

青少年自学丛书

物理分册

(高中部分)

青少年自学丛书编委会 编



贵州科技出版社

青少年自学丛书

物 理 分 册

(高中部分)

青少年自学丛书编委会 编

贵州科技出版社

责任编辑 张相匀

封面设计 聂文华

技术设计 夏 冬

青少年自学丛书

物 理 分 册

(高中部分)

青少年自学丛书编委会 编

贵州科技出版社出版发行

(贵阳市中华北路289号)

湖南省临澧县印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 14.75印张 350千字

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

印数 1—10000册

ISBN7-80584-081-4

G·005 定价: 5.20元

作者名单

主 编	潘世祥			
副主编	谷克昌	卢慕陶	冯梦夫	廖洪发
	黄玉典	石树圣	程流锁	卢宗长
编 委	励肇庭	郑有年	卢成喜	刘伟魁
	余子葭	徐荣亮	刘大海	冉小友
	赵德林	邓祖永	李清香	杜国仁
	杨正吾	李秀钥	潘传伦	胡永跃
	朱登海	熊光哲	彭志新	杨兆录
	麦治中	何治平	脱炳进	孟来斌
	屈湘林	贺光荣	童汉武	苏锦燕
	马延涛	刘粉铃	魏茂辉	任泽树
	谢兰宝	宛炳生	张 钦	陈明日
	朱和荣	孙 生	郭忠社	迟景唐
	陆启美	牟彬善	郭星全	李德兴
	刘世钧	李存辉	曹保林	谢华祝
	李昌明	戴志荣	周敬梓	余再明
	吴正军	蒋铁民	余立平	赵振绪
	赵涤新	宋龙军	马振亚	马守庚
				田仲男
				许家田
				陆世华

前 言

今天的青少年将是跨世纪的建设人才，为了适应我国社会、经济、科技发展的需要，迎接21世纪的挑战，我们应该在培养青少年能力方面下功夫，作文章。社会各界和家长们要想办法激发青少年的求知欲望，发挥青少年的智慧潜能，培养青少年自己发现、提出、分析、解决问题的能力，使之不断步入更新更高的科学殿堂。《青少年自学丛书》正是在这一基础上问世的。

《丛书》每一分册紧扣现行初中、高中课程设置及其内容，每章按知识提要、例题解析、基础测试、能力测试四部分编写，全套书重在能力培养，富于启发性。知识提要言简意赅，总结方法；例题解析选题准确，重在分析；基础测试重在基础，注重概念；能力测试题目灵活，具有针对性。

本《丛书》既能帮助老师的“教”（知识提要、例题解析），又能帮助青少年的“学”（基础测试、能力测试）。既可作为新授课时的同步训练，也适合于毕业会考前复习和高考训练，是1992年高考复习的最佳用书之一。

本《丛书》编写既兼顾必修，又侧重选修，也可以作为教学改革省份师生参考读物的首选用书。

《丛书》作者都工作在教学第一线，既有经验丰富的特、高、中级教师，又有初露头角的教坛新秀，且分布在祖国的东西南北，《丛书》容百家之长，重点突出，编排得法，是广大青少年自学的良师益友，也是有关教师的好参考用书。

编 者

1991年8月

目 录

第一章	力 物体的平衡.....	(1)
第二章	直线运动.....	(20)
第三章	牛顿运动定律.....	(29)
第四章	曲线运动 万有引力.....	(41)
第五章	机械能.....	(54)
第六章	动量.....	(66)
第七章	振动和波.....	(76)
第八章	力学复习.....	(91)
第九章	热学.....	(100)
第十章	电场.....	(113)
第十一章	稳恒电流.....	(127)
第十二章	磁场.....	(145)
第十三章	电磁感应.....	(157)
第十四章	交流电 电磁振荡 电子技术.....	(173)
第十五章	电学复习.....	(184)
第十六章	光学.....	(192)
第十七章	原子和原子核.....	(207)
测试题答案		(215)

第一章 力 物体的平衡

知 识 提 要

本单元的核心问题是力和物体的平衡。主要内容可以归结为三个方面：力的概念，两种方法，两个问题。

一、力

力是物体对物体的作用。力不可能脱离物体而单独存在。力是矢量。大小、方向和作用点是力的三要素。

两物体间的相互作用力叫做作用力和反作用力。这两个力大小相等、方向相反、性质相同，且作用在同一直线上，但这两个力的作用点不共物。在力学中常见到的力有重力、弹力和摩擦力。对此三力应注意它们产生的条件，决定其大小的因素和它们的方向。

力产生的效果：①使物体发生形变。
②可以改变物体的运动状态。力绝不是维持物体运动的原因。

二、两种方法

(一) 物体的受力分析方法

在确定过研究对象之后，正确地对研究对象进行受力分析，作出研究对象受力简图，这是正确解决力学问题的重要前提。正确的受力分析方法是：首先分析场力（如重力、电场力和磁场力），然后根据研究对象与它相接触的物体之间的关系及运动情况，再依次分析弹力和摩擦力。在对研究对象进行受力分析的过程中，切不可有遗漏或随意添加的力，对分析出的每一个力都应能明确指出其施力的物体。

(二) 力的等效方法——力的合成与

分解

因为力是矢量，故力的合成或分解均遵循平行四边形法则。例如：若力 F 是力 F_1 和力 F_2 的合力，按图1-1所示， $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$ ， F 的方向可由： $\tan\alpha = \frac{F_2\sin\theta}{F_1 + F_2\cos\theta}$ 来确定。我们应注意合力和分力只是一种等效概念，并不一定是一种客观实在的力。

