

物理

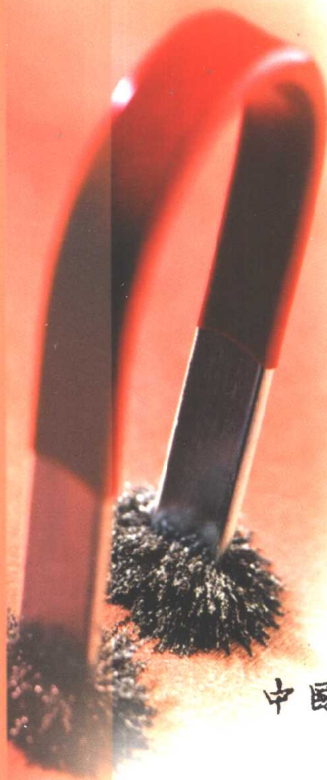
金牌奥校

奥林匹克教程

束炳如 王溢然 主编

高中

WULIAOLINPIKEJIAOCHENG



中国少年儿童出版社

金牌奥校

高中

物理奥林匹克教程

束炳如 王溢然 主编

中国少年儿童出版社

WULIAOLINPIKE JIAOCHENG

图书在版编目 (CIP) 数据

物理奥林匹克教程·高中年级/《金牌奥校》编写组编.
- 北京: 中国少年儿童出版社, 2000.12

(金牌奥校)

ISBN 7-5007-5519-8

I. 物… II. 金… III. 物理课-高中-教学参考资料
IV. G634.83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 78993 号

物理奥林匹克教程·高中

中国少年儿童出版社 出版发行

责任编辑: 余俊雄

美术编辑: 徐欣

社址: 北京东四十二条 21 号

邮政编码: 100708

印刷: 北京泽明印刷有限责任公司

经销: 新华书店

850 × 1168 1/32 31.5 印张 758 千字

2001 年 3 月北京第 1 版 2001 年 3 月北京第 1 次印刷

印数: 1—20000 册

ISBN 7-5007-5519-8/G·4311

(全二册) 总定价: 47.80 元 本册定价: 32.00 元

凡有印装问题, 可向印装厂家调换

编写说明

推进素质教育，培养创新能力，是当前我国教育的一个重大方向，并受到教育界的普遍重视和社会的广泛关注。多年的学科竞赛实践表明，合理地开展学科竞赛活动，是促进学校教育改革，提高学生学科素质的积极因素。

为了配合素质教育的形势需要，进一步推动学科竞赛活动的开展，我们依据统编教材，并按照我国学科竞赛大纲的规定，编写了这套《金牌奥校》丛书。希望能对中学生开阔视野、启迪思维、发展智力、提高能力有所帮助，从而促进从知识型向能力型的转变。同时也希望能为广大同行在对学生实施素质教育的过程中提供一些参考。

《金牌奥校》丛书是数学、物理、化学等专业学会专家学者及奥校教练员、部分省市教研员，在认真分析了中学生应具备的各学科基础知识和基本技能的前提下，结合奥校智能训练实际情况编写而成的，本丛书有以下二个特色：

一、面向全体中学生

本丛书覆盖了中学的全部基础知识、基本方法、基本技能和学科思想。取材源于统编教材，但又不局限于课本，坚持“强化基础，适当提高，突出重点”的原则，对课本内容作了必要概括、合理变通和适应拓广。因此该套丛书可作为中高考复习资料。

AMAA57/03

二、照顾有兴趣特长的中学生

本套丛书设立了专题研究，对竞赛中的常见方法在理论和实践的基础上作了综合性研究，可培养深广的学科思维能力、学科思想方法和学科应用意识。因此本套丛书又可作为竞赛学习、培训的资料和教材。

