倾角为 θ 的斜面向下拉, 当 A 开始移动时, C 动不动? 若动, 如何动?

(第一届全国中学生物理竞赛试题)

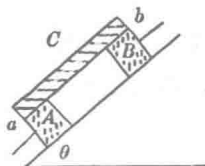


图 1-1-3

分析和解 (1) 设 A 、 B 给 C 的摩擦力分别为 f_A 、 f_B 。用力拉 B , 使 B 刚开始向上运动时, f_B 达到最大值 $f_{Bm} = \frac{1}{2} \mu_0 m g \cos \theta$, f_B 的方向平行斜面向上。下面分两种情况进行讨论:

①若 $mg\sin\theta < f_{Bm}$, C 在 f_{Bm} 作用下有向上滑动趋势, f_A 的方向则平行斜面向下. 物 C 的受力如图 1-1-4 所示, 假设 C 恰好能向上移动.

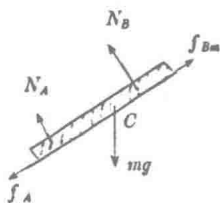


图 1-1-4

f_A 将达到最大值 $f_{Am} = \frac{1}{2} \mu_0 mg \cos\theta$, 而 $f_{Bm} < f_{Am} + mg\sin\theta$, 说明 C 不能克服 A 对 C 的最大静摩擦力 f_{Am} . 假设不成立, 则 C 静止.

②若 $mg\sin\theta > f_{Bm}$, C 有平行斜面向下滑动的趋势, f_A 平行斜面方向向上, C 的受力如图 1-1-5 所示. 由于未拉动 B 时, C 是静止的.

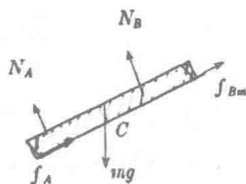


图 1-1-5

$$f_A + f_B = mg\sin\theta, f_B < f_{Bm}, f_A < f_{Am}$$

$\therefore f_{Am} + f_{Bm} > mg\sin\theta$, 说明用力拉 B 时, C 也不能克服 A 给它的最大静摩擦力, 所以 C 静止.

总之, 不管是上述的哪种情况, C 都将保持静止状态.

(2) 由以上分析可得 A 和 C 之间的静摩擦力的大小 $f_A = |mg\sin\theta - \frac{1}{2} \mu_0 mg \cos\theta|$.

(3) 用力拉 A , A 恰好开始滑动, 假设 C 不动, A 给 C 的摩擦力 f_A 达到最大值 $f_{Am} = \frac{1}{2} \mu_0 mg \cos\theta$, 方向平行斜面向下. C 所受的合力 $F_C = f_{Am} + mg\sin\theta - f_B$.

F_C 的方向平行斜面向下, 由于 $f_{Am} > f_B$, $F_C > 0$, 如图 1-1-6 所示. 这与假设 C 不动相矛盾. 所以 C 将向下滑动. B 给

C 的摩擦力达到最大值 f_{Bm} 。又因为逐渐用力拉 A, f_A 是逐渐增大的, 由 $F_C = f_A + m_C g \sin \theta - f_{Bm}$ 可知, 当 f_A 尚未达到最大值 f_{Am} 时, F_C 已大于零, C 相对 B 已有运动, 所以 A、C 保持相对静止, 一起沿斜面向下运动。

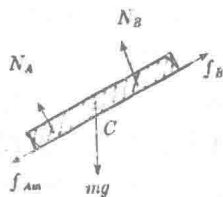


图 1-1-6

例 4 如图 1-1-7 所示, 一根细棒, 上端 A 处用绞链与天花板相连, 下端用绞链与另一细棒相连, 两棒的长度相等。两棒限于图示的竖直平面内运动, 且不计绞链处的摩擦。当在 C 端加一个适当的外力(在纸面内), 可使两棒平衡在图示的位置处, 即两棒间夹角为 90° , 且 C 端正处在 A 端的正下方。

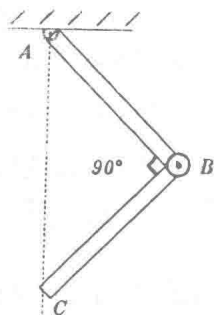


图 1-1-7

(1) 不管两棒质量如何, 此外力只可能在哪个方向范围内? 试说明道理(不要求推算)。

(2) 如果 AB 棒的质量 $m_1 = 1.0$ 千克, BC 棒的质量 $m_2 = 2.0$ 千克, 求此外力的大小和方向。

(第二届全国中学生物理竞赛试题)

分析和解 (1) AB 棒与 BC 棒所受重力方向竖直向下, 对 A 点的力矩方向是顺时针的。两棒整体要能平衡在图示的位置处, C 端加的外力对 A 点的力矩方向必须是逆时针的。此力

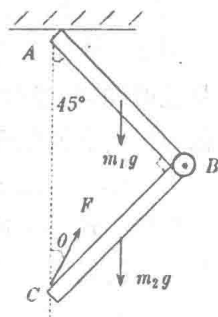


图 1-1-8

不可能指向竖直线 AC 以左, 因为这样对两棒整体来说, 此外力对 A 点的力矩与重力矩同向, 物体不可能平衡. 以 B 点为转轴, BC 棒是平衡的, BC 棒所受合力矩为零. C 端所加外力也不可能指向竖直线以右且在 BC 棒以下. 只有当此外力指向竖直线 (AC) 以右且在 BC 棒以上 (如图 1-1-8 所示), 棒才有可能平衡. 设 C 点所加外力 F 跟 AC 成 θ 角, F 必定在 AC 、 BC 之间, 即 $0^\circ < \theta < 45^\circ$.