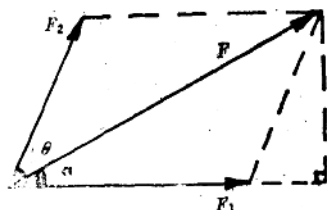


图 1 - 1

三、两个问题

(一) 在共点力作用下的物体平衡问题

该问题下的平衡状态是指：研究对象在惯性参照系中，处于静止或匀速直线运动状态。这时的研究对象由于只有平动，故可被视为质点，其平衡条件为： $\sum \vec{F} = 0$ 。或在直角坐标系中： $\sum F_x = 0$ ， $\sum F_y = 0$ 。

(二) 有固定转动轴物体的平衡问题

这里的平衡状态是指物体相对于固定在惯性系中的轴处于静止状态或匀速转动状态。平衡条件为合外力矩为0，即 $\sum M = 0$ 。

例 题 解 析

【例1】如图1-2所示，细绳上端固定，下端拴于棒A，棒搁在置于水平地面的光滑半球上。当棒呈水平而静止不动时，细绳与竖直方向成 30° 角，棒受几个力的作用？假若半球不是光滑的，那么棒应受几个力的作用？棒的重心可能在哪里？

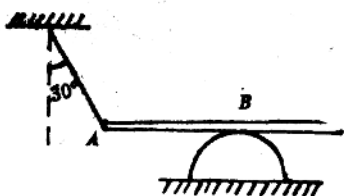


图 1 - 2

解析：研究对象是棒，棒受重力 G ，棒虽与绳和球接触，但不一定发生作用，这一点应加注意。可先设棒受绳拉力 T 和球支持力 N ，然而， T 有水平分量 $T_x = T \cos 60^\circ$ ，球面光滑， N 竖直向上， G 竖直向下，无水平力与 T_x 平衡，棒水平方向不能平衡，不合题意，棒只能受两个力： G 和 N ，假若球面不光滑，那么球面给棒的静摩擦力 f 向右，可以与 T_x 使棒在水平方向平衡，棒就受四个力： G 、 T 、 N 和 f 。

棒的重心位置可用两种方法确定，

①将棒视为质点。它受三力（向左偏上的 T 、向右偏上的 f 和 N 的合力 F 和竖直向下的 G ）而平衡，它们的作用线必须共点，据此作图可知，棒的重心只可能在棒上的 A 和 B 之间。②将棒视为一般物体。棒有可能绕 B 点转动，因此可设 B 点为“固定转轴”。这样， T 力矩是逆时针转的，则 G 力矩必须顺时针转，即 G 的重心只可能在棒上的 A 和 B 之间，否则棒就会转动，不合题意。

小结：造成本题错答的原因，在于对弹力、摩擦力这类被动力理解片面，这类力既决定于其他的主动力（如重力类的场

力），又取决于物体所处的运动状态，一般先假定它们的存在，然后再根据物体所处的运动状态进行验证，正如本题处理的那样。受力分析是学好物理最基本的功，为了练就这一功，除掌握好各种力产生条件和三要素（大小、方向和作用点），还应包括以下几方面完整、严密的训练：①确定受力分析的研究对象；②找出与研究对象可能发生作用的其他物体；③根据研究对象的运动状态进行验证；④最后作出结论。

【例2】如图1-3所示，若绳 AB 能承受最大拉力和杆 AC 能承受最大压力均为100牛顿，绳及杆自重不计，那么能悬挂的物体的重最大是多少牛顿？

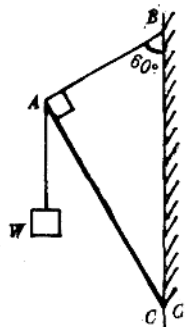


图 1 - 3

解析：这是一道典型的静力学题，解法较多、灵活，但易解错。物体 W 通过悬绳作用 A 点，对绳有拉力 T ，使杆受到压力 N 。由于绳和杆的重力不计，根据对 A 点等于挂物重 G 的作用，将 G 分解为图1-4所示的 T 和 N ， T 沿 BA 方向， N 沿 AC 方向。由几何知识可得 G 、 T 和 N 的关系式。由图1-4还可以看出， $N > T$ ， G 的取值同时受到 T 和 N 的取值的制约，如果 T 取100牛顿，那么杆所受的压力将超过它所承受的最大压力，若 N 和 T 均取100牛顿，则 A 点不能平衡，看来，只能 N 取100牛顿，才能正确求解。

根据物体 G 通过绳作用于 A 点产生的效果，作出如图1-4的 G 力的分解图，由图可得，

$$G = \frac{T}{\sin 30^\circ} \quad (1)$$

$$G = \frac{N}{\cos 30^\circ} \quad (2)$$

按题意, 若取
 $T = 100$ 牛顿, 则
 由(1)和(2)式
 得, $G = 200$ 牛
 顿, $N = 100\sqrt{3}$
 牛顿 > 100 牛
 顿, 故 T 不能取
 100 牛顿, 只能取
 $N = 100$ 牛
 顿, 由(1)
 和(2)得 $G = 115.5$
 牛顿, $T = 100\sqrt{3}/3$ 牛
 顿 < 100 牛
 顿。

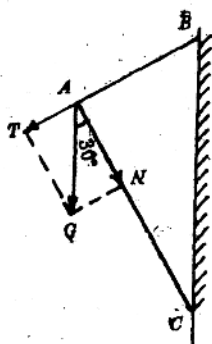


图 1-4

小结: 解三力共点作用下的物体平衡问题的思路, 既可由共点力的平衡去思考, 又可从力的实际效果以力的分解去分析, 进而理解平衡的条件和巧用力的合成和力的分解的方法。

[例 3] 如图 1-5 所示, 质量为 m 的小物块放到倾角为 α 的斜面上, 就会下滑, 斜面与物块的滑动摩擦系数等于 μ 。如果对物块施一水平推力 F , ①使物块静止于斜面; ②使物块沿斜面向上匀速滑动, 那么这两种情况下力 F 各应多大? (设 $m = 1$ 千克, $\alpha = 37^\circ$, 取 $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$, $\mu = 0.2$, 物块与斜面间最大静摩擦力等于滑动摩擦力, $g = 10$ 米/秒²)