本套丛书按年级和学科编写，并包括以下几个部分：奥林匹克教程、奥林匹克集训题精编、奥林匹克题典、奥林匹克模拟试卷。内容由易到难，由简入繁，讲练结合，编排科学合理。

本丛书是在统一规划下，根据详细的计划界定而由全体编委分工编写的。它是教学和科研的成果，是集体智慧的结晶。在编写和统稿的过程中，我们虽然注意博采众长，并力求有自己的风格，但由于水平有限，缺点和错误难免，诚恳地希望读者能提供宝贵意见和建议。

编 者

目 录

第 1 章	力 物体的平衡	(1)
第 2 章	直线运动	(58)
第 3 章	牛顿运动定律	(107)
第 4 章	曲线运动 万有引力	(177)
第 5 章	机械能	(231)
第 6 章	动量	(297)
第 7 章	机械振动	(360)
第 8 章	机械波	(391)
第 9 章	分子动理论 气体的性质	(430)
第 10 章	静电场	(501)
第 11 章	恒定电流	(603)
第 12 章	磁场	(667)
第 13 章	电磁感应	(735)
第 14 章	交变电流	(817)
第 15 章	电磁振荡和电磁波	(880)
第 16 章	光	(906)
第 17 章	原子和原子核	(960)

第1章 力 物体的平衡

一、内容提要

1. 力

力的概念 力是物体对物体的作用.

力的三要素 大小、方向、作用点.

力的三特性 物质性(力不能脱离物体而独立存在)、相互性(力的作用是相互的)、矢量性(力是矢量).

力的作用效果 使物体发生形变和产生加速度.

2. 力学中常见的三种力的比较

力的名称	力的产生	力的方向	力的大小
重力	由于地球的吸引而使物体所受到的力	竖直向下	$G = mg$
弹力	物体发生弹性形变时所产生的力	与作用在物体上使物体发生形变的外力方向相反(弹力垂直于接触面)	对弹簧 $F = kx$
摩擦力	由于物体表面不光滑相互啮合而产生的力	与物体的相对运动或相对运动趋势的方向相反(摩擦力沿接触面的切向)	$f_{\text{滑}} = \mu N$ $0 \leq f_{\text{静}} \leq f_m$

说明:

(1)不考虑 g 的变化时,重力可看作恒力,且与作用在物体上

的其他力及物体的运动状态无关.

(2)产生弹力的两物体必须直接接触,且在接触处有相互挤压与拉引的作用.一般情况下弹力的大小需结合物体的运动状态确定.

(3)产生摩擦力的两物体必须直接接触、互相压紧,且有相对运动(或相对运动的趋势).相对滑动后的摩擦力恒为 $f = \mu N$, 静摩擦力的大小一般需结合物体的运动状态确定.最大静摩擦力与正压力成正比,即 $f_{\max} = \mu_0 N$, 一般 $\mu_0 > \mu$.

3. 力的合成与分解

基本方法 平行四边形法则.

两个共点力的合力(图 1-1)

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \alpha},$$

$$\tan \theta = \frac{F_2 \sin \alpha}{F_1 + F_2 \cos \alpha}.$$

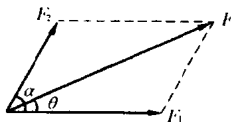


图 1-1

说明:

(1)合力与分力都是一种等效的替代关系,在同一幅平行四边形力图中,各边长按同一比例表示各个力的大小.

(2)两个共点力的合力变化范围

$$|F_1 - F_2| \leq F \leq F_1 + F_2.$$

(3)分力的方向需根据力的作用效果确定.在一定的已知条件下,分力才有确定的值.

4. 力矩

作用 反映力对物体的转动效果.

大小 $M = FL$. (单位: $\text{N} \cdot \text{m}$)

正负 通常规定使物体逆时针向转动的力矩为正,使物体顺时针向转动的力矩为负.

合力矩 物体受几个力共同作用时,这几个力对某一转动轴的力矩之和,等于它们的合力对同一转动轴的力矩.即当

$$F = F_1 + F_2 + \cdots + F_n. (\text{矢量和})$$

则 $M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n. (\text{代数和})$

5. 物体的平衡条件

平衡 物体处于静止或匀速直线运动状态或匀速转动状态,称为平衡状态.

