奥林匹克金牌之路丛书

IPhO

通向金牌之路

王淦昌

高中物理竞赛辅导讲座

张大同 编著

- 瞄准竞赛金牌
- 覆盖应考试题
- 辅助课堂练习
- 提高素质能力

陕西师范大学出版社

作者简介

张大同，1948年4月出生于上海，毕业于华东师范大学，现在直属国家教委领导的重点中学－华东师大第二附中任教。兼任上海市物理学会理事，1991年被破格晋升为上海市高级教师，1994年被评为上海市物理特级教师。

张大同长期从事培养物理尖子人才的工作，积累了丰富的经验，取得了优异的成绩，自1991年至今，他辅导的学生总计获得国际中学生物理奥林匹克竞赛金牌5块（22届2块，25届1块，26届1块，27届1块），10人进入过国家集训队；获全国中学生物理竞赛一等奖8人次、二等奖6人次；获上海市物理竞赛一等奖74人次。

ISBN 7-5613-1337-3

9 787561 313374 >

ISBN7-5613-1337-3

G·1003　定价：15.00元

奥林匹克金牌之路丛书

通向金牌之路

——高中物理竞赛辅导讲座

张 大 同　编著

陕西师范大学出版社

图书代号:JF089400

通向金牌之路

——高中物理竞赛辅导讲座

张大同　编著

陕西师范大学出版社出版发行
(西安市陕西师大120信箱　邮政编码710062)
新华书店经销　　陕西省乾县印刷厂印刷
开本787×1092　1/32　印张14　字数351千
1995年12月第1版　　1997年11月第2次印刷
印数:1—25000
ISBN 7—5613—1337—3/G·1003
定价:15.00元

开户行:西安工行小寨分理处　帐号:216—144610—44—815
读者购书、书店添货或发现印刷装订问题,请与发行科联系、调换。
电话:　(029)5251046

序

物理学既是一门重要的基础理论学科，又是一门具有广泛实际应用的科学。21世纪国与国之间的竞争，实质上就是高科技的竞争、人才的竞争，而下一世纪大量优秀的科学技术人才将来源于今日的中学生。因此在中学生中大力发现和培养英才学生，实在是一项非常重要的任务。中国物理学会至今已举办了十二届全国物理竞赛，对中学生学习物理起了一定的推动作用。张大同同志在中学教师的岗位上兢兢业业工作已达20年，为国家培养了一批又一批优秀的中学毕业生。他培养的学生分别在第22届、25届、26届国际奥林匹克物理竞赛中获得四枚金牌，在全国竞赛中获奖为数更多。现在他已是华东师范大学第二附属中学的物理特级教师。他愿意将工作中积累的丰富经验撰写成《通向金牌之路》一书奉献给广大的中学生和中学教师，这无疑是一件大好事。谨书数语以示喜悦和鼓励。

王淦昌

作者的话

物理学是一门基础学科。这里的基础应该有两重含意:一方面,物理知识是学习其它许多现代科学技术的基础;另一方面,学生在学习物理过程中得到的训练和提高的思维能力、动手能力和创造能力,也是学习其它应用科学和专业技术所不可缺少的。一个学生要在物理竞赛中取得好成绩,不但要掌握大量的物理学知识,还必须有很强的解决问题能力和很好的心理素质。因此,培养物理尖子学生的工作实质上是一种典型的素质教育。

自 1984 年至今,中国物理学会已经举办了 12 届全国中学生物理竞赛,参加者累计超过 50 万人。这一活动对全国中学生学习物理,特别是对那些对物理学科有浓厚兴趣的同学,起了一定的推动作用。

我从 1980 年开始从事培养物理尖子学生的工作,经过十多年的探索,摸索出了一套培养优秀学生的行之有效的方法,积累了丰富的第一手资料。为了和广大的教育工作者交流这方面的工作经验,帮助更多的热爱物理学的同学较快地成长,笔者愿将自己十多年工作的心血化成这本《通向金牌之路》,奉献给我的同行和同学们。