(2) 设 $AB=BC=L$, 两棒作为整体, 以 A 点为转动轴, 由合力矩为零可得:

$$(m_1+m_2)g \cdot \frac{L}{2} \cos \frac{\pi}{4} = F \sin \theta \cdot \sqrt{2} L \cdots \cdots ①$$

对 BC 棒, 以 B 点为转轴, 由合力矩为零可得:

$$F \cdot L \sin(\frac{\pi}{4} - \theta) = m_2 g \cdot \frac{L}{2} \cos \frac{\pi}{4} \cdots \cdots ②$$

由①、②两式可解得 $F = \frac{1}{4} g \sqrt{2m_1^2 + 10m_2^2 + 8m_1m_2}$

$$\sin \theta = \frac{m_1 + m_2}{\sqrt{2m_1^2 + 10m_2^2 + 8m_1m_2}}$$

代入数字, 可得:

$$F = 19 \text{ 牛顿}, \theta = \sin^{-1} 0.395.$$

例 5 给你一把很轻的有刻度的直尺, 一个已知重力的可悬挂的物体, 怎样才能粗略地测出一根棉线所能承受的最大拉力? 要求说明理由并画出装置图.

(第二届全国中学生物理竞赛试题)

分析 这是一道比较灵活的题目, 它考查学生运用掌握所学知识的能力, 所涉及的知识面包括力、力矩和力矩平衡等概念. 由于这是设计实验方案的试题, 因而学生提出了各种不同的方法. 比较可取的有下面两种解法.

解法一 利用杠杆原理,装置如图 1-1-9 所示,在直尺的一端系上棉线,棉线的另一端固定,使棉线处于伸直状态,在直尺的另一端挂上已知重物 G 。然后把整个系统放在支点 O

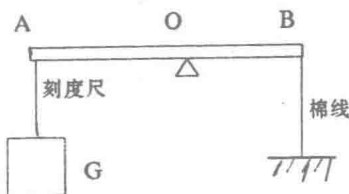


图 1-1-9

上保持水平。开始实验时,使支点靠近重物 G ,然后慢慢使支点向棉线方向移动,直至棉线断时为止。此时,从支点所在位置,就可知道线段 $\overline{AO}$ 与 $\overline{BO}$ 的长度。由于刻度尺很轻,忽略其重力,根据力矩平衡原理,得到棉线的张力 T 为

$$T = \frac{\overline{AO}}{\overline{BO}} G$$

解法二 在棉线的中点 O 固定重物 G ,用手握住棉线的两个端点 A 和 B ,让重物竖直悬挂,两手从刻度尺的中点 O' 慢慢水平地向两边等距离分开,使两悬线间的夹角 θ 从小逐渐增大,且始终保持 O 点在水平直

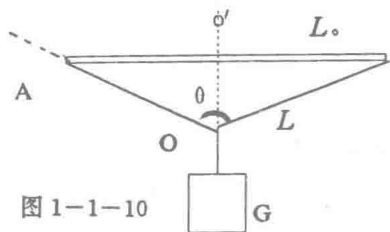


图 1-1-10

尺的中点 O' 的正下方。(如图 1-1-10 所示)还可以同时等量的缩短棉线的长度以增大 θ 角,直到棉线断时为止。棉线的长度 $AO = BO = L$ 可在实验中测出,直尺上的刻度

$AO' = BO' = L_0$ 可直接读出。由共点力的平衡条件可得棉线所能承受的最大拉力 T 是:

$$T = \frac{G}{2 \cos \frac{\theta}{2}} = \frac{G}{2} \cdot \frac{L}{\sqrt{L^2 - L_0^2}}$$

例 6 质量为 m 的小木块,停放在水平地面上,它与地面

的静摩擦系数为 μ 。一人想用最小的作用力 F 使木块移动, 则此最小作用力 F 的大小为多少? (第三届全国中学生物理竞赛试题)

分析 静摩擦力一般作用于两物体相互接触的公切面上, 方向与物体相对滑动趋势的方向相反, 大小范围是: $0 \leq f \leq f_m$ 。只有当静摩擦力达到最大值时, 才能用 $f_m = \mu N$ 。使物体开始运动时静摩擦力将达到最大值。

解 设人作用于木块的力为 F , F 与水平方向成 θ 角。木块受力情况如图 1-1-11 所示。

木块开始移动的条件是

$$F \cos \theta = f_m$$

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

$$f_m = \mu N$$

由以上方程可解得

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

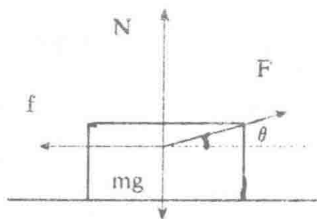


图 1-1-11

当 θ 取某一值时, 上式分母有最大值, 可使 F 有最小值。因为 μ 是已知量, 我们总可以找到某一角度 φ , 使得 $\operatorname{ctg} \varphi = \mu$, 代入上式可得

$$F = \frac{\mu mg}{\cos \theta + \operatorname{ctg} \varphi \sin \theta} = \frac{\mu mg \sin \varphi}{\sin(\varphi + \theta)}$$

当 $\sin(\varphi + \theta) = 1$, 即 $\theta = \frac{\pi}{2} - \varphi$ 时, F 具有最小值, 又因为

$$\operatorname{ctg} \varphi = \mu, \sin \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

$$\therefore F_{\min} = \mu mg \sin \varphi = \frac{\mu mg}{\sqrt{1 + \mu^2}}.$$

例 7 有一长为 L , 重为 W_0 的均匀杆 AB , A 端顶在竖直的粗糙墙壁上, 杆端与墙面间的静摩擦系数为 μ ; B 端用一强度足够而不可伸长的绳悬挂, 绳的另一端固定在墙壁 C 点,