平衡条件

(1)共点力作用下物体的平衡条件 合力等于零,即

$$F_{\text{合}} = F_1 + F_2 + \cdots + F_n = 0. (\text{矢量和})$$

或 $\sum F = 0.$

(2)有固定转动轴的物体的平衡条件 合力矩等于零,即

$$M_{\text{合}} = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = 0. (\text{代数和})$$

或 $\sum M = 0.$

也可以表述为使物体顺时针向转动的力矩之和等于使物体逆时针向转动的力矩之和.即

$$\sum M_{\text{顺}} = \sum M_{\text{逆}}.$$

解题步骤

(1)选对象 根据题意,选取某平衡体作为研究对象.通常还需将它从所处环境中隔离出来.

(2)画力图 对研究对象进行受力分析,并按实际各个力的作用画出受力图.

(3)取坐标(或取矩心) 对于受共点力作用的物体,往往需规定一个正方向或选取一个正交坐标系.对于有固定转动轴的物体,需选取一个合适的力矩中心,通常可选在已知的转轴上或未知力较集中的点上.

(4)列方程 根据共点力平衡条件和力矩平衡条件分别列出方程

$$\sum F = 0, \sum M = 0.$$

说明:物体平衡时,在任何方向上的合力一定都等于零,对任何转动轴的合力矩一定也都等于零.因此,物体平衡时,一定同时满足 $\sum F = 0$ 和 $\sum M = 0$ 两个条件.具体解题中,可根据需要灵活选用某个条件列出方程.

二、解题指导

例1 如图1-2所示,两木块的质量分别为 m_1 和 m_2 ,两轻质弹簧的劲度系数分别为 k_1 和 k_2 ,上面木块压在上面的弹簧上(但不拴接),整个系统处于平衡状态.现缓缓向上提上面的木块,直到它刚离开上面弹簧,在这过程中下面木块移动的距离为 ()

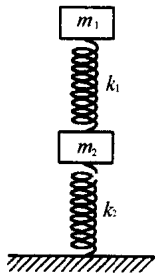


图 1-2

A. $\frac{m_1 g}{k_1}$.

B. $\frac{m_2 g}{k_1}$.

C. $\frac{m_1 g}{k_2}$.

D. $\frac{m_2 g}{k_2}$.

【分析】

原来下面弹簧中的弹力 $f_2 = (m_1 + m_2)g$,下面弹簧的压缩量

$$x_2 = \frac{f_2}{k_2} = \frac{(m_1 + m_2)g}{k_2}.$$

缓慢上提上面的木块,当它离开上面弹簧时,下面弹簧中的弹力 $f' = m_2 g$,相应的压缩量变为

$$x_2' = \frac{f_2'}{k_2} = \frac{m_2 g}{k_2}.$$

所以,下面木块向上移动的距离为

$$\Delta x = x_2 - x_2' = \frac{m_1 g}{k_2}.$$

【答】 C.

例2 在粗糙水平面上有一个三角形木块 abc , 在它的两个粗糙斜面上分别放两个质量 m_1 和 m_2 的木块, $m_1 > m_2$, 如图 1-3 所示. 已知三角形木块和两物体都是静止的, 则粗糙水平面对三角形木块 ()

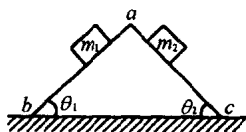


图 1-3

- A. 有摩擦力的作用, 摩擦力的方向水平向右.
- B. 有摩擦力的作用, 摩擦力的方向水平向左.
- C. 有摩擦力的作用, 但摩擦力的方向不能确定, 因 m_1 、 m_2 、 θ_1 、 θ_2 的数值未给出.
- D. 以上结论都不对.

【分析】

由于三角形木块和斜面上的两木块都静止, 可以把它们看成一个整体, 如图 1-4 所示. 在竖直方向受到重力 $(m_1 + m_2 + M)g$ 和支持力 N 作用, 水平方向无任何滑动趋势, 因此不受地面摩擦力的作用.