本书共有十一讲,基本覆盖了我国物理竞赛大纲的所有内容。每一讲包括三个部分:一、竞赛中涉及的问题;二、典型例题;三、竞赛训练题精选。第一部分着重讲述了有关竞赛中的重点和难点内

容;第二部分通过对典型例题的分析和解析,介绍了一系列重要的解题思路和方法;第三部分除了包含我国已进行的12届全国竞赛预、决赛中所有有价值的题目外,还补充了相当数量的其它训练题。最后一讲专门讨论了物理实验,同学们在学习这一讲时,必须边看边动手。

《通向金牌之路》原是《中学物理教学参考》杂志上的一个同名连载讲座,刊出后受到广大读者的肯定和欢迎。为满足读者需要,我在原讲座的基础上,充实了更多的内容,集结成这本书。

本书从策划、组稿、审稿直至后期加工,《中学物理教学参考》杂志的主编靳峻竹、副主编王鲁盈以及编辑部的姚璋、东延民、张勇等同志做了大量工作。著名物理学家王淦昌先生在百忙中为本书作序并题写了书名。在此谨表示衷心的感谢!

作　者

1996年3月

目　　录

第 1 讲

物体的平衡

一、竞赛中涉及的问题

在中学物理教学大纲中已详细介绍过的合成力的平行四边形法则，共点力的平衡，有固定转动轴的物体的平衡等内容，这里不再一一叙述，只对其它一些在竞赛中经常要用到的知识作一简要的介绍，并举例说明.

（一）摩擦力

当相互接触的二个物体之间有相对运动时，两物体之间可能出现滑动摩擦力，其大小可用 $f_k=N\cdot\mu_k$ 来计算，方向与相对运动的方向相反，当二个相互接触的物体有相对运动趋势时，两物体之间可能出现静摩擦力，其最大值为 $f_s=N\cdot\mu_s$（一般情况下都小于这个最大值），方向与相对运动趋势方向相反，关于摩擦力有以下几个方面的问题要注意：

1. 摩擦力的方向与相对运动方向相反

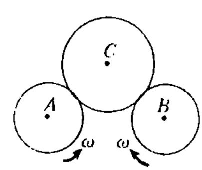


图 1-1

这个问题在有些情况下容易被忽略. 如图 1-1，A、B 是两个很长的圆柱形滚筒，半径为 r. A、B 两筒各自围绕自己的对称轴以角速度 ω 转动，两轴之间的距离为 a. A、B 之间搁着一个较短的圆柱体 C，半径为 $R[R>(a-2r)]$，质量为 m，用一个与 A、B 轴平行的力 F 拉着圆柱体 C，以速度 v_0 做匀速运动，如果 C 和 A、B 筒之间的动摩擦因数都是 μ，问 F 力要多大？在这个问题中，要注意 C 相对于 A、B 的速度 v 不是沿轴线方向的，而是与轴线有一个夹角 θ，试分析如下：

①如图 1-2，$\mathrm{tg}\theta=\omega r/v_0$，$\theta=\mathrm{tg}^{-1}(\frac{\omega r}{v_0})$

②如图 1-3，C 在竖直方向上受力平衡

$$2N\cos\alpha+2f_1\sin\alpha=mg$$

$$2N\cos\alpha+2f_0\sin\theta\cdot\sin\alpha=mg$$

式中　$f_0=N\cdot\mu$，$\alpha=\sin^{-1}\frac{a}{2(R+r)}$

所以

$$N=\frac{mg}{2(\cos\alpha+\mu\cdot\sin\theta\cdot\sin\alpha)}$$

$$f_0=\frac{mg\mu}{2(\cos\alpha+\mu\sin\theta\cdot\sin\alpha)}$$

③$f=2f_0\cos\theta=F$.（图 1-4）

注意，图 1-4 不是一个平面图.

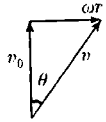


图 1-2

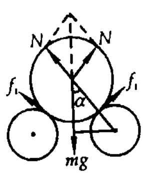


图 1-3

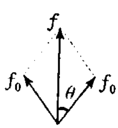


图 1-4

不难看出，对同样的 m、μ、R、r、a 来讲，A、B 转得越快（ω 越大），v_0 越小，F 越小.