解析: 小物块在题要求的两种情况下

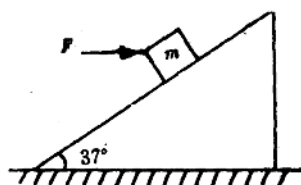


图 1-5

都受到四个共点力: 重力 mg 、推力 F 、支持力 N 和摩擦力 f , 它们的合力都等于零, 都可以应用共点力平衡条件列方程。由于①情况物块受的是静摩擦力, ②情况物块受的是滑动摩擦力, 而静摩擦力的大小和方向, 不能用等式 $f = \mu N$ 来确定, 只能用不等式 $|f_{\text{静}}| \leq f_{\text{最大静摩擦}}$ 来决定, 因此在①种情况求出的 F 不是一个值, 而是一

个范围。

①物块受力图及其坐标系如图 1-6 所示, 其中 f 的大小和方向将随 F 的大小而有变化, 由共点力平衡条件, 有

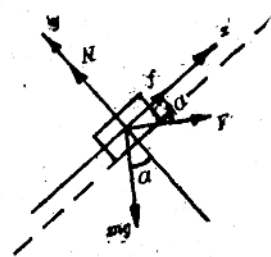


图 1-6

$$F \cos \alpha - mg \sin \alpha + f = 0 \quad (1)$$

$$N - F \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0 \quad (2)$$

又因为

$$|f| \leq f_{\text{最大静摩擦}} = \mu N \quad (3)$$

由(1)得:

$$f = mg \sin \alpha - F \cos \alpha \quad (4)$$

由(2)得:

$$N = F \sin \alpha + mg \cos \alpha \quad (5)$$

(4)、(5)代入(3) $|mg \sin \alpha - F \cos \alpha| \leq \mu (F \sin \alpha + mg \cos \alpha)$, 可解得:

$$\frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \leq F \leq \frac{mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$$

$$\text{将数字代入: } \frac{1 \times 10(0.6 - 0.2 \times 0.8)}{0.8 + 0.2 \times 0.6}$$

$$\leq F \leq \frac{1 \times 10(0.6 + 0.2 \times 0.8)}{0.8 - 0.2 \times 0.6}$$

$$4.8 \text{ 牛顿} \leq F \leq 11.2 \text{ 牛顿}.$$

②物块受的摩擦力 f 应沿斜面向下, 其余的力及受力图和坐标系如图 1-6 所示, 根据共点力的平衡条件, 有

$$F \cos \alpha - mg \sin \alpha - f = 0 \quad (1)$$

$$N - F \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0 \quad (2)$$

$$\text{又因为 } f = \mu N \quad (3)$$

由(1)、(2)、(3)可得:

$$F = \frac{mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} = \frac{1 \times 10(0.6 + 0.2 \times 0.8)}{0.8 - 0.2 \times 0.6}$$

-11.2牛顿。

小结：摩擦力中静摩擦力是一个难点，要注意：静摩擦力产生于相对静止状态，其大小和方向取决于使物体产生相对运动趋势的合力的大小和方向，要理解好 $|f_{静}| \leq \mu N$ 和 $f_{滑} = \mu N$ 这两公式的异和同，才能又快又正确地解答有关摩擦力的习题。

〔例4〕 如图1-7所示，水平桌面上物体甲通过细绳和定滑轮拉住挂有物体乙的动滑轮不动时，绳AB段与BC段的夹角，绳BC段和CD段的夹角都是 120° ，已知物体甲和乙的重都是20牛顿，滑轮和绳的重以及它们之间的摩擦力均不计，求物体甲对桌面的作用力。

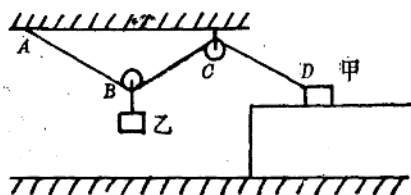


图1-7

解析：物体甲对桌面的作用力，是它对桌面的压力和摩擦力的合力，也是桌面对它的支持力 N 和静摩擦力 f 的反作用力的合力。因此应以甲物体、乙物体和绳上B点分别为研究对象，根据共点力平衡条件和同一条质量可不计的绳各段间拉力都相等的条件列方程，解出 N 和 f ，再根据牛顿第三定律求出物体甲对桌面的作用力的大小和方向。本题不要求求物体甲对桌面的摩擦力和压力，而求它们的合力 F' ，这 F' 的大小和方向，跟甲物的重力 $G_{甲}$ 和绳子拉力 T 的合力等同，于是物体甲就成了共点力平衡问题。这样，只要求出甲物的绳拉力 T_1 和重力 G 的合力 F' 的大小和方向，即所求的答案。

分别以物体甲、乙和绳上B为研究对象，受力图分别如图1-8中 (a)、(b)、(c)所示。

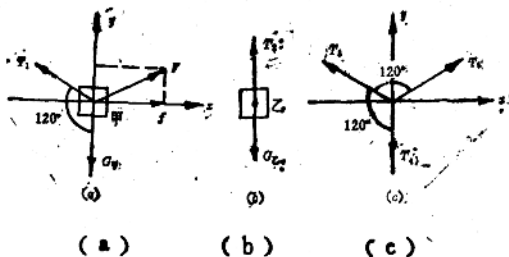


图1-8

由共点力平衡条件，

$$\text{对于甲有 } f - T_1 \cos 30^\circ = 0 \quad (1)$$

$$N + T_1 \sin 30^\circ - G_{甲} = 0 \quad (2)$$

对于乙有

$$T_2 - G_{乙} = 0 \quad (3)$$

对于B有

$$T_1 \cos 30^\circ - T_3 \cos 30^\circ = 0 \quad (4)$$

$$T_1 \sin 30^\circ + T_3 \sin 30^\circ - T_4 = 0 \quad (5)$$

考虑到同一条质量不计的绳子各段间拉力都相等，就有： $T_1 = T_2 = T_3$ (6)

$$T_2 = T_4 \quad (7)$$

由以上方程代入数字，解得 $f = 10\sqrt{3}$ 牛顿， $N = 10$ 牛顿，其合力 $F = \sqrt{f^2 + N^2} = \sqrt{100 + 100 \times 3} = 20$ 牛顿，方向由 $\tan \theta = \frac{N}{f} = \frac{10}{10\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$ ，得 $\theta = 30^\circ$ ，即与水平成 30° ，根据牛顿第三定律，甲对桌面的作用力大小为20牛顿，方向向左偏下 30° 角。