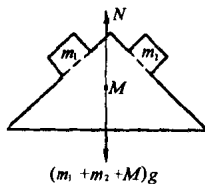


图 1-4

【答】 D.

【说明】

(1) 为了判断三角形木块是否有沿水平方向滑动的趋势, 可先假设它不动 (或用手按住), 然后比较两木块对它压力的水平分量和摩擦力的水平分量, 如图 1-5 所示.

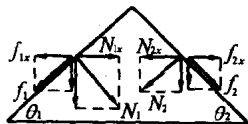


图 1-5

$$N_{1x} = N_1 \sin \theta_1 = m_1 g \cos \theta_1 \sin \theta_1,$$

$$N_{2x} = N_2 \sin \theta_2 = m_2 g \cos \theta_2 \sin \theta_2,$$

$$f_{1x} = f_1 \cos \theta_1 = m_1 g \sin \theta_1 \cos \theta_1,$$

$$f_{2x} = f_2 \cos \theta_2 = m_2 g \sin \theta_2 \cos \theta_2.$$

其中

$$N_{1x} = f_{1x}, N_{2x} = f_{2x}.$$

由于三角形木块在水平方向的合力为零,无滑动趋势,所以它也不会受到地面摩擦力的作用。

(2) 由于静止与匀速运动的力学条件相同 ($\sum F = 0$), 它们具有等价性, 因此当斜面上的两个木块沿斜面匀速下滑时, 同样可看成一个整体, 三角形木块同样不会受到地面的摩擦力作用。

例3 两个共点力的合力为 F , 如果它们之间的夹角 θ 固定不变, 而其中一个力增大, 则 ()

- A. 合力 F 一定增大.
- B. 合力 F 的大小可能不变.
- C. 合力 F 可能增大, 也可能减小.
- D. 当 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时, 合力 F 一定减小.

【分析】

如图 1-6 所示, 设两共点力 F_a 、 F_b 之间的夹角 $\theta > 90^\circ$, 合力为 F . 现保持 F_a 不变, F_b 不断增大, 其合力依次为 F_1 、 F_2 、 $\dots$. 由图可知, 在这个变化过程中其合力可以小于 F 、等于 F 或大于 F .

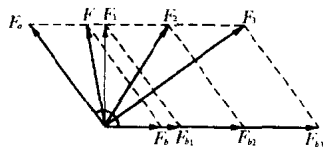


图 1-6

当 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时, 同理由力的平行四边形可知, 一个力 (F_b) 增大时, 合力一定增大.

【答】 B、C.

例4 在圆弧形的杆子上用两根细绳 AO 、 BO 系住一个重 G 的物体,当保持 AO 与竖直方向间的夹角 α 不变,使 BO 与竖直方向间夹角 θ 从 0° 逐渐增大到 90° 的过程中,则 AO 、 BO 绳中的张力 T_a 、 T_b 的变化情况是 ()

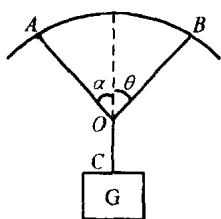


图 1-7

- A. T_a 、 T_b 都变小.
- B. T_a 变小, T_b 变大.
- C. 当 $\alpha + \theta < 90^\circ$ 时, T_a 变大, T_b 变小.
- D. 当 $\alpha + \theta > 90^\circ$ 时, T_a 、 T_b 都变大.

【分析】

以 O 点为研究对象,它受到三个共点力作用:绳子 OC 中的张力 $F = G$, AO 、 BO 中的张力 T_a 、 T_b . 平衡时,这三个力矢量首尾相接可构成一封闭三角形,如图 1-8 所示.