2. 摩擦角　如用 f_k 表示滑动摩擦力，N 表示正压力，那么 $\varphi=\mathrm{tg}^{-1}f_k/N$ 叫做滑动摩擦角. 同样如用 f_{sm} 表示最大静摩擦力，那么 $\varphi_0=\mathrm{tg}^{-1}f_{sm}/N$ 叫做静摩擦角. 在两个接触面的性质确定之后，摩擦角的大小是不会变的，这一点有时会给解题带来方便.

如图 1-5，小木块和水平地面之间的动摩擦因数为 μ，用一个与水平方向成多大角度的力 F 拉着小木块做匀速直线运动最省力？

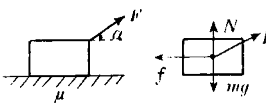


图 1-5

这个问题可以用解析的方法来解，根据合外力为零：

$$\begin{cases}\Sigma F_x=0 & F\cos\alpha=N\mu\\ \Sigma F_y=0 & N+F\sin\alpha=mg\end{cases}$$

消去 N：

$$F\cos\alpha=(mg-F\sin\alpha)\mu$$

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

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

$$=\frac{mg\mu}{\sqrt{1+\mu^2}\sin(\alpha+\beta)}$$

式中 $\beta=\mathrm{tg}^{-1}\dfrac{1}{\mu}$. 当 $\sin(\alpha+\beta)=1$，即 $\alpha+\beta=\dfrac{\pi}{2}$，$\alpha=\mathrm{tg}^{-1}\mu$ 时，F 有极小值 $mg\mu/\sqrt{1+\mu^2}$. 如果用摩擦角的观念来解此题要简单一些，物理思路也要清晰一些. 将摩擦力 f 和地面对木块的弹力 N 合成一个力 F'，摩擦角为 $\varphi=\mathrm{tg}^{-1}\dfrac{f}{N}=\mathrm{tg}^{-1}\mu$，这样木块受到三个力：重力 G，桌面对木块的作用力 F' 和拉力 F，如图 1-6. 其中 G 的大小、方向都确定，F' 的方向确定但大小不定，而 F 的方向大小都不定. 作出力的三角形，很容易看出当 F 垂直于 F' 时 F 最小，即当 F 与水平方向成 $\varphi=\mathrm{tg}^{-1}\mu$ 时最小.

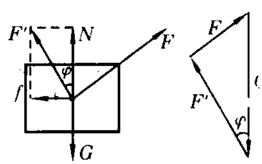


图 1-6

3. *摩擦力作用的时间*　因为只有当二个物体之间有相对运动或相对运动趋势时，才有摩擦力，所以要注意摩擦力作用的时间. 如一个小球竖直落下与一块在水平方向上运动的木块碰撞后，向斜上方弹出(图 1-7)，假设碰撞时间为 Δt，但可能小球不需要 Δt 时间，在水平方向上便已经具有了与木块相同的速度，则在剩下的时间内小球和木块尽管还是接触的，但互相之间都已没有摩擦力.

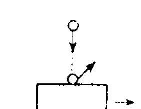


图 1-7

（二）力的合成和分解

1. *多边形法则* 力的合成除了可用平行四边形法则外还可以用多边形法则.在多个共点力合成时,可以把各个力依次首尾相接,最后从第一个力的始端到最末一个力的终端的联线就可以表示合力(图 1-8).

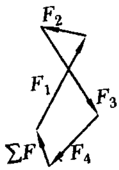


图 1-8

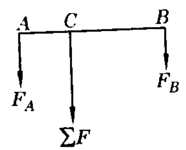


图 1-9

2. *平行力的合成和分解* 同向平行力的合成:两个平行力 F_A 和 F_B 相距 AB,则合力 ΣF 的大小为 F_A+F_B,作用点 C 满足 $F_A \cdot AC=F_B \cdot BC$ 的关系(图 1-9).