简解：由图1-8中几何知识可知，因为 T_1 、 F 和 $G_{甲}$ ， T_1 、 T_3 和 T_4 相互都成 120° 角，所以这些力都相等，由此可得， $G_{甲}$ 和 T_1 的合力 F' 的大小为20牛顿，方向向左偏下 30° 角，请读者自己仔细解一下。

小结：这类求物体对桌面压力和摩擦力和作用力的问题，一般先求对它作用的物体的支持力和摩擦力，再根据牛顿第三定律求出物体对它的作用力，解题切勿跳过这一步。物体平衡问题，常用正交分解法，易于解决，但是三个共点力平衡问

题，往往用几何知识解力的三角形求解，更为简捷，因而本题先将四个力化成三个力，再用解三角形法求解。

【例 5】如图 1-9 所示，水平地面上放着球 A 和 B，两球半径相等，球 A 是均匀的光滑铁球，今使 B 球固定不动，对 A 球持续施加一个向左偏上 45° 的拉力 F ，其作用线始终通过 A 球的球心，A 球在拉力 F 作用下缓慢地沿着 B 球球面移到 B 球球顶。在此过程中，拉力 F 和 B 球对 A 球的弹力 N 的大小将如何变化？

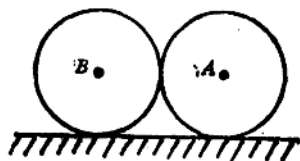


图 1-9

解析：A 球缓慢移动是一种持续的平衡状态，球 A 是在重力 G 、拉力 F 和 B 球对 A 球弹力 N 三个共点力作用下的平衡。根据共点的平衡条件和力的平行四边形法则，可以画出如图 1-10 所示的无数个力的平行四边形 $OaG'b$ 、 $Oa'G'b'$ 、 $Oa''G'b''$ ……，这些平行四边形表明，在球 A 移动过程中， N 的矢端都在过 G' 平行于 Ob (F 的方向线) 的直线 $G'a$ 上， F 一直变小，而 N 先变小， N 与 F 垂直时， N 为最小，此后又变大，最后，球 A 到球 B 顶点时 N 等于 G 。

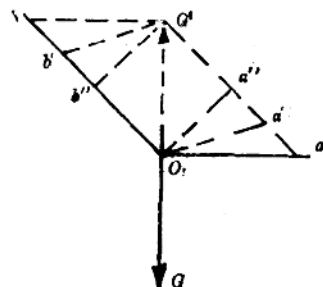


图 1-10

另解：在图 1-10 中取力的三角形 $G'Ob'$ ，A 球重 $G=OG'$ ， $F=Ob'$ ， $N=$

$G'B$ 。设 $\angle OG'b' = \alpha$ ，又 $\angle G'Ob' = 45^\circ$ ，则 $G'b'O = 180^\circ - (\alpha + 45^\circ)$ ，根据正弦定理，有

$$\frac{F}{\sin \alpha} = \frac{G}{\sin (\alpha + 45^\circ)} \quad (1)$$

$$\frac{N}{\sin 45^\circ} = \frac{G}{\sin (\alpha + 45^\circ)} \quad (2)$$

球 A 移动过程中， α 由 90° 变到 0° ，由 (1)

和 (2) 得：
$$F = \frac{G \sin \alpha}{\sin \alpha \cos 45^\circ + \sin 45^\circ \cos \alpha}$$
$$= \frac{G}{\cos 45^\circ + \sin 45^\circ \cdot \cot \alpha}$$
$$N = \frac{G \sin 45^\circ}{\sin \alpha}.$$

由上两式可得出同样的答案外，还可得出球 A 移动整个过程中拉力 F 随 α 变化的准确值。

小结：通过本题的解答可以看出，按题意作出示意图或物体受力的矢量图，能使题中各物理量间关系显得形象直观，解得简捷明快，并且对找出所需的数学表达式也比较容易。解这类题，切勿主观想象或一知半解去猜测。

【例 6】如图 1-11 所示，一均质铁球，装一轻质细杆，细杆水平接于墙上的铰链，球下面垫一木板，木板放在光滑水平的地面上。球与木板间摩擦系数为 μ ，球半径为 R ，细杆长 l ，将木板向右拉作匀速运动时的水平拉力 F_1 ，将木板向左推作匀速运动时的水平推力 F_2 ，求 F_1 和 F_2 之比。

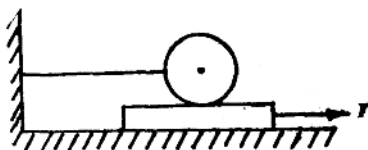


图 1-11

解析：本题易错解，错误得出 $F_1 = F_2 = \mu mg$ ， $F_1 : F_2 = 1 : 1$ 。错解的原因在于把金属球看成质点，其实，球可能绕固定转轴（铰链）转动，不可能平动，因此不能看作质点，即球的大小和形状不能忽

略，应将球看作有固定转轴的平衡问题。

用水平力 F 向右拉时，由共点力平衡条件，木板在水平方向上受的拉力 F_1 和摩擦力 f 大小相等，即 $F_1 = f$ 。 (1)