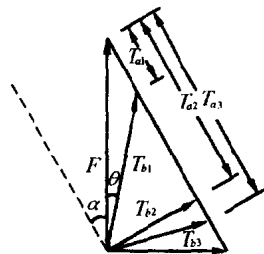


图 1-8

由此可见,当 θ 由 0° 增大至 90° 的过程中:

在 $\alpha + \theta < 90^\circ$ 时,随着 θ 的增大, T_1 增大, T_2 减小;

在 $\alpha + \theta = 90^\circ$ 时, T_2 有最小值;

在 $\alpha + \theta > 90^\circ$ 时,随着 θ 的增大, T_1 、 T_2 都增大.

【答】 C、D.

【说明】

题中三个力有这样的特点:

F 的大小、方向恒定, T_1 的方向角不变,仅 T_2 的方向角发生变化. 适合于用力三角形法判断某个力大小变化的问题,往往有这

样的特点.

例 5 一均匀的直角三角形木板 ABC , 可绕垂直于纸面通过 C 点的水平轴转动, 如图 1-9 所示. 现用一始终沿直角边 AB 的作用于 A 的力 F , 使 BC 边缓慢地由水平位置转至竖直位置. 在此过程中, 力 F 的大小随 α 角变化的图线是

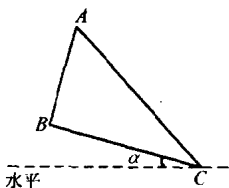


图 1-9

()

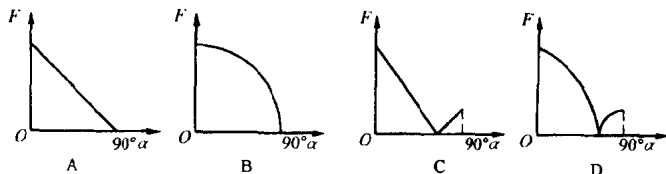


图 1-10

【分析】

缓慢转动中, 力 F 与三角板重力 mg 对转轴 C 的力矩平衡. 设三角板重心位置为 O 点, CO 与 CB 间夹角为 β (图 1-11). 由力矩平衡条件

$$F \cdot BC = mg \cdot CO \cdot \cos(\alpha + \beta),$$

得

$$F = \frac{CO}{BC} mg \cos(\alpha + \beta).$$

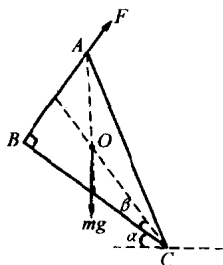


图 1-11

可见, 力 F 按余弦规律变化.

当 $\alpha + \beta < \frac{\pi}{2}$ 时, F 随转角 α 的增大而减小.

当 $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$ 时, $F = 0$.

当 $\alpha + \beta > \frac{\pi}{2}$ 时, $F < 0$, 表示 F 应反向, 其大小则随 α 的增大而增大.

题中要求仅考虑 F 的大小与转角 α 的关系, 据上述分析, 只有 D 图正确.

【答】 D.

例 6 如图 1-12 所示, 小球夹在竖直墙和装有铰链的薄板 OA 之间, 若不计摩擦, 则在薄板和墙之间的夹角 α 逐渐增大至 90° 的过程中 ()

- A. 小球施于薄板的压力增大.
- B. 小球施于墙的压力减小.
- C. 小球施于薄板的压力对转轴 O 的力矩增大.
- D. 小球施于薄板的压力对转轴 O 的力矩减小.

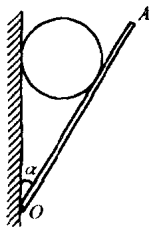


图 1-12

【分析】

考虑小球对板和墙压力的变化情况时, 需以小球作研究对象, 它受到三个力作用: 重力 G 、大小与方向均恒定; 竖直墙的弹力 N_1 , 方向保持水平向右不变; 板的弹力 N_2 , 方向垂直板面, 小球的受力情况如图 1-13(a) 所示.