反向平行力的合成:二个大小不同的反向平行力 F_A 和 $F_B(F_A>F_B)$相距 AB,则合力 ΣF 的大小为 F_A-F_B,与 F_A 同向,作用点 C 满足 $F_A \cdot AC=F_B \cdot BC$ 的关系(图 1-10).

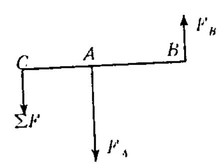


图 1-10

（三）重心(或质心)的求法

求重心的常用方法有分隔法与负质量法两种.如图 1-11 的棒锤,假设匀质球 A 质量为 M、半径为 R;匀质棒 B 质量为 m、长度为 l.求它的重心.第一种方法是将它分隔成球和棒两部分,然后用同向平行力合成的方法找出其重心 C. C 在 AB 联线上,且

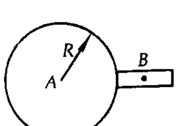


图 1-11

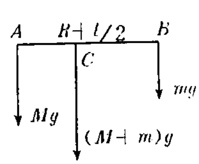


图 1-12

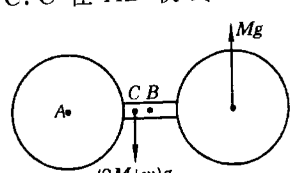


图 1-13

$AC \cdot M=BC \cdot m$(图 1-12),第二种方法是将棒锤看成一个对称的

"哑铃"和一个质量为$-M'$的球A'的合成(图 1-13),用反向平行力合成的方法找出其重心C,C在AB联线上,且$BC\cdot(2M+m)=A'C\cdot M$.不难看出两种方法的结果都是$BC=\dfrac{M(R+\frac{l}{2})}{M+m}$.

(四) 一般刚体的平衡

受共点力作用的物体,其平衡的充分必要条件是合外力等于零($\Sigma\vec{F}=0$).有固定转轴的物体平衡的充分必要条件是合力矩等于零($\Sigma M=0$).而对一般刚体,则要把$\Sigma\vec{F}=0$和$\Sigma M=0$合起来才是它平衡的充分必要条件,其中任一条,只是它平衡的必要条件.因此,在解一般刚体平衡的问题时,可以列出三个联列方程:

$\Sigma F_x=0$,$\Sigma F_y=0$和$\Sigma M=0$.这里需要说明的是:

(1)x、y坐标的方向可任意选取,但必须互相垂直.

(2)$\Sigma M=0$方程的转轴可根据需要任意选取,一般原则是使尽量多的力的力臂为零.

(3)$\Sigma M=0$方程只能列一个,取其它转轴再次列出是无效的.

根据力的平衡的要求,如果一个刚体受到三个非平行力的作用,那么这三个力必须共点,否则不可能平衡.如图 1-14 中靠在光滑竖直墙面上的梯子,假如将地面对它的弹力N_2和摩擦力f合成一个地面对它的作用力F,那它就是一个受三个力(F、G、N_1)而平衡的刚体.那么F的作用线必然通过N_1和G作用线的交点.

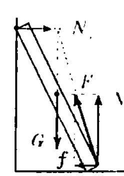
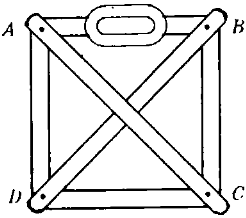


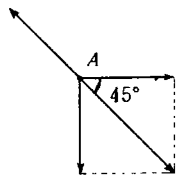
图 1-14

作为一种特殊情况,如果一根杆只受到两个力的作用而平衡(二力杆),那么这两个力的方向一定是沿杆的.

如图 1-15(a)所示的由五根轻杆和一个拉力器构成的正方形框架,A、B、C、D四处由铰链连接,各杆可以自由转动.AC杆和BD杆交会处不连接.如果调节拉力器,使它产生的拉力为T.那么分析A点,根据二力杆受力方向一定沿杆,可知A点的受力情况如图 1-15(b)所示.不难看出,AD杆受的是拉力,大小为T;AC



(a)



(b)

图 1-15

杆受的是压力，大小为 $\sqrt{2}T$. 再分析 D 点，可知 DC 杆受的也是拉力，大小为 T；BD 杆受的也是压力，大小为 $\sqrt{2}T$.