以铁球和细杆作为研究对象，其受力图如 1-12 所示，其中铰链受的力未画出。根据有固定转轴平衡条件，以铰链处 O 点为转轴，有

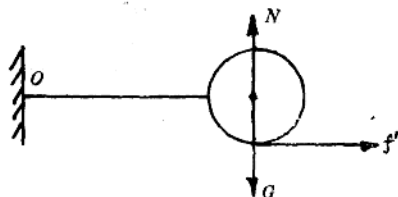


图 1-12

$$mg(R+l) - N(R+l) - f'R = 0 \quad (2)$$

由牛顿第三定律和摩擦定律，还有

$$f' = f \quad (3)$$

$$f = \mu N \quad (4)$$

由 (1)、(2)、(3) 和 (4) 式，解得

$$F_1 = \frac{\mu mg(R+l)}{R+l+\mu R}$$

从上式可知，球作为质点， $R=0$ ，才有 $F_1 = \mu mg$ 。用水平力 F_1 推木板时，铁球和细杆受的摩擦力 f' ，其方向向左，其余力类同，同理可解得：

$$F_1 = \frac{\mu mg(R+l)}{R+l-\mu R}, \text{ 于是 } \frac{F_1}{F_2} = \frac{R+l-\mu R}{R+l+\mu R}.$$

小结：物理学中的理想化模型是实际物体在某种条件下的近似和抽象。正确运用模型是解决物理问题的重要而又基本的方法。有的题不知从何着手，究其原因，恐怕是由于找不到一个合适的物理模型来替代实物所致，有的题解错了，恐怕是由于模型选择错了造成，正如本题中把铁球看作质点模型那样。

【例 7】质量为 m 的均质直角三角形木板 ABC ， $\angle ABC = 30^\circ$ ，它可绕 C 点的轴在竖直平面内无摩擦地转动，如图 1-13 所示。今用一始终沿 AB 的力 F ，使 BC 边缓慢地由水平位置转至竖直位置，画出此过程中 F 随 BC 与水平夹角 θ 而变化的图像，并讨论其变化的情况。

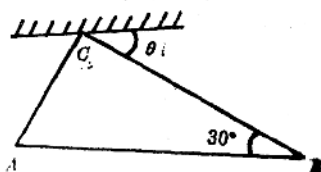


图 1-13

解析：这显然是一个固定转轴的平衡问题，木板在缓慢转动过程中，重力 G 的力矩 M_G 和 F 的力矩 M_F 相平衡， M_G 中，力 G 不变，力臂变，而 M_F 中，力 F 变，而力臂不变。根据有固定转轴平衡条件，找出 F 随 θ 的变化规律的函数关系，就能画出 $F - \theta$ 图像，讨论其变化的情况。

木板受力如图 1-14 所示，由几何知识，根据有固定转轴平衡条件，有

$$F \cdot \overline{CD} = G \cdot \overline{CE} \cos(\alpha + \theta) \quad (1)$$

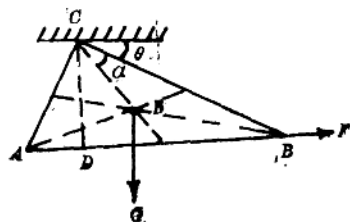


图 1-14

均质木板的重心在其几何中心，即在三条中线的交点 E ，因此

$$\alpha = 30^\circ, CE = \frac{2}{3} AC. \quad (2)$$

$$\text{又 } CD = \overline{AC} \cos 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} AC \quad (3)$$

由 (1)、(2) 和 (3)，可得：

$$F = \frac{4\sqrt{3}G}{9} \cos(30^\circ + \theta).$$

由上式可知， F 随角 θ 按余弦规律变

化。设 F 沿 AB ，且指向 B 为正方向，则 F 随 θ 变化的图线如图1-15所示。

讨论：由图1-15和式(4)可知：

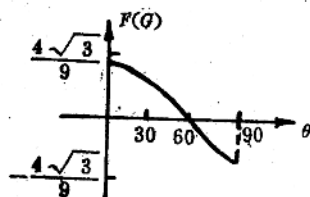


图 1-15

当 $0 \leq \theta < 60^\circ$ 时， F 由大变小，方向由 A 指向 B ；

当 $\theta = 60^\circ$ 时， F 最小， $F = 0$ ；

当 $60^\circ < \theta \leq 90^\circ$ 时， F 由小变大，方向由 B 指向 A 。

小结：通过本题解答可知，要正确作出某一物理变化的图像以及全面讨论其变化，必须仔细审题，弄清题意，抓住问题的关键，正确运用数学知识和物理知识，找出这物理量的数学表达式。对这种数学式要特别注意自变物理量的取值范围和应变物理量的极值及其相应的物理意义。

〔例8〕如图1-16所示，均质的光滑圆柱体，搁在竖直墙和均质的长方体之间而处于平衡。已知，圆柱体重为 G ，底面半径为 R ，长方

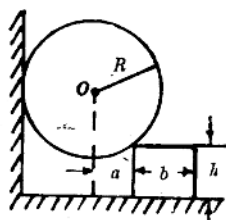


图 1-16

体重为 G' ，底边长为 b ，高为 h ，它的左边离圆柱体轴心 O 的水平距离为 a ，求：①墙对圆柱体的弹力。②地面给长方体的摩擦力。③为使长方体不致翻倒，长方体的底边长 b 必须满足什么条件，翻倒时，长方体无滑动。

解析：本题是解连接体的平衡问题，须注意，物体受的力的作用点不要随意画在它的质心或重心上，要按题意确定每个物体属于共点力平衡问题，还是力矩平衡问题。圆柱体和长方体的受力图分别如图