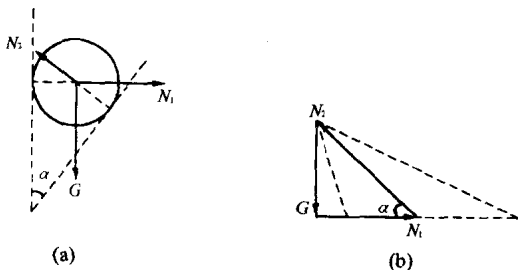


图 1-13

随着板与竖直方向间夹角 α 的变化, N_2 在空间的方向也发生变化, 但 N_1 的方向线不变, G 的大小, 方向一定, 这三个力构成的力三角形如图 1-13(b) 所示. 可见, 随着 α 角的增大, N_1 、 N_2 均减小, 即小球对墙与板的压力均减小.

考虑小球施于板的压力对轴 O 的力矩变化时, 应取薄板为研究对象. 设压力 N' 的施力点为 B , 其力臂 $L = OB$, 由几何关系知

$$L = R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

式中 R 为小球半径(图 1-14).

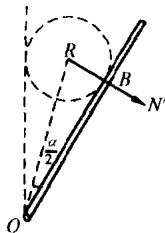


图 1-14

当 α 角增大时, $\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$ 减小, 力臂 L 减小, 又由上面的分析知, 压力 $N' (= N)$ 也减小, 所以压力对轴 O 的力矩也减小.

【答】 B、D.

例 7 如图 1-15 所示, 两个质量均为 m 的相同小球 A 和 B, 放在斜面上用一竖直挡板挡住. 各接触处均光滑, 则下列各说法中正确的是 ()

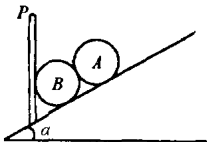


图 1-15

- A. 两球对斜面的压力均为 $mg \cos \alpha$.
- B. 斜面对 B 的弹力一定大于 mg .
- C. 挡板对 B 的弹力为 $mg \sin \alpha$.
- D. B 球对 A 球的弹力为 $mg \sin \alpha$.

【分析】

A 球受到三个力: 重力 mg 、斜面支持力 N_A 、B 对 A 的作用力 F_{BA} .

B 球受到四个力: 重力 mg 、斜面支持力 N_B 、A 对 B 的作用力 F_{AB} 、挡板弹力 N .

由 A 球的力平衡条件知: $N_A = mg \cos \alpha$.

对 B 球, 由于挡板弹力 N_P 的作用, 会增大对斜面的压力, 因此 $N_B > mg \cos \alpha$, 即 $N_B \neq N_A$, A 错.

由于斜面光滑, 因此

$$F_{AB} = F_{BA} = mg \sin \alpha.$$

D 正确.

斜面对 B 球弹力的竖直分力得平衡重力和 F_{AB} 的竖直分力, 即

$$N_B \cos \alpha = mg + F_{AB} \sin \alpha,$$

因此

$$N_B > mg. \text{ B 正确.}$$

挡板对 B 球弹力的沿斜面方向分力

$$N_P \cos \alpha = mg \sin \alpha + F_{AB} = 2mg \sin \alpha$$

则

$$N_P = 2mg \tan \alpha, \text{ C 错.}$$

【答】 B、D.

例 8 有一个直角支架 AOB, AO 水平放置, 表面粗糙, OB 竖直向下, 表面光滑. AO 上套有小环 P, OB 上套有小环 Q, 两球质量均为 m , 两环间由一根质量可忽略、不可伸长的细绳相连, 并在某一位置平衡(如图 1-17). 现将 P 环向左移一小段距离, 两环再次达到平衡, 那么将移动后的平衡状态和原来的平衡状态比较, AO 杆对 P 环的支持力 N 和细绳上的拉力 T 的变化情况是

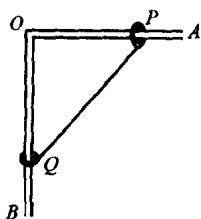


图 1-17

- A. N 不变, T 变大. B. N 不变, T 变小.

()