（五）平衡的种类和稳度

1. 平衡的种类　物体的平衡可分为三种

(1)稳定平衡　当物体稍稍偏离平衡位置时，有一个力或力矩使之回到平衡位置，这样的平衡叫稳定平衡. 处于稳定平衡的物体偏离平衡位置时一般是势能增加.

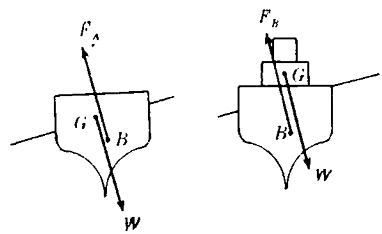
(2)不稳定平衡　当物体稍稍偏离平衡位置时，有一个力或力矩使它的偏离继续增大，这样的平衡叫不稳定平衡. 处于不稳定平衡的物体偏离平衡位置时一般是势能减小.

(3)随遇平衡　当物体稍稍偏离平衡位置时，它所受的力或力矩不发生变化，它能在新的位置上再次平衡，这样的平衡叫随遇平衡. 处于随遇平衡的物体偏离平衡位置时势能一般不变.

2. 浮体平衡的稳定性　浮在流体表面的浮体，所受浮力与重力大小相等、方向相反，处于平衡状态. 浮体平衡的稳定性，将因所受扰动方式的不同而异. 显然，浮体对铅垂方向的扰动，其平衡是稳定的. 对水平方向的扰动，其平衡是随遇的.

浮体对于过质心的水平对称轴的旋转扰动，其平衡的稳定性视具体情况而定. 以浮于水面的船体为例：当船体向右倾斜（即船体绕过质心的水平对称轴转动一小角）时，其浮心 B 将向右偏离，

浮力 F_B 与重力 W 构成一对力偶，力偶矩将促使船体恢复到原来的方位，如图 1-16(a)所示. 可见船体对这种扰动，其平衡是稳定的. 但如果船体的重心 G 太高，船体倾斜所造成的力偶矩也可能促使船体倾斜加剧，这时船体的平衡就是不稳定的，如图 1-16(b)所示.



(a) (b)

图 1-16

3. *稳度* 物体稳定的程度. 一般来说，使一个物体的平衡遭到破坏所需要的能量越多，这个平衡的稳度就越高.

二、典型例题

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 F 与竖直方向成的角度 $\alpha=53°$时，F 至少为 10 牛才能维持物体静止(图 1-17). 问：

(1)在 α 不变的情况下，需要多大的力 F 才能使物体沿墙面向上做匀速运动?

(2)在 μ 已确定的情况下，要使物体向上做匀速运动，α 角有什么限制?

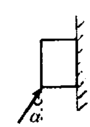


图 1-17

分析 本题中物体的静止和向上匀速运动都属于平衡状态. 前一状态由于是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，将产生自锁现象：摩擦力随着 F 同步增大，因此不论 F 多么大，也不能使物体向上运动.

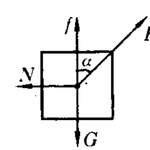


图 1-18

解 (1)物体静止,如图 1-18 所示.

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

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

解得 $G=8(\mathrm{N})$

物体向上匀速运动(图 1-19)

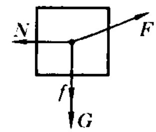


图 1-19

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

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

解得

$$F=\frac{G}{\cos\alpha-\mu\sin\alpha}=20(\mathrm{N})$$

(2)由 F 的表达式知:当 $\cos\alpha-\mu\sin\alpha=0$ 即$\alpha=\mathrm{ctg}^{-1}\mu$时 F 趋向无穷大,即物体不可能向上运动.