1-17中(a)和(b)所示，由于墙和长

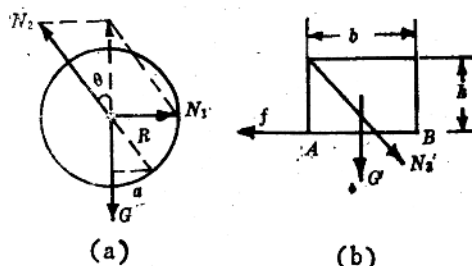


图 1-17

方体对圆柱体的弹力 N_1 和 N_2 都指向它的底面圆心，而 G 的重心也在这个圆心，因此这三个力的作用点都画在圆心上，以便求解。圆柱体显然属于共点力平衡问题，利用共点力平衡条件，可求出 N_1 和 N_2 ，由牛顿第三定律可知圆柱体对长方体的压力 $N_2' = -N_2$ ， N_2' 的水平分量应由地面给长方体的静摩擦力 f 来平衡，因而可求出 f 。长方体翻倒时不滑动，可以看作有固定转轴平衡的问题，长方体不可能绕 A 转动，因为此时 G' 和 N_2' 的力矩都是顺时针转的，将受到地面的阻挡，所以只有设 B 点为“固定转轴”，地面对长方体的支持力的作用点移到了 B 点，此力在图中未画出，为了使长方体不致翻倒， N_2 的力矩必须小于等于 G' 的力矩。

①对圆柱体，由共点力平衡的条件以及图1-17中几何知识，有

$$N_1 = G \tan \theta, \quad \therefore \tan \theta = \frac{a}{\sqrt{R^2 - a^2}},$$

$$\therefore N_1 = \frac{Ga}{\sqrt{R^2 - a^2}}.$$

②对长方体：圆柱体的压力 N_2' 的水平分量与静摩擦力大小相等，即 $f = N_2' \sin \theta$ ，由牛顿第三定律 $N_2' = -N_2$ ，而 $N_2 = \frac{G}{\cos \theta}$ ，这样：

$$f = G \tan \theta = \frac{Ga}{\sqrt{R^2 - a^2}}.$$

另解：若以圆柱体和长方体作为整体，对其受力分析，则它们在水平方向只受墙的弹力和地面给的静摩擦力，按平衡条

件, 即得 $f = N_1 = \frac{Ga}{\sqrt{R^2 - a^2}}$ 。

③根据上述分析, 以 B 点为“固定转轴”, 压力 N_1' 的力臂几何关系复杂, 今将 N_1' 分解为水平分量 $N_x = N_1' \sin \theta$ 和竖直分量 $N_y = N_1' \cos \theta$, 它们的力臂分别为 h 和 b , 这就简单多了, 按题意, 顺时针的力矩应小于或等于逆时针的力矩, 即

$$N_1' R \sin \theta \leq N_1' b \cos \theta + G' \frac{b}{2},$$

$$\text{又 } N_1' = \frac{G}{\cos \theta} \text{ 和 } \tan \theta = \frac{a}{\sqrt{R^2 - a^2}},$$

由上几式解得,

$$b \geq \frac{2Gah}{(2G + G')\sqrt{R^2 - a^2}}.$$

另解: 若以圆柱体和长方体作为整体

研究, 仍以 B 点为“固定转轴”, 有力矩的, 是墙对它们的弹力 N_1 、圆柱体重力 G 和长方体的重力 G' , 它们的力臂显得更简

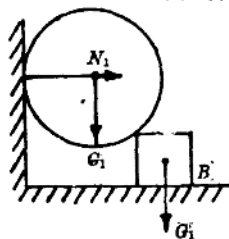


图 1-18

单明白 (如图 1-18)。由图 1-18 得

$$N_1 (\sqrt{R^2 - a^2} + h) \leq G(a + b)$$

$$+ G' \frac{b}{2},$$

$$N_1 = \frac{GN}{\sqrt{R^2 - a^2}},$$

由上两式很容易得出同样的答案,

$$b \geq \frac{2Gah}{(2G + G')\sqrt{R^2 - a^2}}.$$

小结: 物体所受的力和它的运动状态之间总是存在一一对应关系, 解本题一类的题, 要着重分析物体受力及其运动状态变化的瞬时对应关系。本题中长方体开始翻转时, 地面对它的支持力的作用点, 移到“转轴” B 点, 能分析出这一点, 是解③问最关键的一步, 为了计算力臂方便, 把力进行适当的分解, 求它们的力矩, 这是一种常用的方法。解连接体, 即要研

究隔离体, 也要分析连接体, 一般来说, 以连接体作为研究对象列方程求解, 比较简捷, 上述两种解法就说明了这一点。

【例 9】质量为 M , 边长 a 的正方体, 放在水平面上。均匀直棒长为 l , 重为 G , 它的一端 A 处有一水平轴, 使 AB 可在竖直平面转动, 棒 AB 放在 M 上, 接触点为 P , 系统静止, 求 P 点在什么位置, AB 对 M 的压力最大? 此刻 M 受到地面的静摩擦力多大?

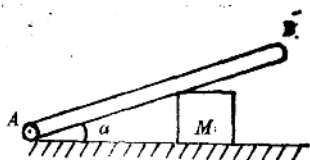


图 1-19

解析: 由所求考虑, 以正方体为研究对象, 做受力分析如图 1-20 (a)。但只有重力 Mg 已知, 其他各力大小均未知, N_2 的方向也未知, 无法求解。求 N_2 的反作用力, 以直棒 AB 为研究对象, 做受力分析如图 1-20 (b)。