用摩擦角的观念作出力的三角形图,也很容易得出这个结论:物体受三个作用力:重力 G、推力 F 和墙的作用力 F',β 就是摩擦角,如图 1-20. 很明显,如果 α 角大于 $\mathrm{ctg}^{-1}\mu$,即大于$(\frac{\pi}{2}-\beta)$角,那就无法构成力的三角形.

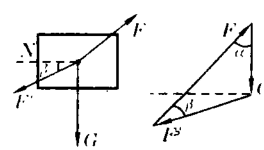


图 1-20

例 2 一根长度为 l 的杆 AB 重为 G,B 端压在粗糙的地面上,A 端用一根足够牢的轻绳斜拉在地上,绳与杆的夹角为 θ(图 1-21). 在离 B 端 $a\cdot l$ 处有一个水平作用力 F. 问:

(1)杆 B 端与地面之间的动摩擦因数至少为多大,才能维持杆静止?

(2)如果 B 端与地面之间的动摩擦因数为 μ_0,那么在 AB 上有一点 D,在 AD 之间不论施加上多大的水平力 F,都不会破坏 AB 的平衡,求 D 点的位置.

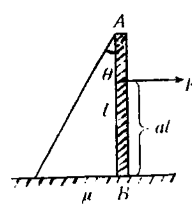


图 1-21

分析 这是一个一般刚体平衡的问题. 形成第二问结果的原因是:当 F 的作用点高于某一高度时,杆 B 端受地面的最大静摩擦力 f 与 F 力同步增大,因此形成“自锁”,如图 1-22.

解(1) $\begin{cases} \Sigma F_x=0 & T\cdot\cos\theta+G=N \\ \Sigma F_y=0 & T\sin\theta+f=F \\ \Sigma M_B=0 & Tl\sin\theta=alF \end{cases}$

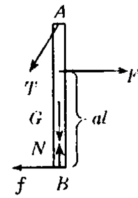


图 1-22

因为是求最小的摩擦系数，所以 $f=N\cdot\mu$，可解得

$$\mu=\frac{F(1-a)\sin\theta}{aF\cos\theta+G\sin\theta}$$

(2)设 D 点离 B 点的距离是 xl，通过和(1)相同的方程，可解得：

$$F=\frac{G\mu_0}{1-x-x\mu_0\mathrm{ctg}\theta}.$$

F 的表达式分子是个定值，当分母

$$1-x-x\mu_0\mathrm{ctg}\theta=0$$

即

$$x=\frac{1}{1+\mu_0\mathrm{ctg}\theta}$$

时 $F\to\infty$，即无论多大的力 F，也不会破坏 AB 杆的平衡.

用摩擦角的观念，也可以用图解的方法得到相同的结果. 因为 D 点以上可以作用任意大的力 F(图 1-23)，因此此种情况下 F 杆的自重 G 可以忽略不计. 这样一来杆就只受三个力：绳的拉力 T、水平力 F 和地面的作用力 F'，α 就是摩擦角.

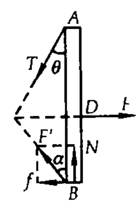


图 1-23

$$(1-x)l\mathrm{tg}\theta=xl\mathrm{tg}\alpha=xl\mu_0$$

$$x=\frac{l\mathrm{tg}\theta}{l\mu_0+l\mathrm{tg}\theta}=\frac{1}{1+\mu_0\mathrm{ctg}\theta}$$

例 3 一个质量 $m=20\mathrm{kg}$ 的钢件，架在两根完全相同的平行长直圆柱上，如图 1-24 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 $r=0.025\mathrm{m}$，钢件与圆柱间的动摩擦因数 $\mu=0.20$. 两圆柱各绕自己的轴线作转向相反的转动，角速度 $\omega=40\mathrm{rad/s}$. 若沿平行于柱轴的方向施力推着钢件作速度为 $v_0=0.050\mathrm{m/s}$ 的匀速运动，推

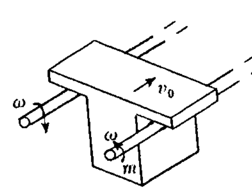


图 1-24