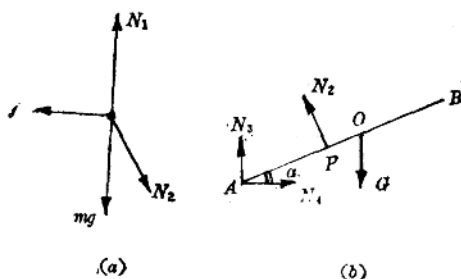


图 1-20

以棒 AB 为研究对象, 以 A 为转动轴, 棒 AB 处于平衡状态, 有

$$N_2' \cdot AP = G \cdot \frac{l}{2} \cos \alpha, \text{ 其中 } \frac{a}{AP} = \sin \alpha.$$

$$N_2' = \frac{\frac{l}{2} \cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot G$$

$$= \frac{l}{2a} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot G$$

$$= \frac{lG}{4a} \sin 2\alpha$$

当 $\alpha = 45^\circ$ 时, N_2' 有最大值是 $\frac{l}{4a} G$ 。

$N_1 = N_2' = \frac{l}{4a}$, 是棒对 M 的最大压力。

以立方体为研究对象, M 处于平衡状态, 用正交分解法, 有

$$\begin{aligned} f &= N_2 \cos 45^\circ \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{l}{4a} G \end{aligned}$$

小结: 如果已知和所求集中在一个物体上, 一般取该物体为研究对象, 研究对象需要改换, 往往是以力的相互作用为线索。

[例10]

在图 1-21 中,

A 、 B 是轧钢机的两个滚轮, 直径都是 50 厘米, 以相反的方向旋转。两滚轮间的距离 $a = 0.5$ 厘米。若滚轮与热钢板间的摩擦系数 $\mu = 0.1$, 求能够轧制的钢板厚度 b 最大是多少?

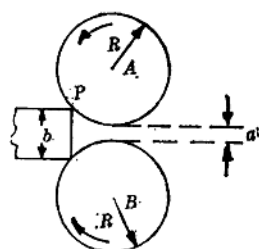


图 1-21

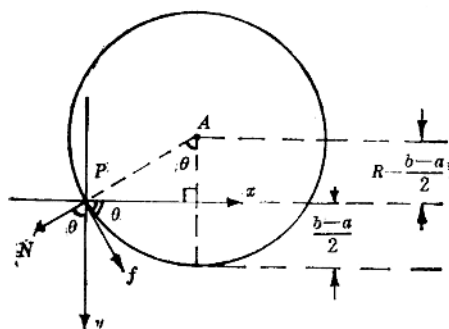


图 1-22

解析: 由于对称, 因此只需研究一个滚轮和钢板之间的相互作用, 如图 1-

22 所示, 钢板边沿 P 点受到滚轮 A 对它的压力 N 和摩擦力 f 的作用沿水平即 x 轴方向运动, 由于对称关系, 钢板沿 y 方向受到的合力恒为零, 因此, 只有当 $\mu N \geq f \geq N_x$ 时, 钢板才会沿 x 方向运动, 即

$$MN \cos \theta \geq N \sin \theta \quad (1)$$

由几何关系得:

$$\cos \theta = \frac{R - \frac{b-a}{2}}{R} \quad (2)$$

$$\sin \theta = \frac{\sqrt{R^2 - (R - \frac{b-a}{2})^2}}{R} \quad (3)$$

由 (1)、(2)、(3) 可得:

$$\mu \frac{R - \frac{b-a}{2}}{R} \geq \frac{\sqrt{R^2 - (R - \frac{b-a}{2})^2}}{R}, \text{ 由此可}$$

解得: $b_1 \geq (1 + \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}) \cdot 2R + a$ 或

$b_2 \leq (1 - \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}) 2R + a$, 因 b_1 大于两滚轮轴间距, 这是不符合实际的, 应舍去。所以 $b = b_2 \leq (1 - \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}) \cdot 2R + a$ 。因此, 此轧钢机可轧制的钢板最大厚度为 $b_m = (1 - \frac{1}{\sqrt{1+0.1^2}}) \times 2 \times 25 + 0.5 = 0.75$ 厘米。

小结: ①在解力学问题时, 要特别注意对对称性的分析, 因为它可以使问题简化。②摩擦力包括静摩擦力和滑动摩擦力。该例中是静摩擦力, 除最大静摩擦力外, 静摩擦力不可用 $\mu_0 N$ 来计算, 摩擦力阻碍的是相对运动或相对运动的趋势, 而决不是阻碍运动, 这正如摩擦力既可以是阻力又可以是动力一样, 本例中的静摩擦力即为动力。

[例11] 两个重分别为 G_1 和 G_2 的小环, 用细线连着套在一个被竖直固定、光滑的大套环上, 如果连线对大圆环圆心的张角为 α , 如图 1-23 所示, 试求平衡时 G_2 与圆心 O 的连线跟竖直方向的夹角 θ 是多

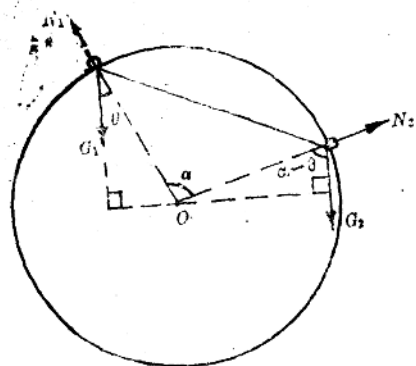


图 1-23

少?

解析：一般情况下总是将两个小圆环看成质点，然后把它们隔离开来，分别进行受力分析如图 1-24 所示。在图示的坐标系中可得到如下四个方程。

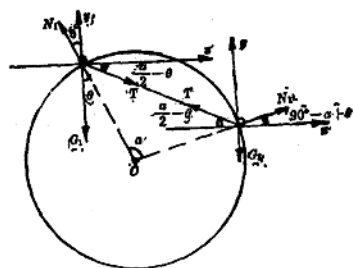


图 1-24

$$\begin{cases} N_1 \cos \theta = G_1 + T \sin(\frac{\alpha}{2} - \theta) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} N_1 \sin \theta = T \cos(\frac{\alpha}{2} - \theta) \end{cases} \quad (2)$$

$$N_2 \sin(90^\circ - \alpha + \theta) + T \sin(\frac{\alpha}{2} - \theta)$$

$$= G \quad (3)$$

$$N_2 \cos(90^\circ - \alpha + \theta) = T \cos \frac{\alpha}{2} - \theta \quad (4)$$

由这四个方程是可以求出 θ 的，但运算过程是十分繁杂的。

除上述方法外是否还有其它方法呢？

当然有，由于两小环间所连的不计质量的绳，即使在两小环稍偏离平衡位置滑动时，绳长仍保持不变。故可视为一不计质量的轻杆和两小环相连接，在平衡时必有一对任一轴的合外力矩为 0。现选过大圆环圆心 O 点与圆环面垂直的轴，因为 N_1 、 N_2 的作用线过 O 点，力臂为零，（见图 1-24）所以有 $G_1 R \sin \theta = G_2 R \sin(\alpha - \theta)$ ，即： $G_1 \sin \theta = G_2 \sin \alpha \cos \theta - G_2 \cos \alpha \sin \theta$

$$\text{所以 } \tan \theta = \frac{G_2 \sin \alpha}{G_1 + G_2 \cos \alpha}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{G_2 \sin \alpha}{G_1 + G_2 \cos \alpha} \quad \text{此种解法显然较}$$

第一种方法简便得多。

小结：①当物体系统或一个物体处于平衡状态时，其平衡条件为同时满足 $\sum \vec{F} = 0$ ， $\sum M = 0$ ，且轴的位置可任意选取。但一般选取轴的位置总是在尽可能使更多的未知力的力臂为零处。②注意力臂的概念，力臂是轴和力的作用线这两条异面直线之间的距离。

基础测试

一、单选题

(1) 如图 1-25，长方体木块 A 重 5 牛顿，静置于水平桌面上，长方体木块 B 重 3 牛顿，静置于 A 上，则 ()。

(A) 木块 B 对桌面的压力大小为 8 牛顿，方向向下；(B) 木块 B 对桌面的压力大小为 5 牛顿，方向向下；(C) 木块 B 对桌面的压力大小为 3 牛顿，方向向

下；(D) 木块 B 对桌面没有压力。

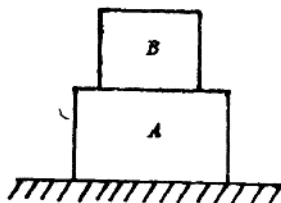


图 1-25

(2) 用线吊一个铁环, 线和铁环在竖直方向上保持静止, 那么()。

- (A) 铁环的重心一定在铁环上;
(B) 铁环的重心一定在的延长线上;
(C) 线对铁环的拉力的方向指向铁环;
(D) 线对铁环的拉力就是铁环的重力。

(3) 一根弹簧挂上10牛顿重物时长为4厘米。如果不挂重物而两端各用5牛顿的力来拉弹簧, 弹簧长为3厘米。则弹簧原长()。

- (A) 2厘米; (B) 1厘米;
(C) 3厘米; (D) 4厘米。

(4) 下列关于摩擦力的说法中正确的是()。

- (A) 两个物体间若存在摩擦力, 同时也必存在相对运动; (B) 两个物体间若有相对滑动则必存在摩擦力; (C) 两个物体间若存在摩擦力则必存在弹力; (D) 两个物体间正压力越大, 摩擦力也必定越大。

(5) 图1-

26中 m_1 和 m_2 两物体通过定滑轮和细绳连接起来, 斜面 and 滑轮都是光滑的, 且 $m_1 > m_2$, 那么 m_1 将从静止开始()。

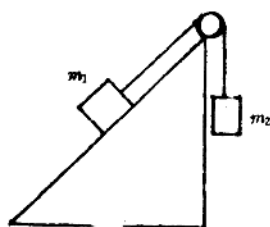


图 1-26

- (A) 沿斜面向上滑动; (B) 沿斜面向下滑动; (C) 仍保持静止; (D) 出现以上三种情况都有可能。

(6) 工人将一只木箱沿有摩擦的斜面匀速推上去, 在这过程中, 木箱所受的合力()。

- (A) 等于工人的推力; (B) 等于零; (C) 等于木箱的重力; (D) 等于斜面对木箱的摩擦力。

(7) 图1-27中, 用方向不变的水平力 F 将木棒缓慢拉起, A 为转动轴, 在拉起过程中()。

- (A) 力变大, 力矩变大; (B) 力变小, 力矩变小;
(C) 力变大, 力矩不变; (D) 力变小, 力矩不变。

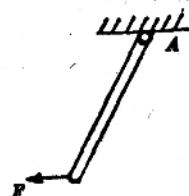


图 1-27

二、多选题

(1) 图1-28的各图中, F_1 、 F_2 表示两个共点力, F 是它们的合力, 这些图中正确的是()。

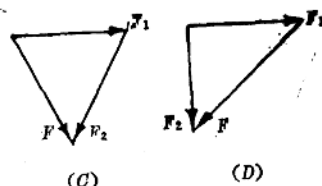
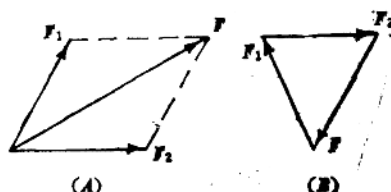


图 1-28

(2) 如图1-29所示, 在水平力 F 作用下, 重力为 G 的物体保持匀速沿墙壁下滑, 若物体与墙壁之间的滑动摩擦系数为 μ , 则物体所受摩擦力大小为()

- (A) μF ; (B) $\mu F + G$;
(C) G ; (D) $\sqrt{F^2 + G^2}$ 。

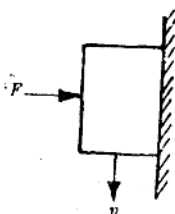


图-29

(3) 如图1-30所示, 光滑小球 A 在水平推力 F 作用下, 静止在光滑的固定斜面上, A 重为 G , 斜面倾角为 θ , 则斜

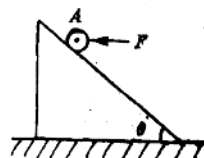


图 1-30